

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



ASAGAI
ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



Número 42 • 2019

ISSN 2422-5703 (En línea)

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



Editada en la Ciudad de Córdoba - Argentina

EDITOR JEFE

MSc Geólogo Norberto Jorge Bejerman

UCIS Consultores
editor@editoresasagai.org.ar

EDITORA ASOCIADA

Dra. Marcela Perez

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

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Carlos Costa

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

Dr. Julio Luis del Río

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

Lic. Luis Mario Giaconi

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

Prof. Dr. Luis I. Gonzalez de Vallejo

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

Prof. Dr. Helder Iglésias Chaminé

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

SECRETARIA

Dra. María Paula Bunicontro

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

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Encargada de Diseño

Paula Paredes

paulaparedes13@gmail.com

Webmaster

Guillermo Saint

saintdisegno@gmail.com

Dr. Clemente Irigaray Fernández

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

Prof. Dra. Malva Andrea Mancuso

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

Dra. Ofelia Tujchneider

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

Dr. Marcelo E. Zeballos

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

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

COMISIÓN DIRECTIVA 2018 - 2022

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

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

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Caracterización ambiental como herramienta para la toma de decisión en la planificación urbanística del partido de Berazategui	<i>Ragas, Deborah B. - Ortiz Bonacif, Rocío A. - Pereyra, Fernando X.</i>	1
Peligro de contaminación del acuífero freático en la localidad balnearia de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, Argentina.	<i>Ruffo, Andrés Gabriel - Lafont, Daniela - Carbajo, Micaela - Albouy, René - Lexow, Claudio</i>	15
Relación entre datos geomecánicos medidos en ensayos spt y resistividad del subsuelo en la fm. Ubajay, Entre Ríos, Argentina	<i>Chury, Mario R. H. - Silva Busso, Adrián A.</i>	23
Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca	<i>Eremchuk, Jorge Enrique</i>	35
Directrices para autores		49
Formulario de suscripción o compra		53

MISIÓN Y OBJETIVOS DE LA PUBLICACIÓN

Misión y objetivos de la publicación

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

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

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

Leyenda de protección de derechos de autor

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

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

Precio de la revista

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

En la página 53 encontrará el formulario a completar a tal efecto

Aims and objectives

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

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

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

Authors Copyrights

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

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

Price of the Journal

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

In page 53 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.



Caracterización ambiental como herramienta para la toma de decisión en la planificación urbanística del partido de Berazategui

Environmental characterization as a tool for decision-making in the urban planning of the Berazategui

Ragas, Deborah B. ✉ - Ortiz Bonacif, Rocío A. - Pereyra, Fernando X.

Recibido: 22 de octubre de 2018 • Aceptado: 05 de mayo de 2019

Resumen

El partido de Berazategui se encuentra localizado al noreste de la provincia de Buenos Aires y compone el segundo cordón del Conurbano Bonaerense. El relieve de la zona está conformado principalmente por dos ambientes, continental y litoral-estuarío. El partido se encuentra atravesado por cuatro arroyos principales y cursos menores que están en mayor o menor medida influenciados por la actividad antrópica. En líneas generales, el área cuenta con una alta heterogeneidad de paisaje y variabilidad ambiental a lo largo de toda su extensión. Se ha analizado el riesgo hídrico diferenciándose tres clases. En una importante proporción del territorio del Partido, especialmente en la zona litoral-estuaría, el nivel freático se encuentra somero o directamente aflorante, lo que constituye zonas de peligrosidad alta. El gran crecimiento poblacional ocurrido en estos últimos años ha resultado en la ocupación creciente de zonas poco aptas para la urbanización. Es por ello que frente a las posibles problemáticas el objetivo principal de esta contribución es realizar una caracterización ambiental en el Partido de Berazategui y analizar la aptitud para la urbanización en los diferentes sectores del área considerada. Se han determinado como áreas ambientalmente homogéneas a las unidades geomorfológicas las que pueden ser útiles para una futura planificación en el territorio. Para cada una de ellas se ha determinado la aptitud para la urbanización. La Planicie loésica presenta la mayor aptitud mientras que las zonas más comprometidas corresponden a la zona litoral estuaría y las planicies de inundación de los cursos.

Palabras claves: Berazategui- urbanización- geomorfología- riesgo hídrico.

Abstract

The Municipality of Berazategui is located to the northeast of the province of Buenos Aires and composes the second ring of the Conurbano Bonaerense. The relief of the zone is conformed mainly by two environments, continental and

Universidad Nacional de Avellaneda, Departamento de Ambiente y Turismo.
Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, IGRM-SEGEMAR
✉ deborahragas@hotmail.com

littoral-estuarío. The party is crossed by four main streams and minor courses that are to a greater or lesser extent influenced by anthropic activity. In general, the area has a high landscape heterogeneity and environmental variability throughout its whole length. Water risk has been analyzed, distinguishing three classes. In an important proportion of the territory of Berazategui, especially in the littoral-estuarial zone, the phreatic level is shallow or directly outcrop, which constitutes zones of high risk. The great population growth that has occurred in recent years resulted in the growing occupation of areas that are unfit for urbanization. That is why, in face of possible problems, the main objective of this contribution is to conduct an environmental characterization in Berazategui and analyze the aptitude for urbanization in the different sectors of the area under consideration. Geomorphic units have been determined as environmentally homogeneous areas, which can be useful for future planning in the territory. For each of them the aptitude for urbanization has been determined. The Loessic Plain has the highest aptitude while the most compromised zones correspond to the estuarial littoral zone and the floodplains of the rivers.

Keywords: *Berazategui, urbanization, geomorphology, hydric risk.*

INTRODUCCIÓN

La configuración del territorio se encuentra influenciada por factores antrópicos y naturales. La gestión poco efectiva de las tierras en zonas urbanas crea una serie de conflictos que se traducen en una degradación del medio físico y en la ocupación de áreas no aptas para ello. El partido de Berazategui conforma uno de los 135 partidos de la provincia de Buenos Aires. Ubicado al noreste de la misma, compone el segundo cordón del conurbano bonaerense y limita con los partidos de Quilmes, Florencio Varela, Ensenada, La Plata y con el Río de la Plata (Figura 1). La superficie que ocupa es de 188 km² y se encuentra dividido en nueve localidades: Berazategui, Ranelagh, Carlos Tomás Sourigues, Villa España, Plátanos, Hudson, Juan María Gutiérrez,

Pereyra y El Pato. En comparación con otros municipios del Conurbano Bonaerense, Berazategui posee poca ocupación del territorio en relación a su superficie. Según el último Censo (2010), la población total es de 324.244 habitantes, con una densidad poblacional de 1,725 habitantes/km². Si bien el Partido se caracteriza por poseer un gran desarrollo de la actividad industrial (actualmente cuenta con cuatro parques industriales), presenta una costa amplia, poco perturbada y bien conservada hasta el presente en comparación con los partidos aledaños, como Quilmes y Avellaneda. En parte se debe a la presencia de la Reserva Natural Integral Punta Lara; sin embargo, se encuentran diversos proyectos inmobiliarios en vistas de desarrollarse especialmente en la zona de Hudson (Figura 2).

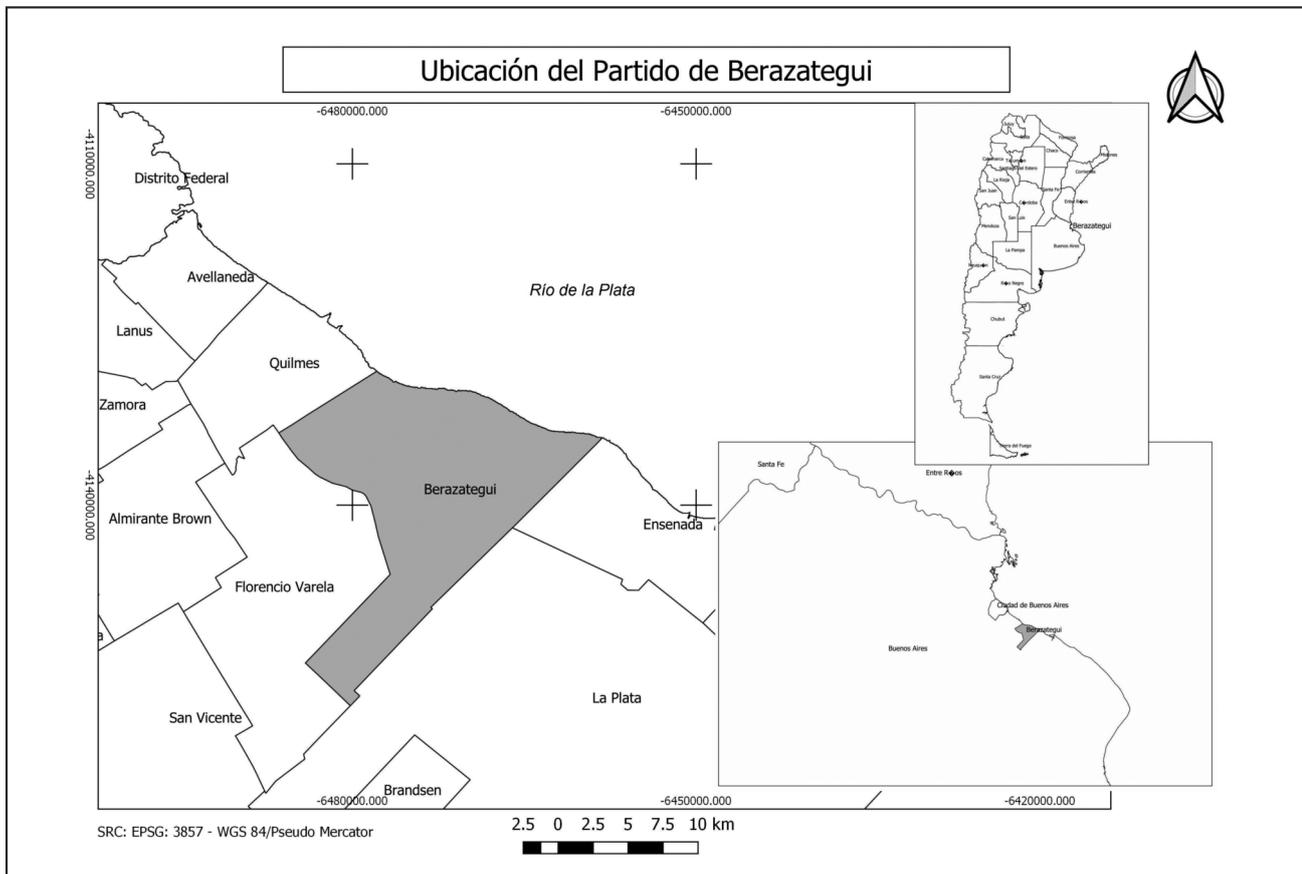


Figura 1. Ubicación del Partido de Berazategui.

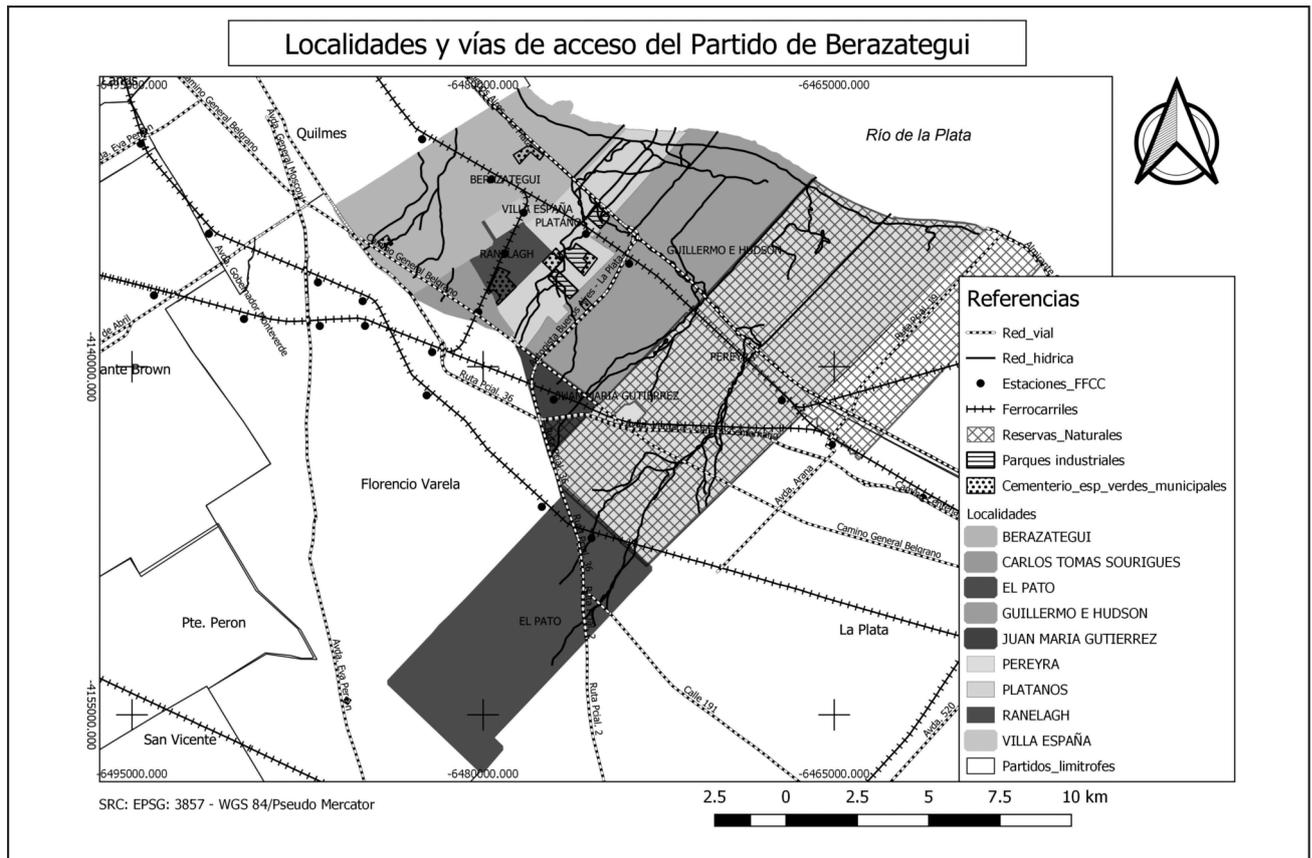


Figura 2. Mapa del Partido de Berazategui. Se destacan localidades aledañas, vías de acceso principales, Parques industriales y espacios verdes.

El crecimiento demográfico y la expansión urbana sin planificación han generado una sobreocupación en el territorio y diversos problemas asociados al acceso a los recursos, la disponibilidad de suelos para la producción y la vivienda, y la satisfacción de las necesidades básicas. Esto ha resultado en impactos negativos en el ambiente y en la calidad de vida de la población, como por ejemplo inundaciones y enfermedades asociadas, deterioro de costas, pérdida de suelos y de espacios verdes por desarrollos productivos, problemas en las construcciones por suelos expansivos y conflictos sociales y económicos con industrias asentadas muy cercanas a la población que pueden provocar contaminación.

Consecuentemente, el objetivo principal de esta contribución es realizar una caracterización ambiental en el Partido de Berazategui y analizar la aptitud para la urbanización en los diferentes sectores del área considerada, como instrumento de base para el ordenamiento territorial y la planificación urbana. El mismo incluye el análisis del medio físico, la relación con los usos del suelo, aptitud de zonas para la urbanización en función de las unidades geomorfológicas diferenciadas y potencialidad de riesgo hídrico. A partir de la interpretación de imágenes y fotos aéreas, el uso de cartografía temática preexistente y la realización de trabajos de campo se elaboró la cartografía que incluye mapa geomorfológico, de hidrología superficial y nivel freático, de riesgo hídrico y de aptitud para la urbanización, como producto final.

CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Clima

El clima de la región en la que se encuentra el partido de Berazategui es del tipo subhúmedo-húmedo, mesotermal sin estación seca según la clasificación de Koeppen modificada. Los datos fueron tomados del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de las estaciones meteorológicas de Ezeiza y La Plata. La temperatura media anual se encuentra entre los 14° C y los 16° C. Los meses de septiembre a mayo se presentan libres de heladas y en general, no se trata de un clima con temperaturas extremas. Las temperaturas mínimas absolutas para los meses de invierno se encuentran en el orden de los -6°C a -8°C, mientras que las máximas absolutas se aproximan a los 40° C para el mes de enero. Las precipitaciones no son de tipo estacional, aunque se observa una disminución en invierno; es por ello que los meses con mayores precipitaciones son febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre. Posee una media pluviométrica entre 1100 mm aproximadamente, la precipitación media anual para la estación La Plata es de 1119 mm considerando el período 1961-1990; mientras que para la estación Ezeiza es de 1082 mm en el período 1951-1990. La frecuencia de tormentas es alta; son predominantemente de tipo ciclónicas y ocurren, sobre todo, durante los meses de marzo, abril, mayo, agosto, septiembre y octubre. Las de tipo convectivas en cambio, son de menor duración y ocurren en verano. Los más característicos son los procedentes del Sudoeste (Pampero) y del Sudeste (Sudestada)

ambos relacionados con la presencia de una zona de baja presión en el Océano Atlántico.

Geología y Geomorfología

El Partido de Berazategui se ubica en la provincia geológica Llanura Chaco-pampeana. La misma cuenta con un relieve suavemente ondulado en este sector y se caracteriza por la casi total ausencia de afloramientos rocosos. En profundidad la secuencia comienza con rocas proterozoicas que corresponden al Basamento Cristalino, vinculado con el sustrato de las Sierras de Tandil y la isla Martín García. Son granitos, gneises, esquistos y anfibolitas ubicadas a una profundidad aproximada de 486 m en el partido de Berazategui (Sánchez, 1997). Por encima se ubican las formaciones, de más antigua a más nueva, Olivos, Paraná y Puelche, las cuales no afloran en la zona. Luego, se ubican las unidades aflorantes Pampeanas y Post-Pampeanas. La primera conformada por la Formación Ensenada y Buenos Aires; y la segunda por las Formaciones Luján, La Postrema, Querandí y La Plata.

La Formación Ensenada constituye los sedimentos más antiguos que afloran. En el área de estudio, se pueden observar en los laterales de valle fluviales y al pie de la planicie loésica en una franja paralela al Río de la Plata, a la altura de la zona céntrica de Berazategui y la localidad de Hudson, con su techo cercano a la cota de 7 m. Su composición típica es de un limo loessoide pardo algo rojizo (limolitas, limos areno-arcillosos y arcillo-arenosos), endurecido y con abundantes concreciones calcáreas (Schnack, et al. 2005). La Formación Buenos Aires está conformada por los típicos limos y loess pampeanos; la misma cubre gran parte del partido, coincidente con la parte superior de la planicie loésica. Su granulometría es predominantemente limosa con menores proporciones de arcilla y arena. Ambas unidades presentan numerosos niveles de paleosuelos y calcretes (toscas).

La Formación Querandí, aflorante en la zona de Hudson, forma una franja avanzando hacia la Reserva de Punta Lara y el Partido de Ensenada. Está formada por depósitos de planicie de marea y albufera compuesto por materiales limos arcillosos o arcillas de color verde oscuro con tonalidades azuladas o pardas, conteniendo a su vez restos de moluscos de agua salobre (Cavallotto y Violante, 2005). La Formación La Plata está representada en su mayoría por las típicas gravillas y arenas con material conchil, típico de los cordones litorales marinos, característicos de la zona litoral-estuarina. Poseen abundante material bioclástico cementado con carbonato de calcio. Ambas unidades son de edades holocenas. Llegando a la costa del Río de la Plata y observándose también en las cuencas de los arroyos, se encuentran los sedimentos actuales formados por limos y arenas producto de los depósitos fluviales y estuarinos. Están formados por materiales predominantemente limosos de coloraciones parduzcas y verdosas que evidencian condiciones reductoras.

El relieve del Partido de Berazategui es de llanura suavemente ondulado, constituyendo el extremo sur de la región denominada Pampa Ondulada. Las unidades geomorfológicas identificadas dentro del Partido se pueden distinguir en dos ambientes: 1) continental (eólico y fluvial) y 2) litoral-estuarino. El ambiente continental incluye geoformas eólicas y fluviales (Pereyra, 2004). Dentro de las primeras predomina la Planicie loésica, correspondiente a las divisorias de aguas. Incluye, hacia el sur una zona de Cubetas de deflación, actualmente conformando pequeñas lagunas y bajos anegables. Por su parte las geoformas fluviales incluyen las planicies aluviales y terrazas fluviales a los Laterales de valle.

La Planicie loésica posee un relieve plano a suavemente ondulado con cotas mayores a los 5 msnm que se van incrementando hacia el sudoeste alcanzando un máximo de 25 msnm. Se encuentra surcada por numerosas líneas de drenaje bien definidas que le confieren las características del relieve ondulado formando la geomorfología del ambiente fluvial. A pesar de estar con un grado importante de antropización, se pueden distinguir a las planicies aluviales y laterales de valles. Por su parte, las cubetas son depresiones subcirculares pequeñas que se encuentran permanentemente húmedas o anegadas formando bañados distribuidos relacionadas con un nivel freático somero. Las geoformas fluviales muestran escasa representatividad areal y se ubican en forma aledaña a los principales cursos fluviales. Los laterales de valle conforman zonas de transición entre los ambientes fluviales y eólicos y poseen pendientes moderadas.

La zona correspondiente al ambiente litoral estuarino presenta relieve muy plano a plano cóncavo. Se integra de cuatro unidades: a) antigua planicie de marea, b) cordones litorales (de conchillas), c) canales de marea antiguos y d) planicie estuarina actual (Pereyra et al. 2017). Los arroyos que provienen del ambiente continental, al llegar a esta zona esparcen sus aguas sobre la superficie ya que no han podido excavar su cauce hasta la costa del Río de la Plata como consecuencia de la nula pendiente. En las Tablas 1a y 1b se sintetizan los principales aspectos de las unidades geomorfológicas descriptas.

Suelos

Actualmente los suelos de la región se encuentran severamente modificados por la acción antrópica o incluso en algunos sectores han desaparecido total o parcialmente. Para su clasificación se tomaron en cuenta los lineamientos de la Soil Taxonomy y se usaron como base Capannini y Mauriño (1966), Pereyra (2004), Imbellone y Mormeneo (2011) y Pereyra et al. (2017). Los suelos desarrollados en la Planicie loésica se ubican dentro del orden de los Molisoles y son los más representativos de la región. Se caracterizan por poseer un buen desarrollo pedogenético con horizontes A ricos en materia orgánica, generalmente bien drenados y profundos. Dentro de este grupo se encuentran los Argiudoles típicos, Argiudoles vérticos y Argiudoles ácuicos. Los suelos predominantes en los laterales de valle de los arroyos principales son similares a los de la planicie loésica pero con menor grado de desarrollo. Los suelos del ambiente litoral-estuarino están caracterizados por condiciones de hidromorfismo, tendencia a la salinización y menor grado de desarrollo edáfico. Es posible diferenciar seis Unidades de suelos: La Unidad Cartográfica 1 (U. C. 1), corresponde a los suelos "zonales" ubicados en la planicie loésica. Son Argiudoles típicos a vérticos y Hapludoles típicos. La U. C. 2 son los suelos de las planicies aluviales y terrazas fluviales. Está integrada por suelos de menor grado de desarrollo edáfico con características hidromórficas y régimen ácuico. Son Endoacuoles típicos, Hapludoles énticos, Udifluventes típicos y Natracuoles típicos. La U. C. 3 se encuentra ubicada en el Antiguo Ambiente Marino-Estuarino y también se encuentran suelos mal drenados, como Endoacuoles típicos y Fluvacuantes típicos. También aparecen suelos algo salinos y sódicos, como Natracuoles típicos y Natracualfes típicos y suelos con arcillas expansibles clasificables como Hapludertes típicos. Los sectores de los cordones litorales corresponden a la Sub-unidad C. 4. Justifica esta división las características particulares que estos materiales parentales le confieren a los suelos, como por ejemplo altos contenidos de calcáreo. Se encuentran Haprendoles típicos, Hapludoles énticos y Udipsamentes típicos. La U. C. 5 posee también suelos ácuicos y corresponde al ambiente de lagunas y

Tabla 1a. Unidades geomorfológicas y sus características principales.

UNIDADES GEOLÓGICAS	FORMACIONES GEOMORFOLÓGICAS	UNIDADES	PENDIENTE	SUELOS PRINCIPALES	VEGETACIÓN
Planicie loéssica Divisorias	Buenos Aires Ensenada	Planicie loéssica	Suave	Argiudoles	Pastizal (Flequillares)
Laterales de valle	Ensenada Buenos Aires	Planicie loéssica Terrazas fluviales Planicies fluviales	Suave a moderada	Argiudoles Hapludoles Argialboles	Pastizal e hidrofitas
Cubetas y bajos	Ensenada Buenos Aires	Planicie loéssica Cubetas de Deflación	Moderada	Argiudoles Natracuoles Natracualfes	Pradera herbácea especializada
Planicies aluviales y Terrazas fluviales	Luján La Plata (en facies fluviales) Dep. aluvio actuales	Planicie aluvial Terraza fluvial	Suave	Endoacuoles Udifluventes Natracuoles	Pradera húmeda (herbáceas palustres e hidrofitas)
Planicie de marea (incluyendo los canales)	Querandí La Plata	Planicie de marea y canales de marea	Horizontal	Endoacuoles Hapludertes Natracualfes	Pradera húmeda (herbáceas palustres, halofitas e hidrofitas)
Cordones litorales	La Plata	Cordones de conchillas	Moderada	Haprendoles	Talares
Planicie estuárica	Aluvio Actual	Albardón costero, cordones estuáricos	suave	Udifluventes Endoacuoles	Selva ribereña

Tabla 1b. Rangos: Aflorante < 50 cm / Somera 50 cm – 1 m / Profunda > 1m.

UNIDADES	PROFUNDIDAD N. FREÁTICO	MORFODINÁMICA	PERMEABILIDAD	NATURALIDAD	INUNDABILIDAD
Planicie loéssica Divisorias	Profunda	Baja	Alta	Media (Alta en la Reserva)	Muy Baja
Laterales de valle	Profunda	Media	Media	Media	Baja
Cubetas y bajos	Somera/ Aflorante	Baja	Media	Alta	Alta
Terrazas Fluviales	Somero	Baja	Media/Baja	Media	Media
Planicies aluviales	Aflorante	Alta	Baja	Alta	Muy alta
Planicie de marea (incluyendo los canales)	Somera/Aflorante	Baja	Muy baja	Media (Alta en la Reserva)	Muy alta
Cordones litorales	Somera	Baja	Alta	Alta (Alta en la Reserva)	Baja
Planicie estuárica	Somera/Aflorante	Alta	Media	Alta (Alta en la Reserva)	Muy alta

bajos anegadizos ubicados en las antiguas cubetas de deflación de la Planicie Loéssica. Esto suelos se clasifican en Endoacuoles, Natracuoles, Argiudoles y Hapludoles ácuicos, Argiacuoles típicos y Natracualfes típicos. Finalmente, en los laterales de valles, se encuentra la U. C. 6, con suelos similares a los de la U. C. 1, pero con menor grado de desarrollo y con fases más someras y erosionadas. En el mapa (Figura 3) se observan las Unidades Cartográficas con sus geofomas representativas.

Hidrología superficial y subterránea

En el Partido de Berazategui se encuentran de Noroeste a Sudeste los principales cursos superficiales, arroyos Jiménez, Conchitas-Plátanos, Baldovinos y Pereyra; pertenecientes a la cuenca del Río de la Plata. La superficie total de las cuencas que se encuentran en el Partido de Berazategui es de aproximadamente 221 km² (Figura 4). Los arroyos de esta vertiente tienen un rumbo general de escurrimiento Sudoeste-Noreste, desaguando en el ambiente litoral- estuárico y no directamente en el Río de la Plata. Si bien los albardones actuales se comportan como

límites naturales de contención al escurrimiento del agua frecuentemente los eventos de crecidas sobrepasan a estos generando pequeños espejos de agua menores a 0,50 m de profundidad aguas arriba de ellos, ya que el desagüe natural en esa zona es sumamente lento. Esto determina la presencia de bañados asociados a la topografía que dificulta el drenaje natural, y a los suelos de naturaleza arcillosa que retienen agua en superficie (Giménez y Hurtado, 2012).

La cuenca del arroyo Baldovinos posee una superficie de 24 km² y la longitud del cauce principal es de 9,04 km. En su tramo superior ingresa desde Berazategui hacia el Partido de Florencio Varela para luego desplegar toda su cuenca sobre el primero. Los tramos superior y medio se sitúan sobre la planicie loéssica entre las cotas de 25 m y 5 m; mientras que el tramo inferior se ubica entre las cotas de 5 m llegando a la zona del ambiente litoral estuárico con valores entre 2,5 y 0 msnm. El caudal medio del arroyo Baldovinos es de 0,07 m³/seg (Subsecretaría de medio ambiente, 1981).

