

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Relleno de playa en Honu Beach (Mar del Plata, Argentina)

Bértola, Germán R. - del Río, J. Luis - Farenga, Marcelo

Ensayo de un sistema de indicadores sincrónico y diacrónico para la determinación de calidad ambiental en playas turísticas de la costa atlántica bonaerense

del Río, J. L. - Patat, L. - Lucero, M. - Zamora, A. - Moschione, E. - Bó, M.J. - Camino, M. - López de Armentia, A. - Farenga, M.

Características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura

Calvi, Carolina - Dapeña, Cristina - Massone, Héctor - Martínez, Daniel

Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso

Lexow, Claudio - Di Martino, Claudina - Lafont, Daniela - Albouy, René - Marcos, Angel

Propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo. Ejemplo de caso: cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul

Barranquero, Rosario Soledad - Varni, Marcelo Raúl - Pardo, Rafael - Vega, Marisol - Zabala, María Emilia Ruiz de Galarreta, Víctor Alejandro

Riesgo hídrico poblacional a la contaminación por efluentes urbanos en Misiones

Páez Campos, Hugo Ramiro - Dornes, Pablo Fernando

Dispersión de hidrocarburos disueltos en el acuífero freático a partir de la fase libre no acuosa

Lexow, Claudio - Pera Vallejos, Guillermo - Tonelli, Stella - Carrica, Jorge

Caracterización geoelectrica, hidrodinámica e hidroquímica del acuífero pampeano y su relación con el arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires

Ruiz, María Soledad - Perdomo, Santiago - Calahorra Fuertes, Patricia - Ainchil, Jerónimo - Villarreal, Julio

Portada: Desarrollo de playas en la Reserva Ecológica Costanera Sur. Fotografía Rubén A. López y Silvia C. Marcomini.

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



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



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente

Publicación Oficial de



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

Número 37 • 2016

ISSN 2422-5703 (En línea)

ISSN 1851-7838 (Impresa)



REVISTA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA Y AL AMBIENTE

EDITOR JEFE

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

EDITOR ASOCIADO

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

COMITÉ EDITORIAL

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

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

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

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

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

SECRETARIA

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

PRODUCCIÓN EDITORIAL

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

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

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

COMISIÓN DIRECTIVA 2014 - 2018

PRESIDENTE	<i>Norberto Jorge Bejerman</i>
VICEPRESIDENTE	<i>Fabio Sergio Luna</i>
SECRETARIA	<i>Cristina Dapeña</i>
TESORERO	<i>Luis Mario Giaconi</i>
VOCAL TITULAR	<i>Rubén A. López</i>
VOCAL TITULAR	<i>Julia Löffler</i>
VOCAL SUPLENTE	<i>Gabriela Coelho dos Santos</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>María Beatriz Ponce</i>
REVISOR DE CUENTAS TITULAR	<i>Alejandro Emmanuel Celli</i>
REVISOR DE CUENTAS SUPLENTE	<i>José Gabriel Salminci</i>

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

INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Relleno de playa en Honu Beach (Mar del Plata, Argentina)	<i>Bértola, Germán R. - del Río, J. Luis - Farenga, Marcelo</i>	1
Ensayo de un sistema de indicadores sincrónico y diacrónico para la determinación de calidad ambiental en playas turísticas de la costa atlántica bonaerense	<i>del Río, J. L. - Patat, L. - Lucero, M. - Zamora, A. - Moschione, E. - Bó, M.J. - Camino, M. - López de Armentia, A. - Farenga, M.</i>	13
Características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura	<i>Calvi, Carolina - Dapeña, Cristina - Massone, Héctor - Martínez, Daniel</i>	29
Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso	<i>Lexow, Claudio - Di Martino, Claudina - Lafont, Daniela - Albouy, René - Marcos, Angel</i>	37
Propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo. Ejemplo de caso: cuencas de los arroyos Languyú y Del Azul	<i>Barranquero, Rosario Soledad - Varni, Marcelo Raúl - Pardo, Rafael - Vega, Marisol - Zabala, María Emilia - Ruiz de Galarreta, Víctor Alejandro</i>	45
Riesgo hídrico poblacional a la contaminación por efluentes urbanos en Misiones	<i>Páez Campos, Hugo Ramiro - Dornes, Pablo Fernando</i>	57
Dispersión de hidrocarburos disueltos en el acuífero freático a partir de la fase libre no acuosa	<i>Lexow, Claudio - Pera Vallejos Guillermo - Tonelli, Stella - Carrica, Jorge</i>	67
Caracterización geoelectrica, hidrodinámica e hidroquímica del acuífero pampeano y su relación con el arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires	<i>Ruiz, María Soledad - Perdomo, Santiago - Calahorra Fuertes, Patricia - Ainchil, Jerónimo - Villarreal, Julio</i>	77
Instrucciones para autores		89
Formulario de suscripción o compra		93

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 93 encontrará el formulario a completar a tal efecto

Aims and objectives

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

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

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

Authors Copyrights

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

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

Price of the Journal

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

In page 93 an application form to be fulfilled and sent to the Editor is available.



Relleno de playa en Honu Beach (Mar del Plata, Argentina)

Beach fill experience in Honu Beach (Mar del Plata, Argentina)

Bértola, Germán R.^{1,2} ✉ - del Río, J. Luis¹ - Farenga, Marcelo¹

Recibido: 01 de octubre de 2016 • Aceptado: 02 de diciembre de 2016

Resumen

En la provincia de Buenos Aires se verifican procesos puntuales de erosión de playas de origen multicausal. Entre ellos, sobresalen la insuficiente cantidad de arena aportada naturalmente por los agentes de sedimentación o el impacto de tormentas, a los que se suman fenómenos de origen antrópico como desarrollos urbanos, instalación de espigones, forestaciones y eliminación de dunas.

Las costas de la ciudad de Mar del Plata se encuentran bajo un continuo proceso erosivo desde los '80. En vista a ello, se han ensayado una variedad de soluciones duras y blandas, con resultados diversos. Una de las soluciones fue la recuperación de playas mediante relleno, pero la fuente del material de préstamo debe cumplir con condiciones específicas para ser considerado apto. Estudios realizados en la zona de la plataforma evidenciaron que no existen fuentes cercanas de arenas en la cantidad y calidad necesarias.

El objetivo del presente trabajo fue el análisis evolutivo de la geomorfología y sedimentología de la playa del Balneario Honu Beach (38°05'21,60"S-57°32'30,94"O), antes, durante y después del relleno, empleando arenas de trituración cuarcíticas producidas en canteras de áridos de la región. Para ello se realizó un monitoreo periódico mediante relevamientos topoaltimétricos y muestreos de arena superficial. Los resultados permitieron apreciar que la playa producida con arena de trituración presentó una mayor firmeza y estabilidad relativa que la playa de arena natural que no fuera objeto de alimentación. El 98% de la arena de relleno se perdió a lo largo del año que duró el monitoreo y tras diecinueve meses, ya se había perdido el 100% de la arena oportunamente rellenada.

Palabras Clave: Relleno - Playas - Costas - Argentina.

Abstract

In the province of Buenos Aires there are specific processes of erosion of beaches by multicausal origin. Among them, the insufficient amount of sand naturally contributed by sedimentation agents or the impact of storms, to which are added phenomena of anthropic origin such as urban development, installation of breakwaters, forestation and dune removal.

1. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMdP - CIC)
C.C. 722 - Correo Central - (7600) Mar del Plata

✉ gbertola@mdp.edu.ar

2. IIMyC (CONICET)

The coast of the city of Mar del Plata is under a continuous erosion process since the '80s. In view of this, a variety of hard and soft solutions have been tested, with varying results. One of the solutions was the recovery of beaches through padding, but the source of the loan material must meet very specific conditions to be considered. Studies carried out in the area of the platform showed that there are no nearby sources of sand in the quantity and quality required.

The objective of the present work was the evolutionary analysis of the geomorphology and sedimentology of the Beach of Honu Beach ($38^{\circ}05'21.60''S-57^{\circ}32'30.94''W$), before, during and after the filling, using sands from triturated quartzite produced in arid quarries of the region. For this purpose, a periodic monitoring was carried out through topographic surveys and surface sand sampling. The results enable to appreciate that the beach produced with crushing sand presented a greater firmness and relative stability than the beach of natural sand, that was not object of feeding. The 98% of the filling sand was lost during the monitoring year and after nineteen months, the 100% of the sand had been lost.

Keywords: Refill - Beaches - Costs - Argentina.

INTRODUCCIÓN

El Balneario Honu Beach (Figura 1), inició sus actividades en el verano 2005/2006 con una orientación hacia un turismo estable que garantiza la excelencia y sostenibilidad de su servicio. El emprendimiento turístico se basa en el alquiler de carpas, palapas y guarums, servicio de estacionamiento, vestuarios, gimnasio, pileta y gastronomía. Dadas las características peculiares de las olas del sector, se han desarrollado también actividades deportivas náuticas asociadas a olas (surf, paddle surf, kayak) y una colonia de vacaciones orientada al surf como deporte principal.