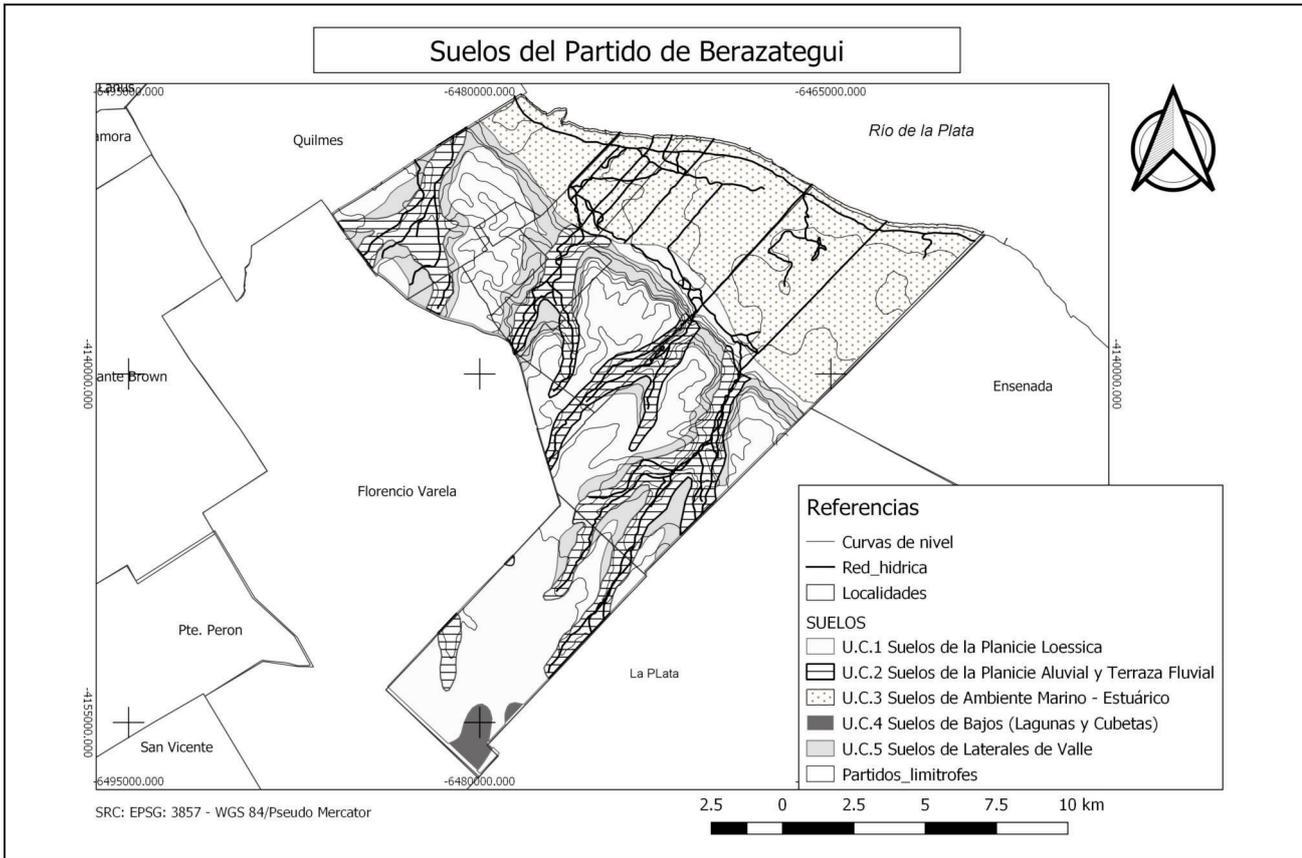


Figura 3. Mapa Geomorfológico y de suelos del Partido de Berazategui.

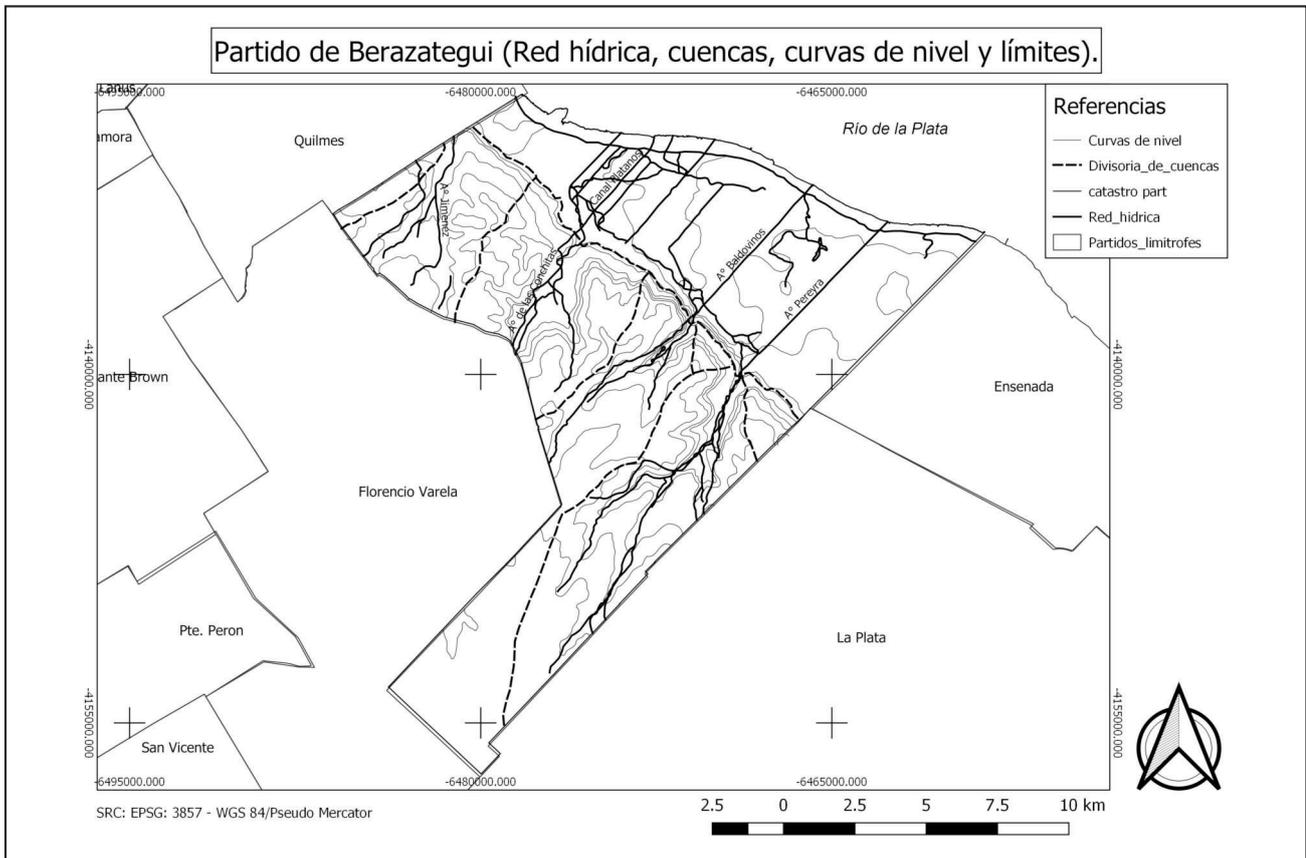


Figura 4. Hidrología superficial del Partido de Berazategui.

La cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos ocupa una superficie de 122,9 km², extendiéndose desde la cabecera en Florencio Varela hasta Berazategui donde desagua en el Río de la Plata. El curso más largo recorre una distancia de 16 km aproximadamente. Presenta su zona de recarga y conducción en el partido de Florencio Varela y su caudal medio es de aproximadamente 0,37 m³/seg. Alcanza la altura máxima en la zona de la planicie loésica donde se desarrolla el tramo superior con cotas entre los 25 y los 5 msnm; mientras que en tramo inferior y a medida que avanza sobre la zona costera, las cotas son de 2,5 a 0 msnm.

La cuenca del arroyo Pereyra abarca los partidos de La Plata y Berazategui (Figura 5). Se extiende desde su nacimiento en el Partido de La Plata recorriendo las localidades de El Peligro, Arturo Seguí y Villa Elisa. Al llegar al Partido de Berazategui atraviesa la localidad de El Pato y el Parque Pereyra Iraola para luego desembocar en el Río de La Plata. La cuenca posee un área de 65,6 km² con un caudal aproximado de 0,21 m³/seg. Se desarrolla entre los 0 y 30 msnm en un ambiente de baja pendiente topográfica. Los tramos medio y superior se despliegan sobre la zona continental entre las cotas de los 5 y 30 msnm. La cuenca inferior se encuentra en la zona litoral estuárica, entre los 5 msnm y la ribera del Río de la Plata, generalmente a cotas por debajo de los 3 m, conformando un ambiente mal drenado. En esta zona, el curso se encuentra fuertemente canalizado (Villarreal, 2012).

El arroyo Jiménez posee un caudal aproximado de 0,20 m³/seg y recorre los partidos de Quilmes, Berazategui y Florencio Varela. Nace como un curso de agua efímero en la localidad de Bosques y permanece así en la mayor parte de su trayectoria de flujo. Recibe un afluente proveniente de la localidad de Florencio Varela y es allí cuando se hace permanente.

La morfología de los cursos naturales se halla fuertemente enmascarada, especialmente en la zona litoral estuárica con la canalización y/o entubamiento. Además, las cuencas han sido modificadas con el correr de los años en función de su uso, principalmente en obras relacionadas con la infraestructura hídrica; a ello se suman las obras saneamiento pluvial y las de saneamiento de aguas residuales.

En relación a la hidrogeología, el subsuelo de la región noreste de la provincia de Buenos Aires posee un sistema multiunitario de acuíferos, el cual ha sido dividido históricamente en tres secciones principales. Estas son, de arriba hacia abajo, 1) Sección Epipelches, 2) Sección Pelches y 3) Sección Hipipelches (EASNE, 1973; Auge y Hernández, 1983).

El Epipelche es el conjunto de niveles que se ubican en los sedimentos Pampeanos y Postpampeanos. Se encuentra dividido en dos capas, una superior y otra inferior, las cuales a medida que avanzan hacia el Río de la Plata tienden a unificarse. La primera corresponde al acuífero libre o nivel freático. La recarga del Acuífero Pampeano es de tipo local autóctono, producto de la infiltración directa de las aguas meteóricas; las áreas de recarga preferencial coinciden con los interfluvios.

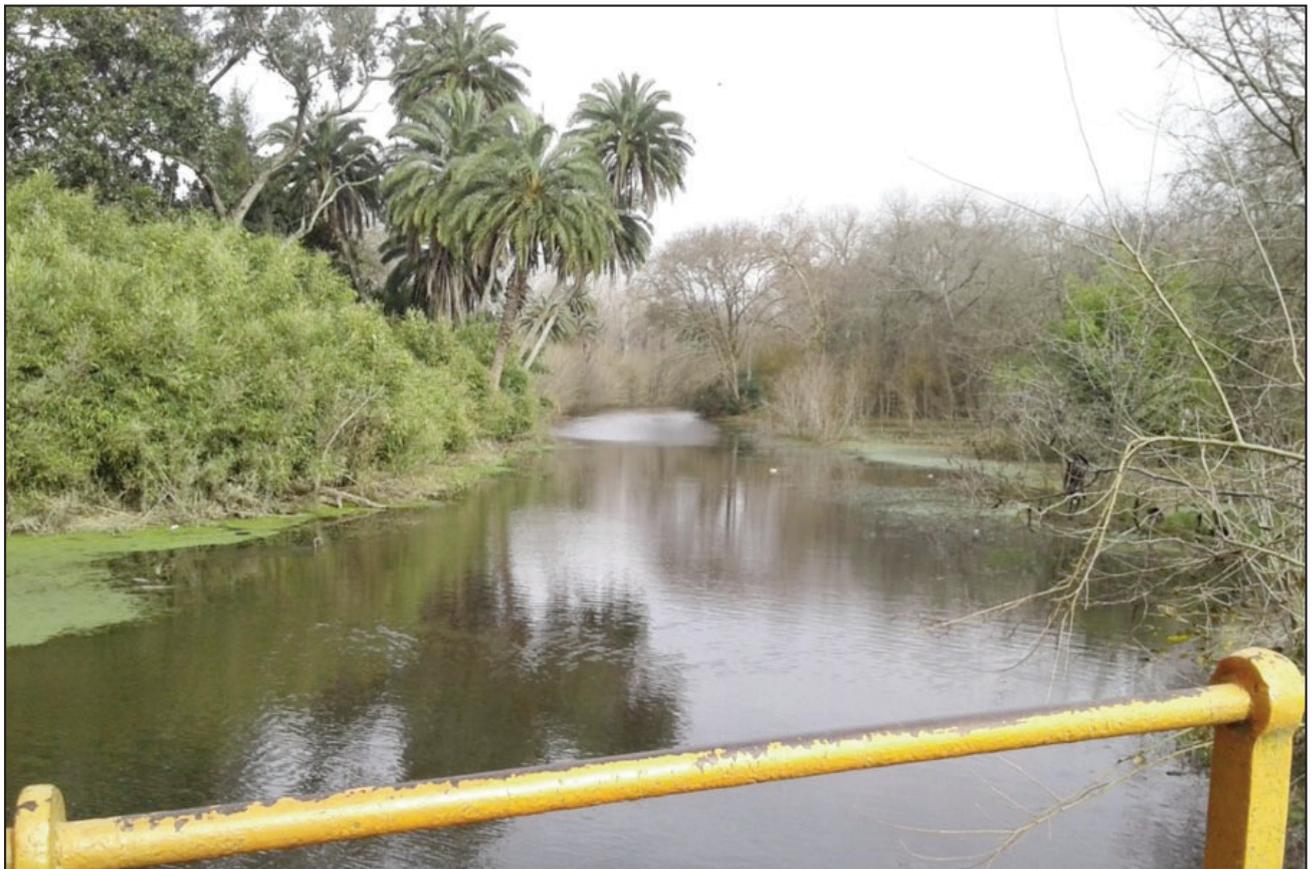


Figura 5. Cuenca del arroyo Pereyra, imagen tomada sobre Camino Parque Centenario en Parque Pereyra Iraola. Fuente: Propia (22/06/2017).

El Puelche está conformado por arenas medias con intercalaciones gravillosas, blanquecinas y amarillentas. Hacia el techo se vuelven más frecuentes las intercalaciones limosas. Se compone casi en su totalidad de depósitos continentales de origen fluvial, correspondientes al Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior. En el partido de Berazategui se ubica aproximadamente a los 40 m de profundidad (Sánchez, 1997). Finalmente, el Hipopuelche situado por debajo del anterior y separado por un acuífudo, contiene a las Formaciones Paraná correspondiente a las facies marinas. Posee en total un espesor medio de 60 m, en el cual se reconoce una parte inferior y una superior. Las aguas contenidas son fuertemente salinas, por ello también es el menos explotado.

La dirección regional del escurrimiento subterráneo regional es con sentido Sudoeste-Noreste hacia el Río de la Plata en su sector superior a medio, con algunas variaciones locales en cercanías al curso superficial; mientras que en la parte media a baja, invierte el sentido. Los arroyos que pertenecen al Partido de Berazategui poseen un carácter efluente con respecto al nivel freático en sus tramos altos y medios; mientras que a partir de la barranca (que separa el ambiente continental del litoral estuárico), el escurrimiento es hacia el Río de la Plata (Martínez et al., 2006). Desde que se comenzaron a utilizar los pozos de extracción de agua del Pampeano y Puelche se ha modificado la relación natural entre agua superficial y subterránea. De este modo, en algunos tramos de los arroyos afectados por estas condiciones el carácter pasa a ser influente del curso con respecto a la freática. En la Figura 6, se observa la relación entre la hidrología superficial y subterránea.

RIESGO HÍDRICO

La urbanización en el Partido de Berazategui ha avanzado en la última década de manera cada vez más intensa y acelerada. Tal crecimiento urbano no ha tenido una planificación que contemple la geomorfología, los suelos y respete el sistema natural de drenaje del agua. Por el contrario, se avanzó sobre áreas que poseen un riesgo hídrico importante como lo son las planicies de inundación de los principales cursos de agua. Las inundaciones en el Partido se deben principalmente a la ocurrencia de dos fenómenos naturales: 1) las precipitaciones intensas que se acrecentaron en este último tiempo y 2) el fenómeno de sudstada. Además se suman la topografía de llanura caracterizada por un relieve plano de muy bajo gradiente de pendiente, los suelos hidromórficos de muy baja permeabilidad como los que se encuentran en la zona litoral estuárica y el nivel freático somero o aflorante en algunas zonas.

En el partido de Berazategui, las variaciones del nivel freático considerando las precipitaciones anuales son de un metro aproximadamente, disminuyendo el nivel generalmente durante los meses de invierno. Tal como se dijera, el área que ocupa la zona litoral estuárica, influenciada por el Río de la Plata, está caracterizada por poseer un nivel freático aflorante. Si bien existe en algunos sectores relleno antrópico en esa zona, el nivel freático se encuentra en superficie o muy cercano a la misma (Figura 7). Además de ello, los suelos desarrollados allí tienen una gran cantidad de arcillas expansivas y un régimen ácuico (Natracualfes, Endoacuoles, Natracuertes y Epiacuertes por ejemplo. Asimismo, el nivel freático somero se ubica en las

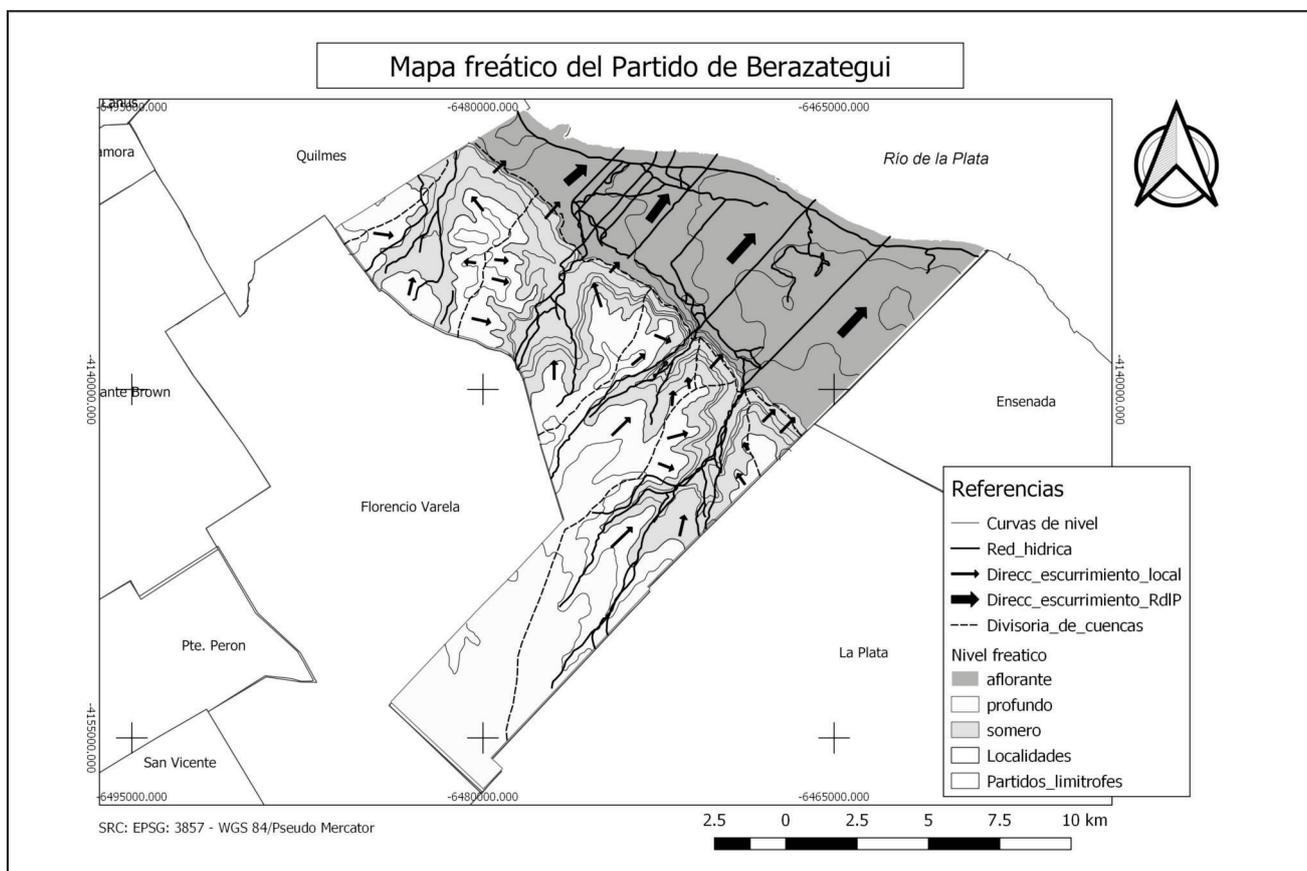


Figura 6. Mapa hidrología superficial y subterránea del Partido de Berazategui.



Figura 7. Cordones de conchillas y nivel freático aflorante en la zona de Hudson. Imagen tomada sobre calle 63, camino a Costanera de Hudson. Fuente: Propia (04/12/2017).

planicies aluviales y laterales de valle de los principales arroyos que atraviesan el partido, incluyendo las zonas de bajos y/o bañados que se encontraban sobre la red de drenaje natural. Por el contrario, la zona de la planicie loésica, donde se encuentra asentada la mayor parte de la población del partido, posee un nivel freático profundo en comparación con las demás unidades mencionadas. Los suelos naturales (Argiudoles principalmente) acompañan a la buena infiltración del agua y el pasaje de la misma hacia los acuíferos subyacentes para su recarga.

Entre los fenómenos antrópicos que favorecen la poca infiltración del agua en el perfil y una mayor probabilidad de escurrimiento superficial, se destacan la pérdida en la capacidad de captar y almacenar agua de lluvia en los suelos naturales por el deterioro físico (compactación), el proceso en sí de urbanización, la modificación de los sistemas de drenaje naturales, la localización de la población en las planicies de inundación como en el caso del arroyo Conchitas-Plátanos, entre otras.

Para definir el nivel de riesgo hídrico en el Partido de Berazategui, se consideraron tres unidades: riesgo alto, riesgo medio y riesgo bajo (Figura 8). Las mismas se construyeron a partir de las cuencas (naturales y actuales), los datos geomorfológicos, analizando el uso del suelo en las cuencas, sea planificado o no, las condiciones de suelos hidromórficos y la hidrología subterránea (nivel freático). El riesgo alto está definido según la cercanía del nivel freático a la superficie que en ciertas condiciones aflora, la baja pendiente en el terreno, la presencia de suelos con baja

permeabilidad y las condiciones hidromórficas asociadas a la zona litoral estuárica. Sumado a ello, es necesario tener en cuenta que la zona se encuentra condicionada por las sudestadas. Hoy en día es la zona que abarca desde la Autopista Buenos Aires-La Plata hasta el Río de la Plata, área ocupada por los arroyos canalizados y la Reserva Natural Integral Punta Lara. Según relevamientos en campo sobre esa zona se está pensando hace varios años la construcción de un barrio privado, el cual fue suspendido en varias ocasiones. Asimismo, el riesgo medio está localizado en las planicies aluviales de los arroyos principales.

Los suelos de esta zona poseen poco desarrollo, con características ácuicas y en su mayoría se encuentran adicionados con material de relleno antrópico. Los suelos son poco productivos por lo que se localizan distintos usos generalmente sin una zonificación organizada y el nivel freático en esas áreas se encuentra somero. Tanto para el arroyo Jiménez, Conchitas-Plátanos y Baldovinos en sus tramos altos y medios, estas zonas están ocupadas por un fuerte proceso de urbanización, en muchos casos de tipo espontáneo, como ocurre con los asentamientos ubicados en la cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos, cuyo riesgo se agrava con la presencia de contaminantes en el mismo (Figura 9). Por último, se definió el riesgo bajo para la zona de la planicie loésica del Partido donde las condiciones geomorfológicas y edafológicas permiten una menor probabilidad de inundación y/o anegamientos con respecto a las anteriores, principalmente por la presencia del nivel freático a profundidades considerables.

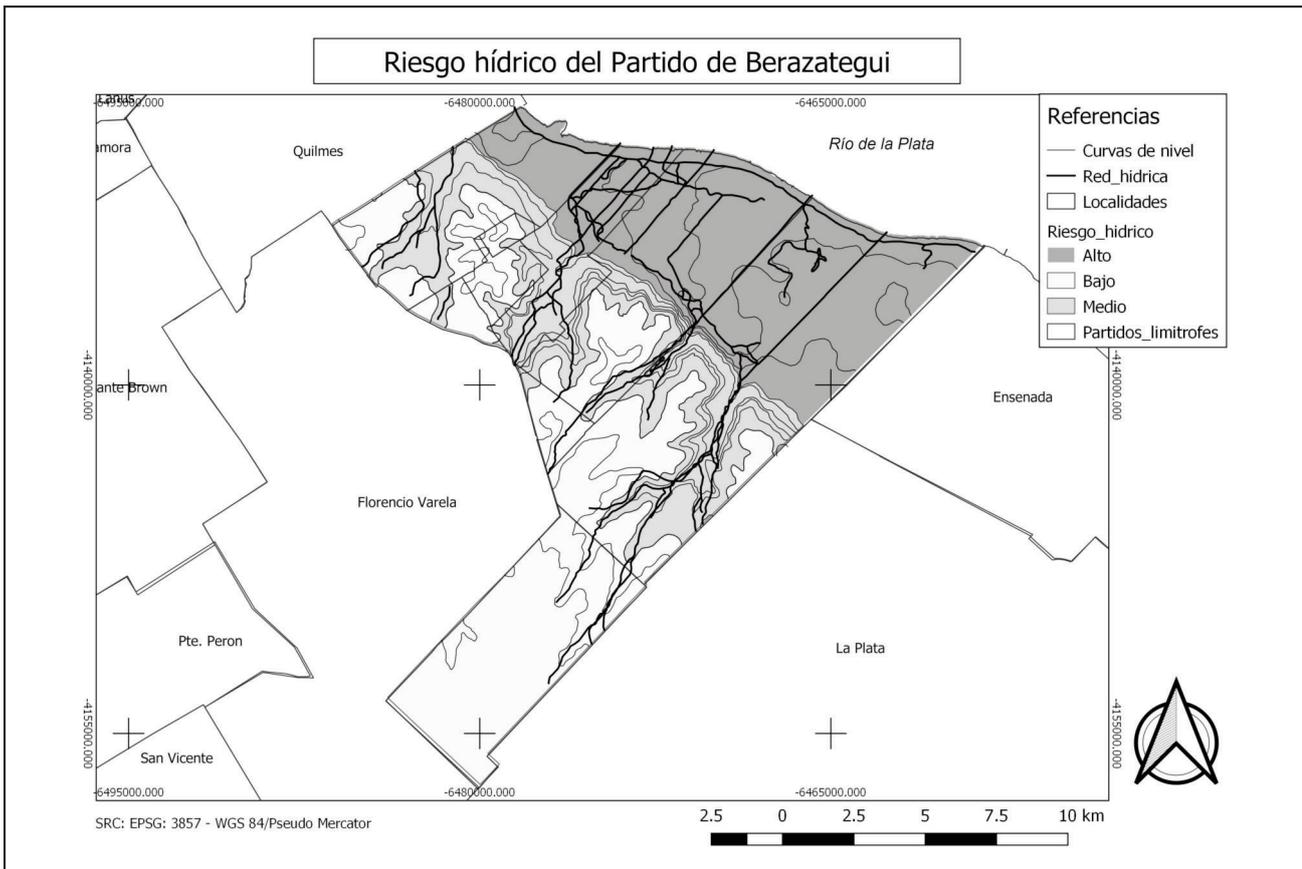


Figura 8. Mapa de Riesgo hídrico del Partido de Berazategui.



Figura 9. Vista del Parque Industrial Plátanos a orillas del arroyo Conchitas-Plátanos, sobre el cruce de la calle 41 y la calle 150 A. Fuente: Propia (21/11/2017).

APTITUD PARA LA URBANIZACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

La finalidad del ordenamiento territorial es proponer el uso racional del territorio que permita una gestión sustentable de los recursos naturales y un desarrollo socio-económico responsable de las regiones. La metodología de aplicación consta de tres etapas: 1) Análisis y diagnóstico territorial, 2) Planificación y evaluación y 3) Gestión y puesta en marcha. En base a la interpretación de las características más relevantes de las Unidades de Paisaje se ha realizado una valoración cualitativa de la distribución y potencial respuesta del medio natural ante los problemas ambientales percibidos, y los principales factores de peligros naturales (Gómez Orea, 1994). Se han considerado particularmente el proceso geomorfológico dominante, los procesos secundarios, la antigüedad, su accionar, la manera y la intensidad. Los parámetros tenidos en cuenta son: relieve relativo, procesos geomorfológicos actuantes, rugosidad del terreno, características de los cursos fluviales y de la red de drenaje, características de los materiales superficiales, inclinación de las pendientes, grado de morfodinámica, profundidad del nivel freático, riesgo hídrico, entre otros. Asimismo, se han tenido en cuenta también los diferentes usos actuales de la tierra, densidad de ocupación y grado de modificación del medio natural.

Tal como se dijera, las unidades geomorfológicas diferenciadas son: 1) Planicie loésica (divisorias), 2) Cubetas, 3) Planicies aluviales y terrazas fluviales, 4) Laterales de valle, 5) Antigua planicie de marea, 6) Cordones litorales (de conchillas), 7) Canales de marea antiguos y 8) Planicie estuárica actual. La clasificación se realizó en función del mayor o menor grado de aptitud de cada Unidad frente a una posible expansión urbana compuesta por distintas actividades que se detallan en la Tabla 2, teniendo en cuenta la necesidad de controlar el desarrollo urbano y la localización espacial de la población frente a demandas sociales, condiciones y restricciones naturales, preservación y uso de los recursos, y conservación del paisaje natural.

Establecidas cada una de las actividades se definieron cinco conjuntos en función de la facilidad o dificultad de llevar a cabo cada una de ellas: A: facilidad/dificultad para la construcción de viviendas; B: facilidad/dificultad para la construcción de infraestructura de servicios; C: facilidad/dificultad para la construcción de infraestructura vial; D: facilidad/dificultad para la construcción

de instalaciones comunitarias y E: compatibilidad con otras actividades y usos. Cada actividad será calificada como se muestra en la Tabla 3 en función de las Unidades de paisaje con valores de 1 a 4, y de A a D, siendo 1 fácil y 4 muy difícil, adaptando la metodología propuesta por *Pereyra et al. (2011, entre otros)*. Para E, los valores serán compatible (C), medianamente compatible (MC), e incompatible (I). La categoría MC agrega +1. Una vez asignados los valores, se sumarán los puntajes y según el resultado pertenecerán a una determinada clase de aptitud. Las cuatro clases establecidas son: Clase I: Muy apta. Valores entre 4 y 7, Clase II: Apta. Valores entre 8 y 11, Clase III: Poco apta. Valores entre 12 y 14, Clase IV: No apta. Valores a partir de 15. Los factores tomados principalmente en cuenta son: materiales superficiales, profundidad de la freática, morfodinámica, pendiente, y proximidad a los cursos fluviales. Dichos aspectos se han aplicado a cada Unidad en general y Subunidad de paisaje en particular a fin de obtener una diferenciación en Clases de aptitud para la urbanización. De allí se segregan cuatro clases: Apta; Moderadamente apta (con restricciones); Poco apta; No apta. En los casos en que la categorización refleje a un sector como Poco apto o Moderadamente apto no indica que esté exento de ser ocupado, sino que significa que su utilización y ocupación estarán sujetos a estudios específicos en cada caso particular. Dependerán de las políticas locales y de la finalidad de las actividades.

Tabla 2. Descripción de los componentes de las diferentes actividades.

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Construcción de viviendas	Casas Edificios Hoteles
Infraestructura de servicios	Aérea Subterránea
Infraestructura vial	Mejorado de caminos Caminos de asfalto Zonas de transferencia
Instalaciones industriales, comerciales y comunitarias	Parques industriales Centros comerciales
Instituciones de enseñanza	Centros de salud Centros de seguridad ciudadana

Tabla 3. Clasificación de las Unidades geomorfológicas.

Unidades	Divisorias	Laterales de valles	Cubetas y bajos	Terrazas fluviales	Planicies aluviales	Planicie de marea	Cordones litorales	Planicie estuárica
A- Construcción de viviendas	1	3	3	3	4	4	3	4
B- Construcción de infraestructura de servicios	2	2	3	3	4	4	3	3
C- Construcción de infraestructura vial	1	3	2	2	3	4	3	4
D- Construcción de instalaciones comunitarias	1	3	3	3	4	4	3	4
E- Compatibilidad con otras actividades	C	C	MC+1	MC+1	I	I	MC+1	I
S (Suma)	5	11	12	12	15	16	13	15
CL (Clase)	I	II	III	III	IV	IV	III	IV

La unidad Laterales de valles cuenta con una aptitud aceptable. Sin embargo, su posible utilización como zona de expansión urbana encuentra ciertas limitaciones que no deben ser pasadas por alto al momento de la planificación. En primer lugar, debe establecerse que la capacidad de carga de la misma es inferior a la capacidad de Divisorias, razón por la cual la ocupación no debe ser de alta densidad. La principal limitante tiene que ver con el incremento del riesgo hídrico en relación a la anterior. Las Cubetas y bajos ocupan una pequeña porción del área estudiada no es un ambiente del todo apto para la urbanización, esencialmente debido a la presencia de un nivel freático somero o aflorante.

En líneas generales, la Unidad correspondiente a Planicies aluviales y Terrazas fluviales tiene una clasificación Poco apta para la urbanización. Su morfodinámica es moderada a alta, el riesgo hídrico alto y en particular, las Planicies aluviales, son totalmente inapropiadas para la urbanización. Finalmente y en función de todos los parámetros analizados, la menor aptitud para el proceso de urbanización la exhiben las diferentes unidades correspondientes al ambiente litoral-estuarío, especialmente las relacionadas con la ingresión marina holocena. En esta zona, el riesgo hídrico es muy alto, la morfodinámica debida al efecto de sudestadas en el Río de la Plata es elevada, los materiales superficiales presentan problemas geotécnicos importantes debido a la presencia de arcillas expansivas (como puede verse en la zona de Hudson) y el nivel freático es somero en toda la unidad. Consecuentemente, este sector debería ser preservado como área natural. Lamentablemente existen ya proyectos para urbanizar sectores del mismo, lo que indudablemente acarreará inconvenientes de difícil solución.

CONCLUSIONES

El partido cuenta con una alta heterogeneidad de paisaje y variabilidad ambiental. Pese al crecimiento poblacional, el grado de naturalidad y conservación es relativamente alto, si se compara con otros sectores de la RMBA. Existen zonas urbanas y zonas rurales, algunas altamente pobladas, como también otras

con un porcentaje menor de ocupación. Asimismo, los asentamientos precarios, cuyo incremento es constante, no se limitan a algún tipo de zona en particular. Las áreas urbanas se encuentran en expansión, lo que representa una potencial problemática por no contar con la planificación pertinente, ocupar terrenos no aptos para la vivienda y la falta de servicios básicos.

Las zonas de mayor peligrosidad corresponden principalmente a las que poseen terrenos anegadizos e inestables como las planicies aluviales y la zona litoral estuaría. Las zonas de peligrosidad moderada son aquellas en las que la actividad geomorfológica es menor como es el caso de las terrazas fluviales y laterales de valle. Finalmente, las zonas de baja peligrosidad son las que presentan terrenos más altos, estables y con buena infiltración, como lo son preferentemente la planicie loésica.

La Unidad Planicie loésica representa a grandes rasgos, la zona más apta para la expansión urbana. Los sectores pertenecientes a Divisorias cuentan con los suelos más aptos para labores, ocupación y explotación. El nivel freático se encuentra a profundidad lo que evita anegamientos; la morfodinámica es moderadamente baja. Las Planicies aluviales poseen una morfodinámica elevada y el nivel de la freática está aflorando permanentemente, por lo que constituyen terrenos inestables y de alta peligrosidad. Finalmente el sector costera es el que presenta las peores condiciones para la urbanización.

Berazategui cuenta con varios sitios de importancia ecológica, como los humedales que ocupan las planicies marea y de inundación de los ríos y arroyos, los que además de un alto valor ecológico, brindan gran gama de servicios ecosistémicos, como por ejemplo amortiguar los desbordes. Su integridad se ve amenazada por falta de políticas públicas de ordenamiento territorial, que garanticen tanto la seguridad de la población como de aquellos espacios tan significativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar expresado su agradecimiento al Dr. Rubén López por su lectura crítica y sugerencias aportadas al presente trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AUGE, M. Y M. HERNÁNDEZ, 1983.
Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. *Hidrología de Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavarría, UNESCO, Vol. III: 1019-1043. Buenos Aires.*
- CAPANINNI, D. Y V. MAURIÑO, 1966. S
uelos de la zona estuaría comprendida entre Buenos Aires y La Plata.
INTA, Colección Suelos N2, 46 pp, Buenos Aires.
- CAVALLOTTO, J. Y R. VIOLANTE, 2005.
Geología y geomorfología del Río de la Plata.
En R. Barrio, R. Etcheverry, M. Caballé y E. Llambías (eds.), Geología y Recursos minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, 237-254, La Plata.
- EASNE, 1973.
Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires.
Consejo Federal de Inversiones, Serie técnica 24, 157 pp, Buenos Aires.
- GIMÉNEZ, J. E. Y M. A. HURTADO, 2012.
Geomorfología y suelos de la Reserva Natural Punta Lara.
En I. Roesler, y M.G. Agostini (eds.), Inventario de los vertebrados de la Reserva Natural Punta Lara, provincia de Buenos Aires, Argentina. Temas de Naturaleza y Conservación, Monografía de Aves Argentina N°8: 29-34, Buenos Aires, Argentina.

- GOMEZ OREA, D. (1994).
Ordenación del territorio: Una aproximación desde el medio físico, 238 pp.
Instituto Tecnológico Geo-Minero de España-Ed. Agrícola Española, S.A.
- IMBELLONE, P. y L. MORMENEO, 2011.
Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del Río de la Plata. Ciencia del suelo.
Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Vol. 29: 107-127.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS- INDEC,
República Argentina.
Disponible en <<https://www.indec.gov.ar/>>, último acceso 3 de junio de 2017.
- MARTÍNEZ, O. R.; HURTADO, M.A. Y GIMÉNEZ, J.E., 2006.
Caracterización ambiental de los humedales costeros del Río de la Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Revista UnG-Geociencias, V.5, N.1. 55-64 pp
- PEREYRA, F., 2011.
Estudio geocientífico aplicado al Ordenamiento territorial.
Junín de los Andes. Anales 51, 121 pp, SEGEMAR.
- PEREYRA, F.; CASANOVA, C. Y F. PAGNANINI, 2017.
Hojas Geológicas Buenos Aires 3557-1 y José C. Paz 3560-II. 1-112 pp.
Provincia de Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- PEREYRA, F.X., 2004.
Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (3):445-467.
- SÁNCHEZ, S. D., 1997.
Estudio hidrológico ambiental de la cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos Partidos de Berazategui y Florencio Varela (Provincia de Buenos Aires).
143 pp, Universidad de Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL,
República Argentina.
Disponible en <<https://www.smn.gob.ar/>>, último acceso, 11 de diciembre de 2017.
- SCHNACK, E., ISLA, F, DE FRANCESCO, F, Y E. FUCKS, 2005.
Estratigrafía del Cuaternario Marino Tardío en la provincia de Buenos Aires.
En R. Barrio, R. Etcheverry, M. Caballé y E. Llambías (eds.), Geología y Recursos minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, 159-182, La Plata.
- SUBSECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, 1981.
Evaluación de los recursos hídricos del Sistema metropolitano bonaerense.
Ministerio de Salud Pública y Medio Ambiente de la Nación, 220 pp. Buenos Aires.
- VILLARREAL, 2012.
Calidad ambiental de la cuenca del Arroyo Pereyra.
Proyecto PNUD-FREPLATA. Centro de investigación del Medio Ambiente. 1-57 pp, Universidad Nacional de La Plata.



Peligro de contaminación del acuífero freático en la localidad balnearia de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Contamination hazard of the phreatic aquifer in the Monte Hermoso city, Buenos Aires province, Argentina.

Ruffo, Andrés Gabriel ^{1,2} ✉ - Lafont, Daniela^{1,3} - Carbajo, Micaela^{1,2} - Albouy, René ^{1,3} - Lexow, Claudio ^{1,3}

Recibido: 24 de mayo de 2018 • Aceptado: 06 de mayo de 2019

Resumen

El crecimiento de la población a nivel mundial implica un desafío para la gestión de los recursos hídricos subterráneos, en particular, en zonas áridas y semiáridas. A un mayor consumo de agua en el corto plazo, debe sumarse la antropización sin control de nuevas áreas, lo que resulta en un significativo deterioro del recurso, perjudicando tanto al medio ambiente como a las poblaciones que de él se abastecen. La ciudad balnearia de Monte Hermoso se ubica en la costa sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Al igual que otros centros turísticos de la costa atlántica, posee como única fuente de abastecimiento el acuífero freático alojado en los médanos costeros, el cual presenta agua dulce con calidad química apta para consumo humano. Debido a las características del medio acuífero, el hecho de introducir un contaminante al mismo no sólo conlleva un deterioro en la calidad química, sino que trae consigo la inutilización de grandes volúmenes de agua. En el presente estudio, utilizando metodologías mundialmente aceptadas, se determinó el peligro de contaminación del acuífero freático, a partir de la interacción entre su vulnerabilidad y los diferentes índices de carga contaminante (ICC). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, el Peligro de Contaminación del acuífero freático de la localidad balnearia de Monte Hermoso clasifica como "Alto". Es así, que surge la necesidad de incluir estos resultados, en un plan integral de gestión del recurso hídrico subterráneo, con el fin de anticipar conflictos y minimizar impactos negativos sobre la población y el medio ambiente.

Palabras claves: Monte Hermoso, peligro de contaminación, acuífero freático.

Abstract

Particularly, in arid and semi-arid areas world population growth implies a challenge for the management of groundwater resources. A greater water consumption in a short term added to the uncontrolled anthropization of new

1. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur.
Av. Alem 1253 - Cuerpo B'. Piso 2° (8000) Bahía Blanca.

✉ andres.ruffo@uns.edu.ar

2. CONICET. CCT Bahía Blanca. Camino La Carrindanga Km 7
(8000) Bahía Blanca.

3. CGAMA-CIC-UNS. San Juan 670 (8000) Bahía Blanca

areas, result in a significant deterioration of the resource. In this way, the environment and the populations that are supplied with water resources are harmed. Monte Hermoso is a tourist city located on southwest coast of Buenos Aires province. Today, the only source of water supply is the phreatic aquifer housed in the coastal dunes. The groundwater is fresh water and of chemical quality suitable for human consumption. Due to the characteristics aquifer, a pollutant introduction causes deterioration in chemical quality, and results in the non-use of water large volumes. Using a world-accepted methodology (the interaction between the aquifer vulnerability and calculated pollutant load indexes) the contamination hazard of the groundwater was determined. Considering the obtained results, the contamination hazard of the phreatic aquifer classifies as "High". Thus, there is a need to include these results in a comprehensive management plan for groundwater resource. This will allow to anticipate conflicts and to minimize negative impacts on the population and the environment.

Keywords: Monte Hermoso, contamination hazard, phreatic aquifer.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los usuarios y encargados de la gestión del agua, han tomado conciencia, en los últimos años, acerca de la vulnerabilidad y deterioro de los recursos hídricos subterráneos, dándole la motivación para corregir dicha situación. Es muy importante contar con una perspectiva de explotación racional y sustentable, en base al conocimiento hidrogeológico para garantizar una gestión y planificación eficientes. El uso del agua subterránea se debe realizar armonizando los aspectos sociales, económicos y ambientales, siendo fundamental la participación activa de la comunidad, así como también el compromiso político.

La localidad balnearia de Monte Hermoso, en la provincia de Buenos Aires, se halla en pleno crecimiento y desarrollo. Se caracteriza por presentar una marcada estacionalidad turística, lo que implica una mayor demanda de agua durante la temporada estival, coincidiendo con la estación de menores precipitaciones. Según el último censo (INDEC, 2010) cuenta con 6.494 habitantes. Con respecto a la población en temporada veraniega, el municipio considera un promedio de 6 personas por cada una de las 11.338 partidas habitacionales, lo que implica unos 70.000 habitantes, sin considerar la población excursionista (Di Martino, 2014).

Al igual que otras localidades de la costa atlántica, Monte Hermoso posee como única fuente de abastecimiento, para consumo humano, el agua subterránea alojada en los médanos costeros. Por tal motivo, es de fundamental importancia contar con un inventario de las actividades que se desarrollan en la localidad, y en su área de influencia, que puedan afectar al recurso hídrico subterráneo de una u otra manera y que podrían poner en riesgo su sustentabilidad en términos de cantidad o calidad.

Lexow et al. (2016) reconocieron actividades que fueron inventariadas como "amenazas antrópico-contaminantes" en el sentido que definió Lavell (1994). De acuerdo a este autor, son aquellas relacionadas a procesos de contaminación derivados de derrames, efluentes cloacales o basurales a cielo abierto, que lixivian y contaminan acuíferos, como también a procesos de eliminación o depósito de desechos líquidos y sólidos, de origen doméstico, sin canalización o procesamiento, etc. Es así que se identificaron en la localidad costera: el basural a cielo abierto, las lagunas de estabilización de los efluentes cloacales, el sistema de saneamiento público, los sectores con sistema de saneamiento in situ, las estaciones de servicio y los posibles derrames accidentales. Los índices de carga contaminante (ICC) determinados en dicho

estudio muestran que los mayores valores estarían relacionados con el basural a cielo abierto y los sectores carentes de servicios cloacales. Estos resultados evidencian la necesidad de avanzar con el proyecto del relleno sanitario y la cobertura total de la red de saneamiento público.

El objetivo del presente trabajo es determinar el peligro de contaminación del acuífero, entendiéndose al mismo como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero (Foster e Hirata, 1988). Cabe recordar que la vulnerabilidad a la contaminación es el conjunto de características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante (Foster, 1987).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación geográfica

La localidad turística de Monte Hermoso se encuentra ubicada en el Sur de la Provincia de Buenos Aires, en los 38° 59' 33" de latitud Sur y a 61° 15' 55" de longitud Oeste. Es cabecera del partido homónimo, que limita al Sur con el Océano Atlántico, al Norte y al Este con el Partido de Coronel Dorrego y al Oeste con el Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales (Figura 1).

El área urbanizada comprende una extensión de unas 186 ha. Presenta una disposición longitudinal que sigue la zona costera sobre un sistema de dunas poco elevado, entre las cotas de 8,9 m al Oeste y 16,9 m al Este. Se encuentra rodeada por un cordón medanoso de aproximadamente 7 Km de ancho, que la separa del interior llano. El acceso al partido de Monte Hermoso se realiza por la ruta Nacional N° 3, que luego empalma con la ruta Provincial N° 78, finalizando en el centro urbano.

Caracterización del medio físico

La localidad de Monte Hermoso presenta un clima sub-húmedo mesotermal, con una temperatura media de 15,2 °C y una precipitación media de 637 mm. Teniendo en cuenta la zonificación hidrogeológica de la provincia de Buenos Aires, el área se ubica en la región costera (Auge, 2003; González, 2005), la cual engloba las barreras medanosas bonaerenses. Esta región se caracteriza por una marcada relación entre dichas manifestaciones geomorfológicas y el almacenamiento de agua subterránea.

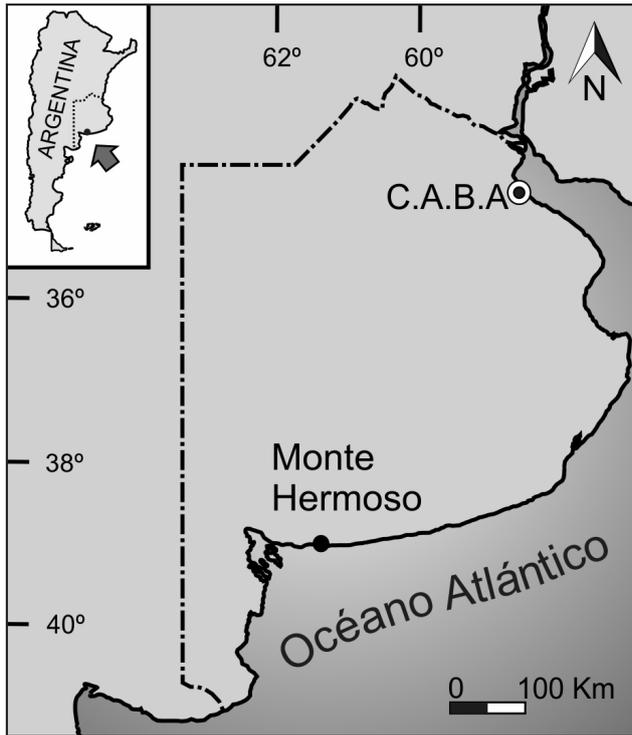


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

La barrera medanosa austral se extiende sin interrupciones desde la localidad de Miramar hasta la ciudad de Punta Alta. Se compone principalmente por arenas eólicas cuya formación se relaciona íntimamente con las fluctuaciones del nivel del mar durante el cuaternario (Isla et al., 1996). El agua subterránea que se encuentra en dicha barrera resulta, en muchos casos, la única fuente de agua dulce que alimenta los balnearios costeros. En el área de estudio los médanos se presentan mayormente fijos por vegetación o antrópicamente por construcciones urbanas, encontrándose en proximidades a la costa, sectores de médanos o dunas activas.

El acuífero freático se aloja en los sedimentos que conforman los médanos costeros, estos presentan intercalaciones de arenas finas a medias, niveles ricos en conchillas, brechas y finas capas

de arcillas. Dichos sedimentos se apoyan sobre la Formación Monte Hermoso (Zavala 1993), la cual forma parte de los conocidos “sedimentos pampeanos” y actúa como hidroapoyo del sistema.

En lo que respecta a la hidrodinámica se reconocen dos flujos de agua subterránea, uno local, somero, que se encuentra emplazado sobre un flujo regional más profundo. El primero responde a controles geomorfológicos, generando domos con flujos divergentes (tanto hacia el continente como hacia el mar) y sectores locales de descarga en la zona intermedanosa, para luego culminar en el mar. El segundo posee su descarga directamente hacia el mar argentino. La zona de transición entre la llanura continental, la cual posee agua con mayor contenido de sales y el cordón medanoso, genera una interface agua salobre/agua dulce. El mismo fenómeno se presenta en la zona litoral, siendo en este caso una interface agua dulce/agua salada (Figura 2). El acuífero freático costero almacena aguas dulces, bicarbonatadas sódicas, aptas para consumo humano.

METODOLOGÍA

En primera instancia se procedió a determinar el índice de vulnerabilidad, mediante la implementación del “método GOD” (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988). Esta metodología es de tipo multiplicativo, con el objeto de facilitar su aplicación y de extenderlo a áreas con menos disponibilidad de datos. La vulnerabilidad se estima multiplicando los índices asignados a los parámetros G, O y D (Tabla 1). De acuerdo al valor determinado, la vulnerabilidad de un acuífero clasifica como ínfima (0-0,1); baja (0,1-0,3); moderada (0,3-0,5); alta (0,5 a 0,7) y extrema (0,7-1).

Tabla 1. Componentes del Índice GOD.

G	Groundwater occurrence. Régimen hidráulico del agua subterránea: evalúa el tipo de acuífero (libre, semiconfinado, confinado).
O	Overall acuífer class. Naturaleza del acuífero: litología y grado de consolidación del acuífero y/o zona no saturada.
D	Depth to groundwater table. Profundidad del agua subterránea: profundidad del nivel freático, asignando mayores índices a profundidades menores o más cercanas a la superficie.

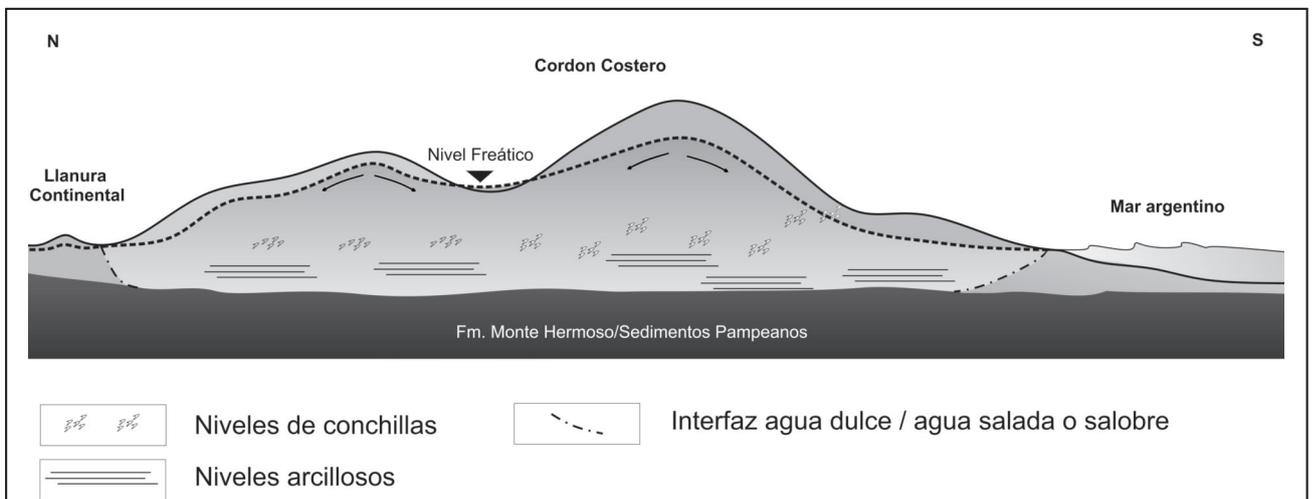


Figura 2. Esquema teórico de la hidrogeología en sectores de médanos costeros.

Por otro lado, se consideraron los índices de carga contaminante (ICC) determinados en estudios previos (Lexow *et al.*, 2016) siguiendo la metodología propuesta por Foster e Hirata (1988). El peligro a la contaminación del acuífero se determinó a partir de la interacción entre la vulnerabilidad y los diferentes índices de carga contaminante calculados anteriormente.

Finalmente, se elaboró para la localidad de Monte Hermoso y sectores aledaños, un mapa de vulnerabilidad y peligro de

contaminación, mediante el uso del programa de sistema de posicionamiento geográfico ArcMap (Versión 10.3.1).

RESULTADOS

En base a información antecedente y datos relevados en campo, se comprobó que, en la mayor parte del área, los niveles freáticos se encuentran a profundidades menores a los 5 mbbp (Tabla 2).

Tabla 2. Puntos de agua relevados.

Punto de Agua	Coordenada S	Coordenada O	Profundidad del nivel freático (m)
Pozo Basural	38° 58' 16,7"	61° 19' 18,5"	2,45
Pozo 1 Camp Bombeo	38° 58' 41,2"	61° 17' 49,4"	3,3
Pozo 2 Camp Bombeo	38° 58' 39,1"	61° 17' 52,2"	3,9
Pozo 3 Camp Bombeo	38° 58' 39,2"	61° 17' 47,1"	3,38
Pozo 4 Camp Bombeo	38° 58' 36,3"	61° 17' 48,5"	3,3
Pozo 1 Pinar	38° 58' 44"	61° 17' 07"	3,23
Pozo Polideportivo	38° 58' 30,9"	61° 17' 13,2"	4,7
Ojo de agua sector laguna de efluentes	38° 57' 15,10"	61° 15' 21,85"	0
Ojo de agua sector laguna de efluentes	38° 57' 14,66"	61° 15' 23,26"	0
Ojo de agua sector laguna de efluentes	38° 57' 31,89"	61° 16' 26,06"	0
La olla	38° 59' 13,98"	61° 20' 10,69"	0
Casa Estancia MV	38° 57' 55,7"	61° 21' 42"	2,6
Casa Dr.Ferraro	38° 59' 11,33"	61° 17' 57,49"	3,2

Mediante la utilización del método GOD se obtuvo para el área de estudio un valor de vulnerabilidad del acuífero de 0,54 clasificando como "alta" (Figura 3).

En la Tabla 3 se muestran los ICC determinados por Lexow *et al.* (2016). En dicho estudio se identificaron como fuentes de contaminación de tipo difusa-multipuntual: el área urbana con servicios de cloacas (Ucc) y las áreas residenciales sin servicio de cloacas (Usc) y como fuentes de contaminación puntual: las lagunas de estabilización de los efluentes cloacales

(Le), la disposición de los residuos sólidos urbanos en el basural a cielo abierto (Rs) y las estaciones de servicio (Es).

A partir de estos ICC y la vulnerabilidad determinada, el Peligro de Contaminación del acuífero freático de la localidad balnearia de Monte Hermoso clasifica como "Alto" (Figura 4).

En la Figura 5 se presenta el área de estudio donde se indican los distintos sectores tenidos en cuenta para la asignación de los ICC y el mapa de vulnerabilidad y de peligro de contaminación obtenidos.

Tabla 3. Caracterización de las cargas contaminantes (Lexow *et al.*, 2016)

TIPO DE ACTIVIDAD	TIPO DE CONTAMINANTE	CLASIFICACION DEL CONTAMINANTE				ICC		
		CLASE	INTENSIDAD	MODO	DURACION	VALOR	CLASIFICACION	
Ucc	NO ₃	1	0,4	0,5	1	0,73	elevado	
Usc	NO ₃	1	0,5	0,6	1	0,78	elevado	
Le	NO ₃	1	0,3	0,3	0,9	0,63	elevado	
Rs	a	1	0,3	0,8	0,9	0,75	elevado	
b	b	Metales pesados	0,2	0,3	0,8	0,9	0,55	moderado
Es	Hidrocarburos	0,6	0,4	0,8	0,5	0,58	moderado	

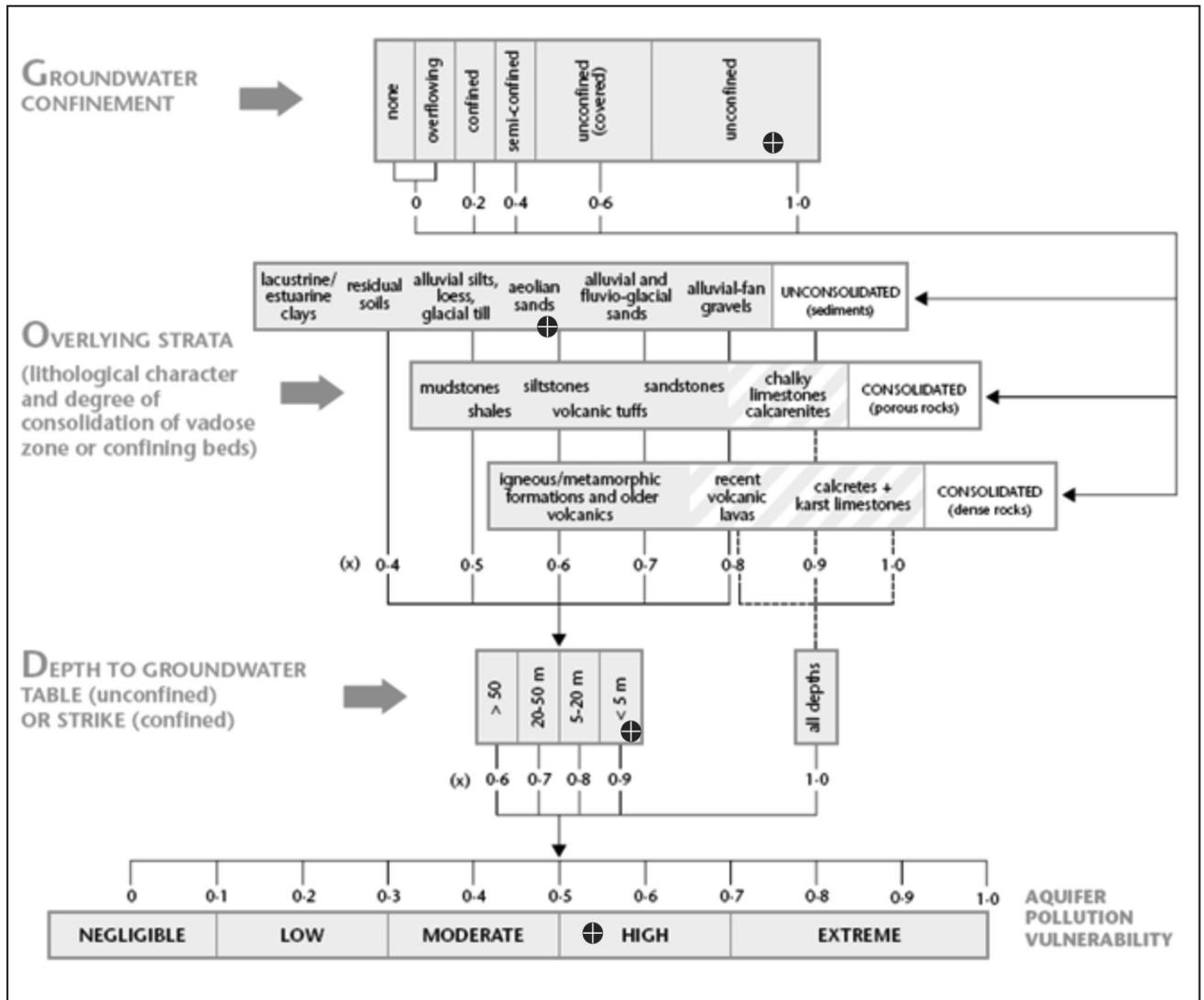


Figura 3. Método GOD (modificado de Foster e Hirata, 1988). Los círculos negros con cruces blancas indican el índice asignado a cada parámetro y el valor de vulnerabilidad obtenido.