Las playas del sector donde se encuentra emplazado el Balneario Honu Beach, en los últimos años han verificado un agudo proceso erosivo que afectaron principalmente la playa frontal, generando escarpas de casi un metro de altura debido a fenómenos de tormenta episódicos. La fijación de las dunas costeras que se desarrollaban en la zona del Faro Mar del Plata (y que hoy forman parte del complejo Mar del Plata Aquarium, al sur del Balneario objeto del estudio), generó una disminución de las arenas de transporte eólico y posteriormente forzó a la protección del resto de las dunas, mediante un rompeolas o pedraplén en la base de las mismas, con la consiguiente disminución de la arena transportable por la deriva. Donde en el año 2009 hubo sombrillas, en el 2012 ya existía una estructura de piedra para contener la erosión. Este proceso erosivo se evidenciaba en la playa, como se aprecia en la Figura 2.

Tomando en consideración estas limitaciones, se propuso la realización de un proyecto a escala piloto de alimentación de playas con arenas de trituración cuarcíticas producidas en canteras de áridos, ubicadas a unos 10 km del balneario.

ANTECEDENTES

Como se comentó previamente, Mar del Plata se encuentra bajo un proceso erosivo desde la década de 1920. *Schnack y colaboradores (1983)*, verificaron en el lapso 1970-1983, un retroceso general de la línea de costa con valores máximos de hasta 5 m/año. *Ferrante y Alvarez (1999)* registraron una media anual de retroceso de 0,25 m/año entre 1988 y 1992 que se incrementó a 0,75 m/año entre 1992 y 1998, en tanto que *Isla y colaboradores (2011)* registraron una erosión de entre 0,25 a 4 m/año.

Para enfrentar el problema erosivo, se han ensayado a lo largo del tiempo múltiples y variadas tecnologías a lo largo de la costa de Mar del Plata. Los sistemas de control de erosión suelen dividirse en estructurales (obras duras) y no estructurales

(obras blandas). Los primeros incluyen construcciones paralelas a la línea de costa (paredones, rompeolas sumergidos y semisumergidos) o perpendiculares a ella (espigones y escolleras). Los segundos se basan en la provisión artificial de material sedimentario adicional al aportado por los agentes naturales a la costa.

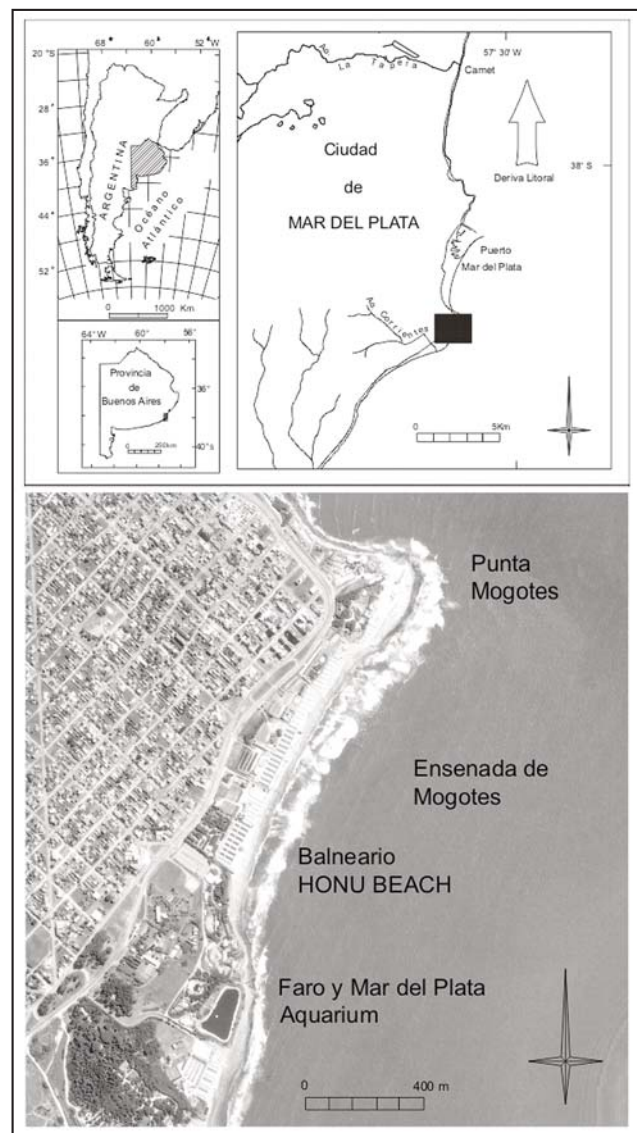


Figura 1. Ubicación del Balneario Honu Beach.

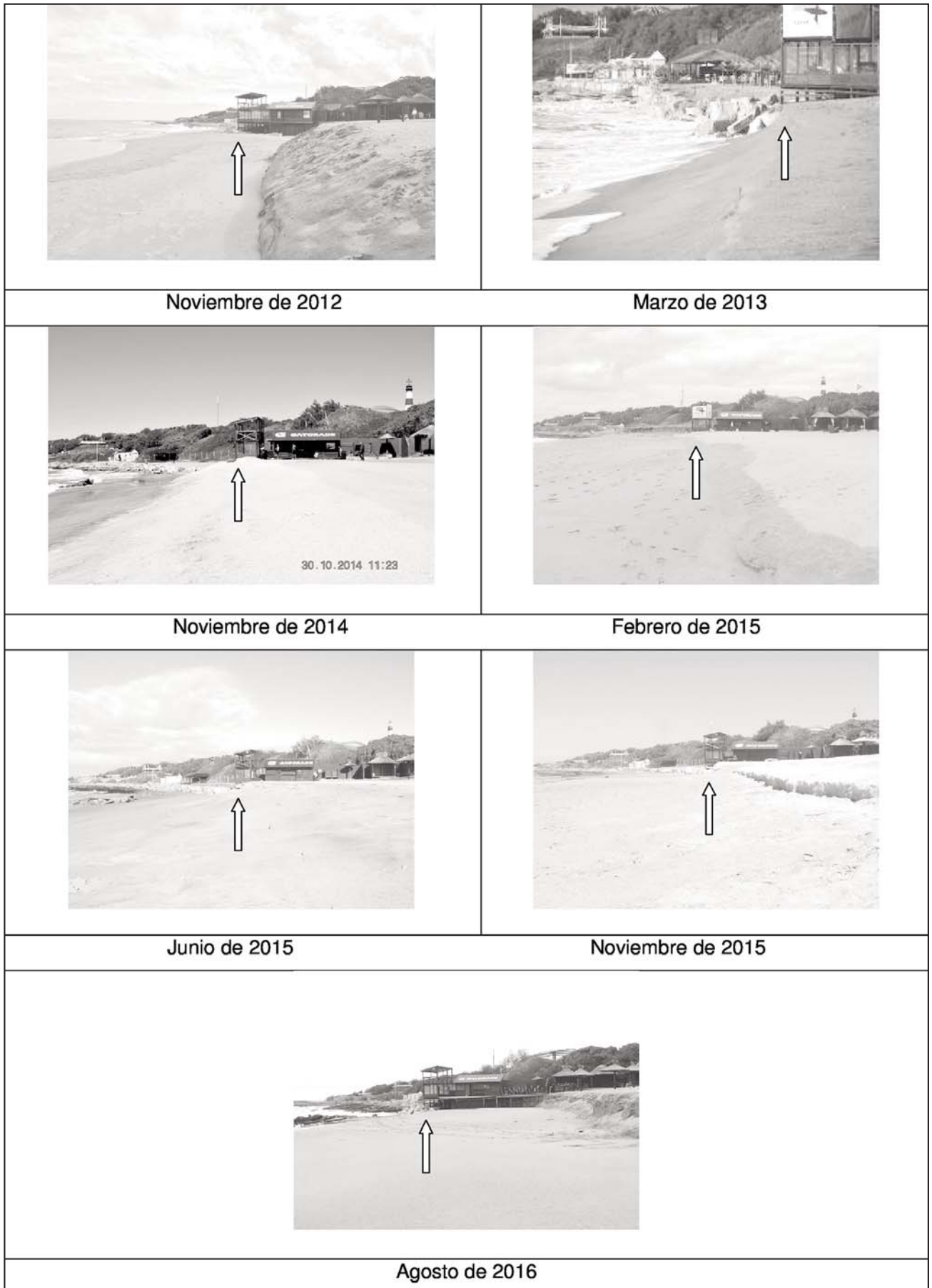


Figura 2. Fotos de la playa frontal de Honu Beach. Se indica un punto fijo sobre el balneario, a modo comparativo de la evolución de la playa. El relleno se realizó en noviembre del 2014.