PELIGRO		Vulnerabilidad				
		Ínfima	Baja	Moderada	Alta	Extrema
ICC	Reducido	MB	MB	B	M	A
	Moderado	MB	B	M	A	A
	Elevado	B	M	A	A	E

Ucc
 Usc
 Le
 Rsa
 Rsb
 Es

Figura 4. Peligro de contaminación del acuífero MB: muy bajo; B: bajo; M: moderado; A: alto; E: extremo.

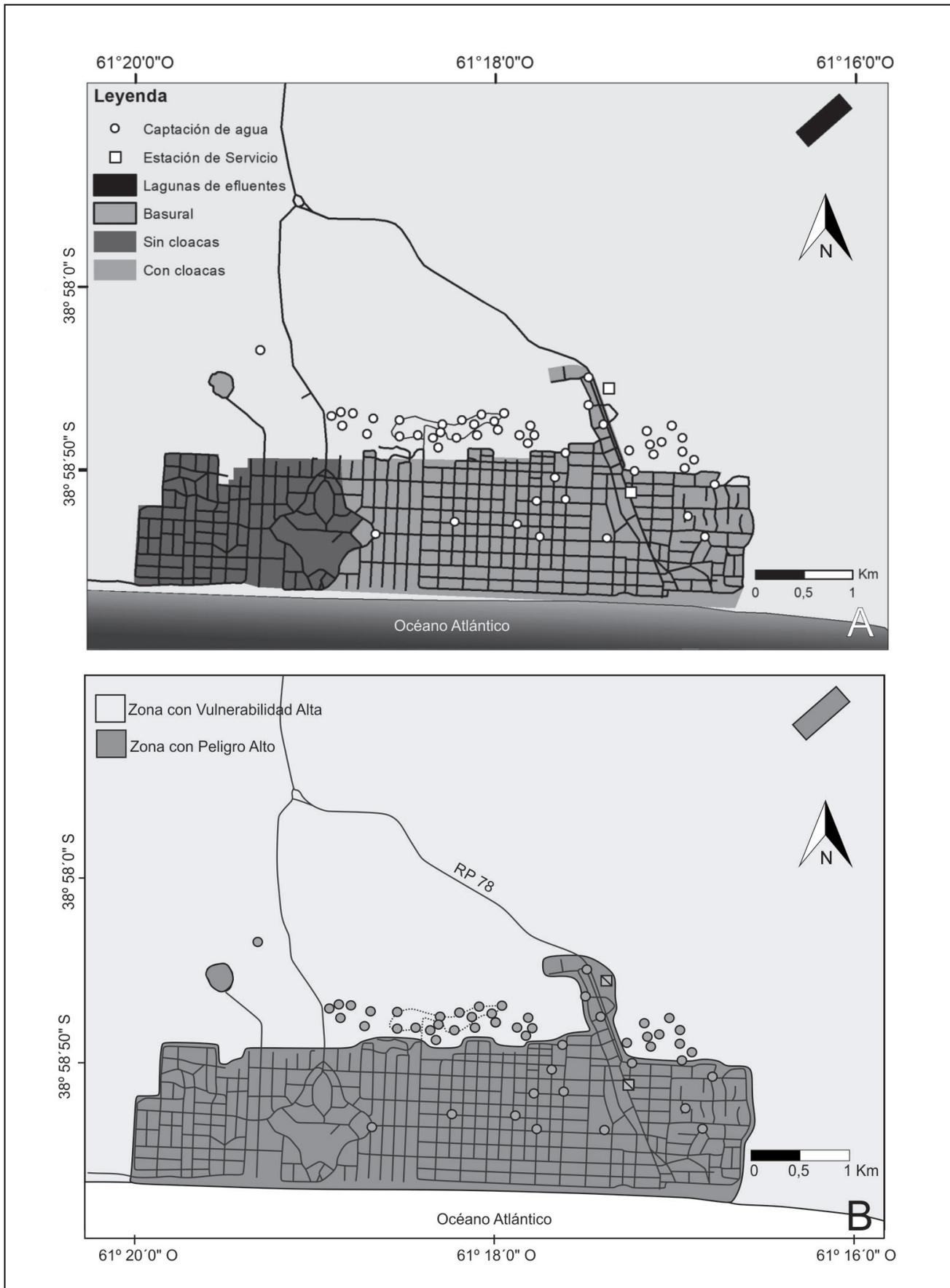


Figura 5. Mapas del área de estudio. A- Se identifican las distintas zonas analizadas para los cálculos de ICC. B: Mapa de vulnerabilidad y peligro de contaminación del área de estudio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Todos los centros urbanos del mundo tienen en común, por un lado, el consumo de agua tanto para suministro humano, riego o industria, y por otro, la generación de residuos o efluentes. Esta interacción puede producir cambios en el ciclo hidrológico y la contaminación del recurso hídrico, a veces remediable, otras tantas no.

La contaminación del agua superficial es, en muchos casos, visible y evidente, lo que posibilita su rápida identificación. Esto permite actuar sobre las fuentes de contaminación con tareas de remediación para eliminarlas o atenuar sus consecuencias. Dichas características no son comunes al agua subterránea, ya que, como es sabido, se trata de un recurso hídrico generalmente no expuesto, distribuido en mayores extensiones de terreno y explotado de manera dispersa y muchas veces sin control.

Si bien el modo de yacencia y las características físicas de la zona no saturada proporcionan al agua subterránea una mayor protección natural a la contaminación, una vez producida ésta, su regeneración suele ser más lenta, costosa y en algunos casos imposible. La contaminación no sólo afecta la química del agua, sino que, disminuye notablemente el recurso disponible, es decir la cantidad de agua que puede ser aprovechada de manera sustentable por el hombre, cuestión vital para zonas como Monte Hermoso, donde el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento para todo uso. La problemática del agua afecta a toda la población del mundo, siendo el consumo de agua

contaminada, la mayor causa de enfermedades como el cólera, la hepatitis y la fiebre tifoidea entre otras.

Dado que tanto los acuíferos, como las actividades que se realizan sobre ellos, no son homogéneos, es de vital importancia contar con un inventario de actividades potencialmente contaminantes y estudios sobre el medio físico donde son llevadas a cabo. De esta manera la aplicación en conjunto de la metodología GOD con el análisis de los ICC, resulta una forma económica y relativamente sencilla de visualizar el peligro de contaminación al cual se encuentra expuesta una zona determinada. No se debe perder de vista que esta metodología es sólo el primer paso para evaluar el peligro de contaminación al que se encuentran expuestas las aguas subterráneas y bajo ningún punto de vista debe sustituir los controles periódicos de campo ni el monitoreo de pozos.

A partir de los estudios realizados sobre el acuífero freático de la localidad de Monte Hermoso, el mismo clasifica como de "alto" grado de vulnerabilidad y teniendo en cuenta los ICC moderados a elevados, la interacción entre ambos da como resultado un peligro de contaminación "Alto". De esto surge la utilidad de este tipo de estudios para aplicar en los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua.

Teniendo en cuenta estos resultados, se pone de manifiesto la importancia de contar con un plan integral de gestión de recursos hídricos subterráneos, con el fin de anticipar conflictos y minimizar impactos negativos sobre la población y el medio ambiente.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AUGE, M. 2003.
Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe.
Universidad de Buenos Aires: 1-122. Buenos Aires.
- DI MARTINO, C., 2014.
Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina.
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. UTN FRBB. 138 p y Anexos.
- FOSTER, S., 1987.
Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy.
Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- FOSTER, S. E HIRATA, R., 1988.
Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.
WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81 pp.
- GONZÁLEZ, N. 2005.
Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires.
En de Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé M. y Llambías, E. (eds.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 359-374, La Plata.
- INDEC, 2010.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/>
- ISLA, F.I.; CORTIZO, L.C. Y SCHNACK, E.J., 1996.
Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires.
Quaternary Science Reviews 15:833-841.
- LAVELL, A., 1994.
Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina.
Capítulo 2: Degradación ambiental, riesgo y desastre Urbano. Ed. FLACSO. LA RED-CEPREDENAR. Argentina.

LEXOW, C.; DI MARTINO, C.; LAFONT D.; ALBOUY R. Y MARCOS, A., 2016.

Caracterización de la carga contaminante al acuífero freático - fuente de abastecimiento de la localidad de Monte Hermoso.

IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Catamarca, Argentina.

ZAVALA, C. Y NAVARRO, E., 1993.

Depósitos fluviales en la Formación Monte Hermoso (Plioceno inferior-medio). Provincia de Buenos Aires.

XII congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos.



Relación entre datos geomecánicos medidos en ensayos spt y resistividad del subsuelo en la fm. Ubajay, Entre Ríos, Argentina

Relationship between geomechanics data measurement in spt test and resistivity of the subsoil in Ubajay fm., Entre Ríos, Argentina

Chury, Mario R. H.¹ ✉ - Silva Busso, Adrián A.^{1, 2, 3}

Recibido: 21 de junio de 2018 • Aceptado: 13 de mayo de 2019

Resumen

Este estudio es una primera aproximación de la relación entre la resistividad del subsuelo y sus características geomecánicas. En principio, se busca correlacionar el número de golpes y la humedad con la resistividad. El número de golpes y contenido de humedad son indicadores de la cohesión y arreglo interno de las partículas del suelo. En coincidencia con otros autores, entendemos que la medición de la resistividad de subsuelo es un método accesible para ser empleado con este fin y generar un modelo de correlación entre las propiedades geoeléctricas del subsuelo y sus características geomecánicas. Para llevarlo a cabo, considerando que la comparación de resultados puede resultar compleja en principio, se ha elegido una unidad geológica en particular la denominada F. Ubajay. Se busca de esta forma tener características geológicas lo más homogéneas posibles que facilite las interpretaciones y permita analizar comportamiento resistivo lo más claramente posible. Se encontraron correlaciones locales muy favorables entre el número de golpes y la resistividad ($r^2 = 0,66 - 0,98$) a partir de curvas de regresión sencillas polinomiales de segundo grado. Sin embargo, de forma regional los valores de correlación son bajos ($r^2 = 0,11 - 0,17$) y la dispersión es grande. De forma que no se ha encontrado un mecanismo de correlación aplicable a todos en su conjunto, pero sí en cada sondeo en particular, aspecto no mencionado en la escasa bibliografía disponible.

Palabras clave: Resistividad eléctrica; Geoeléctrica; Geomecánica; Correlación.

Abstract

This study is a first approximation of the relationship between the resistivity of the subsoil and its geomechanics characteristics. In the first way, we search correlate the number of strokes and humidity with resistivity. The number of blows and moisture content are indicators of the cohesion and internal arrangement of soil particles. In coincidence

1. Universidad Tecnológica Nacional Regional Concordia (FRCON), Entre Ríos.

✉ mrhchury@frcon.utn.edu.ar

2. DSH - Instituto Nacional del Agua (INA), Autopista Ezeiza Cañuelas - empalme J. Newbery Km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires (Tel 011-44804500 int 5314) pntsas@ina.gov.ar

3. Dpto. Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón II, Primer Piso, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

with other authors, we understand that the measurement of subsoil resistivity is an accessible method to be used for this purpose and to generate a correlation model between the geoelectric properties of the subsoil and its geomechanics characteristics. To carry it out, considering that the comparison of results can be complex in principle, a geological unit has been chosen the Ubajay Formation. In this way, we have the most homogeneous geological characteristics possible to facilitate the interpretations and allow analyzing resistance behavior as clearly as possible. Very favorable local correlations were founded between the number of strokes and resistivity ($r^2 = 0.66 - 0.98$) from simple polynomial regression curves of second degree. However, in a regional way the correlation values are low ($r^2 = 0.11 - 0.17$) and the dispersion is large. In such a way, that no correlation mechanism has been found applicable to all as a whole, but if in each particular survey, aspect not mentioned in the scarce bibliography available.

Keywords: Electrical resistivity; Geoelectric; Geomechanics; Correlation.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Este trabajo comprende una región ubicada en la zona oriental de la provincia de Entre Ríos, de norte a sur entre las localidades de Ayuí-Concordia-Puerto Yeraú y de este a oeste entre el margen occidental del río Uruguay y la ruta Nacional 14, en el Departamento de Concordia, Provincia de Entre Ríos, Argentina (Figura 1). La zona se encuentra en un área de transición entre el clima subtropical y templado sin estación seca durante el año. Las temperaturas medias son de 26°C en verano y 13°C en periodo de invierno, siendo la temperatura media anual de 20-21°C.

La realización de importantes obras de estructuras en ingeniería civil, requieren esencialmente la determinación de las propiedades mecánicas del suelo para su correcta fundación. Por ello las propiedades del suelo, tales como su origen geológico, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, entre otras son determinantes en la fundación de las obras civiles. En muchos casos estos estudios requieren que se lleven a cabo ensayos tanto in situ como en laboratorio a través de muestras extraídas del lugar. Debido a que las propiedades del suelo están sujetas a una variación espacial y temporal; por medio de los métodos convencionales, la cantidad de puntos evaluados están limitados. Estos métodos además son invasivos, costosos y consumen un tiempo considerable. Por ello determinar la relación entre una propiedad indirecta del subsuelo y relacionarla con el dato que se necesita conocer puede proporcionar un método económico, no invasivo y rápido que, debidamente parametrizado, ofrece ventajas sobre los métodos tradicionales. El problema surge en que la medición sobre el subsuelo de la resistividad con el fin de obtener algunos de sus parámetros geomecánicos es un campo de investigación poco estudiado y la bibliografía aporta pocos trabajos al respecto entre ellos los de *Cosenza et al. (2006)*, *Kumari et al. (2009)*, *Fahad et al. (2012)* y *Kowalczyk et al. (2014)* y *Filho et al., (2017)*. Este estudio no trata sobre la aplicación convencional de los métodos geoelectrónicos en el sentido de interpretar capas resistivas correlacionables con la geología o hidrogeología local, sino que su objetivo principal es comenzar a estudiar las relaciones entre la resistividad del subsuelo y los parámetros geomecánicos de los mismos, aprovechando la experiencia lograda por los otros autores mencionados (op.cit.).

Una observación crítica de los estudios mencionados es la falta de datos sobre la geología, o al menos la litología, en las determinaciones realizadas. Además, algunos de ellos fueron

hechos en laboratorio con material seleccionado que no responde a las condiciones naturales de ningún terreno en particular. Por lo tanto, se procedió en principio, a establecer un conjunto de premisas que especificaran mejor el objeto de estudio. Las mismas pueden resumirse según; (1) Definir claramente el contexto geológico la formación, facie o unidad geológica que se considerará en el estudio y tomarlo como heterogéneo; (2) Usar datos de la litología a partir de las muestras de perforación proveniente de los SPT (Standard Penetration Test); (3) Realizar sondeos eléctricos verticales 1D (SEV) con mediciones in situ y no en condiciones de laboratorio; (4) Hacer los SEV de forma paramétrica, es decir en el mismo sitio en que se tomaron las muestras; (5) Interpretar las capas resistivas en clara coincidencia con los cambios litológicos en las perforaciones y (6) Tener presente que la medida de resistividad verdadera no es una media directa sino que es un dato resultante de una interpretación que se corresponde a un modelo conceptual.

Considerando estas premisas se eligió la Fm. Ubajay como objeto de estudio, en parte por sus características litológicas y en parte porque suele ser el sustrato fundacional de las obras civiles viales en el área de estudio. A tal fin se empleó información proveniente de un total de 13 ensayos de SPT junto a los cuales se realizaron los SEV-1D (sondeo eléctrico vertical) parametrizando los mismos. Debe tenerse presente que la respuesta resistiva del terreno involucra el conjunto agua-roca, de aquí que el uso de pozos paramétricos (SEV realizado en pozos de geología conocida) y el conocimiento hidrogeológico regional por parte del interprete son las dos principales fortalezas de la interpretación. Todas las mediciones fueron in situ interpretando las respuestas resistivas con un modelo de 4 capas relativamente sencillo con el fin de correlacionar los datos resistivos obtenibles con la litología, humedad y el número de golpes (SPT). Esto fue finalmente interpretado mediante un análisis estadístico de los datos que busca fundamentar las posibles correlaciones. Entendemos que así obtenemos una metodología replicable pero que debe aplicarse en cada caso considerando los aspectos geológicos involucrados.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS

La geología del subsuelo de la provincia fue en principio descrita por *Chebli et al., (1979)* interpretando que se alcanzan en profundidad niveles atribuibles a edades pérmicas, aunque con dudas, constituye el registro más profundo de la región. Posteriormente, y en particular sobre las Formaciones Serra Geral, Botucatu y Piramboia, (Triásico medio - Cretácico superior) se estableció su correlato en la R.O. Uruguay y se definieron aspectos hidrogeológicos en los trabajos de *Silva Busso*

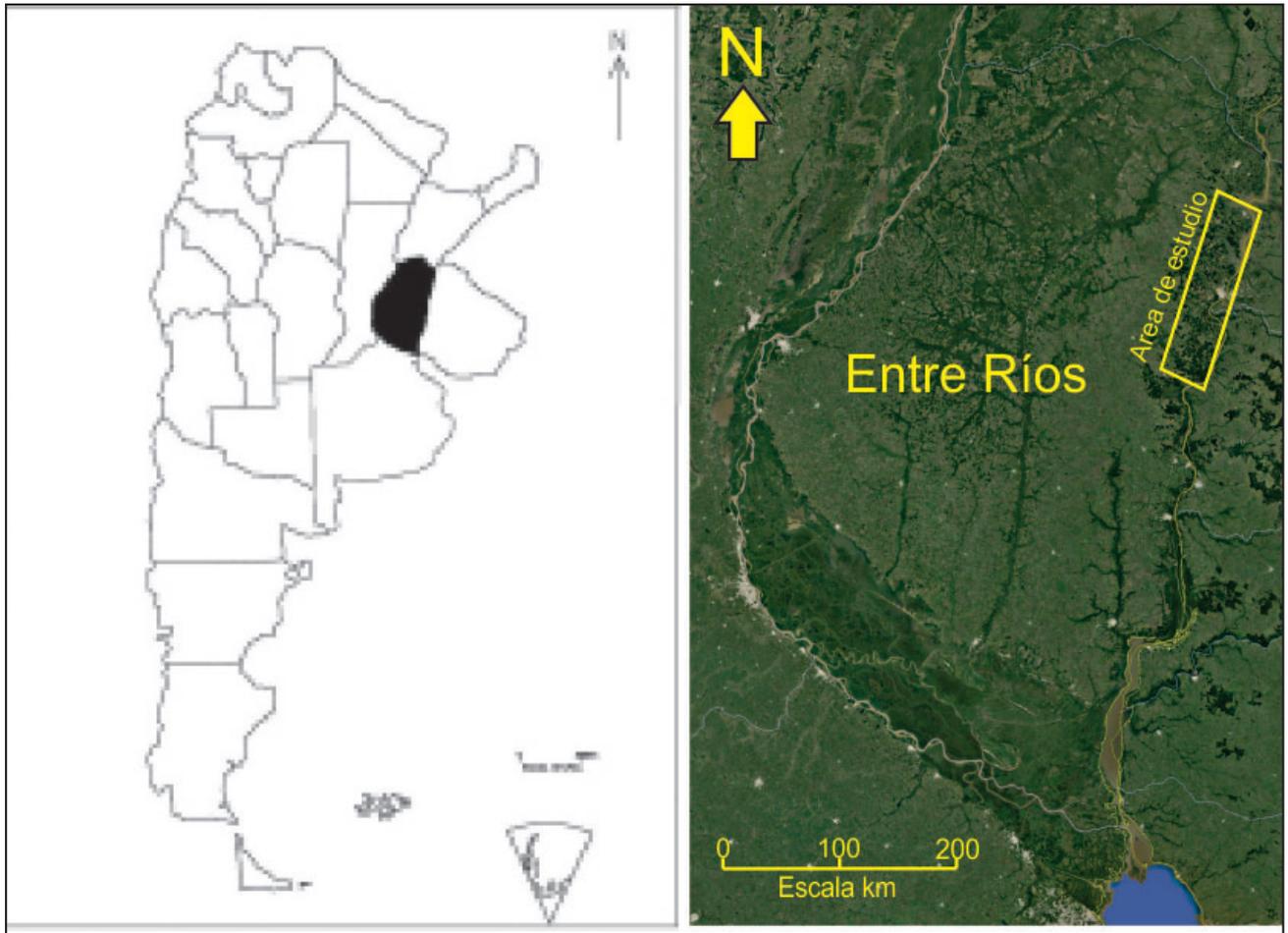


Figura 1. Localización del área de estudio.

(1999) y Silva Busso y Fernández Garrasino, (2004). También se pueden incluir algunos aportes relacionados con detalles de la litología de las secciones interbasáltica e infrabasáltica en Marsico, (2013) que no modifican sustantivamente la estratigrafía propuesta. En Silva Busso et. al., (2011) se realiza una síntesis del subsuelo suprabasáltico y su posible control estructural. El cretácico sedimentario está representado por la Formación Puerto Yerúa (De Alba y Serra, 1959) describen areniscas y brechas que afloran en la costa del río Uruguay, dichos autores son los primeros en describirla y Tófaló, (1986) determina una serie de Facies que le permiten determinar los procesos sedimentarios y ambiente deposicional de la Formación Puerto Yerúa. La F. Ascensio se describe en la zona de Colón en García (1954). El Neógeno fue estudiado por Aceñolaza (2000 y 2007) y también por Marengo (2002). Según Iriondo, (1987) la región posee bien representada la geología del terciario superior y cuaternario. Esto comprende a la Formación Salto Chico (Gentile y Rimoldi, 1979) se define como una sucesión de arenas cuarzosas, estratificadas de granulometría media a gruesa de color ocre rojizo y amarillento fueron interpretados también como depósitos fluviales del río Uruguay, pero de edad Plio-pleistoceno. La misma ingresa desde el norte entre Mocoretá y Monte Casero (Silva Busso y Amato, 2017) describe un arco que converge sobre el Río Uruguay a la actual altura de Colón (Iriondo, 1987). La otra unidad coetánea es la F. Ituzaingó (De Alba, 1953) compuesta esencialmente de dos ciclos psamíticos granoderecientes claramente separados que se considera un cambio lateral de

facies hacia el poniente entrerriano con respecto a la mencionada F. Salto Chico. Con más detalle la relación estratigráfica de los sedimentos del plio-pleistoceno fluvial han sido estudiados recientemente por Silva Busso y Amato (2017). La Formación Hernandarias (Reig, 1956) constituye la cubierta cuaternaria (pleistocena) que se extiende sobre la mayor parte de la provincia, aunque en la zona casi no está representada, es importante mencionarla como límite occidental del área de estudio. Está constituida por arcillas, limos arcillosos y arcillas limosas con proporción variable de limos y excepcionalmente arenas muy finas. Suele ser de color gris plomizo, verde claro y castaño rojizo pudiendo contener concreciones calcáreas y niveles de yeso.

La Formación Ubajay, (Holocena), definida por Gentile y Rimoldi, (1979) originalmente sobre la margen derecha del Río Uruguay en cercanías del arroyo El Palmar, se compone de psefitas gruesas, arenas y limos moderadamente seleccionadas con arcillas interporales. Al igual que su litología su espesor es variable según la zona de afloramiento y suele tener espesores entre 2 - 15m. La misma fue interpretada por Iriondo (1980) como de origen fluvial siguiendo la migración predominante hacia el este del río Uruguay y niveles de base más altos que los actuales, definiéndola como la terraza alta del río Uruguay (Iriondo, 1987). Un estudio de más detalle sobre el ambiente de sedimentación lo presentan Silva Busso y Amato, (2013). Estos autores caracterizan esta unidad por portar sedimentos del tipo arenoso o gravo-arenoso hacia la base y arenoso fino hacia el techo, al igual que muchas secuencias de origen

tractivo-fluvial. El arreglo externo o arquitectura sedimentaria de sus depósitos tiene tendencia granodecreciente hacia arriba o lineal no definida, y puede ser clasificada como de Arquitectura Tipo Fluvial Múltiple (Ar f-M) y en algunos sectores de Arquitectura Tipo Fluvial Unitaria (Ar F-U). Si bien existen afloramientos de esta unidad en la costa del Río Uruguay y en diversos arroyos afluentes (Rossi, 2012) los principales sitios de observación, por su potencia de exposición, son las canteras de la región. Lógicamente, también se la identifica en los pozos pero el problema es que su litología es similar a las Formaciones Ituzaingó y Salto Chico. Según Silva Busso y Amato (2017) el hecho de que suele sobreimponerse a las mencionadas unidades puede provocar confusiones o la imposibilidad de establecer con precisión el pase formacional entre estas, lo que conducen en muchos casos a la falta de reconocimiento de la F. Ubajay en las interpretaciones estratigráficas.

La F. Ubajay y su relación con la F. Hernandarias tampoco se halla muy clara aún; pero la aparición e incremento de los espesores de esta última unidad al alejarnos del cauce del río Uruguay actual, hace pensar en un contacto erosivo entre los depósitos infrayacentes de la Formación Hernandarias (Silva Busso et al., 2011 y Silva Busso y Amato, 2017). Los depósitos de la F. Hernandarias pudieron haber sido totalmente erosionados hacia la costa del río Uruguay por la migración del antiguo cauce del Río Uruguay (como lo menciona Iriando 1987), para luego dar paso a la depositación de aquellos sedimentos gravo-arenosos con abundantes finos más típicos de la Formación Ubajay. Para el área de la costa argentina del río Uruguay la F. Ubajay se extiende de norte a sur desde la desembocadura del río Mocoretá hasta Punta Caballos en el Dpto. de Gualeguaychú (Silva Busso y Amato 2017), aunque estos límites aún son imprecisos y requieren de confirmación a la luz de nuevos datos. En términos generales, toda la secuencia plio-pleistocena - actual apoya en discordancia sobre los sedimentos continentales cretácicos y marinos miocenos y continentales eocenos.

Desde el aspecto aplicado la F. Ubajay presenta posibilidades acuíferas, mineras (áridos) y ventajas para las fundaciones y cimentaciones de las obras civiles. En Silva Busso y Amato (2013) se realiza una primera aproximación a sus ventajas acuíferas que, aunque poco considerada como acuífero, resulta importante desde el punto de vista de su uso actual y potencial. Las estimaciones realizadas sobre demandas, reservas y recargas determinan que la explotación del Acuífero Ubajay oscilaría entre el 3,6% de sus Reservas Reguladoras y el 15,7% de las Reservas Efectivas siendo hoy estas reservas suficientes para satisfacer ampliamente la demanda del recurso. La demanda de agua sobre el acuífero Ubajay es en un 15,07% la forestal, un 46,55% consumo humano y un 53,44% la ganadería (Silva Busso y Amato, 2013).

Según Muñoz, et al., (2010) existen importantes reservas de gravas y arena en la región. La construcción de la autovía de la ruta 14, impulsó la apertura de nuevas canteras, así como la reactivación de algunas abandonadas. No obstante, dichos autores determinan que son variables las condiciones de explotación, como por ejemplo el destape, así como el porcentaje de grava de cada yacimiento, que oscila entre un 30 y 70% en volumen determinando el porcentaje de finos. También el contraste litológico entre las dos unidades aflorantes F. Ubajay y F. Hernandarias determina que la primera resulte más conveniente al definir la traza vial. La F. Hernandarias es bien conocida por su elevada proporción de arcillas expansivas por lo que se prefiere, como el caso de la ruta 14, a la F. Ubajay como sustrato.

De aquí se deduce que este factor geológico condiciona las obras civiles viales en la región de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó previamente se realizaron 13 SEV paramétricos en las respectivas posiciones donde se realizaron otros 13 SPT. Las ubicaciones de los mismos se observan en el mapa de la figura 2. Debido a que algunos de ellos se encuentran muy cercanos entre sí y no es posible representarlos en la escala del mapa así que se han señalado las zonas y el cuadro adjunto muestra las coordenadas de cada uno de ellos en la zona de estudio.

La elección de los puntos no fue arbitraria, se seleccionaron aquellos SPT realizados sobre la F. Ubajay exclusivamente y se buscó la mejor distribución posible dentro del área de estudio. Esto determinó que de un conjunto de 32 SPT se eligieran 13 para el estudio paramétrico. Los ensayos SPT son las fuentes de información más común de los estudios de suelo, aunque no la más fiable (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

En esta dirección diversos autores han estudiado la correlación entre las resistividades y los datos provenientes de ensayos de campo como los SPT. Kumari et al. (2009), encontraron una buena correlación entre la resistividad y datos geomecánicos del suelo obtenida por medio del SPT. Fahad et al. (2012), a partir de muestras tomadas con SPT a diferentes profundidades, mostró una buena correlación entre la resistividad y su contenido de humedad. Lo mismo le sucedió entre la resistividad y su ángulo interno de fricción. Por otro lado, se obtuvo una pobre correlación entre la resistividad y el peso específico; y entre la resistividad y la cohesión. Utilizando otros ensayos de campo Cosenza et al. (2006) encuentran una buena correlación entre la resistividad y la resistencia mecánica, obtenida esta mediante el cono de penetración dinámica. En cambio, si obtuvieron una buena correlación entre la resistividad y su contenido de agua como en Fahad et al. (2012). Por otro lado, Kowalczyk et al. (2014) investigaron la relación entre la resistividad en suelos no cohesivos relacionándola con su grado de compactación. Dicho estudio lo realizaron en laboratorio, simulando suelos no cohesivos con diferentes grados de compactación e hicieron mediciones de resistividad eléctrica. Concluyeron que los métodos de resistividad eléctrica no pudieron discriminar grados de compactabilidad con una correlación significativa. Filho et al. (2017) realizan un estudio de correlación entre la resistividad eléctrica aparente del suelo, la humedad, la compactación del suelo y el contenido de arcilla. El objetivo principal de este trabajo era desarrollar una metodología para correlacionar el contenido de agua en el suelo, el contenido de arcilla y la compactación con las propiedades eléctricas del suelo, medida por métodos de prospección geoelectrica. Concluyen en que la resistividad varía considerablemente con el cambio en el contenido de humedad del suelo, pero también disminuye con el aumento del contenido de arcilla, o sea con suelos más cohesivos.

Estas experiencias indican que la posibilidad de encontrar correlaciones y resultados favorables en el empleo de métodos geoelectricos y características mecánicas de los suelos ofrece diversas posibilidades interpretativas. Siguiendo esta línea de análisis y en una primera etapa hemos tomado la litología descrita según la SUCS y el número de golpes de los SPT disponibles con la intención de buscar correlaciones significativas. Los datos se presentan en la tabla 1.

Los SEV (sondeos eléctricos verticales) de la figura 3 son de carácter paramétrico debido a que su posición está en función

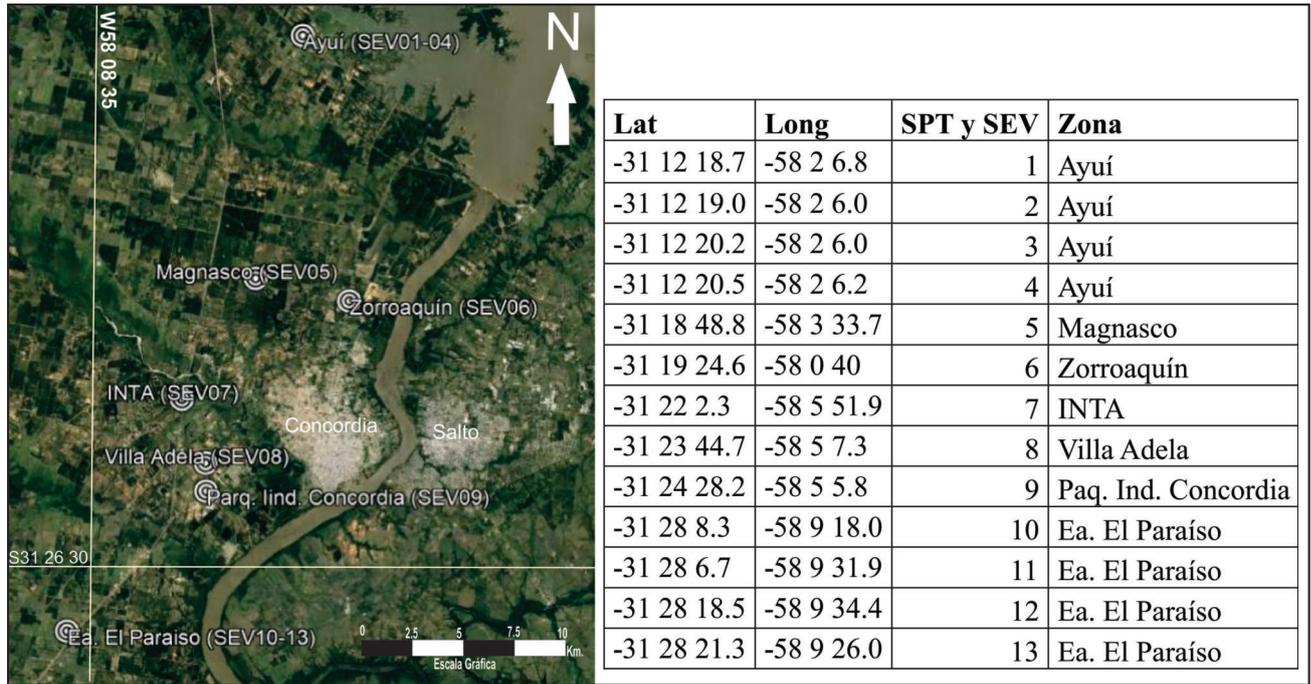


Figura 2. Puntos paramétricos SPT y SEV y cuadro adjunto con las coordenadas de los mismos.

Tabla 1. Ensayo (SPT), profundidad (Pm), número de golpes (G) y clasificación (SUCS)

SPT	P(m)	G	SUCS	SPT	P(m)	G	SUCS	SPT	P(m)	G	SUCS	SPT	P(m)	G	SUCS
1	0,75	11	SC	5	0,75	10	CH	9	0,75	7	SM	13	0,75	3	SP
	1,75	17	SC		1,75	9	CH		1,75	6	SC		1,75	8	SP
	2,75	20	SP		2,75	16	SC		2,75	12	SC		2,75	12	SP
	3,75	12	SP		3,75	22	SM		3,75	13	SP		3,75	14	SP
	4,75	18	SM		6	0,75	16		SC	4,75	34		SC	4,75	15
2	0,75	9	SC	7	1,75	17	SC	10	0,75	2	SP				
	1,75	14	SM		2,75	11	SC		1,75	11	SP				
	2,75	12	SP		3,75	10	SM		2,75	9	SP				
	3,75	12	SP		4,75	10	SP		3,75	13	SP				
	4,75	12	SP		7	0,75	7		SC	4,75	15				
3	0,75	3	SC	8	1,75	9	SC	11	0,75	15	SC				
	1,75	13	SC		2,75	15	SC		1,75	21	SC				
	2,75	22	SP		3,75	34	SM		2,75	13	SP				
	3,75	17	SP		0,75	8	SC		3,75	16	SP				
	4,75	14	SP		1,75	8	SC		4,75	20	SP				
4	0,75	9	SC		2,75	18	SM	12	0,75	11	SC				
	1,75	9	SC		3,75	15	SC		1,75	8	SC				
	2,75	19	SM		4,75	16	SM		2,75	8	SC				
	3,75	23	SP						3,75	11	SP				
	4,75	16	SP						4,75	10	SP				

de las zonas donde existía información de los SPT. Las curvas de campo obtenidas fueron en general de buena calidad ya que no aparecieron datos anómalos. La información recopilada de las descripciones litológicas de los SPT es utilizada para el ajuste paramétrico de las respectivas posiciones medidas y para una mejor interpretación global del esquema litológico de la zona. Como el tendido es constante en longitud (AB/2=27m) la profundidad de alcance está acotada a rangos entre 12 -15 mbbp

de forma que las curvas de resistividad aparente de los SEV han permitido interpretar la disposición de los niveles resistivos e identificado hasta cuatro capas resistivas en correlación con las descripciones litológicas dentro de este intervalo. La distribución de los horizontes resistivos en superficie y profundidad es muy variable en espesores, profundidades, pero la salinidad de las aguas de los acuíferos es relativamente la misma entre 250-300 mg/l.

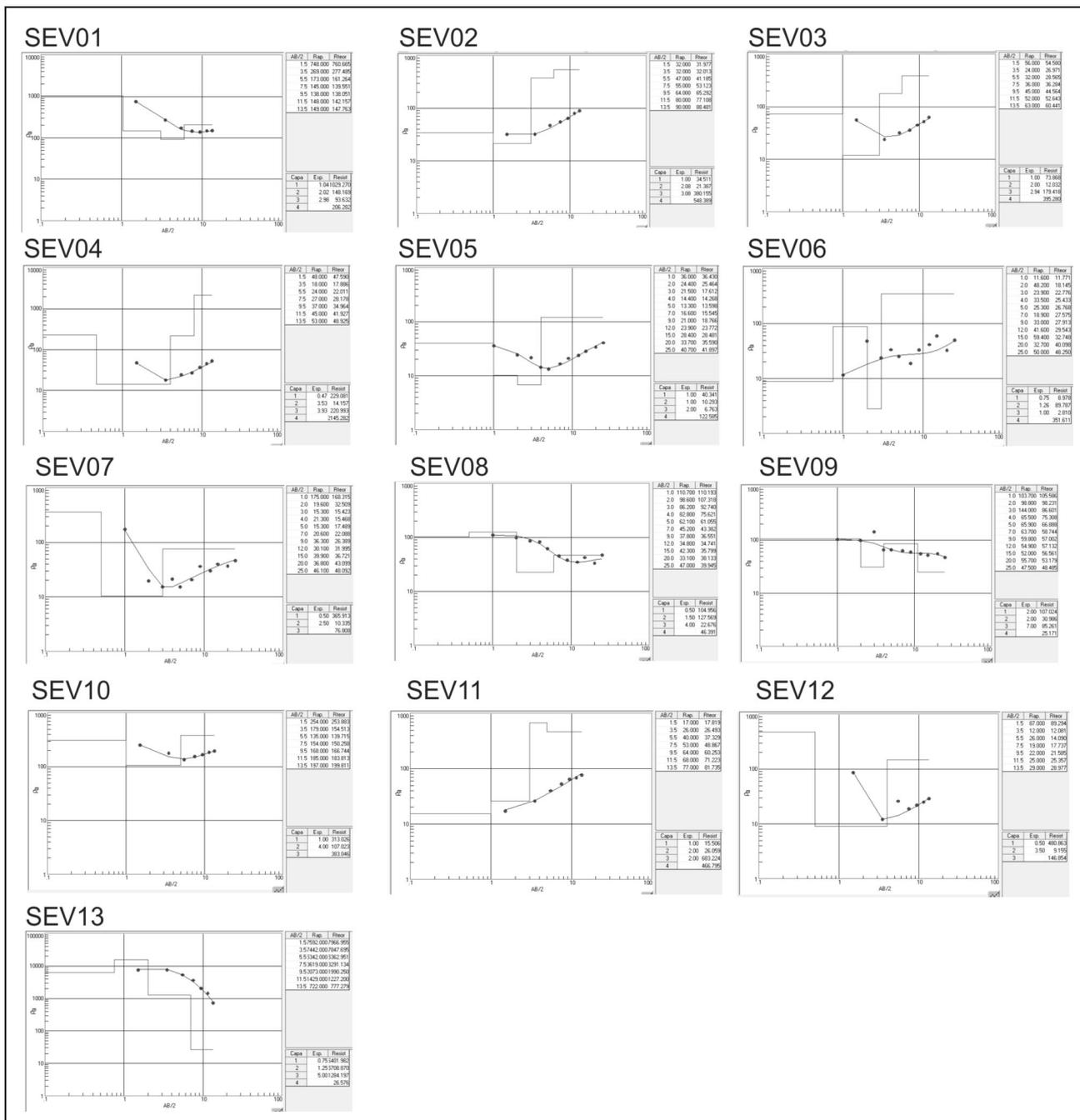


Figura 3. Diagramas de los SEV-1D parametrizados con los SPT.

Las unidades resistivas se han interpretado bajo los siguientes criterios, (1) la zona no saturada es relativamente poco potente, (2) la zona saturada contiene aguas que son normalmente dulces, (3) las litologías establecen en principio los cambios significativos de resistividad. (4) la litología es el factor más importante de las propiedades geomecánicas del suelo. A continuación, se detalla la interpretación geoelectrica donde el concepto es interpretar la disposición de los niveles resistivos en profundidad y correlacionarlos con la litología en cada SPT y en el conjunto global de datos obtenidos. El resultado es la tabla 2 que resume las diferentes resistividades de cada capa en relación directa con la litología descrita en el ensayo SPT. La correlación propuesta a continuación intenta ese vínculo interpretativo que es fundamental

para comprender las correlaciones con el número de golpes. Lo que se debe considerar es que existe un valor promedio de resistividades por capa relacionado a diferentes litologías en el contexto de cada región que puede ser interpretada de diferente forma.

Se observan cuatro litologías claramente definidas en los SPT, las Arenas arcillosas (SC), las Arenas limosas (SM), las Arenas Gravosas (SP) y las Arcillas orgánicas y plásticas (CH). Estas últimas solo se observan en un horizonte de un solo ensayo y son litologías poco frecuentes en la F. Ubajay poseen un valor de resistividad promedio de 21 ohm.m, pero la escasas del muestreo y ocurrencia no nos permite considerarla como representativa. No obstante, es la resistividad más baja y corresponde

a suelos que sería más cohesivos. Si nos concentramos en un sencillo análisis estadístico de las arenas (SC, SM y SP) notaremos que la resistividad no posee una distribución de Gauss si no que ajusta a una distribución Gamma (no tiene sentido físico que la resistividad tome valores negativos y existe cierta tendencia a que la cola de la distribución se prolongue en valores más elevados).

Esto último nos hace pensar que el valor promedio aritmético de resistividad no sería el más representativo y que un

análisis del histograma de distribución presentado en la modalidad “box plot” nos permite calcular la mediana y los valores contenidos entre los percentiles de 25 y 75 como rango de variabilidad. Este análisis se ha realizado de dos formas, una considerando todos los datos y otra suprimiendo los valores muy elevados del SPT 13 y la primera muestra del SPT 01 dado que se los considera anómalos. La razón de considerarlos así es que escasos valores de humedad en una zona no saturada muy permeable, lo que eleva notoriamente los valores de resistividad.

Tabla 2. Ensayo (SPT), clasificación (SUCS) y Resistividad (Ohm.m).

SPT	SUCS	Ohm.m									
1	SC	748	5	CH	24	9	SM	101	13	SP	7966
	SC	266		CH	17		SC	89		SP	7848
	SP	171		SC	13		SC	66		SP	5363
	SP	144		SM	15		SP	57		SP	3291
	SM	139	6	SC	18		SC	55		SP	1990
2	SC	10		SC	23	10	SP	254			
	SM	32		SC	27		SP	154			
	SP	44		SM	28		SP	140			
	SP	56		SP	28		SP	150			
	SP	68	7	SC	69		SP	167			
3	SC	57		SC	15	11	SC	18			
	SC	23		SC	17		SC	26			
	SP	28		SM	21		SP	37			
	SP	36	8	SC	95		SP	49			
	SP	45		SC	91		SP	60			
4	SC	47		SM	67	12	SC	89			
	SC	18		SC	48		SC	12			
	SM	22		SM	38		SC	14			
	SP	28					SP	18			
	SP	36					SP	22			

El resumen del análisis estadístico se observa en la tabla 3 y la figura 4, presenta los gráficos de “box plot” de los datos de resistividad. Si se analizan independientemente se verá que en el caso de considerar los valores anómalos las muestras tipo SC muestran mayor resistividad seguida por las muestras SP y las SM, sin embargo, si se eliminan los datos anómalos cambian las relaciones y las muestras SP aparecen como más resistivas seguidas de las SM y las SC. Este último resultado es más compatible con lo que conceptualmente se esperaría, es decir,

que los suelos de menor material fino y por ende, menor cohesión, (SP) poseen mayor resistividad que los de mayor material fino y resultan con mayor cohesión (SM y SC), incluso el valor de SC tiende a asemejarse a las muestras CH (21 ohm.m) claramente más cohesivas. La variación cuando se consideran los datos anómalos puede explicarse si tenemos en cuenta el papel que juega la humedad del suelo en zona no saturada, en estas muestras el nivel estático se encontraba entre 3 y 6 metros de profundidad, pero el SPT 1 y 13 están completamente en zona no saturada.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de la resistividad media en las muestras psamíticas de los SPT.

SUCS	Con datos anómalos			Sin datos anómalos		
	SC	SP	SM	SC	SP	SM
Resistividad promedio arit.(ohm.m)	81	1084	51	40	83	51
Resistividad Mínima (ohm.m)	10	18	15	10	18	15
Resistividad Máxima (ohm.m)	748	7966	139	95	254	139
Resistividad Mediana (ohm.m)	270	64	32	26	56	32
Resistividad percentil (25) (ohm.m)	180	36	22	18	36	22
Resistividad percentil (75) (ohm.m)	790	170	67	57	144	67
Intervalo entre percentiles (ohm.m)	610	134	42	39	108	45

Los SEV fueron tomados en los meses secos siendo el agua en tránsito y los contenidos de humedad muy bajos porque noviembre del 2017 presentó un 50% menos precipitaciones que la media histórica (INTA, 2018). También los intervalos resistivos entre percentiles considerando los datos anómalos muestran mayor variación en las muestras SC que en SP y SM sucesivamente, nuevamente a consecuencia de cambios en la

humedad. Sin embargo, por el contrario, esto vuelve a modificarse si sacamos los datos anómalos donde SP adquiere mayor oscilación que SM y SC sucesivamente, pero en este caso se lo atribuimos a cambios porcentuales del material fino en la matriz de las muestras SP que se traduce también en cambios de la cohesión del suelo.

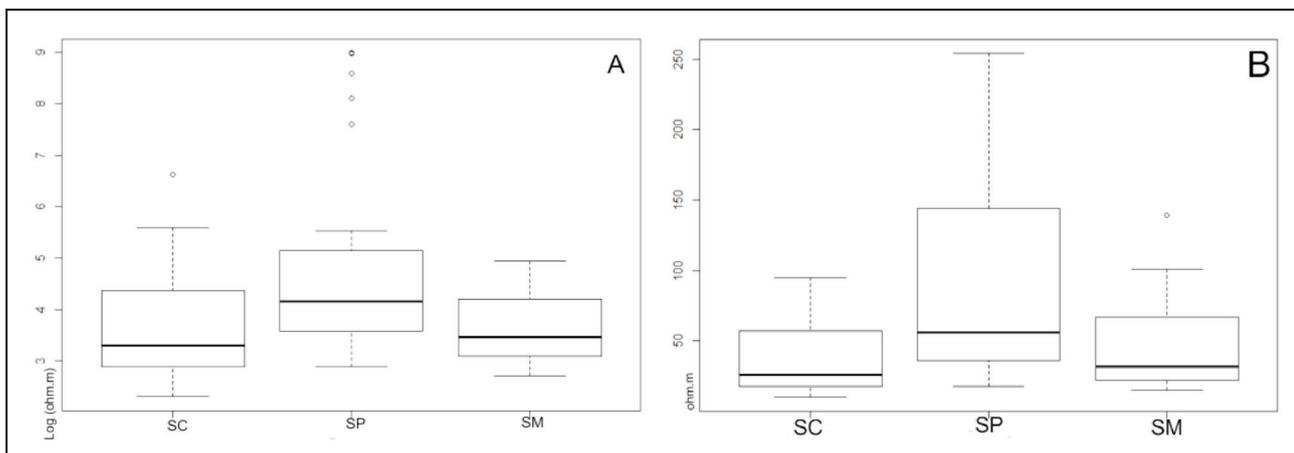


Figura 4. Resistividades medianas A) con datos anómalos y B) sin datos anómalos.

En términos generales los contenidos de humedad en la zona no saturada o incluso las muestras tomadas en zona saturada serían los responsables de la dispersión de los valores de resistividad, tal como lo plantean *Fahad et al. (2012)* sobre la base de los estudios de laboratorio. Sin embargo, cuando es filtrada esta posibilidad pueden atribuirse los cambios resistivos a la cohesión. Este criterio es importante en la futura búsqueda de correlaciones eficaces entre resistividades y litologías dado que estas últimas son el factor más importante en parámetros como la cohesión o el arreglo interno de las partículas del suelo. Si las muestras son tomadas en zona saturada debe tenerse presente que las aguas pueden contener salinidades diversas lo que modifica sus valores de resistividad, aunque no sea el caso de la F. Ubajay en este estudio, si puede serlo en otras unidades geológicas. Por consecuencia no debe pensarse que un valor determinado de resistividad corresponde invariablemente a una determinada litología poniendo en relevancia el uso de pozos paramétricos sectorizados sobre la base de un modelo hidrogeológico local. El trabajo de *Kumari et al. (2009)* y de *Kowalczyk et al. (2014)* muestran buenas correlaciones entre datos geomecánicos calculados a partir de ensayos SPT y resistividad. El punto de partida es el número de golpes que en sí mismo no representa una medida directa de las propiedades de los suelos y únicamente es apropiada su utilización cuando existen correlaciones empíricas (*Gonzales de Vallejo et al., 2002*). En particular existen dudas al utilizar las correlaciones del SPT con las características geotécnicas de los materiales arcillosos saturados, debido a generación de presiones intersticiales durante el golpe de hincado y al rozamiento durante la toma de muestras. Esto se traduce en una gran dispersión de los resultados en las diferentes correlaciones razón por la cual el SPT debería ser usado únicamente en suelos arenosos (*Gonzales de Vallejo et al., 2002*). Considerando estas observaciones entendemos que disponemos de un muestreo de material de los

ensayos SPT fundamentalmente arenoso no muy cohesivo que con las resistividades nos ha permitido estudiar diferentes correlaciones evaluando las regresiones lineales, polinómicas, logarítmicas y exponenciales posibles en cada caso. Un primer intento fue analizar una correlación empleando todos los datos de número N golpes y resistividad del muestreo sin discriminar por litología. El resultado dio una gran dispersión de datos para todos los métodos de regresión y hubo valores de correlación bajos o poco significativos con un $r^2 = 0,11 - 0,16$. Un segundo análisis consistió en correlacionar el número de golpes obtenidos discriminados por las diferentes litologías (SP, SM y SC) con la resistividad. También es este estudio los análisis de todos los casos de regresión fueron valores de correlación bajos o poco significativos que oscilaron en un r^2 entre $0,12 - 0,17$. En síntesis, los intentos de regionalización de los resultados no parecen dar resultados favorables. En virtud de lo observado se optó por buscar correlaciones locales empleando los mismos métodos citados, pero en este caso correlacionando el número de golpes con la resistividad en cada punto paramétrico SEV-SPT independientemente. (figura 5).

Diez de los trece SEV-SPT paramétricos han sido correlacionados con una regresión polinomial cuadrática o de orden 2. Solo los SEV-SPT 01, 05 y 11 presentan correlaciones bajas ($r^2 = 0,46, 0,36$ y $0,18$ respectivamente) los restantes presentan correlaciones buenas a muy buenas con valores de r^2 entre $0,67$ a $0,98$. Una explicación rápida es atribuirlo a las incertidumbres y errores esperados para los ensayos de SPT ya mencionados por diversos autores (op.cit), pero el marcado contraste de ambas situaciones (malas correlaciones en unos y muy buenas en otros) nos hace suponer que no se trata de un factor sistemático que pudiera tener mayor o menor influencia. Otro aspecto es el aumento del material fino y por ende la cohesión que pudiera alejar las condiciones reales del ensayo de las ideales (suelos

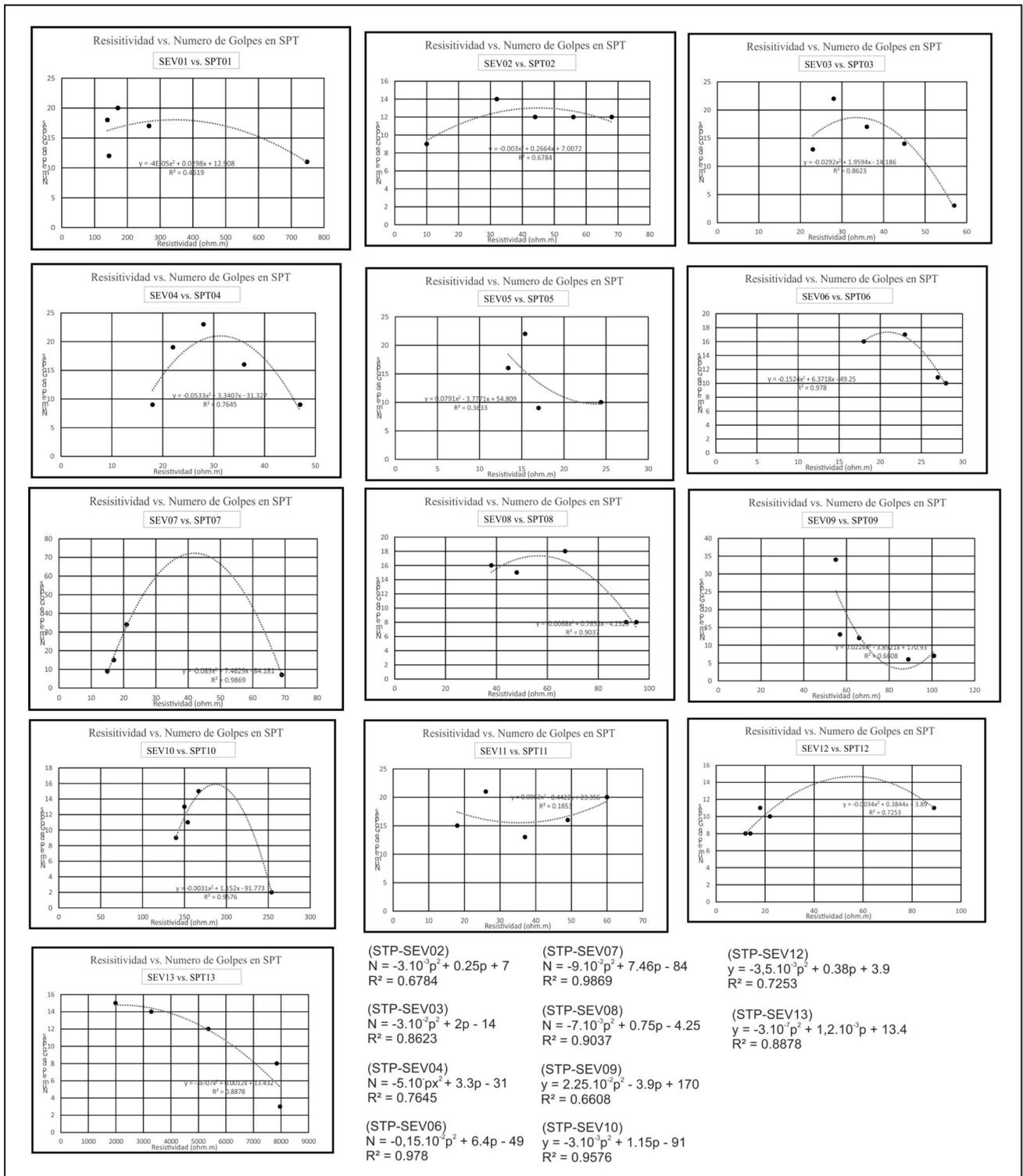


Figura 5. Correlaciones y regresiones significativas SPT –SEV (N: golpes; p: resistividad).

arenosos poco cohesivos). En este sentido se podría explicar la baja correlación en el SPT-05 donde pareciera haber notoriamente más arcilla e incluso posee niveles descriptos como CH alejándolo de las condiciones ideales de ensayo, no obstante, a los SPT 01 y 11 no les cabría esta explicación ya que no son litológicamente diferentes de otros similares con muy buenos ajustes de correlación. Se puede considerar también que la clasificación de la SUCS es insuficiente para darnos una adecuada idea de la litología,

faltan datos sobre el coeficiente de uniformidad, densidad e incluso la porosidad total que influirían en la medición de la resistividad (Archie, 1941) resultando en correlaciones poco significativas. Una observación relacionada con la interpretación resistiva tiene que ver con el hecho de que en los SPT 01, 05 y 11 parece haber cambios litológicos muy rápidos representados por alternancia de niveles arcillosos y gravosos de poco espesor. Esto haría más compleja la interpretación geoelectrica porque

esas pequeñas capas serían asimiladas a capas resistivas más potentes resultando en un desajuste entre el modelo interpretativo y la conformación vertical del terreno atravesado. El resultado bien puede ser una inadecuada o baja correlación entre el número de golpes de cada intervalo en los SPT y los datos resistivos. En síntesis, este marcado contraste de las correlaciones no es simple de explicar desde una sola hipótesis de estudio y también puede deberse a un conjunto de las ya mencionadas actuando al mismo tiempo.

Más allá de las consideraciones que podrían explicar las anomalías el 75% de los sondeos paramétricos han presentado una correlación elevada y significativa con respecto al número de golpes de los SPT. Estas poseen características comparables más allá de que ajustan con una regresión polinómica de grado 2 como, por ejemplo; los factores del término cuadrático son negativos y en rangos entre 10^{-1} y 10^{-7} ; los términos lineales son entre 10^1 y 10^{-3} y sus términos independiente muy variables pero entre 10^1 y 10^2 . Esto puede coincidir con la idea de obtener una buena correlación local y la mala correlación regional de la información mencionada previamente, pero aún sería prematuro establecer las causas de ello.

CONCLUSIONES

Es indudable que este estudio muestra una posibilidad de investigación novedosa en la búsqueda de encontrar indicadores indirectos de los parámetros geomecánicos de los suelos, sus variaciones y su aplicación. Las correlaciones significativas halladas a partir de los datos de los SPT dejan claro que es posible

encontrar relaciones entre los valores de resistividad eléctrica y los parámetros geomecánicos pudiendo ser aplicable localmente en estudios geotécnicos, pero también muestra que es necesario un trabajo detallado de laboratorio para comprender mejor e individualizar la influencia de cada aspecto litológico.

Por el momento y a partir de los datos de campo se observan buenas correlaciones de resistividades y litologías influenciadas en principio por el contenido de humedad, como es de esperar, pero a nivel local y con valores de humedad relativamente constante hay muy buenas correlaciones a partir de curvas de regresión sencillas polinomiales de grado 2 ($r^2= 0,66 - 0,98$). Si bien estas aún no han sido debidamente justificadas en el alcance de este estudio, es un paso adelante considerando la bibliografía existente. En consonancia con los estudios disponibles realizados por otros autores se observa la influencia y relación de las mismas variables, pero se ha mejorado en la cuantificación y las consideraciones geológicas e hidrogeológicas del análisis. Si bien se han encontrado correlaciones locales favorables aún no se ha encontrado un mecanismo de correlación aplicable a todos los puntos de medición en su conjunto. Esto puede deberse a la heterogeneidad litológica regional de la F. Ubajay por lo que, aunque se pueda afirmar que existen correlaciones locales entre las variables estudiadas es aún prematuro aseverar que los parámetros geomecánicos puedan ser correlacionados con la resistividad de forma regional. Hacia futuro, deberá desarrollarse una metodología, con auxilio de análisis en laboratorio, que tenga en cuenta la variabilidad que presente el subsuelo considerando las limitaciones de las técnicas de los métodos empleados para obtener resultados predictivos favorables.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACEÑOLAZA, F. 2000.