Este método se ha destacado por su flexibilidad, armonía con la naturaleza y menores costos relativos que los sistemas estructurales (*Delft Hydraulics Laboratory, 1987*). Para los métodos no estructurales, generalmente se utilizan arenas de fuentes marinas o continentales próximas para la alimentación de playas. Pero el uso de las fuentes naturales se encuentra con la limitación de su existencia o abundancia cuya explotación pueden agudizar la erosión regional, y como se comentara, estudios realizados en la zona de la plataforma cercana a Mar del Plata (*Isla, 2003; Isla et al., 2009*) evidencian que no existen fuentes de arenas en cantidad y calidad necesarias.

Por estas causas se han ensayado en la costa marplatense distintos dispositivos de control de erosión como sistemas de espigones (rectos, oblicuos, en "T" y en "J"), repoblamiento de playas céntricas a partir del dragado del banco del acceso al Puerto Mar del Plata (*Bértola, 2001*), pedraplenes, y más recientemente, rompeolas paralelos desvinculados (Figura 3).

A nivel mundial, son abundantes los trabajos sobre rellenos artificiales, pero cabe mencionar el realizado por *Leonard y colaboradores (1990)*, ya que analizaron más de 40 playas en EEUU y llegaron a la conclusión que el régimen de temporales es el factor más importante para la durabilidad de la playa, y que la densidad inicial del relleno ejerce una influencia significativa en el porcentaje del material que queda al cabo del primer año.

Honu Beach es una playa disipativa, con rango micro-mareal y olas de volteo, con una altura significativa media de 0,91 m, un máximo de 2,3 m y un período de ola de 9,5 s (*Bértola, 2006*). *Isla (1992)* concluyó que entre verano y otoño hay fenómenos acumulativos, mientras que durante invierno y primavera son erosivos.

Estudios realizados por *Isla (2003)* en la zona de la plataforma cercana a la costa de Mar del Plata y Miramar revelaron una escasez de arenas con condiciones aptas para el repoblamiento de playas. Este autor concluye que las arenas son demasiado finas en el sector de playa sumergida -hasta los 15 m de profundidad- y consecuentemente las descarta, ya que no resultarían económicamente aptas para repoblar las playas del sector analizado.

METODOLOGÍA

En noviembre del 2014, y en respuesta al proyecto a escala piloto de alimentación de la playa del Balneario Honu Beach, se procedió al vertido de arenas de trituración de rocas cuarcíticas. La misma provino de un proceso de trituración selectivo, lavado y extracción de finos (limos y arcillas) de ortocuarcitas de la Formación Balcarce (*Dalla Salda e Iñiguez, 1979*) de la zona minera de Batán-Chapdmalal. Estos autores caracterizan las rocas, indicando que son arenas líticas de cuarzo dominante (superior al 95%), con alta uniformidad en calidad petrográfica y mineralógica, clastos angulosos a subangulosos y una granulometría correspondiente a arenas gruesas a sábulo, de tipo polimodal con pobre selección.

Se realizó un análisis granulométrico y morfométrico de las arenas naturales de esta playa, de las empleadas en el relleno (arenas de trituración lavadas y procesadas) y de la playa, a cuatro y siete meses de haber realizado la obra. En todos los casos las muestras fueron ubicadas con GPS (+ 3 m), cuarteadas, tamizadas y analizadas (*Carver, 1971*). Finalmente fueron procesadas con el software Gradistat® (*Blott y Pye, 2001*). De las muestras empleadas de relleno, se realizó además, un

relevamiento de 50 individuos por fracción, de donde se extrajeron valores máximos y promedios mediante lupa binocular. La forma se obtuvo según *Zingg (1935)*, la redondez según la cartilla de *Powers (1982)*, y la esfericidad mediante cálculo de *Sneed y Folk (1958)*.

El relleno fue realizado en noviembre del 2014, ubicando la arena de trituración procesada directamente sobre el sector de playa donde el material era necesario. Estas actividades consistieron en el transporte terrestre de 1.200 toneladas de arena triturada desde el yacimiento hasta la playa Honu Beach. Dado el carácter experimental de la presente aplicación, se seleccionó una zona acotada en su sector sur (Figura 4).

Para estimar el tiempo de residencia de la arena de relleno y la factibilidad de la misma, se aplicó la metodología propuesta por *James (1975)* usando los valores de media y desvío estándar de la distribución granulométrica del ambiente de playa distal y frontal, en relación con el material de aporte. Los valores obtenidos fueron compatibles con una baja pérdida y baja tasa de reposición (*Leggiero et al., 2014*).

El área rellenada se ubicó en la playa frontal, entre la línea de alta marea de sicigias, hasta la orilla en bajamar. Lateralmente se extendió desde el Bar de Playa hasta la Escuela de Surf (Figura 4). El material fue dispuesto mediante pala frontal y ubicado en un frente de 80 m. Posteriormente fue alisada y rastrillada, mezclándose los primeros 10 cm superiores con parte de la arena natural.

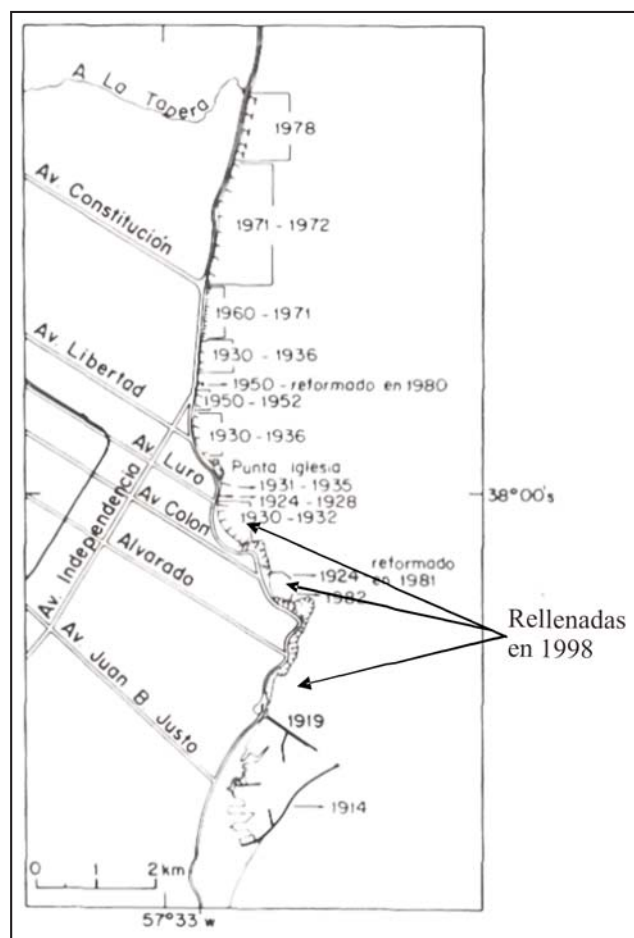


Figura 3. Fechas de construcción de las principales defensas costeras en Mar del Plata y relleno con arenas del banco del Puerto (modificado de Schnack et al., 1983).

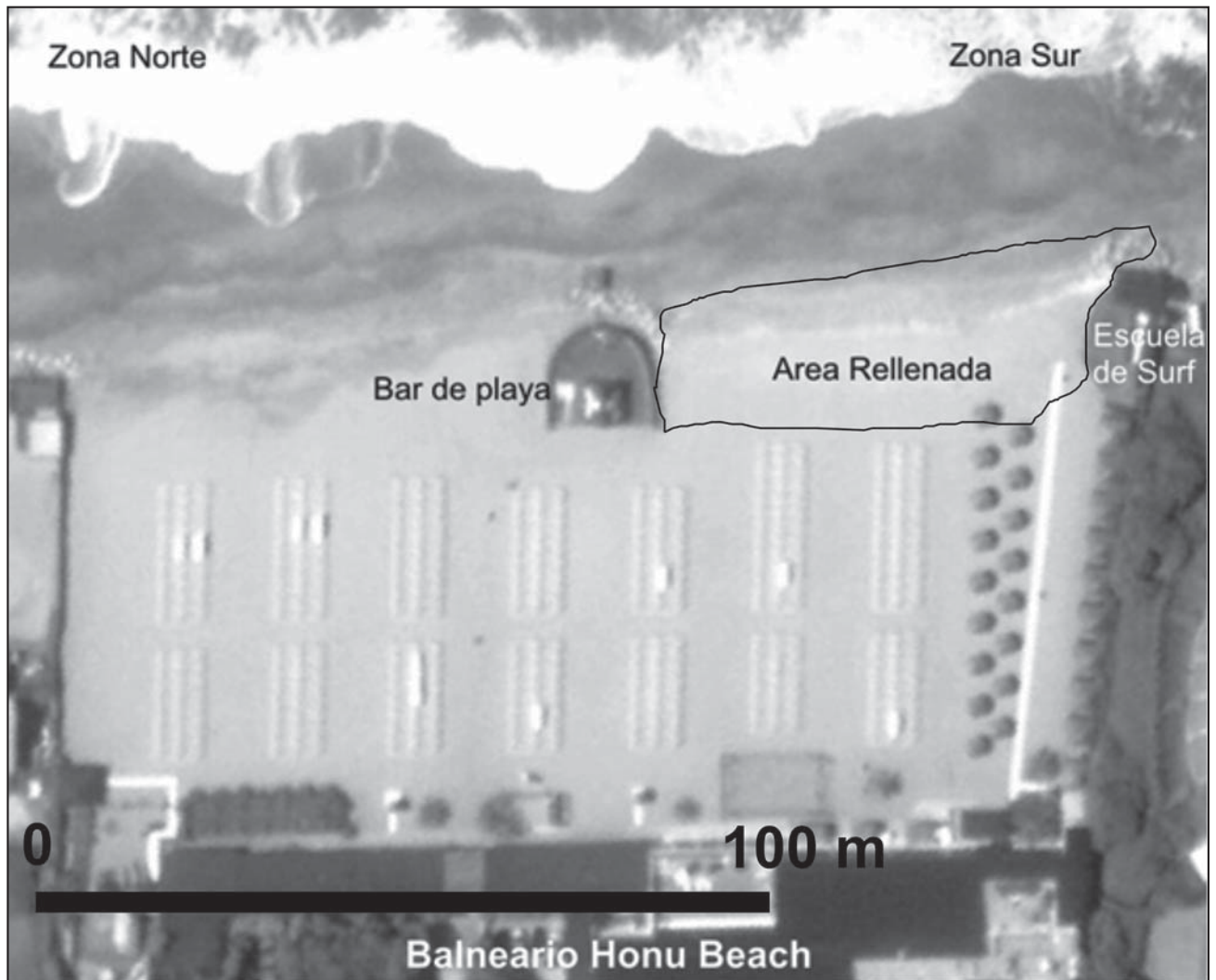


Figura 4. Balneario Honu Beach. Instalaciones y área de relleno.

Los estudios planialtimétricos fueron realizados mediante Estación Total Leica TC403L desde un punto georeferenciado y perfiles equidistantes, permitiendo reconocer áreas de estabilidad y áreas de mayor movilidad sedimentaria.

RESULTADOS

Mediante comparación de fotos y visitas al balneario que cubren un lapso de tres años, en Honu Beach se viene registrando un importante proceso de erosión costera. Esto implica una merma ostensible y tendencial de la cantidad de arena depositada en el sector de playa (tanto en la frontal como en la distal). Es el resultado directo de cambios negativos (o disminución) en el aporte y estabilidad de los sedimentos disponibles ante los agentes sedimentarios dominantes. Lo que no se registró en ese lapso, es retroceso de la línea de costa.

La morfología de esta playa presentaba originalmente un amplio desarrollo de la playa distal de más de 80 m de arenas gruesas a medianas, y una playa frontal con una pendiente de 10% y extensión del orden de los 25 a 30 m. Existían bermas bien desarrolladas a expensas de la acreción de barras intermareales movilizadas en los meses de verano por las olas de la contraderiva del Noreste y el desarrollo de cuspidos (o cuspbach) con una longitud de onda de entre 15 y 30 m.

Muestras de arena naturales de la playa Honu Beach.

De las arenas naturales del Balneario Honu Beach se extrajeron 2 muestras el 19/04/2014 (Tabla 1). Ambas eran unimodales, con predominio de la fracción arena mediana (en la playa frontal) y gruesa (en la playa distal). La de Playa Distal (coincidente con S1) poseía una media situada en 1,1 phi y desvío estándar en 1,01 -pobre selección-. Con respecto a su asimetría y curtosis, la distribución fue casi simétrica y leptocúrtica. Aproximadamente un 3,5% correspondió a sedimentos gruesos (-1,5 phi), en su mayor parte formados por restos angulosos de conchillas. La de Playa Frontal (coincidente con S5) estaba ubicada por debajo de una pequeña escarpa de erosión (Figura 2), sus arenas eran mucho más finas, con una media en 3 phi, buena selección (0,37), asimetría negativa y muy leptocúrticas.

Muestreo de arena de trituración empleada como relleno.

Se obtuvieron dos muestras el 18/11/2014. La RM1 de la pila de acopio de la Cantera La Florida, perteneciente a Canteras Yaraví S.A. (la arena que se empleó en la experiencia), y la RM2 de la playa, una vez que el camión arrojó la arena en el balneario y fue distribuida mediante pala frontal (Figura 6). Se observó que se incorporaron a la playa aproximadamente un

65% de psamitas, 33% de psefitas y un 1% de pelitas. El material era bimodal, con sus modas principales en arena muy gruesa y arena mediana (Tabla 1).

Los análisis de forma, esfericidad y redondez, permitieron evidenciar lo siguiente, según la fracción:

-1 Phi (2 mm): Clastos de ortocuarcita de hasta 9 mm en su eje A, 4 mm en su eje B y 2 mm en su eje C. (promedio A= 3 mm, B= 3 mm y C= 1 mm). Los mayores son laminares y los promedio son oblados. Los clastos son subangulares a angulares. La esfericidad máxima de proyección es 0,47. Presencia de un 98% de ortocuarcita y un 2% de cuarzo transparente. La ortocuarcita posee cemento silíceo blanco (80%), amarillento (8%) y rojizo (12%).

0 Phi (1 mm): Clastos de ortocuarcita de hasta 4 mm en su eje A, 2 mm en su eje B y 1 mm en su eje C (promedio A= 2 mm, B= 1 mm y C= 0,5 mm). Los mayores y promedio son laminares. Los clastos son subangulares a subredondeados. La esfericidad máxima de proyección es 0,5. Presencia de un 99% de ortocuarcita y un 1% de cuarzo transparente. La ortocuarcita posee cemento silíceo blanco (80%), amarillento (4%) y rojizo (16%).

1 Phi: Clastos de ortocuarcita de arena gruesa (aprox. 0,5 mm). Presencia de un 20% de ortocuarcita y un 80% de cuarzo transparente. La ortocuarcita posee cemento silíceo blanco (90%), amarillento (6%) y rojizo (4%). Los clastos son subangulares a redondeados.

2 Phi: Clastos de ortocuarcita de arena mediana (aprox. 0,25 mm). Presencia de un 98% de cuarzo transparente, 1% de ortocuarcita y 1% de arcillas. El cuarzo y la ortocuarcita son blanquecinos, con tonos amarillentos. Los clastos son subangulares.

3 Phi: Clastos de arena fina (aprox. 0,125 mm). Presencia de un 99% de cuarzo y un 1% de otros clastos oscuros. Los clastos son blancos (80%) a transparentes, y subangulares.

4 Phi: Clastos de arena muy fina (hasta 0,062 mm). Presencia de un 99% de cuarzo blanco a transparente, subangulares a subredondeados, y un 1% de otros clastos oscuros.

Muestreo diacrónico de arena de la playa: 4 y 7 meses después de la alimentación con la arena de trituración.

Se obtuvieron 4 muestras el 31/03/2015 (Figura 5). Las mismas fueron extraídas en orden consecutivo desde la playa distal media (1) hasta la playa frontal inferior (4).

Las muestras 1 y 2 tenían una selección pobre. Si bien predominaba la arena mediana y fina, también había porcentajes significativos de arena gruesa y muy gruesa. La media de ambas muestras fue de 0,519 mm. Las muestras 3 y 4 presentaban una selección moderada, perteneciendo los mayores porcentajes a la arena mediana y fina. La media de ambas muestras fue de 0,253 mm (Tabla 1).

El análisis comparativo cuatro meses después de la alimentación, y con respecto a la playa distal, se aprecia una mayor cantidad de sedimentos gruesos, por lo que se deduce que se produjo mezcla de arena natural con arena de relleno. En relación a la playa frontal, también existieron modificaciones: si bien siguen siendo arenas finas las predominantes, hay presencia de sedimentos de mayor diámetro. Se deduce que también aquí se produjo el aporte de la arena artificial en la playa frontal. Se observó que las pelitas se lavaron entre un 40 a 60%, y que la arena artificial se integró de una manera aceptable al ambiente.

Durante el 18/06/2015, se obtuvieron 8 muestras (Figura 5). La Norte, Centro y Sur sobre la playa frontal superior, y la S1 a S5 consecutivamente desde la playa frontal superior hasta la playa distal inferior.