La Formación Paraná (Mioceno medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. En: Aceñolaza, F. y Herbst, R. (Ed.) *El Neógeno de Argentina. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), Serie Correlación Geológica 14: 9-27, Tucumán.*

ACEÑOLAZA, F. G., 2007.

Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina, *INSUGEO Serie de Correlación Geológica 22, Tucumán, Argentina. 150 pp*

ARCHIE, G. E., 1941.

The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Trans. AIME 146, 54-62.*

CHEBLI, G., O. TOFALO Y G. TURAZZINI, 1989.

Mesopotamia. En: Chebli, G. y L. Spalletti (Ed.) *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica Nº 6: 79-100, Tucumán*

COSENZA, P., MARMET, E., REJIBA, F., CUI, Y. J., TABBAGH, A., CHARLERY, Y., 2006.

Correlations between geotechnical and electrical data: A case study at Garchy in France. *Journal of Applied Geophysics 60, 165-178.*

DE ALBA, E. 1953.

Geología del Alto Paraná, en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas. *Asociación Geológica Argentina Revista 8(3): 129-161, Buenos Aires*

DE ALBA, E. Y N. SERRA, 1959.

Aprovechamiento del Río Uruguay en la zona de Salto Grande. *Informe sobre las condiciones y características geológicas. Dirección Nacional de Geología y Minería Anales 11, Buenos Aires, Argentina. pp:162*

FAHAD, I. S., SYED, B. A., 2012.

Integrating geoelectrical and geotechnical data for soil characterization. *International Journal of Applied Physics and Mathematics, vol. 2, Nº2.*

- FILHO A., OLIVEIRA M. PIRES, T., ALVES, A., CALIXTO, A., NARCISO, M., 2017.
Correlation method of physical characteristics with electrical properties of soil.
Transactions on Environment and Electrical Engineering (ISSN 2450-5730) Vol 2, No 2, pp: 16-24.
- GARCÍA P (1954).
Hoja de Reconocimiento Geológico e Hidrogeológico Arroyo Barú 1/100000.
Servicio de Inteligencia Militar del Terreno. Ejército Argentino (inédito) 78pp
- GENTILI, C. Y RIMOLDI H. 1979.
Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias,
Segundo Simposio Geología Regional Argentina, 1: 185-223, Córdoba
- GONZALEZ DE VALLEJO L., FERRER M., ORTUÑO L. Y OTEO C. S, 2002.
Ingeniería Geológica.
Paerson Education (ISBN: 8420531049), Madrid, España. Pp: 744.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA), 2018.
Agrometeorología Concordia.
Datos y pronósticos agrometeorológicos registrados en la Estación Agropecuaria Concordia, Entre Ríos, Argentina.
Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/agrometeorologia-concordia> último acceso 30 de Diciembre del 2018.
- IRIONDO, M., 1980.
El cuaternario de Entre Ríos,
Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, n°11, p.:125-141, Santa Fe, Argentina.
- IRIONDO, M., 1987.
Geomorfología y Cuaternario de la Provincia de Santa Fe (Argentina).
D'Orbignyana 4: 1-54.
- KOWALCZYK, S., MASLAKOWSKI, M., TUCHOLKA, P. 2014.
Determination of the correlation between the electrical resistivity of non-cohesive soils and the degree of compactation.
Journal of Applied Geophysics 110, 43-50.
- KUMARI SUDHA, ISRAIL, M., MITTAL, S., RAI, J. 2009.
Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations.
Journal of Applied Geophysics 67, 74 - 79.
- MARENGO, H. 2002.
La transgresión de Laguna Paiva: distribución y problemas estratigráficos.
15° Congreso Geológico Argentino Actas 1: 637-642, Buenos Aires.
- MÁRSICO, D. 2013
Aportes a la perspectiva geológica e hidrogeológica regional en el sector centro este de la Cuenca Chacoparanaeana.
Universidad de La Coruña, Tesis de doctorado, (Inédita) pp 209, La Coruña, Galicia, España.
- MUÑOZ, L., TREPO O., CALVO C., 2010.
Recuperación de canteras en la región centro este de la provincia de Entre Ríos.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Vol N° 24 pag 25-33., Córdoba, Argentina.
- REIG, O., 1956.
Sobre la posición sistemática de "Zygolestes paranensis" Amegh. y de "Zygolestes entrerrianus" Amegh.
Centro de Estudiantes del Doctorado en Ciencias Naturales de Buenos Aires Revista Holmbergia 5 (12-13): 209-226, Buenos Aires
- ROSSI A., 2012.
Aspectos de la Contaminación con Nitratos en el Agua Subterránea de la Ciudad de Concordia, Entre Ríos.
Trabajo Final Especialista en Ingeniería Ambiental Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional (Inédito). 165pp
- SILVA BUSSO A. MACHADO P. Y COSENTINO J., 2011.
Propuesta de control de las estructuras del subsuelo sobre la geología Terciario-Cuaternaria y su relación con la geomorfología fluvial en la Provincia de Entre Ríos, Argentina.
Convenio UTN (Concordia) - YPF, Universidad Tecnológica Nacional FRCON. Informe final Inédito. 245pp:.
- SILVA BUSSO A. Y AMATO S., 2013.
Posibilidades de Explotación y Demanda Hídrica sobre el Acuífero Ubajay en el Sector Oriental de la Provincia de Entre Ríos,
Congreso Nacional del Agua XXIV CONAGUA 2013, San Juan, Argentina. Actas en CD.
- SILVA BUSSO A. Y AMATO S., 2017.
Depósitos fluviales del plio-pleistoceno-holoceno de la Provincia de Entre Ríos y sus Implicancias Hidrogeológicas.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, Rev. Asoc. Geol. Argent. Vol. 74 (3): 338 - 356.

SILVA BUSSO, A. 1999.

Contribución al conocimiento geológico e hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental argentina.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Tesis de doctorado, Buenos Aires pp:574.

SILVA BUSSO, A. Y C. FERNANDEZ GARRASINO 2004.

Presencia de las Formaciones Piramboia y Botucatú (Triásico - Jurásico) en el subsuelo oriental de la Provincia de Entre Ríos.

Asociación Geológica Argentina Revista 59 (1): 141-151, Buenos Aires

TÓFALO, O., 1986.

Caracterización sedimentológica y estratigrafía de las Formaciones Puerto Yerúa y Arroyo Avalos, provincias de Entre Ríos y Corrientes.

Tesis doctoral inédita Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, Buenos Aires, Argentina. 221pp.



Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca

Geological hazards on account of floods arising in urban and rural surroundings of the main rivers of eastern and central Catamarca

Eremchuk, Jorge Enrique

Recibido: 15 de agosto de 2018 • Aceptado: 20 de mayo de 2019

Resumen

Con el propósito de identificar el tipo de geoforma o terrenos en áreas urbanas y rurales que son afectadas en forma recurrente por inundaciones fluviales, se revisó la documentación histórica y se analizó las últimas amenazas hídricas ocurridas entre los años 2014 y 2017 en el área de estudio, correspondiente a las vertientes de los macizos serranos de las sierras de Ambato y Ancasti.

El procedimiento metodológico consistió en estudios fotogeológicos de carácter multitemporal de fotos aéreas e imágenes satelitales, referente a la evaluación de la dinámica espacio-temporal del comportamiento de las diferentes unidades geomorfológicas en la dinámica fluvial del sistema hidrológico del área serrana, tramos intramontanos y pedemontanos con descargas de sus colectores principales al Salar de Pipanaco, Valle Central y Llanura Tucumana,

El análisis de las inundaciones de los últimos cincuenta años en el área de estudio, que se ubica en la dorsal climática de las sierras de Ambato y en donde vive cerca del 70% de la población de Catamarca, permitió establecer una relación entre los diferentes tipos de crecientes y las geoformas fluviales de dicho territorio.

Los resultados determinaron que los asentamientos urbanos y rurales se encuentran sobre geoformas fluviales amenazadas por inundaciones repentinas las cuales se reconocen como; i) lechos de inundación, ii) terrazas inferiores, iii) explayamientos distales y laterales y iv) paleocauces o canales de crecidas, que son vulnerables a las crecientes extraordinarias y máximas ordinarias, con repetición de más un evento en los últimos cincuenta años

Palabras clave: Crecientes repentinas. Geomorfología. Geoamenazas.

Abstract

Geological hazards on account of floods arising in urban and rural surroundings of the main rivers of eastern and central Catamarca

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Dpto. de Geología.

✉ eremchukjorge@gmail.com

Historical records have been studied to identify the affected landforms as a result of floods. Moreover, hydrological hazards occurred in 2014 and 2017 of the rivers placed in the Ambato and Ancasti mountain ranges, have also been studied.

The research comprised photo geological and aerial photographs, satellite images, temporary space dynamics of the hydrological cycle of the mountain ranges. Areas between mountains and their bases, where the main rivers belonging to the Salar de Pipanaco, The Central Valley and The Tucuman Plain systems, have also been analyzed.

The research works on floods, that took place in the last fifty years in the Ambato mountain ranges, where 70% of the population of Catamarca live, permitted to establish a relationship between different types of floods and the landforms resulting from them.

Evidence determined that rural and urban settlements are located on landforms threatened by sudden floods that are recognized like: flood beds; inside terraces; distal and lateral widening; flood channels vulnerable to unusual floods and maximum levels repeated by more than one event in the last fifty years.

Keywords: *sudden floods - geomorphology - geological hazards.*

INTRODUCCIÓN

Las copiosas lluvias ocurridas entre los años 2014 al 2017 en la provincia de Catamarca, especialmente en los departamentos Santa Rosa, Ambato, Paclín y aquellos del Valle Central (Esquiú, Valle Viejo y Capital), han ocasionado una serie de pérdidas materiales y de 14 vidas humanas producto de las inundaciones relacionadas a crecientes repentinas de los principales ríos (Paclín, Santa Cruz, Ambato, Siján, San Francisco, Ovanta, El Abra y Río del Valle), cursos de aguas de régimen temporario (excepto el Río del Valle) que atraviesan los núcleos urbanos, infraestructura vial y los sistemas productivos de los departamentos mencionados.

Dichos cursos, drenan sobre la dorsal orográfica del Ambato- Manchao que separa la influencia climática del océano Atlántico con la del Pacífico. Al Este de dicha dorsal se registra un aumento de la temperatura de +0,5°C en los últimos cincuenta años (Camilloni et al. 2016). Esta variación de la temperatura está acompañada por un aumento del régimen de precipitación, que oscila entre 120 a 180 mm anuales en la misma región, en donde la actual inestabilidad climática se estima en unos 12 años (+/- 2 años) en Eremchuk et al. (2016) y Letussi (2018). A estas condiciones naturales, se le debe sumar un importante cambio de uso del suelo, especialmente la expansión de las tramas urbanas, las cuales tienden a ocupar terrenos ribereños susceptibles a la inundación fluvial.

Los registros más antiguos sobre inundaciones, son los descriptos por Schikendantz (1877) y Lafone Quevedo (1880) en Caro (2006) sobre las poblaciones de la ciudad de Andalgalá y la localidad de Choya. Por otro lado, el sismo de 1890 que destruye parte de la localidad de Pomán, estuvo acompañado en forma simultánea por un aluvión del río Pomán.

En el siglo XX, inundaciones a nivel de desastre, fueron las que afectaron a la población de Andalgalá en los años 1913 y 1915, aluviones en Chumbicha, 1964 y 1987 y Punta Balasto en 1972 (fuera del área de estudio), todos ellos con un número apreciable de pérdidas de vidas humanas. El último desastre natural, en el presente siglo, ocurrió en enero del 2014 cuando una creciente de río Ambato, dio paso a un aluvión que se desmadra sobre la villa veraniega El Rodeo, generando una importante pérdida de bienes materiales y de 12 vidas humanas. En forma simultánea, un aluvión del río Siján, cuenca allende del Ambato, afectó a la localidad homónima en menor medida.

Un análisis realizado por Cano (1988), expresa en forma aproximada, que las recurrencias de las inundaciones en la provincia son: una vez cada 3 a 10 años en los ríos del Oeste, una vez cada 10 a 30 años en los ríos de las vertientes del Ancasti y del Ambato y una vez cada 30 años o más en el colector río del Valle en los departamentos de Valle Viejo y Capital

La información histórica consultada refleja que el 80 % de los daños importantes por inundaciones se ubican geográficamente sobre asentamientos poblaciones del pie de sierra del Ambato y sobre el borde noreste del macizo de Ancasti, que forman parte de la dorsal orográfica que limita las influencias climáticas del Atlántico y del Pacífico (Figura 1).

La revisión de dichos documentos, y el análisis temporal de fotos aéreas e imágenes satelitales tuvo el propósito de identificar cuáles fueron las geofomas o los terrenos afectados por los diferentes fenómenos naturales, el estudio indica que las inundaciones del pasado no alcanzan a sobrepasar las terrazas superiores de los distintos cursos de agua. En los abanicos aluviales, los problemas son recurrentes sobre lóbulos activos y semiactivos, fenómenos que se mantienen hasta la actualidad. La excepción son los bajos o planicies distales, de los cursos de aguas del departamento Santa Rosa, unidades geomórficas que se comportaban como áreas inactivas o estables en los últimos 100 años y se han reactivado por las crecientes de los últimos cuatro años.

METODOLOGÍA

Se considera que los estudios clásicos de riesgo hídrico (método hidrológico) realizados por el Instituto Nacional del Agua (INA) en la provincia de Catamarca, especialmente en El Rodeo (Maza et al. 2012) y en el río Santa Cruz (Burgos et al. 2015), en coincidencia con el análisis realizado por el Colegio de Geólogos de Catamarca (2014), son válidos, pero tienen alta incertidumbre. La falta de datos hidrológicos y de registros pluviométricos de las cuencas son las causas principales de la fiabilidad de dichos estudios.

Para la ejecución del presente trabajo se aplicaron procedimientos metodológicos alternativos cuali-cuantitativos, basados en la movilidad fluvial temporal y el análisis de indicadores geomorfológicos (Ollero Ojeda 2014) a partir de estudios fotogeológicos de documentos generados por los sistemas de teledetección (fotos aéreas e imágenes satelitales multitemporales).

Los estudios llevados a cabo estuvieron basados en los aspectos geomorfológicos de los cursos de agua, especialmente la dinámica fluvial de los últimos 50 años, como componente dominante y tomando como complementarios y variables secundarias a los geológicos, hidrológicos naturales o artificiales, vegetación y actividades antrópicas.

La ocurrencia de inundaciones mayores a los 50 años corresponde a aseveraciones relacionadas con el estado de la cubierta vegetal en la década de los años 60, analizada en las fotografías antiguas (año 1968) y en la posición morfoestratigráfica de terrenos con restos arqueológico de los últimos 500 años (*Eremchuk et al. 2016*).

Esta metodología, si bien no aporta datos de caudal, ofrece un rango de confianza que permite aplicar el principio precautorio de la ley General de Ambiente (N° 25.675), con la finalidad de obligar a la planificación o llevar seguridad a la población ante las crecidas repentinas de los ríos de la provincia.

El análisis fotogeológico posibilita evaluar la dinámica espacio-temporal de la movilidad de un curso de agua, permitiendo definir las geoamenazas por inundación, en función de la extensión de los flujos de agua sobre los terrenos fluviales y los adyacentes a los cauces de los ríos, por la probabilidad de ocurrencia de crecidas importantes de dicho curso.

En lo referente a la probabilidad, en este trabajo solo se señala la cantidad de años de repetición de los eventos inundables que se evidencian en las fotos aéreas e imágenes satelitales de los últimos 50 años, con control de los registros históricos informados por los lugareños.

Para el cálculo de la recurrencia de las inundaciones, sería necesario incorporar registros históricos, influencia de cambios artificiales y otros datos de la cuenca hidrológica para determinar intervalos de confianza y aplicar algunas de las metodologías conocidas referente al tema.

Los documentos usados, para el análisis territorial, fueron fotos aéreas verticales del año 1968 provistas por la cátedra de Teledetección Geológica de la Universidad Nacional de Catamarca y por la Dirección de Catastro de la provincia de Catamarca, en cuanto a las imágenes satelitales multitemporales (1984 a 2017) se utilizaron aquellas a las que se acceden a través de las plataformas de internet como, Landsat LookViewer, Sentinel2Look Viewer, del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), del Google Earth Pro e imágenes Rapid Eye provista por el Colegio de Geólogos de Catamarca (CGC).

RESULTADOS

El área de estudio corresponde al macizo serrano de Ambato, el sector septentrional de Ancasti y sur de las sierras de Aconquija (Figura 1), que conforman la dorsal orográfica regional, por encima de los 3000 m s.n.m, que limita la influencia climática del atlántico con la del pacífico.

Dicha zona, contiene asentamientos poblacionales que se ubican en la periferia y adentro de las sierras compuestos por 14 municipios, con sus localidades cabeceras y 63 comunas y/o delegaciones comunales, lo que hace un total de 77 núcleos urbanos. En ellos está comprendido el área del Gran Catamarca, de mayor densidad poblacional de la provincia y las tierras agrícolas (sojera) del departamento Santa Rosa.

El área de trabajo, alcanza una superficie mayor a los 15.000 km² y posee unos 246.910 habitantes, en donde la mayor concentración poblacional se ubica en las zonas de pie

de sierra y/o las depresiones intraserranas. La cantidad de habitantes en el área de estudio significa un 67% de la población de Catamarca.

En hidrología, no hay una acepción unificada sobre los términos de crecidas o inundaciones ordinarias y extraordinarias, casi siempre cuando se está en presencia de altos niveles de afectación de bienes materiales o de vida, se les atribuye a fenómenos extraordinarios.

En este trabajo, se ha considerado y evaluado las zonas con amenazas fluviales a partir de la interpretación del significado de río, definido en el Código Civil y Comercial (Ley N° 26994), en su Artículo 235 inc. C, “*Se entiende por río, el agua, las playas y el lecho por donde corre, delimitado por la línea de ribera que fija el promedio de las máximas crecidas ordinarias*”

Este concepto, basado en el modelo hidrológico, puede ser relacionado en forma aproximada, con la geomorfología fluvial de un curso de agua, en donde el río, es el espacio físico natural (lecho) de escurrimiento de los caudales anuales (ordinarios) ya sean permanentes, intermitentes o efímeros y su ancho máximo está dado por la línea de resaca, determinada por las marcas de crecidas que alcanzan a igualar el calado del umbral físico del cauce o lecho, interpretando que esta línea es generada por las máximas crecidas ordinarias.

Este criterio que excede el Art. 235 inc. C se considera hidrológicamente razonable, hasta que la delimitación pueda realizarse con el modelo hidrológico, fue aceptado por la Dirección de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca para el informe técnico del departamento Santa Rosa (*Eremchuk et al. 2016*).

Definido desde el punto de vista hidromorfológico un “río”, como el espacio físico por el cual fluyen las corrientes de aguas “ordinarias”, permite interpretar que todos aquellos flujos de aguas que superen el umbral físico natural del lecho del mismo, corresponden a los caudales “extraordinarios”.

Las diferentes unidades geomórficas de un curso de agua, se muestra en el esquema de la Figura 2, donde *Bertrand et al. (2012)* han sintetizado el sistema fluvial. En el ambiente serrano de zona de estudio, las “planicies de inundación” se desarrollan fuera de la zona pedemontana y solo está presente en el departamento Santa Rosa.

Los trabajos realizados, fueron analizados según las vertientes hidrológicas del macizo serrano del Ambato-Ancasti y permitieron identificar una serie de geoformas fluviales, en tramos con asentamientos urbanos y rurales, las cuales se encuentran amenazadas o fueron perjudicadas por distintos tipos inundaciones de los cursos de agua del área de estudio.

Vertiente occidental de la sierra de Ambato

Corresponde a las laderas obsecuentes del macizo del Ambato, en donde yacen las principales fallas inversas que levantan y basculan hacia el Este dicho macizo. Sobre estas vertientes, se desarrolla un conjunto de cuencas torrenciales, subparalelas, de altas pendientes, responsables de la agradación del piedemonte y cuyos flujos drenan hacia el Salar de Pipanaco.

Las geoformas presentes son una serie de conos aluviales, dispuestos en diferentes niveles, el superior y el intermedio se encuentran desvinculados del sistema de drenaje, el nivel inferior es el activo, vinculado directamente a la red de drenaje.

La actividad antrópica, tanto urbana como rural, se desarrolla en las geoformas de la zona pedemontana, las cuales

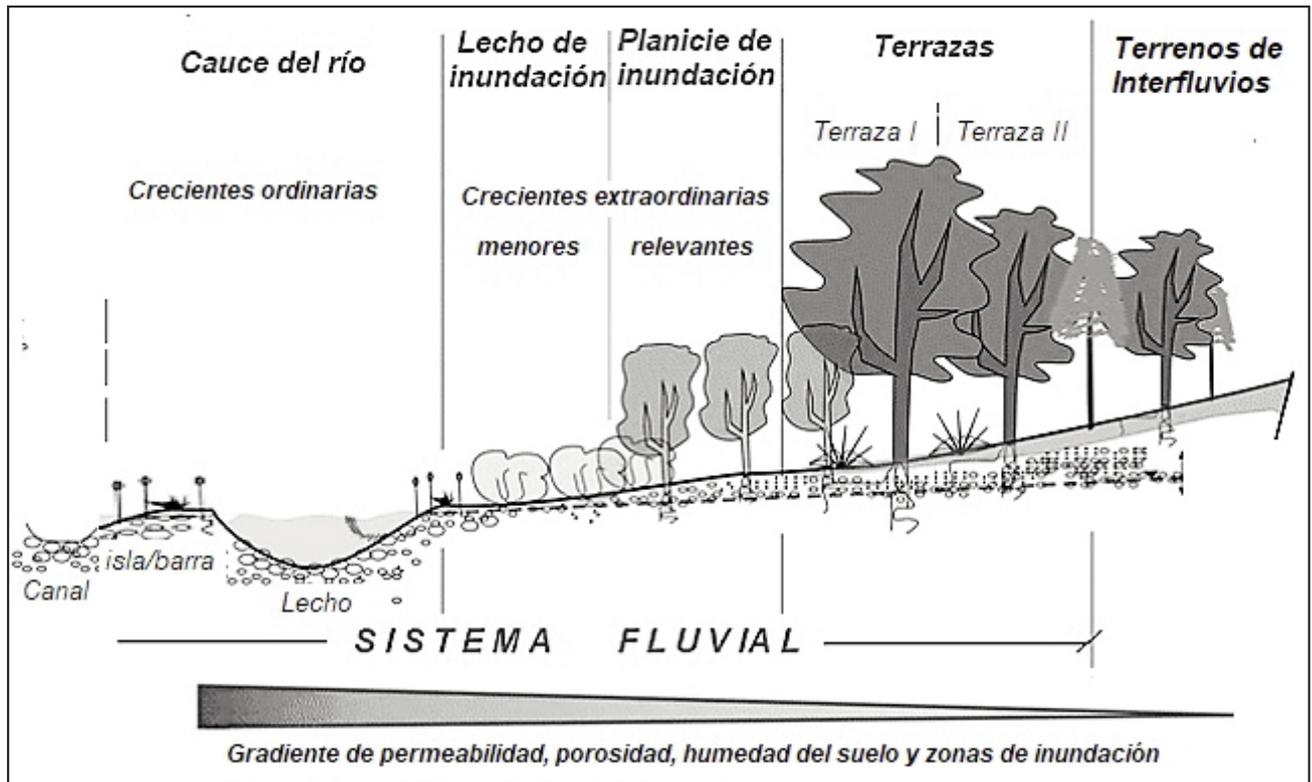


Figura 2. Sistema fluvial en donde se muestra las principales geoformas (modificado de Bertrand et al. 2012).

La extensión urbana-rural hacia el Oeste, avanzó sobre el borde del cono aluvial activo y los caudales importantes de las lluvias de los meses de enero a abril de 2014, reactivaron antiguos canales de descarga de la geoforma afectando las viviendas que se ubican sobre el borde austral de la misma (Cativa 2018).

La relación entre el uso del suelo y la dinámica fluvial de la geoforma, en el análisis multitemporal de las fotografías aéreas (año 1968) y las imágenes satelitales (años 2001, 2013 y 2016), evidencia que dichos canales se reactivaron al menos una vez en los últimos cincuenta años.

COLANA

En los colectores principales de los ríos que bajan de las cuencas torrenciales del borde occidental del Ambato y que atraviesan todo el nivel medio del piedemonte, hasta descargar sus caudales en las geoformas del nivel inferior (conos aluviales activos), su lecho mayor o de inundación se reactivaron al menos dos veces en cincuenta años, datos obtenidos del análisis de los sistemas de teledetección (fotos aéreas antiguas e imágenes satelitales). Las crecientes inundan dicha geoforma y alcanzan a socavar los bordes del talud de sus riberas, amenazando las actividades antrópicas que se instalan cerca de dicho umbral.

En el río Colana, en el tramo del Matadero Municipal y aguas abajo del mismo, hace cincuenta años el lecho mayor se encontraba activo, según fotos aéreas (año 1968), las imágenes satelitales desde el 2004 hasta el 2010 lo muestran estabilizado. Su reactivación se debe a los flujos de la creciente del mes de marzo de 2011 la cual inundó el lecho mayor y erosionó lateralmente el talud de los terrenos ribereños. Cativa (2018) verificó el estado de las instalaciones del Matadero e identificó otros tramos de los ríos Colana donde la erosión lateral de sus

riberas amenaza sectores de la trama urbana de dicha localidad (Figura 1).

Procesos similares, de reactivación del lecho mayor de inundación, han ocurrido en la mayoría de cursos de agua del piedemonte del Ambato, tales como los ríos Mutquín en el año 2003 (Segura 2016), Siján: 1939, 1958, 1972 en Barbeito et al (2016), Saujil en 1990 y 2014, Colpes, San José de Flores y Mollecito en 1999, afectando a las localidades homónimas (Figura 1) todos ellas mencionados en Cativa (2018)

El modelo de piedemonte de la vertiente occidental de la sierra de Ambato, tiene un desarrollo variable de norte a sur, siendo el sector septentrional el más avanzado. La imagen de la Figura 3, representa un ejemplo de la zona de estudio donde se muestra los tres niveles de unidades morfoestratigráficas, el nivel superior corresponde a relictos de "paleoconos", sobre elevados por la reactivación del fallamiento principal del macizo de Ambato (Eremchuk 1984). El nivel medio corresponde a conos aluviales inactivos, cuyo ápice se introduce en el sistema serrano generando un patrón semejante a conos aluviales telescópicos y el nivel inferior, formado por conos aluviales activos yace en forma imbricada con el nivel anterior.

Las geoamenazas en este sistema pedemontano, se restringen a cambios de la dinámica fluvial, generados por las crecientes repentinas con recurrencias de una a dos veces cada cincuenta años y que inundan o afectan a las diferentes geoformas.

En los conos aluviales inactivos, es decir en las unidades morfoestratigráficas del nivel medio del piedemonte, las amenazas se circunscriben a los tramos de los ríos que se ubica entre los ápices topográfico e hidrológico (Figura 3) y se deben a crecientes que sobrepasan el calado del cauce de los ríos y superan las barras

fluviales del lecho mayor, produciendo en la mayoría de los casos, inundación de la geoforma y socavación o erosión lateral de las márgenes de los terrenos ribereños del curso de agua.

En los conos aluviales activos, que forman las unidades morfoestratigráficas del nivel inferior de piedemonte, las amenazas fluviales se generan por desborde o avulsión en la zona apical de las geoformas, sector de cambio de pendiente y descarga de los flujos torrenciales (ápice hidrológico, Figura 3). Dichos flujos pueden derramarse sobre la geoforma (caso de Siján) o reactivar canales antiguos de descarga (caso Pomán).

Vertiente oriental de la sierra de Ambato

Esta vertiente incumbe a las laderas consecuentes del macizo de Ambato, con gran desarrollo del sistema de drenaje, sus cuencas hidrológicas han generado una serie de colectores principales, como los ríos Ambato, El Tala - Ongolí, Río del Valle y Paclín o Santa Cruz, los cuales descargan sus aguas al valle central de Catamarca. En los últimos cuatro años las crecientes de dichos ríos, inundaron geoformas fluviales donde existe actividad antrópica del tipo urbana y rural, especialmente en las localidades El Rodeo, El Portezuelo, Santa Cruz y asentamientos ribereños de la ciudad de Catamarca. (Figura 1)

EL RODEO

La noche del 23 de enero de 2014 (al igual que en Siján) una creciente extraordinaria del río Ambato afectó varias geoformas fluviales y terrenos laterales del cono aluvial del Rodeo, sobre la margen derecha del río Ambato, por donde se extiende la trama urbana de la villa El Rodeo (Eremchuk 2014, Barbeito et al. 2016). El análisis de dicha inundación se realizó por tramos.

Tramo Casa del Cura: Corresponde al sector más alejado de la villa El Rodeo, ubicado aguas arriba de dicha localidad.

El calado de la creciente superó las defensas del canal de crecida, fluyó por éste y se explayó por la terraza inferior de la margen derecha del río Ambato (Figura 4). La evidencia de la repetición de dicho evento, sobre esta geoforma, es dos veces en los últimos cincuenta años. Se registró una anterior, en el periodo estival del año 1999 (Barbeito et al. 2000), detectada en la escena satelital del año 2003 (Eremchuk 2014)

Tramo del Camping: Se ubica dentro del lecho mayor o de inundación del río Ambato, las fotos aéreas antiguas (año 1968), evidencian que en los últimos cincuenta años soportó cuatro inundaciones (Barbeito et al. 2000, Eremchuk 2014 y versión oral de Adán Villafañe), cuyos caudales superaron el umbral físico natural del cauce y fluyeron sobre la geoforma fluvial del lecho mayor. La creciente de enero de 2014, desbordó aguas arriba del Camping y además hubo una avulsión, tipo aluvión, sobre el meandro del ápice del cono aluvial, cuyos flujos se explayaron por dicha zona, alcanzando el establecimiento del Camping (Figura 4).

Tramo El Mástil: En este tramo, el río cruza la villa El Rodeo, la creciente desbordó en dos sectores, uno a la altura de la calle Belgrano (aguas abajo del puente de la Comisaría), correspondiente a terrenos de la margen derecha del lóbulo inactivo del cono aluvial del Rodeo, los flujos se encauzaron por dicha calle hasta alcanzar la zona del Mástil. No se encontraron registros históricos, ni tampoco evidencias en el análisis multitemporal de escenas satelitales y de fotos aéreas antiguas, la recurrencia del evento, para esta geoforma, fue estimada una vez en los últimos cincuenta años (Figura 4). El otro sector se localiza unos 70 m antes del puente del Mástil (calle 25 de Mayo o Las Hortensias), la característica de la avulsión fue de un aluvión, sobre una faja de terrenos semiactivos y sobre parte del lóbulo inactivo del cono aluvial.

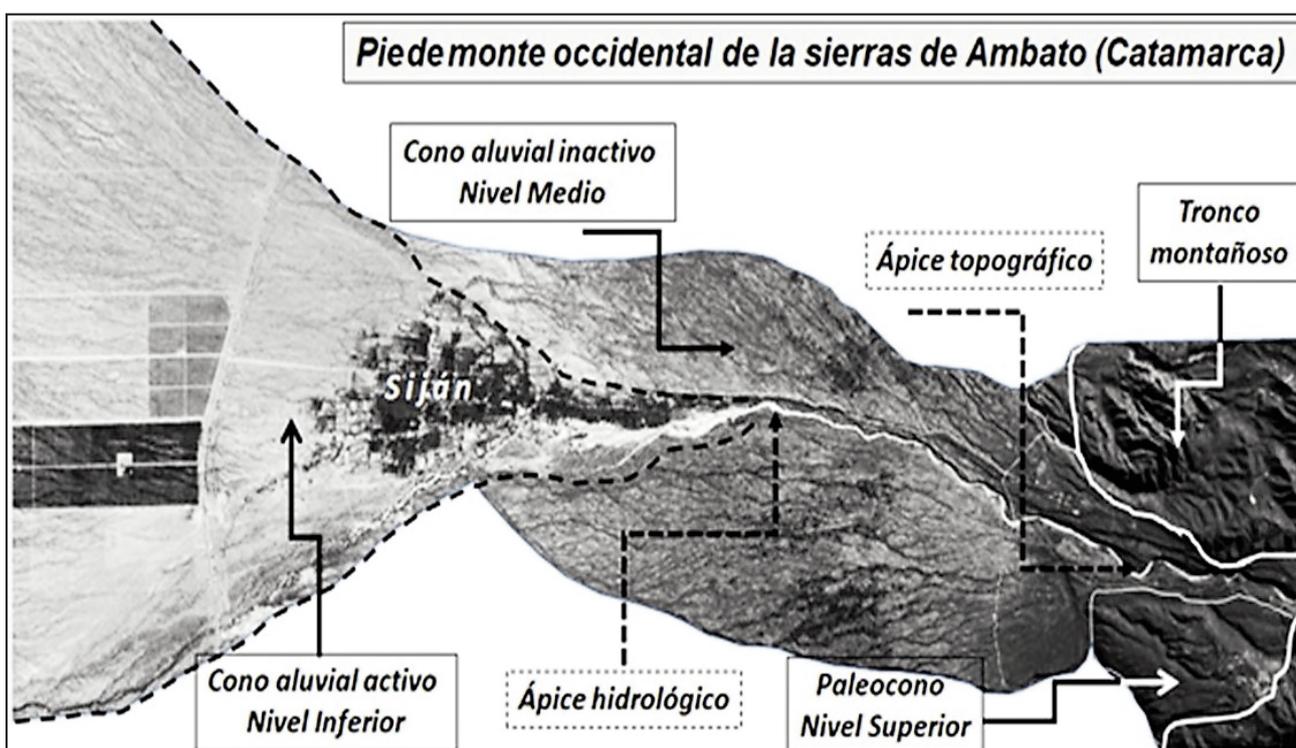


Figura 3. Modelo geomorfológico del piedemonte del borde oeste de las sierras de Ambato.

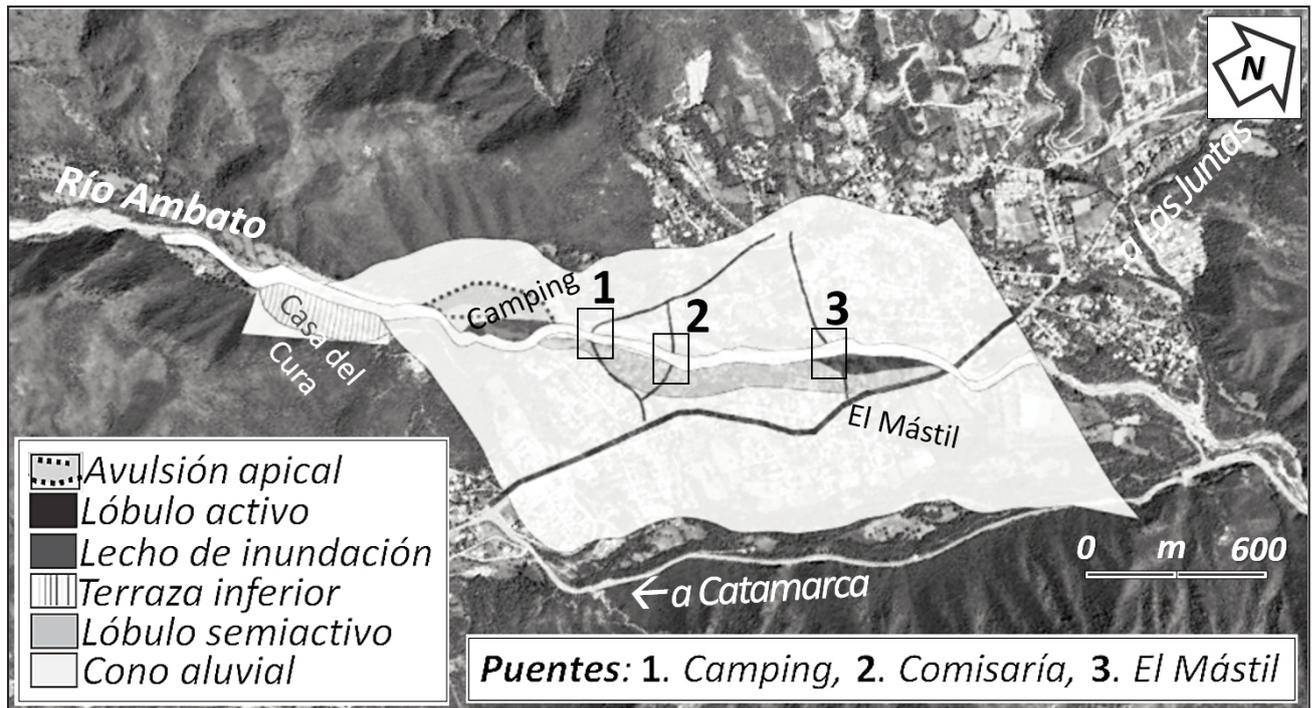


Figura 4. Zonificación geomorfológica del cono aluvial de la villa El Rodeo.

Se estima que el desplome del puente del Camping, calle Las Acacias, ocurrió unos veinte minutos posteriores a la avulsión del sector del Mástil, y las marcas de socavación vertical entre el Camping y el puente de la calle Las Dalias, hacen suponer, que en dicho tramo se encuentra el área fuente del aluvión que causó el desastre en viviendas y la pérdida de 13 vidas humanas. Las particularidades de este evento, fueron descritas por, un informe elaborado por el *Colegio de Geólogos de Catamarca (CGC - 2014)* y por *Imbar et al. (2016)*.

Tramo Hostería Villafañe: Ubicada sobre la margen derecha, fue el punto final de los desbordes del cauce de los tramos anteriores, que se ubican aguas arriba de la Hostería (Figura 4). Sin embargo, la creciente que pasó por el puente de la calle Las Hortensias, al salir de este, erosionó la margen izquierda y el flujo generó una especie de meandro y redireccionó el aluvión hacia los fondos de la Hostería, que forman parte de la ribera del río. Eventos de menor magnitud sobre este tramo registran una repetición de cuatro veces en los últimos cincuenta años, *CGC (2014)*.

Valle de Catamarca

Las inundaciones de las geoformas en valle central, de los últimos cuatro años, se han centrado en localidades y parajes de Huaycama, Antapoca, El Portezuelo y Bajo Hondo.

Huaycama: La cuenca del río Paclín posee una forma alargada, en dirección aproximada norte-sur y su nacimiento en Loma Atravesada limita con la cuenca del río Balcozna. Desde este sector, el colector principal, recorre más de 70 km y desemboca en el valle central de Catamarca en forma de un gran abanico aluvial (Figura 5), como río Santa Cruz, pasando a ser tributario del Río del Valle. La descarga de los caudales de dicha cuenca, sobre el abanico aluvial, históricamente ha inundado el lóbulo activo de la geoforma generando amenazas fluviales sobre los parajes de Huaycama y Antapoca y muy especialmente el trazado

de la ruta provincial nº 33, que es la vía de comunicación con la provincia de Córdoba y el aeropuerto de Catamarca.

La creciente del año 1992, en donde la ciudad de Catamarca estuvo aislada más de 5 días del aeropuerto provincial, llevó al gobierno provincial a reorientar el curso de agua. El mismo fue desviado, desde el sector apical de la geoforma (punto 1 de la Figura 5) y canalizado por un paleocauce hasta la unión con el Río del Valle.

Los lóbulos inactivos, presentan una estabilidad por más de 100 años, estimación realizada por el análisis de la construcción de la traza del ferrocarril, durante los años 1919 a 1924 (*Eremchuk et al. 2017*), dicho trazado se realizó por el lóbulo del sector norte de la geoforma (Figura 5).

La última crecida del río, en marzo de 2017, desbordó las defensas del canal en el sector apical y aguas debajo de dicho sector, explayándose por el antiguo lóbulo activo del abanico aluvial, afectando sectores agrícolas, la ruta nº 33 y el asentamiento urbano-rural Antapoca, (puntos 1 y 2 de la Figura 5). Dada la magnitud de la creciente, la misma ocupó el lecho mayor del paleocauce y erosionó los estribos del puente sobre la ruta 33, aislando nuevamente a la ciudad de Catamarca del aeropuerto provincial. (punto 3 de la Figura 5)

El Portezuelo: Esta localidad está emplazada a 18 km al Este de la ciudad de Catamarca, sobre las márgenes del tramo inferior del río Paclín, pocos kilómetros antes de salir del ambiente serrano y explayarse en un gran abanico aluvial en el valle central de Catamarca. El asentamiento tiene características urbano-rurales y su población no supera los 600 habitantes permanentes (Figura 5). El análisis morfodinámico en los sistemas de Teledetección (fotografías aéreas del año 1968 e imágenes satelitales de los periodos 1984, 1992, 1997, 2000 y 2014 (*Eremchuk et al. 2017*) evidencia la siguiente dinámica fluvial del río Paclín en el tramo del Portezuelo:

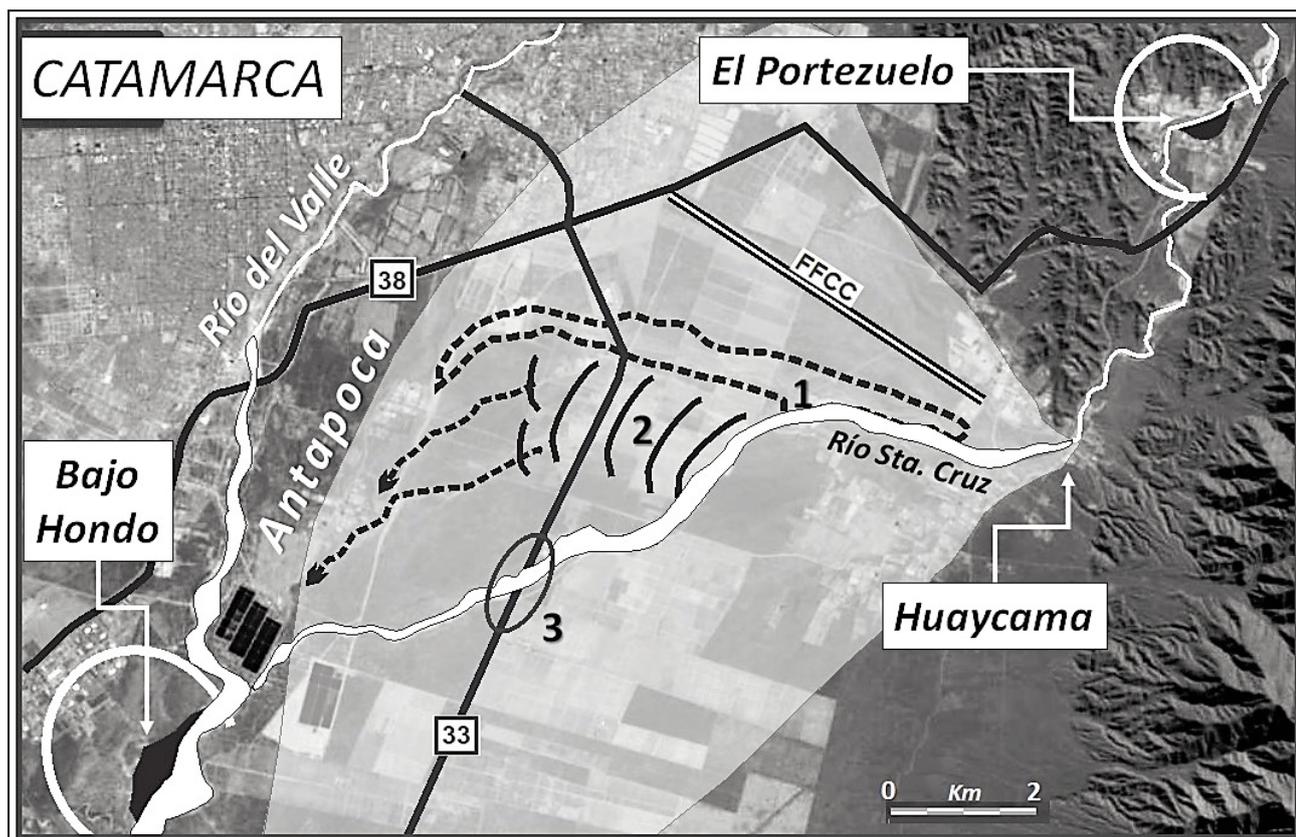


Figura 5. Abanico aluvial del río Santa Cruz, 1. Avulsión en el sector apical, 2. Desborde y de derrames laminares, 3. Puente de la ruta provincial nº 33.

Las crecientes importantes con ocurrencias, al menos, una vez cada 10 años, ocupan el espacio físico natural correspondiente al lecho mayor del río. Caudales repentinos de carácter extraordinarios registran inundaciones que se desplazan y superan la terraza inferior del río. Las evidencias de crecidas del avance del curso de agua sobre estos terrenos se registran en la imagen LANDSAT de febrero del año 1984 y flujos semejantes ocuparon espacios similares que se reconocen en las imágenes LANDSAT de marzo de 1992. Así mismo en las fotografías aéreas del año 1968, se observa la presencia de una antigua defensa, sobre la margen derecha, para evitar desborde del curso de agua sobre la terraza inferior.

Las crecientes del 29 y 30 de marzo 2017 cubrieron la totalidad de la terraza inferior, de ambos márgenes, y erosionaron lateralmente en forma considerable un sector del talud de la terraza superior sobre la margen izquierda del río Paclín. Los daños ocurridos de mayor envergadura corresponden a seis viviendas, cuatro de las cuales fueron afectadas por la erosión o socavación lateral de la margen izquierda de la terraza superior.

Las características de inundaciones como la del año 2017, sobre la geoforma de la terraza inferior de ambos márgenes, alcanza una repetición del evento dos veces en cincuenta años. Sin embargo, la margen derecha presentaría una frecuencia mayor, dada las evidencias de presencia de defensas en las escenas satelitales y las fotos aéreas analizadas (Eremchuk et al 2017).

Bajo Hondo: Corresponde a un asentamiento poblacional espontáneo, consolidado por el municipio de la ciudad de Catamarca con la creación de la Escuela nº 4 en el año 2011, se

ubica al sur del departamento Capital sobre la terraza de la margen derecha del río del Valle (Figura 5). Está constituido por unas 30 familias que viven con escasa infraestructura urbana.

Las lluvias ocurridas en las cuencas altas del río Paclín y del Valle, generaron crecientes el 29 y 30 de marzo de 2017. La suma de estas escorrentías extraordinarias que se juntan a 2000 m aguas arriba del asentamiento urbano, superaron los límites naturales del lecho mayor e inundaron la terraza inferior de la margen del río del Valle, anegando el sitio de Bajo Hondo.

La movilidad fluvial de los cauces de los ríos Santa Cruz y del Valle, observadas en las diferentes escenas multitemporal de los sistemas de teledetección (fotografías aéreas del año 1968 e imágenes satelitales de los años 1984 y 2017), muestran una dinámica del cauce sobre la margen izquierda del curso de agua y ausencia de avulsión del río sobre la terraza donde se ubica Bajo Hondo, (Ojeda et al. 2017), lo que indicaría que esta geoforma fue inundada una vez en los últimos cincuenta años.

Por otro lado, se debe señalar que los informes técnicos sobre riesgo de inundación del Consejo Federal de Inversión (Gioria 2006) y del Instituto Nacional del Agua (Burgos et al. 2015) muestran que la terraza inferior, donde se ubica el asentamiento, se encuentra entre las líneas de recurrencias de crecientes extraordinarias entre 100 y 500 años.

La ocurrencia de inundación de la terraza inferior, de una vez en cincuenta años, es coincidente con observaciones similares realizadas por Eremchuk et al. (2012) para la misma geoforma, aguas arriba, en el barrio Valle Hermoso y sobre la margen derecha del curso de agua del Río del Valle.

Vertiente oriental de las sierras de Ambato y Ancasti

Las estribaciones surorientales de las sierras de Ambato, compuesta por las cumbres, Potrerillo y Guayamba se integran al sector septentrional de la sierra de Ancasti (cumbres de Alijilán y Las Tunas). Los drenajes de estos cordones conforman la cuenca de hidrológica del río San Francisco, que vuelca sus aguas a la llanura tucumana.

RÍO SAN FRANCISCO

El colector principal de la cuenca es el río San Francisco, el cual, en su recorrido al salir a la zona de piedemonte se dirige con dirección nordeste hasta unirse con el río El Abra en el paraje Los Molles, en este trayecto delimita las provincias de Tucumán y Catamarca (Figura 1).

Las escorrentías del curso de agua, hasta las crecientes del año 2014, alcanzaban el paraje Santa Teresa, (coordenadas: 27°54'53.81"LS y 65°29'13.99" LO) a partir de allí, los caudales se insumían en una extensa planicie de inundación. Los posibles excedentes del drenaje superficial, fluían en derrames laminares, en esporádicas concentraciones sobre paleocauces intermitentes de la margen derecha de la planicie, cuyos flujos tendían a unirse al río El Abra.

Los documentos de los sistemas de teledetección, muestran que desde antes del año 1968 hasta el 2014, la planicie distal del río San Francisco se mantuvo inactiva. El estado de la vegetación natural de la unidad y la presencia de asentamientos rurales de subsistencia familiar, indicarían una estabilidad, muy próxima, a los 100 años (Figura 6, A).

Las crecientes de los años 2015 y 2016 sobrepasaron el paraje de Santa Teresa, explayándose e inundando la planicie distal y concentrando los caudales importantes a través de los paleocauces sobre la margen derecha de la planicie. Los flujos alcanzaron los parajes de Casa Santa, Cuchinoque y Puesto los Pérez, retomando en este lugar un "paleocauce" que termina uniéndose al río El Abra (Figura 6. B y C).

Las causas de la reactivación de esta unidad, se deberían a varios factores concurrentes: el aumento del régimen de precipitaciones en la zona, un salto climático en la cuenca alta, la modificación del uso del suelo natural a rural o urbano y la consolidación de los asentamientos rurales en la zona de la planicie distal. Estas son las diferentes variables que han favorecido a la escorrentía del río San Francisco a activar nuevamente la planicie distal; cuál de ellas es la más importante es aún incierto definirlo (Eremchuk et al. 2016).

BADÉN A LOS ORTICES

El paraje de referencia, es una zona de intensa actividad agrícola (sojera) y se encuentra fuera de la zona pedemontana y entre los interfluvios de los ríos El Abra y Ovanta. Se ha elegido este tramo para mostrar las inundaciones de geoformas generada por el río El Abra, ejemplo que puede ser extrapolados al recorrido de los otros cursos de aguas como el San Francisco y Ovanta.

El Badén se encuentra sobre el río El Abra y es paso del camino vecinal que conduce al paraje Los Ortices; luego de recorrer unos 1500 m hacia el norte de la localidad de Monte Redondo, sobre mano derecha se encuentra la entrada.

En este tramo, el río El Abra, inunda y erosiona diferentes geoformas fluviales, especialmente la terraza inferior, con la creciente del 2015 es la primera vez en cincuenta años que los caudales del río se explayan por dicha superficie. En la Figura 7 es posible observar la fuerte dinámica sobre el lecho de inundación, cortando meandros y erosionando los taludes de la terraza superior y los bordes de los terrenos ribereños de la planicie aluvial.

RÍO OVANTA

El campo de Barrera, que es una franja transversal con un 80% de vegetación natural de monte chaqueño (coordenadas de ubicación: 28° 0'2.46" LS y 65°20'28.98" LO), forma parte del paraje de Los Ortices. En las crecientes entre los años 2014 y 2017 ha funcionado como un sector de amortiguamiento de la escorrentía del río Ovanta.

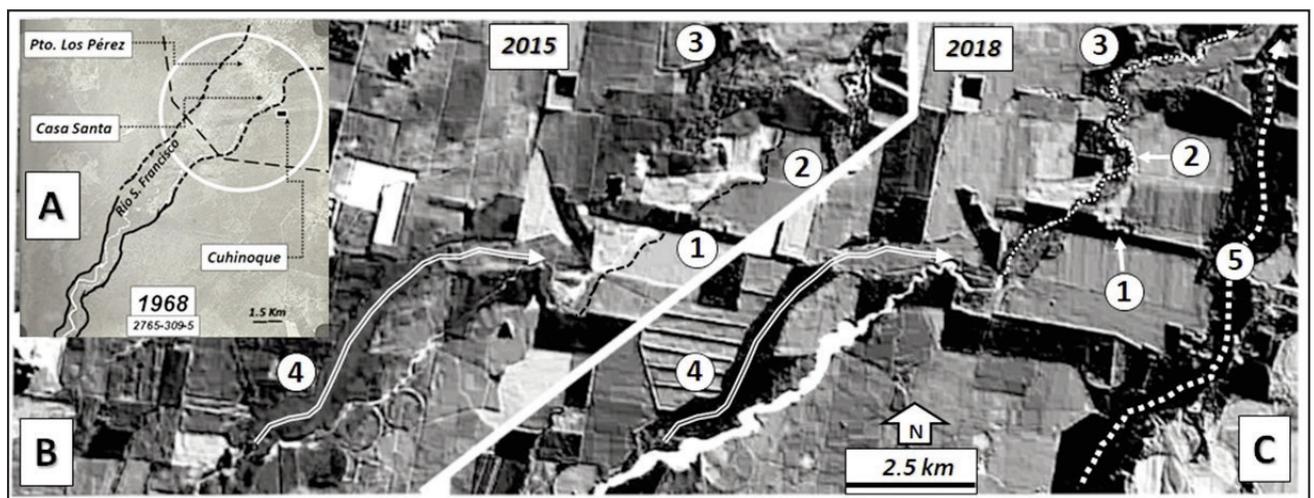


Figura 6. A. Diferentes escenas de imágenes que muestran la evolución del río San Francisco en su tramo de la cuenca media. A. Foto aérea 1968. B. Imagen post evento 2015. C. Escena satelital actual del curso de agua. 1. Cuchinoque. 2. Casa Santa. 3. Puesto Los Pérez. 4. Paleocauce del río San Francisco y 5. Río El Abra.

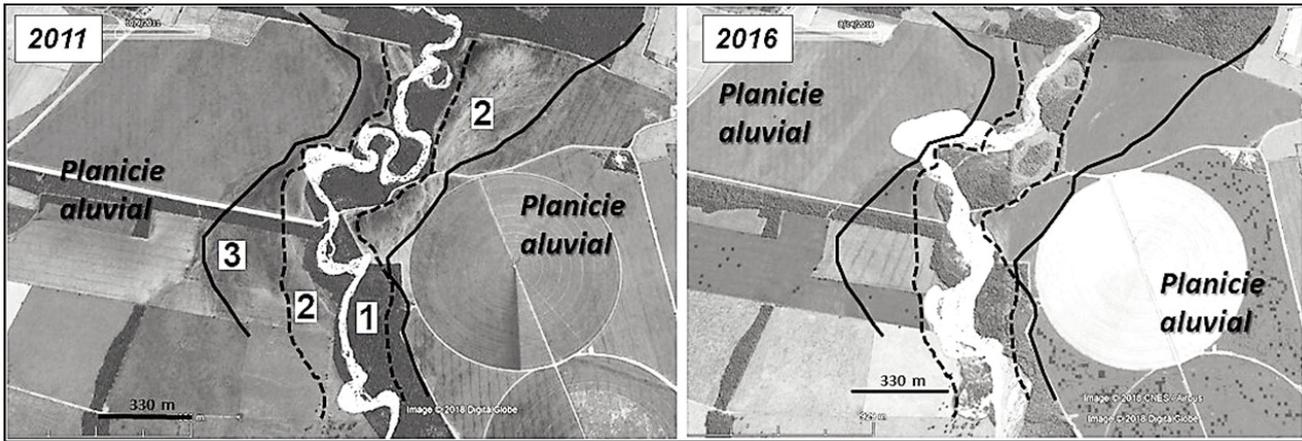


Figura 7. Río El Abra, badén sur a Los Ortices. Las escenas satelitales entre los años 2011 y 2016, muestra la dinámica fluvial de la creciente de abril del año 2015, las cuales inundan y erosiona las geofomas del “lecho de inundación” (1) y las “terrazas inferior y superior” (2 y 3) de ambas márgenes.

El análisis fluvial de este curso de agua, a partir de la observación multitemporal de los documentos de los sistemas de teledetección, muestran una evolución desde su antigua área de insumisión, unos 1600 m aguas abajo del puente de Bañado de Ovanta, sobre ruta provincial nº 64 (año 1968, tramo A de la Figura 8), hasta el año 2003 el sector donde se insumía, en el paraje de la finca Delotte (tramo B de la Figura 8). A partir de la creciente del año 2015 los flujos se explayaron en dirección noroeste generando un nuevo curso de agua, hasta el paraje La Zanja (tramos C y D de la Figura 8).

Los caudales de la creciente del 2015 y las de los años siguientes, alcanzan el campo de Barrera, sin deforestar, en forma de explayamientos, dejan parte del material detrítico fino y al salir de dichos terrenos, se reencauzan por una antigua vaguada con descarga al río El Abra, en el paraje La Zanja.

El fuerte impacto sobre la actividad agrícola, obligó la canalización del tramo C (Figura 8) y a la realización de bermas artificiales (geotextil) para el desagüe de los flujos sobre el río El Abra en el tramo D (Figura 8).

Este evento no tiene antecedentes, las distintas crecientes generaron un derrame axial en forma de explayamiento, hacia

el paraje La Zanja, avanzando sobre campos cultivados, hasta alcanzar el drenaje de una vaguada que descarga en el río El Abra.

Si se tiene en cuenta que la máxima pendiente de los escurrimientos superficiales de la zona, debería haber tomado los declives del terreno (línea 2, Figura 8), es posible que se esté en presencia de un trasvasamiento de cuenca. Eremchuk et al. (2016) estima que el manejo del curso de agua por los agricultores y los importantes volúmenes de caudales del río, han contribuido a generar estos derrames axiales.

BAÑADO DE OVANTA

La localidad de Bañado de Ovanta, ciudad cabecera del departamento Santa Rosa, con una población estable de 40156 habitantes, se localiza sobre la ruta nacional nº 64, es la ciudad cabecera y se encuentra en la región Noreste de la provincia de Catamarca. La trama urbana se desarrolla al Este del río Ovanta y sobre un relieve deprimido, en donde el principal problema de inundación, es el anegamiento de barrios de la ciudad debido a los excedentes hídricos de los suelos agrícolas ubicados al sureste de la ciudad.