Las muestras del Sur, Centro y Norte evidenciaron un tamaño de sedimento que aumenta hacia el sector norte de la playa. Todas poseían una selección moderadamente buena y eran mesocúrticas. La asimetría fue negativa en la Sur y Centro (indicando una mezcla de arenas naturales y de relleno), y casi simétrica en la Norte (Tabla 1).

Tabla 1. Valores estadísticos de las muestras recolectadas. Para su ubicación, ver Figura 5.

Muestra	P. Distal	P. Frontal	RM1	RM2	1	2	3	4	Norte	Centro	Sur	S1	S2	S3	S4	S5
Fecha de extracción	12/09/2014	18/11/2014	31/03/2015				18/06/2015									
Media (Phi)	1,10	3,00	0,15	0,18	1,10	0,80	0,99	2,03	1,84	1,96	1,99	1,62	0,51	0,73	1,79	1,45
Mediana (Phi)	1,00	2,87	0,10	0,25	1,20	1,20	1,90	2,10	1,87	2,03	2,07	1,72	0,79	1,05	1,76	1,51
Desvío Estándar	1,01	0,37	1,77	1,72	1,30	1,56	0,52	0,54	0,58	0,58	0,68	1,01	1,67	1,65	0,805	0,93
Asimetría	-0,02	-0,21	0,06	-0,03	-0,23	-0,32	0,11	-0,15	-0,06	-0,13	-0,22	-0,33	-0,20	-0,25	-0,03	-0,14
Curtois	1,40	2,50	0,64	0,63	1,101	0,913	0,937	0,729	0,96	0,98	1,07	1,66	0,75	0,87	1,05	1,11
% Psefitas	3,50	0,00	33,85	33,30	9,90	16,33	0,74	0,00	0,20	0,00	0,10	6,60	24,70	19,20	2,80	2,70
% Psamitas	96,50	100,00	65,06	65,96	89,94	83,26	99,23	99,97	99,80	100,00	99,90	93,10	74,70	79,80	96,60	97,10
% Pelitas	0,00	0,00	1,09	0,74	0,16	0,41	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,30	0,60	1,00	0,60	0,20
% Arena Muy Gruesa	22,02	0,00	18,71	16,84	11,18	12,69	0,90	0,16	0,50	0,50	1,10	3,60	11,70	12,60	1,10	5,40
% Arena Gruesa	24,31	3,10	13,31	10,72	19,16	15,12	1,39	2,85	5,10	4,50	6,70	7,70	17,30	16,50	9,80	18,20
% Arena Mediana	35,06	43,10	17,98	21,86	37,00	31,03	51,64	42,98	51,90	43,10	37,00	47,40	26,70	28,20	46,70	44,50
% Arena Fina	10,80	51,00	11,77	13,85	21,10	21,73	44,38	51,03	41,40	50,10	53,00	32,80	16,20	18,80	34,50	27,40
% Arena Muy Fina	4,31	2,80	3,29	2,69	1,50	2,69	0,92	2,95	0,90	1,80	2,10	1,60	2,80	3,70	4,50	1,60

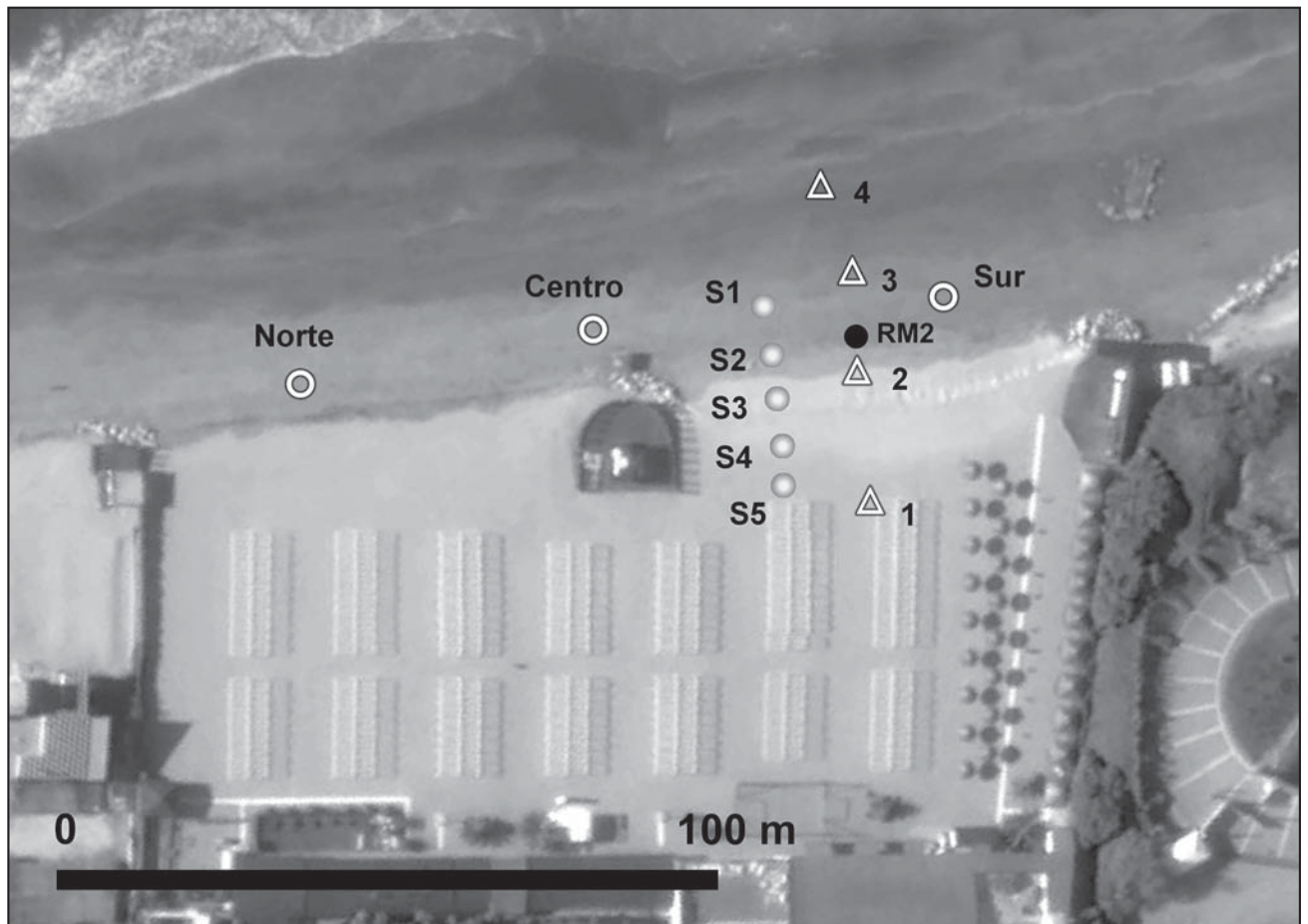


Figura 5. Ubicación de las muestras RM2, 1, 2, 3 y 4, Norte, Centro, Sur y S1, S2, S3, S4 y S5.

Se observó, en concordancia con cambios en la morfología de playa, que se perdió casi un 20% de la arena gruesa original, que presumiblemente fue transportada hacia el norte. Por otro lado se ha incorporado un 3% de arena gruesa natural, hasta un 10% de arena mediana desde la playa distal natural y un 5% de arena fina. La arena muy fina permaneció en una proporción casi igual a la original.

Las muestras S (1 a 5) evidenciaron un aumento del tamaño de grano hacia la S2 y S3 (que coinciden con la escarpa de playa), y fueron más finas hacia la playa distal y hacia la orilla. Las S5 y S4 (de la playa distal) arrojaron una mejor selección que las restantes, que es pobre. Finalmente la asimetría va aumentando desde la playa distal hacia el mar, pasando de negativa a muy negativa en la playa frontal.

El análisis comparativo siete meses después de la alimentación, evidencia dos hechos concretos: la arena de relleno que se fue erosionando de la zona sur, ha ido migrando siguiendo la deriva litoral hacia la zona norte, área que no fue rellenada anteriormente, y modificando parcialmente su naturaleza granulométrica. Con respecto al eje transversal playa distal a playa frontal, se apreció la formación de un núcleo de sedimentos gruesos, estable, que conformó una escarpa de playa, y una migración de las partículas que se erosionaron, hacia los niveles topográficamente inferiores, con mezcla de arena natural/alimentación. La arena de relleno formó un núcleo más resistente

que la arena natural, debido principalmente a su textura y formato subanguloso, que permite un empaquetamiento mecánicamente más estable de las partículas.