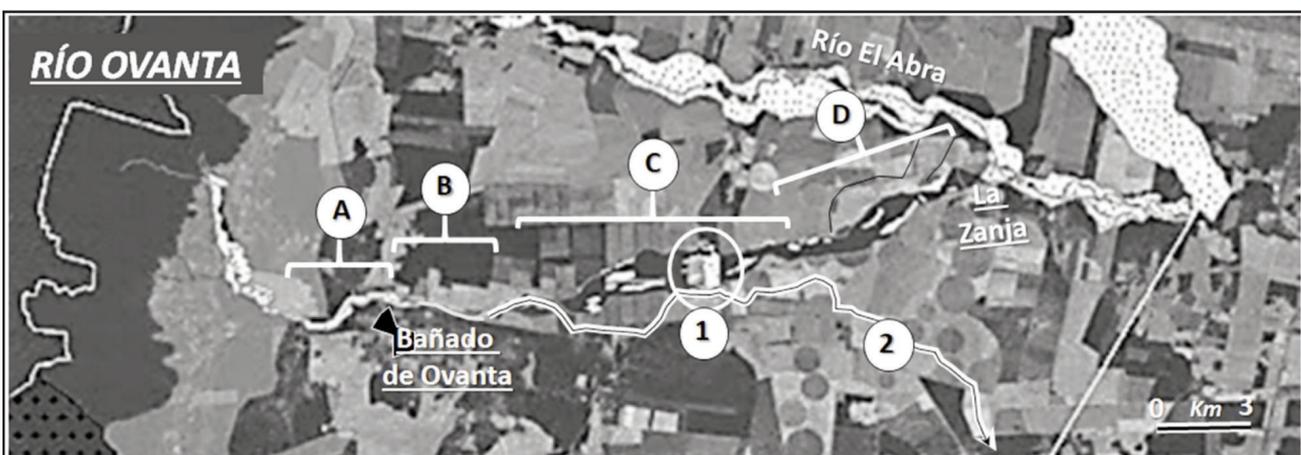


Figura 8. Zonificación del río Ovanta. Tramos activos del curso de agua: A. Hasta el año 2005. B. Hasta el año 2009. C y D. Explayamientos 2015 al 2017. 1. Campo de Barrera. 2. Línea de máxima pendiente regional de flujos pluviales o de excedentes hídricos.

La zona deprimida de la localidad no posee antecedentes de inundaciones fluviales. En los últimos cincuenta años, no se han encontrado evidencias de campo, ni fotogeológicas, anteriores a este tiempo, en donde se demuestre que las crecidas extraordinarias del río Ovanta superaron la margen derecha de la "terrazza inferior" sobre los terrenos ribereños, excepto la creciente del año 2015 que por degradación del talud en el badén del paraje de Ovanta (Coordenadas: 28°07'51.85" LS y 65°19'19.42" LO), se genera una avulsión y los flujos fueron conducidos por el camino vecinal hacia la población de Bañado de Ovanta.

A este fenómeno, se le sumaron el taponamiento del puente de la ruta nº 64 y la escorrentía de los excedentes hídricos de los suelos agrícolas, que contribuyeron a un anegamiento importante de la localidad, que en algunos barrios superó el 1.30 m de altura (Eremchuk et al. 2016).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los procedimientos aplicados, análisis geomorfológico y el uso multitemporal de los sistemas de teledetección, forman parte del método hidrológico, para conocer la magnitud de los caudales, zonas inundables y la recurrencia de las crecientes.

En el presente trabajo, esta metodología se la empleó en forma independiente, teniendo en cuenta que los resultados de los procedimientos clásicos, los cuales no alcanzan a satisfacer las necesidades preventivas para el uso del suelo urbano o rural. La carencia de datos de precipitaciones y de caudales en las cuencas hídricas, inducen a resultados pocos confiables, así lo expresan los autores de los informes técnicos del Instituto Nacional del Agua.

Los estudios fotogeológicos, de carácter multitemporal de fotos aéreas e imágenes satelitales, relacionados a la evaluación de la dinámica espacio-temporal, en función de las evidencias gráficas que alcanzan la extensión de los flujos de agua durante las inundaciones, permitieron definir el comportamiento de las unidades geomorfológicas en la dinámica fluvial del sistema hidrológico de las sierras de Ambato, demostrando que parte de los asentamientos urbanos y rurales se encuentran sobre geoformas fluviales amenazadas por inundaciones repentinas, con repetición de uno o más eventos en los últimos cincuenta años.

Por otro lado, la síntesis de los registros históricos demuestra que las inundaciones no sobrepasan el calado potencial de las terrazas superiores o de las márgenes del talud de los conos aluviales inactivos del nivel medio del piedemonte y en los conos o abanicos aluviales activos las zonas de inundación son recurrentes en los sectores del ápice hidrológico de las geoformas y sobre los lóbulos activos y semiactivos.

La excepción de estas consideraciones son las geoformas de la llanura del departamento Santa Rosa, en donde las inundaciones de los últimos cuatro años, reactivaron planicies distales o generaron explayamientos sobre unidades geomórficas inactivas durante periodos mayores a los cincuenta años.

Se puede concluir, que algunas de las máximas crecientes ordinarias superan el umbral físico natural del cauce o lecho menor y tienden a ocupar el lecho mayor o de inundación de los ríos y los lóbulos semiactivos de los conos aluviales. Las características de estos terrenos, formados por barras fluviales, es la baja altura de su talud ($\sim \leq 1$ m) que limita con el cauce y poseen una escasa colonización vegetal, lo cual demuestra su grado de actividad hidrológica temporal.

Las crecientes extraordinarias con repetición de hasta dos veces en los últimos cincuenta años inundan geoformas correspondientes a la terraza inferior y pueden generar avulsión en tramos de meandros o en la zona apical de los conos aluviales, por otro lado, suelen reactivar paleocauces de terrenos ribereños y lóbulos semiactivos de los conos aluviales.

Las crecientes extraordinarias, acontecidas en estos años en el departamento Santa Rosa, que se estiman en una recurrencia probable igual o mayor a los 100 años, han reactivado las geoformas estables de la cuenca media y baja del río San Francisco, identificadas como planicies distales y explayamientos axiales. Aún no se conocen las causas de esta reactivación, si se debe al aumento del régimen de precipitaciones a partir de los años 70 (Comba 2017 y Lestusi 2018) o por la intensidad de las mismas asociado al uso de suelo agrícola de la zona.

Estas consideraciones implican que para el uso antrópico (urbano o rural) de diferentes espacios fluviales, es imprescindible la planificación de los asentamientos y la implementación de obras civiles de protección en forma previa al aprovechamiento de dichos terrenos, especialmente aquellas geoformas con evidencias de ocurrencias de inundación, al menos, una vez en los últimos cincuenta años.

Las restricciones al uso de estos espacios ribereños con evidencias témpora-espacial de las inundaciones, sería posible a partir de la aplicación del principio precautorio de la Ley General del Ambiente (Art. 4. Ley Nº 25.675), medida necesaria para evitar las pérdidas materiales y de vidas humanas, ante la falta de prevención y planificación de los organismos públicos.

Finalmente, a pesar que las condiciones climáticas hacia el oeste de la dorsal climática que forman las sierras de Aconquija-Ambato-Ancasti son de mayor aridez, se aconseja extrapolar estos resultados en forma preventiva a todos los núcleos o asentamientos urbanos y rurales que se ubican en el ámbito de las Sierra Pampeanas y borde oriental del Sistema de Famatina de la provincia de Catamarca, hasta tanto se cuente con estudios hidrológicos adecuados para la planificación del uso del suelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto "Cartografía geoambiental de áreas urbanas de la provincia de Catamarca", del Dpto. de Geología, financiado por la Universidad Nacional de Catamarca. Al mismo tiempo se agradece al Dr. Ricardo Mon y a Miriam Cisternas por la lectura crítica del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BARBEITO O., RUIBAL C., LOBOS M. 2000.
Informe de la situación de amenaza de El Rodeo.
Informe inédito solicitado por la municipalidad del Rodeo.
- BARBEITO O., AMBROSINO S., RYDZEWSKIA A. 2016.
Peligrisidad en conos aluviales, caso Siján, provincia de Catamarca.
Libro de Actas de las XI Jornadas Nacionales de Geografía Física. ISBN 978 987-661-216-6.

- BERTRAND G., GOLDSCHIEDER N., GOBAT J.M., HUNKELER D. 2012
Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems.
in Hydrogeology Journal 20 (1) · February 2011 DOI: 10.1007/s10040-011-0791-5
- BURGOS V. H., LÓPEZ P., MAZA J. SALCEDO A., BONILLA J., CARTAGENA A. 2015.
Delimitación de áreas de riesgo hídrico ocasionadas por crecidas de los ríos El Tala y Paclín - Catamarca.
Informe Técnico n° 164 CRA. Instituto Nacional del Agua (INA).
- CAMILLONI I. Y BARROS V. 2016.
La Argentina y el cambio climático, de la física a la política.
Libro, páginas: 286 - Editorial: EUDEBA Colección Ciencia Activa, ISBN 9789502326559
- CANO GUILLERMO 1988.
Estudio sobre línea de ribera. Informe final, 390 pág.
Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires.
- CARO R. E. 2006.
Escritos económicos.
Cátedra de Doctrinas sociales y Económicas UNCA ISBN 950-746-104-3, 306 Pág. Segunda Edición.
- CATIVA S. 2018.
Geología e identificación de geoamenazas hídricas entre las localidades de Villa de Pomán y Rincón, Dpto. Pomán, provincia Catamarca
Seminario (inédito) Facultad de Tecnología y Cs. Apl. UNCA
- CISTERNAS M., VERGARA T., NIETO R., EREMCHUK J., MUSURUANA A., ACHA E. 2017.
La dinámica del río Siján, vinculada al aluvión de 23/enero/2014 Dpto. Pomán. Catamarca.
XX Congreso Geológico Argentino. Riesgo geológico y geología ambiental y urbana Sesión Técnica 15. 18-21.
- COLEGIO DE GEÓLOGOS DE CATAMARCA. 2014.
Causas del desastre. (Síntesis) El Rodeo, Ambato, provincia de Catamarca.
Informe inédito 20pp.
- COMBA ANÍBAL 2017.
Anexo 1, Registros de Lluvias. Problemática del área sur de Tucumán, este de Catamarca y Río Hondo.
Documento síntesis. Dirección de Recursos Hídricos, Provincia de Tucumán.
- EREMCHUK J. 2014.
Evidencias Geológicas y Geoamenazas Hídricas en la villa El rodeo, Dpto. Ambato, Catamarca.
Producción Científica de la Facultad de Tecnología III-ISBN: 978-987-661-186-2 pág 73-82
- EREMCHUK J. CISTERNAS M. Y COSTELLO M. 2016.
Determinación de Áreas Inundables de las Localidades Ubicadas en la Cuencas de los Ríos El Abra, San Francisco, Ovanta y Las Cañas del Este Catamarqueño, Provincia de Catamarca.
Informe técnico II-V-320pag. Colegio de Geólogos de Catamarca para la Subsecretaría de Recursos Hídricos Catamarca.
- EREMCHUK J., SUIRO A., AREVALO V., Y PARACHE L. 2017
Geoamenazas hídricas de la localidad El Portezuelo (Catamarca - Argentina)
Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas - ISSN 2525-2097 - Vol. 2 - N° 1, 12-16.
- EREMCHUK J., Y MUSURUANA A. 2012.
El uso de imágenes multitemporales en la dinámica fluvial del Río del Valle. Catamarca - Argentina.
Producción Científica de la Facultad de Tecnología III-ISBN: 978-987-661-116-9 pág. 245-249
- EREMCHUK, J.E. 1984.
Fracturas del borde occidental de las sierras de Ambato-Manchao, provincia de Catamarca.
9º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 362-367, S.C. Bariloche.
- GIORIA R. 2006.
Estudio de la línea de ribera y conexas en el río del Valle, provincia de Catamarca.
Consejo Federal de Inversiones (CFI) Informe final 107 Pág. Bs. As.
- INBAR M. COSTELLO J., EREMCHUK J. 2016.
Megaboulder transport in flash floods- case studies in the Jordan river (Israel) and Ambato river (Catamarca, Argentina).
VII Congreso Latinoamericano de Sedimentología y XV Reunión Argentina de Sedimentología. Libro de Resúmenes Pág. 98. ISBN 978-987-42-2083-7 Asociación Argentina de Sedimentología.
- LAFLEUR A. E. 1981.
Geología de las unidades sedimentarias en el Este del Salar de Pipanaco, provincia de Catamarca.
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH) Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Buenos Aires.
- LETUSSI MATÍAS 2018.
Método de tratamiento de modelos de elevación para el análisis de escorrentía superficial en planicies agrícolas - Monte Redondo, Departamento Santa Rosa, provincia de Catamarca.
Indito: Seminario, pág. 132. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Catamarca.

- LEY 26994. 2014
Código Civil y Comercial de la Nación.
Honorable Congreso de La Nación Argentina. Boletín Oficial del 08-10-14. Número 32985. Pág. 1.
- MAZA J. A. LOPEZ P. BURGOS V., 2012.
Delimitación de áreas de riesgo hídrico en El Rodeo, Dpto. Ambato - Catamarca.
Informe final IT n° 145-CRA, 117 pág. Convenio INA-Gobierno de Catamarca.
- OJEDA J. SUEIRO A. PARACHE L. Y REARTE R. 2017
Causas de la inundación en el asentamiento urbano de Bajo Hondo (Catamarca - Argentina)
Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas - ISSN 2525-2097 - Vol. 2 - N° 1, 06-11.
- OLLERO OJEDA A., 2014.
Guía Metodológica Sobre Buenas Prácticas en Gestión de Inundaciones.
Proyecto Sud'eau2 del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo. 137 Pág. ISBN 978-84-606-8807-5.
- SEGURA L. 2016.
Aluviones en cuencas hidrográficas del Tramo austral / occidental de las sierras de Ambato. Provincia de Catamarca, Argentina.
Libro de Actas de las XI Jornadas Nacionales de Geografía Física. ISBN 978 987-661-216-6.

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente publica:

Artículos Originales, Artículos Invitados, Notas técnicas, Reseñas de Libros, Artículos especiales sobre casos de estudio históricos de interés relevante, Discusiones Técnicas breves de artículos y comunicaciones publicadas en la Revista y Anuncios de eventos.

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

a) De carácter general:

- Las contribuciones deben ser originales.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no ha sido publicado con anterioridad, total o parcialmente.
- El/los autor/es deberá/n garantizar que el artículo no será publicado en otras publicaciones en cualquier idioma sin el consentimiento de los propietarios de los derechos de autor (o *copyright*), que los derechos de terceros (*terceras partes*) no serán violados y que el editor no será considerado legalmente responsable si existe algún reclamo de indemnización.
- Se admitirán trabajos escritos en español, portugués o inglés.
- El Comité Editorial y el Editor de la Revista se reservan la posibilidad de invitar a especialistas reconocidos a enviar artículos sobre temas de interés específico.
- Todos los trabajos serán evaluados preliminarmente por el Editor y serán enviados a revisión por pares en carácter doble ciego según los pasos indicados en ítem e) de las instrucciones para autores.
- La presentación de un nuevo trabajo debe ser acompañada de una carta al editor de la Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente en la cual debe constar el título del trabajo y los autores, expresando que el mismo es original, que no ha sido enviado ni se enviará a ninguna otra revista durante el trámite editorial en la Revista de la AGA. La misma encabezará el PDF generado por el sistema OJS, antes de llenar los archivos complementarios en formato original. Debe mencionar los posibles revisores con los que existan conflictos de intereses.
- Los artículos que no cumplan las normas serán devueltos sin arbitrar.

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

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

del mismo y escrito sin utilizar abreviaturas. Se debe utilizar letra Times New Roman tamaño 12, mayúscula, negrita y centrado, sin subrayar.

- Si el trabajo está escrito en español el título se debe expresar en español y en inglés. Si el trabajo está escrito en portugués, también se debe incluir en inglés. Si el trabajo está escrito en inglés, también se debe incluir en español.
- Debajo del título, en texto centrado, en letra Times New Roman tamaño 10, se incluyen los datos de los autores y afiliaciones. Los nombres de los autores se deben escribir en letra normal, las afiliaciones y direcciones de correo electrónico en letra cursiva. Se deberá identificar con un superíndice al autor que se deba dirigir la correspondencia.
- Desde la segunda página comienza el desarrollo del trabajo. En el caso de que el idioma del trabajo sea español, se debe incorporar, en forma consecutiva, el "Resumen" de hasta 250 palabras, las "Palabras clave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords". A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso de que el idioma del trabajo sea inglés, la primera sección será el "Abstract" de hasta 250 palabras, seguido de las "Keywords" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Resumen" y las correspondientes "Palabras clave" en español. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- En el caso de que el idioma del trabajo sea portugués, la primera sección será el "Resumo" de hasta 200 palabras, seguido de las "Palavras chave" en un número entre 3 y 5, el correspondiente "Abstract" y las correspondientes "Keywords" en inglés. A continuación se inicia el desarrollo del artículo.
- Todo el texto deberá estar escrito en letra Times New Roman tamaño 12, ainterlineado sencillo, con sangría de un centímetro y sin doble espacio entre párrafos. Se conservarán los tipos de letra destacados que el autor considere convenientes, así como los correspondientes a determinados términos científicos o expresiones latinas o extranjeras. Deberá estar escrito en una sola columna.
- El tamaño de la hoja es A4 (210 x 297mm). El área de trabajo será de 170mm de ancho y 247mm de altura. Es decir, 20mm de márgenes derecho e izquierdo y márgenes superior e inferior de 25mm. Se debe usar justificación completa.
- Es obligatorio el uso del sistema métrico decimal.
- Cuando una abreviatura, o un acrónimo, aparezca en el texto por primera vez, su significado deberá ser aclarado en forma completa entre paréntesis.
- No se aceptarán notas de pie de página. La información respectiva deberá incorporarse en el texto.
- Las expresiones matemáticas deben ser elaboradas con el procesador de texto y formar parte del mismo. Las ecuaciones deben estar centradas y separadas por una interlínea. Todas las ecuaciones deben estar numeradas consecutivamente, usando numerales en paréntesis alineados al margen derecho. La secuencia de paréntesis deberá ser la usual en Matemática:}}).
- Las fórmulas deben ser digitadas. Deje un espacio amplio alrededor de la fórmula.
- Los subíndices y superíndices deben ser legibles.
- Los caracteres especiales y otras letras no latinas deben ser explicados en el margen, donde sean usados por primera vez. Tenga especial cuidado en diferenciar entre cero (0) y la letra "o", y entre uno (1) y la letra "l".
- Proporcione el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.

- Para fracciones simples use el símbolo "/" en lugar de la línea horizontal; por ejemplo: Sy/Xm .
- En las fórmulas químicas deben especificarse la valencia de los iones como, por ejemplo, Ca^{2+} y CO_3^{2-} , no como Ca^{++} o CO^{-3} .
- Los números de isótopos deben indicarse mediante un superíndice antecediendo a los símbolos químicos, por ejemplo: ^{18}O .
- Donde sea posible se debe evitar la escritura repetida de fórmulas químicas en el texto. En lugar de ello se debe dar el nombre completo del compuesto. Se exceptuarán aquellos casos de nombres muy largos y frecuentes, o de compuestos que son descritos como el producto final de una determinación gravimétrica (ejemplo: fosfato como P_2O_5).

c) Sobre el formato de figuras y tablas:

- Se incluirán como figuras todas las ilustraciones, mapas, fotografías, gráficos, etc., presentes en el texto, que deberán llevar numeración arábiga correlativa por orden de aparición y se ajustarán al tamaño de la caja. Las ilustraciones deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50%, sin pérdida de calidad. Deben tener una resolución mínima de 300 dpi.
- Se deben evitar los espacios en blanco sobrantes alrededor de la figura, o la presencia de grandes sectores sin información en el interior de la misma.
- Todas las figuras llevarán su correspondiente leyenda, inmediatamente debajo de la misma, que no se debe incluir en el cuerpo de la figura. Se usará letra Times New Roman tamaño 12, a interlineado sencillo. La figura y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Figura n: donde n es el número de orden que corresponda. Se recomienda preparar leyendas sean cortas y concisas.
- Las figuras serán citadas en el texto como (Figura n), siendo n el número de orden que corresponda, sea directamente como Figura 1, por ejemplo, o bien entre paréntesis como (Figura 1). El tamaño se deberá limitar, como máximo, a una caja de 15 x23 cm, debiendo considerar el espacio ocupado por el epígrafe. Se las deberá enviar como **archivos individuales** en uno de los formatos aceptables (.tif, .jpg, .pdf o .eps). No se aceptan archivos incluidos en documentos de otros formatos, como Microsoft Word o PowerPoint, por ejemplo. En el caso de una figura compuesta por varias imágenes las mismas deberán estar debidamente identificadas con una letra en la esquina inferior derecha de la misma.
- Las fotografías (y figuras en formato raster con tono continuo) deben ser contrastadas, claras y con una luz adecuada, ni demasiado clara ni oscura. Deben ser enviadas como archivos .tif, .jpg o pdf. Deberán incluir escala, vertical y horizontal en caso de ser distintas, cuando no existan elementos en la misma que permitan su dimensionamiento (escala, cinta métrica, martillo geológico, brújula, vehículo, etc.).
- Las figuras delineadas o dibujos deben ser contrastados y claros.
- Las figuras de tipo mapa deben estar orientadas, incluir escala gráfica e indicación de la localización geográfica (trazas UTM o Lat/Long). Deberán tener referencias adecuadas a los símbolos, rastras, etc. utilizados. Los mapas en color serán reproducidos en formato impreso 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.
- Las fotografías o figuras podrán ser enviadas a color (preferentemente), sin costo adicional para su publicación electrónica.
- Los gráficos deben poseer ejes de coordenadas correctamente rotulados y con indicación de la unidad de medida correspondiente, en el caso que corresponda.
- Las tablas se deben remitir como archivo de texto (formato Word) y no como imagen.
- Las tablas serán citadas en el texto iniciando con mayúscula en citas directas, o indirectas entre paréntesis. Es decir como Tabla 1, o bien (Tabla 1).
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Cada tabla debe llevar, del mismo modo que las figuras, una leyenda breve y explicativa, en la parte inferior. Se usará letra Times New Roman tamaño 12, a interlineado sencillo. La tabla y el número irán en negrita, sin subrayar, seguidas por dos puntos, en la forma Tabla n: donde n es el número de orden que corresponda.

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

- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales de otros artículos o capítulos de libros si no se dispone de la autorización expresa de quién detente los derechos, es decir de la editorial responsable de la publicación correspondiente o bien del autor o los autores. La reproducción autorizada de tablas, fotografías u otras ilustraciones procedentes de otros trabajos deberá incorporar en el epígrafe la cita del trabajo original de donde fue obtenido. Con respecto a las figuras, en el caso de que la misma se reelabore, o de una tabla, que sea editada, se deberá indicar "modificada a partir de..." seguido de la cita del artículo original.
- A los autores que deseen incluir figuras, tablas o secciones completas de texto que ya han sido publicados en otras publicaciones, se les requiere obtener el permiso del/de los propietario/s del copyright y que incluyan evidencias de que dicho permiso ha sido concedido al presentar sus artículos. Todo ello sin perjuicio de que otras inclusiones de párrafos, definiciones, conceptos o clasificaciones provenientes de otros autores puedan ser aceptadas con la cita expresa de la referencia correspondiente. Cualquier material recibido sin esa documentación será considerado como originado por los autores, quienes, por lo tanto, deberán asumir la responsabilidad legal correspondiente.
- Las referencias bibliográficas serán incluidas bajo el título de TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO. La Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente se adhiere a las normas internacionales de citación bibliográfica de la **American Psychological Association (APA)**, siendo ésta uno de los estándares más reconocidos para la transmisión del conocimiento científico y académico desde su primera edición en 1929. Las normas se encuentran disponibles en <http://normasapa.net/2017-edicion-6/>.
- La cita de trabajos en el texto estará referida a la lista bibliográfica final, indicando apellido de los autores y año de publicación entre paréntesis, por ejemplo: (Caminos, 1975). En caso de ser más de dos autores se usará et al. (en itálica, sin subrayado ni negrita). Cuando se cite más de un trabajo del mismo autor se separarán por una coma, por ejemplo: Caminos (1956, 1978). En el caso de ubicar varios autores dentro del paréntesis se separarán entre ellos por un punto y coma. Si se citan varios trabajos del mismo autor y del mismo año se agregarán, a continuación del año, letras, de acuerdo al orden de aparición en el texto.
- En el caso de citar un párrafo o frase de otro trabajo, éste

deberá aparecer entre comillas y cursiva, acompañada de la correspondiente cita. Por ejemplo,..... según Casio et al., (1980), "la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma"... o bien directamente "la caída del imperio romano fue resultado de irresueltas luchas políticas entre las principales familias de Roma" (Casio et al., 1980).

- La lista de referencias deberá estar ordenada alfabéticamente, con las citas bibliográficas justificadas a la izquierda y la segunda línea tendrá una sangría especial francesa de 15 puntos ó 0,75 cm. Las citas correspondientes incluirán a la totalidad de los autores. Ejemplo para Casio et al., (1980): Casio, M.; Marcinus, F.; Salina, R y Hubbard, R.T. (1980). La caída del imperio romano. *Revista de Occidente*, Vol. 180: 224-234.
- Los artículos en publicaciones periódicas se citarán empleando texto en cursiva sea para el título de la revista o actas de congreso o reunión científica, en el caso de artículos o el título del libro, en el caso de textos:
 - Publicaciones periódicas formato impreso: Apellido, A.A., Apellido, B.B, y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen (número):pp-pp.
 - Publicaciones periódicas con DOI: Apellido, A.A., Apellido, B.B. y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista*, volumen(número), pp-pp. doi: xx
 - Publicaciones en actas de congresos: Apellido, A.A., Apellido, B.B, y Apellido, C.C. (Año). Título del artículo. *Nombre del congreso o reunión científica*, volumen, pp-pp.
 - Libro: Apellido, A.A. (Año). *Título*. Ciudad, País: Editorial.
 - Libro con editor: Apellido, A.A. (Ed.). (Año). *Título*. Ciudad, País: Editorial.
 - Capítulo de libro: únicamente en los casos de libros donde cada capítulo tenga un autor dife-rente y un editor: Apellido, A.A., y Apellido, B.B. (Año). Título del capítulo. En A.A. Apellido. (Ed.), *Título del libro* (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Ejemplos:

- Palenzuela, J.A., Marsella, M., Nardinocchi, C., Pérez, J.L., Fernández, T., Chacón, J. & Irigaray, C. (2015). Landslide detection and inventory by integrating LiDAR data in a GIS environment. *Landslides*, 12(6):1035-1050.
- Carranza Torres, C.M. (1991). Cálculo analítico de redes de filtración. *Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería*, vol. VI, 250-267.
- Dearman, W.R. (1991). *Engineering geological mapping*. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Mateos Ruiz, R.M. y M. Ferrer Gijón. (1994). Methodology for landslides hazard map 1:10,000 in the area of Monachil (Granada, Spain). En R. Oliveira, L.F. Rodrigues, A.G. Coelho & Á.P. Cunha (Eds.), *7th International Congress International Association of Engineering Geology*, (vol III: 2059-2064). Rotterdam, Holanda: Balkema.
- Las citas correspondientes de páginas Web se efectuarán de acuerdo al siguiente modelo: Barker, A. and Jones, C.(2007). Reassessing the direction of postgraduate environmental assessment education: the Manchester experience 1996-present. En T. B. Fischer et al. (Eds.) *Environmental Assessment Lecturer's Handbook* (pp.29-38). Disponible en <http://www.penta-eu.net>, último acceso 28 de Junio de 2010.

e) Arbitraje

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

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

En el caso de disparidad de opiniones, se remite a un tercer eva-luador externo.

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

Los Editores se reservan la posibilidad de tomar la decisión final en el caso que la tercera evaluación no establezca si el artículo debe ser aceptado, o no, para su publicación.

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

f) Envíos

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

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

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

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

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

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

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

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

ORIGINALIDAD Y PLAGIO

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

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

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

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

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

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

FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA

ENVIAR A:

Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería
Maipú 645 - Piso 1° - C1006ACG
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

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

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

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

_____ []

3. Deseo comprar los artículos:

_____ []

FORMA DE PAGO

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

Mediante transferencia bancaria a la Cuenta Corriente. CUIT: 30 - 67660597- 1.
CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de factura para pago mediante transferencia.

PRECIO DE COMPRA (Desde 01-04-2019):

Para Argentina:

- Compra de número vigente: **1000** Pesos
- Compra de número atrasado: **1400** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **350** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Compra de número vigente: **20** Dólares
- Compra de número atrasado: **28** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **7** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-04-2019):

Para Argentina:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **1800** Pesos
- Suscripción Instituciones: **7200** Pesos
- Compra de número atrasado: **1400** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **350** Pesos por artículo

Para el exterior:

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **36** Dólares
- Suscripción Instituciones: **144** Dólares
- Compra de número atrasado: **28** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **7** Dólares por artículo

Quienes quieran asociarse a la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería encontrarán información a tal efecto en www.asagai.org.ar

Los Socios de ASAGAI reciben sin cargo alguno la Revista.



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



1º Conferencia Regional Sudamericana de IAEG y

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

1st IAEG South American Regional Conference and

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

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

Córdoba, 7 al 10 de septiembre de 2021

Córdoba, September 7-10, 2021

Organizador Ejecutivo / Conference Organizer: aw@tradeshowsa.com.ar

Comité Organizador / *Organizing Committee*

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

Objetivos / *Objectives*

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

Esperamos darles la bienvenida a todos ustedes en Córdoba.

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

We look forward to welcoming all of you in Cordoba.

Temas / *Themes*

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

Copyright
© Editorial ASAGAI. 2019
Editada en Argentina

Se terminó de editar en Junio de 2019



ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Caracterización ambiental como herramienta para la toma de decisión en la planificación urbanística del partido de Berazategui

Ragas, Deborah B. - Ortiz Bonacif, Rocío A. - Pereyra, Fernando X.

Peligro de contaminación del acuífero freático en la localidad balnearia de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Ruffo, Andrés Gabriel - Lafont, Daniela - Carbajo, Micaela - Albouy, René - Lexow, Claudio

Relación entre datos geomecánicos medidos en ensayos spt y resistividad del subsuelo en la fm. Ubajay, Entre Ríos, Argentina

Chury, Mario R. H. - Silva Busso, Adrián A.

Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca

Eremchuk, Jorge Enrique

Portada: Vista de las obras en construcción para el Camino de Altas Cumbres, Provincia de Córdoba, Argentina. Corresponde a las pilas de viaductos que se localizan sobre el flanco occidental de las Sierras Chicas. La obra se encuentra localizada sobre formaciones de gneiss con alto grado de meteorización.

Fotografía: *Marcelo Zeballos.*

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