Morfología de la playa

Los estudios planialtimétricos permitieron reconocer áreas de estabilidad y áreas de mayor movilidad sedimentaria (Figura 6). El sector sur de Honu Beach está ubicado a pocos metros de afloramientos de ortocuarzitas de Punta Canteras y las dunas fijadas en la zona del Faro, por lo que su configuración estará ligada a ese accidente geográfico y la acción antrópica. Analizando las variaciones en la playa, se apreció que desde que la misma fue rellenada, alcanzó su máximo desarrollo al fin del verano (marzo del 2015), con un volumen 10% mayor de arena que antes de la alimentación.

Un hecho a considerar, muy importante, es que mediante el relleno se ha logrado modificar el perfil original (y natural) de la playa, pero no así el clima de olas que sigue su incesante ataque sobre la costa. Efectivamente, luego de marzo del 2015, el volumen de arena de la playa empieza nuevamente a perderse, alcanzando los niveles más críticos a fin del invierno, en septiembre del 2015. Aun así, para el último relevamiento (noviembre del 2015) aún quedaba un 2% más de arena que antes del relleno. Ya para el 2016 (19 meses del relleno) había desaparecido toda la arena artificialmente aportada.

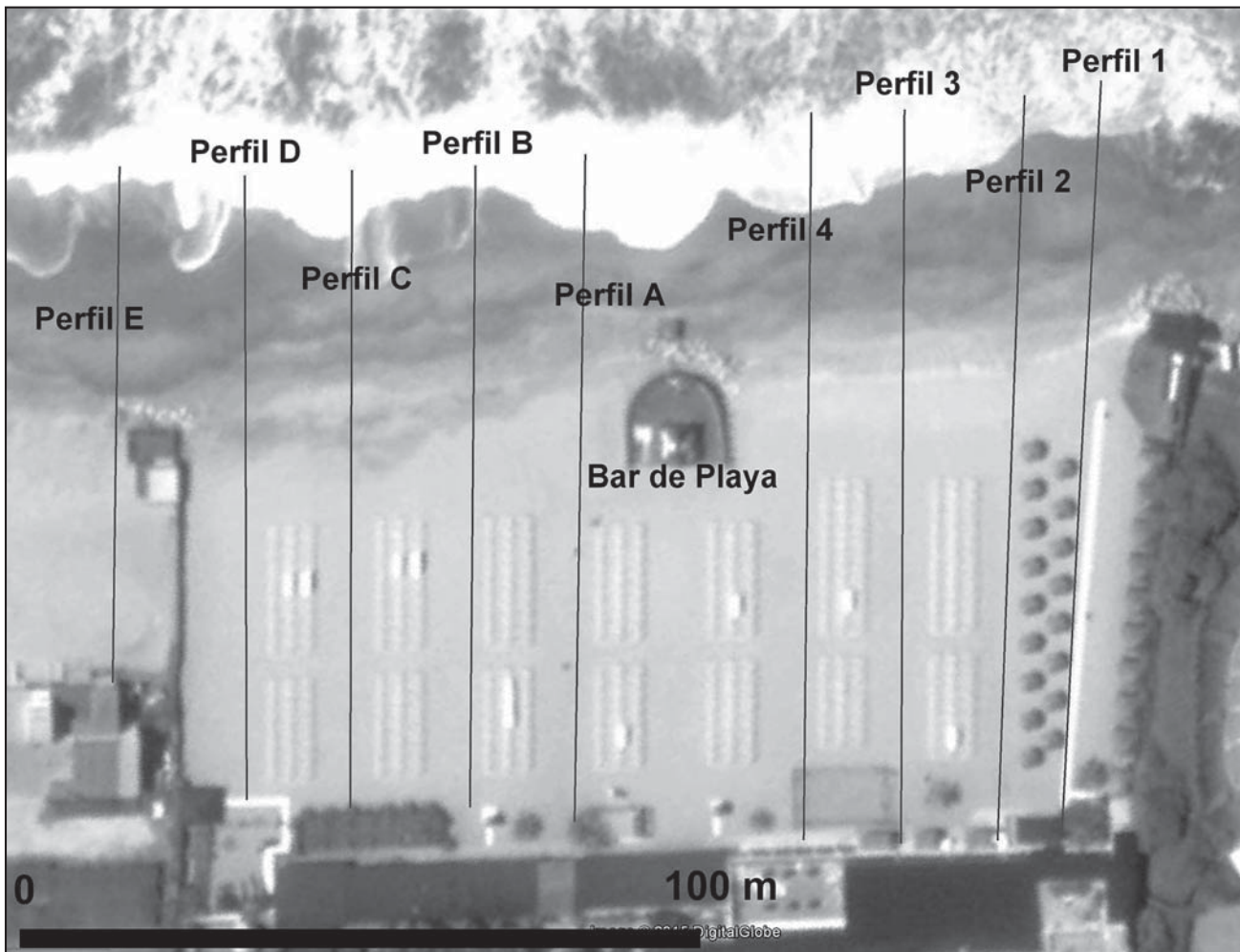


Figura 6. Ubicación de los perfiles confeccionados para evaluar balances.

La playa frontal y la cresta de berma fueron las morfologías que más se modificaron a lo largo de los relevamientos. En el total de longitud de playa, un 70% pertenece a playa distal y un 30% a frontal, porcentajes que han ido variando a lo largo del tiempo.

Si tomamos como punto de partida las construcciones balnearias (Figura 7), las mayores variabilidades se dieron a partir de los 74 m del comienzo de los perfiles para los perfiles analizados en el sector rellenado. Pero en las zonas que no fueron alcanzadas por la obra de alimentación (sector norte de Honu Beach, perfiles A hasta el E) estos cambios se evidenciaron a 62 m del comienzo de los perfiles.

En promedio, el balneario posee un área de arena utilizable (sin considerar construcciones o estructuras fijas) de aproximadamente 1,6 hectáreas. Antes del relleno era de 1,53 has, llegó a tener 1,8 has (2 meses después), 1,7 has (7 meses después) y 1,5 has (agosto del 2016).

Antes del relleno, la pendiente de la playa total (desde las construcciones balnearias hasta el mar), era de aproximadamente un 6,1% para todos los perfiles. Específicamente la playa frontal poseía una pendiente de un 10,5% (perfiles 1 a 4) y 8,2% (perfiles A a E). Posteriormente al relleno, la pendiente total disminuyó en los perfiles 1 a 4, a un 5,5%, y la pendiente de la playa frontal disminuyó a 9,5%, en esos mismos perfiles. No se registraron cambios en la pendiente de los perfiles A al E después del relleno.

Entre la playa frontal y distal hay, para agosto del 2016, una escarpa de erosión de casi 1,8 m, morfología que empezó a aparecer en julio del 2015 y continuó creciendo hasta su máxima expresión actual.

CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

El Shore Protection Manual enuncia que "...la distribución de tamaños naturalmente presentes en una playa estable, representa el estado de equilibrio dinámico entre el aporte y pérdida de materiales de cada tamaño. Las partículas más gruesas generalmente tienen un bajo aporte y una baja relación de pérdida; las partículas finas son usualmente más abundantes pero son rápidamente movidas a lo largo de la costa y a la zona offshore..." (*Coastal Engineering Research Center, 1984*). Esto significa que el material de préstamo deseable es aquel del mismo tamaño que el de la playa natural, con la salvedad que ese grano, que hoy puede estar presente en la playa puede ser erosionado y por ello, el depósito no ser estable. En consecuencia, algunos tamaños de grano presentes en el material de préstamo podrían no ser estables o deseables en el ambiente de playa.

La experiencia, si bien se ha realizado en una escala mínima en relación con el potencial de transporte y depositación del medio, permitiría abrir un espectro de posibilidades de actuación ante la erosión de playas, sustantivamente diferentes de las aplicadas hasta el momento en la región. Es un material novedoso y ambientalmente adecuado toda vez que, al cesar el

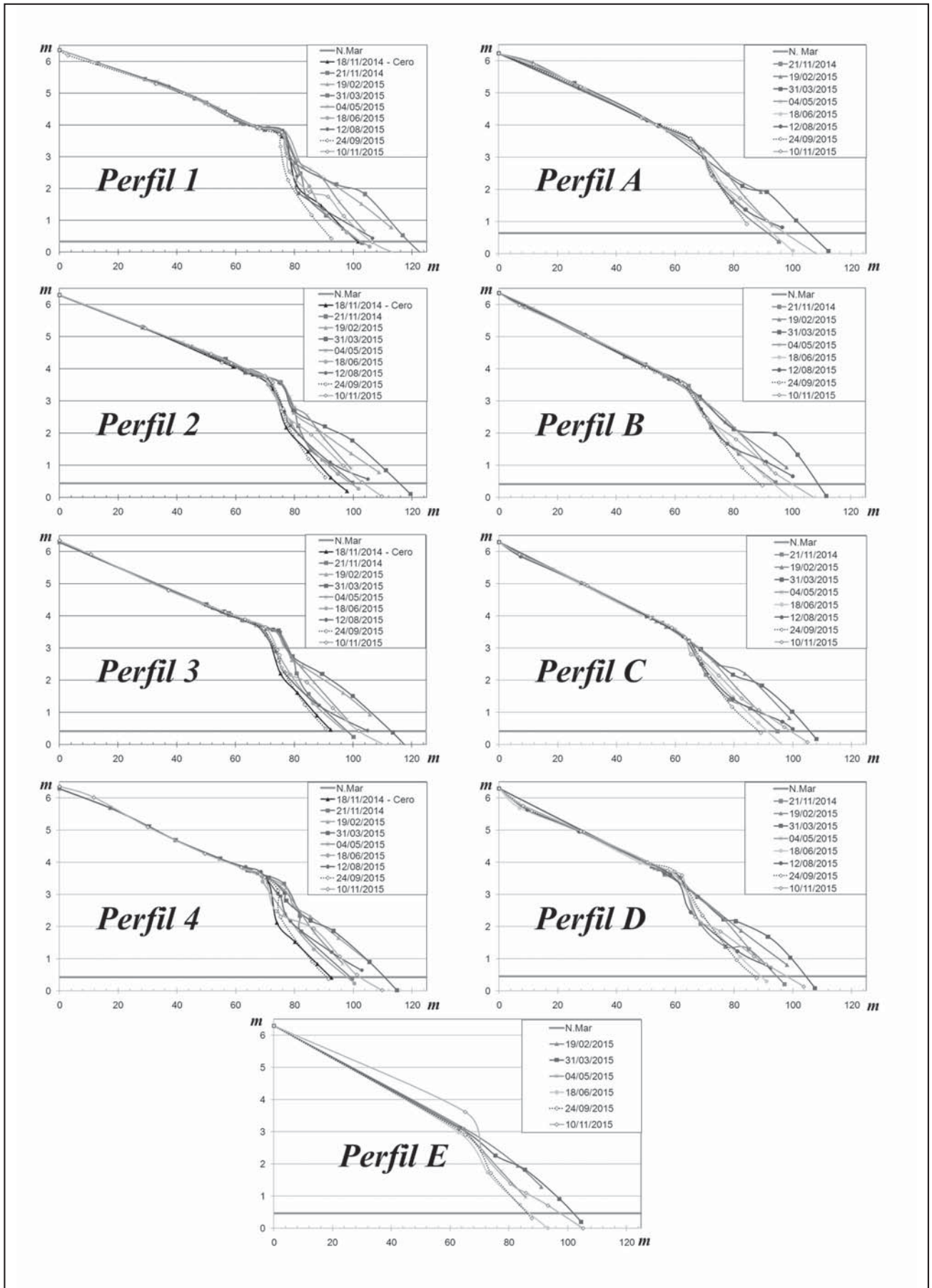


Figura 7. Perfiles de Playa en Honu Beach. La línea gris horizontal en cada uno de ellos, indica el nivel del mar promedio para cada perfil de todos los relevamientos.

aporte o alimentación, se incorpora sutilmente al ambiente costero sin generar efectos indeseables en las playas y por ende, compatible con la composición de las mismas.

El uso de arenas de trituración para la alimentación de playas fuertemente degradadas puede ser una solución o un importante paliativo del proceso de erosión. Además, es un aporte a la sustentabilidad ambiental, al dar utilidad pública a un recurso obtenido en el marco de la legislación minera y ambiental vigentes, cuya existencia y uso no implican la apertura de nuevos escenarios de explotación minera continental o submarina, y por ello, no genera nuevos impactos ambientales sobre los ambientes naturales provinciales. Esta aproximación metodológica no implica la transferencia o inducción de procesos erosivos aguas abajo de la deriva litoral.

De este modo, y como conclusiones del presente trabajo, surgen que:

1. Durante el año de monitoreo, se perdió un 98% de la arena rellena. El material no se comportó en forma estable, como habría surgido del esquema de James (Leggiero et al., 2014).
2. El repoblamiento de playas es una alternativa aplicable en función a la disponibilidad y compatibilidad del material sedimentario del área de préstamo y de la playa natural a recuperar. Mediante el relleno se logra modificar el perfil original (y natural) de la playa, pero no así el clima de olas. La erosión no se detendrá, sólo es contenida por un tiempo.
3. En Mar del Plata, el material que puede ser empleado, existe en volúmenes importantes en canteras debidamente habilitadas y rigurosamente controladas en materia ambiental. De modo que la utilización de éstas arenas de trituración no incrementan los impactos ambientales ya declarados y aprobados por los órganos pertinentes. Incluso, su utilización puede en algunos casos disminuir estos stocks de arenas de trituración, disminuyendo los impactos visuales que los mismos generan en los paisajes periurbanos.

4. La calidad y aceptación del material puede ser mejorada en caso de efectuarse una mejor selección granulométrica en la cantera, más compatible con las arenas de playa natural. El material es susceptible de ser tamizado adecuadamente, desarrollándose una selección de arenas unimodales y con rangos acotados de tamaño.
5. Se espera que la utilización de las arenas de trituración generen playas de uso público estables, con bajas tasas de realimentación y con alto grado de amenidad. Es posible mejorar sustantivamente la apreciación por parte del público utilizando estas arenas de trituración mezcladas con arenas naturales, tal lo expresado por los usuarios y los propietarios de Honu Beach a mediados y fin del verano cuando el material dispuesto había incorporado parte de la arena natural.
6. Es posible mejorar el método de vertido, utilizando las arenas de trituración como un núcleo de material que sirva de base a una cobertura de arenas naturales. Quizás esta aplicación pueda realizarse con una geometría o diseños especiales, que favorezcan incluso la retención de arenas transportadas naturalmente, retrasando así las pérdidas. Se recomienda en el caso de Honu Beach repetir el relleno en un lapso de dos años, ya que ese es el lapso en que la playa volvería a tener holgadamente las condiciones iniciales (pre-relleno) de volúmenes de arena sobre ella. Asimismo se recomienda realizar experiencias de relleno en volúmenes más compatibles con la dinámica costera local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Canteras Yaraví S.A. y al Balneario Honu Beach por su apoyo económico y logístico. Al Arq. Javier Leggiero y al Sr. Gustavo Mondo por sus opiniones, sugerencias y críticas. Este trabajo está dedicado en memoria del Dr. "Eni" J. Schnack, de dos de sus discípulos y amigos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BÉRTOLA G., 2001.
21 years of morphological modifications in an urbanized beach (Playa Grande, Mar del Plata), Argentina.
Revista Thalassas (España) Vol. 17(2):21-36.
- BÉRTOLA G., 2006.
Morfodinámica de playas del sudeste de la provincia de Buenos Aires.
Latin American Journal on Sedimentology and Basin Analysis. Vol. 13(1):31-57.
- BLOTT S. Y PYE K., 2001.
GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments.
Earth Surface Processes and Landforms 26, 1237-1248.
- CARVER R., 1971.
Procedures in Sedimentary Petrology.
John Wiley, New York, 653 pp.
- CIONCHI J., ALVAREZ J., DEL RÍO J. Y FERRANTE A., 1993.
El efecto antrópico en el retroceso de la línea de costa del Partido de General Pueyrredon (Provincia de Buenos Aires).
XII Congreso Geológico Argentino. Actas, Tomo VI:318-322.
- COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC), 1984.
Shore Protection Manual. III edition. U. S.
Government Printing Office, Vol. 1 a 4. 2000 pp. Washington DC, USA.

- DALLA SALDA L. E IÑIGUEZ E., 1979.
"La Tinta", Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires.
VII Congreso Geológico Argentino. Actas I: 539-550.
- DELFT HIDRAULICS LABORATORY, 1987.
Manual on Artificial Beach Nourishment.
DHL, Delft, The Netherlands. 266 pp.
- DEL RÍO J., LEGGIERO J., BÉRTOLA G., MONDO G. Y FARENGA M., 2015.
Alimentación de playas con arenas de trituración cuarcíticas. Percepción de los usuarios (Honu Beach, Mar del Plata - Argentina).
Actas de la VII Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras. CARICOSTAS 2015, Santiago de Cuba. 12 pp.
- FERRANTE A. Y ALVAREZ J., 1999.
Quantification of the coastal marine erosion, between 1970-1998 on General Pueyrredon, Buenos Aires Province.
IVth Open Science Meeting, Loicz, Bahía Blanca, Argentina. Actas.
- ISLA F., 1992.
Balance Sedimentario y estacionalidad en 8 playas de Mar del Plata.
Revista Thalassas (España) Vol. 11:11-21.
- ISLA F., 2003.
Disponibilidad de arena para el refulado de las playas de Miramar y Chapadmalal, Argentina.
Revista de la Asociación Geológica Argentina Vol. 58(3):56-78.
- ISLA F., BÉRTOLA G., MERLOTTO A., FERRANTE A. Y CORTIZO L., 2009.
Requerimientos y disponibilidad de arenas para la defensa costera de las playas de Necochea y Lobería.
Revista de la Asociación Geológica Argentina Vol. 65(3):446-456.
- ISLA F., BERTOLA G., CORTIZO L., 2011.
Diseño de una estrategia para tratar el problema de la erosión en la costa bonaerense. Plan Estratégico. Unidad de coordinación con organismos multilaterales de crédito. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires. Informe Inédito. 125 pp.
- JAMES R., 1975.
Manual on Artificial Beach Nourishment.
Delft Hydraulics Laboratory (1987). Rijkwaterstaate Delft Hydraulics Laboratory. Centre for Civil Engineering. Research Codes and Specifications. Report 130.195 pp.
- LEGGIERO J., DEL RÍO J. Y MONDO G., 2014.
Primera experiencia de recuperación de playas turísticas erosionadas mediante alimentación con arenas cuarcíticas: Proyecto Honu Beach-Canteras Yaraví S.A.
Actas II Congreso Argentino de Áridos, Argentina:575-584.
- LEONARD, L., CLAYTON, T. Y PILKEY, O., 1990.
An analysis of replenished beach design parameters on U.S. east coast barrier islands.
Journal of Coastal Research, 6(1), 15-36.
- POWERS M., 1982.
Comparison chart for estimating roundness and sphericity.
AGI data Sheet 18. American Geological Institute.
- SCHNACK E., ÁLVAREZ J. Y CIONCHI J., 1983.
El carácter erosivo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Miramar, Provincia de Buenos Aires.
Simposio Oscilaciones del Nivel del Mar durante el último ciclo deglacial en la Argentina. Actas:118-130. Mar del Plata (IUGS-UNESCO).
- SNEED E. Y FOLK R., 1958.
Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study of particle morphogenesis.
Journal of Geology Vol. 66(2): 114-150
- ZINGG T., 1935
Beitrag zur schotteranalyse, Schweizer Mineralogie und Petrografie Mitting,
Vol. 15:39-140.



Ensayo de un sistema de indicadores sincrónico y diacrónico para la determinación de calidad ambiental en playas turísticas de la costa atlántica bonaerense

Testing a synchronic and diachronic indicators system for the determination of environmental quality in tourist beaches of the atlantic coast of Buenos Aires

del Río, J. L.^{1,5} ✉ - Patat, L.² - Lucero, M.³ - Zamora, A.³ - Moschione, E.⁴ - Bó, M.J.¹ - Camino, M.¹
López de Armentia, A.¹ - Farenga, M.¹

Recibido: 29 de octubre de 2016 • Aceptado: 06 de diciembre de 2016

Resumen

El subsistema natural litoral ha sido objeto de innumerables trabajos debido a la presión que la población puede generar en él, sin embargo la determinación cuantitativa de la calidad ambiental, en playas con uso turístico, es de algún modo, reciente.

El objetivo del estudio es ensayar un sistema de indicadores, agrupados según un modelo de estado, presión y respuesta, para la determinación de la calidad ambiental en playas con uso turístico.

Las mediciones se realizaron en diez playas, en los meses de verano, desde el 2009 al 2013. La calidad ambiental que afecta la función amenidad se determinó por una adaptación del modelo Presión, Estado y Respuesta (PER) complementada con análisis univariados y bivariados.

Las relaciones significativas entre las variables consideradas muestran que el uso de la playa responde a cuestiones como la calidad de las arenas o la presencia de plataformas de erosión.

Las playas con mayores presiones son las de Santa Teresita y Mar del Plata mientras que las de Villa Gesell y Miramar son las que presentan mejor Estado relativo por ser amplias, sin plataformas de erosión, con buena calidad microbiológica, y en general con baja turbidez de sus aguas, con ausencia de olores desagradables, entre otras características. Por otro lado las que presentan peor estado son las playas de Quequén y Santa Teresita por carecer de los atributos antes mencionados.

Las mejores respuestas relativas se registraron en Villa Gesell y Miramar donde se verifica una gestión privada.

Palabras clave: *Calidad ambiental. Indicadores de presión, estado y respuesta. Uso turístico. Playas del sudeste bonaerense.*

1. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCyC)/Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-CIC

✉ julioluisdelrio@gmail.com

2. Departamento de Matemática. Fac. Cs.Ex.Nat- UNMdP,

3. Universidad Tecnológica Nacional-UA-MDP,

4. D Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Standort Wiesbaden, Deutschland

Abstract

Natural littoral subsystems have been the subject of countless research projects because of the pressure that people can generate on them. However the quantitative determination of environmental quality, in beaches with tourist use, is of recent implementation.

The aim of this study is to apply a system of indicators grouped according to a model state, pressure and response to the determination of environmental quality in beaches used for tourist purposes.

Measurements were performed on ten beaches during summer months, from 2009 to 2013.

The environmental quality that affects the amenity function was determined by an adaptation of Pressure, State and Response (PER) model, supplemented with univariate and bivariate analysis.

Significant relationships between variables show that the use of the beach responds to the quality of the sand or the presence of erosion platforms.

The beaches Santa Teresita and Mar del Plata show the highest pressures while Villa Gesell and Miramar are those with best relative state due to their amplitude, without erosion platforms, with good microbiological quality, and in general, with low turbidity in their waters, or absence of unpleasant odors, among other features. On the other hand those with worst state are Santa Teresita and Quequén beaches because they lack of the above mentioned attributes.

The best responses were recorded on Villa Gesell and Miramar where a private management is verified.

Keywords: *Environmental Quality. Pressure, state and response indicators. Tourism use. Beaches of southeast of Buenos Aires.*

INTRODUCCIÓN

Una de las principales discusiones ambientales referidas al futuro del planeta ronda en torno al incremento de la población y a la presión que ésta puede generar sobre el sistema natural. Si consideramos que la población mundial se concentra predominantemente en las ciudades y que la mayor parte de las grandes urbes del mundo se encuentran en zonas litorales, nos encontramos en un escenario complejo y adverso en zonas caracterizadas por su dinámica y fragilidad.

Efectivamente, las zonas costeras son algunas de las áreas más intensamente modificadas del planeta. En particular en las últimas centurias, estos ambientes han sido objeto de usos complejos e intensivos por parte de las distintas sociedades, desde los antiquísimos urbanos, comerciales, portuarios, mineros o industriales hasta los relativamente más modernos como recursos turísticos. En las últimas décadas, el turismo, en particular en las zonas litorales, se ha transformado en la industria más importante en el mundo (Dadon, 2002).

Por tales razones las zonas costeras han sido objeto de innumerables trabajos desde ópticas realmente distintas. Las cuestiones de la determinación cuantitativa de la calidad ambiental son de algún modo materia reciente.

Sin embargo, aunque se han realizado disquisiciones académicas respecto del significado, y a las formas de medir los alcances de estos términos y sus componentes (Botero et al. 2015), conceptos como el de la sostenibilidad del desarrollo, la calidad ambiental o la calidad ambiental de playas (BOQ) y cómo medirlos, no cuentan con un consenso absoluto. Cendrero et al. (2003) plantean que el mismo concepto de calidad ambiental presenta al menos dos enfoques, uno ecocéntrico, vinculado a la naturalidad y otro antropocéntrico, relacionado con una visión utilitaria del ambiente.

Consecuentemente, un análisis de la calidad ambiental de un tramo costero, deviene inexorablemente en definir a priori cuál o cuáles funciones o servicios ambientales serán considerados. La calidad ambiental debería representar, las características cualitativas y/o cuantitativas inherentes al ambiente o al sistema del medio en particular, y su relación con la capacidad relativa de éste para satisfacer las necesidades de la sociedad y/o de los ecosistemas relacionados.

La mayor proximidad a un sistema prístino implicaría también una mejor calidad ambiental por su naturalidad, así el ancho de la playa, o la calidad de sus aguas son sin dudas importantes en la determinación de su calidad. Sin embargo, desde la perspectiva utilitaria donde el valor de la playa se centre en el uso turístico, es necesario considerar también las condiciones que limiten o favorezcan el uso, como la presencia de plataformas de abrasión o afloramientos rocosos, la texturade sus arenas, la infraestructura de accesibilidad disponible o los servicios que facilitan y que destacan cada sitio de los restantes para que los potenciales visitantes la consideren y eventualmente la elijan.

En consecuencia, no es sólo la convergencia a lo prístino sino la oferta de determinados servicios básicos y necesarios los que adquieren también significación en la definición de la calidad ambiental de una playa turística.

El objetivar y cuantificar estas condiciones de un modo que puedan ser luego aplicadas tanto por los municipios costeros como por los gerencadores de los balnearios, requiere un sistema de indicadores cuantitativos genéricos, que sean de relevamiento sencillo, económicos y reconocidos tanto por los usuarios del sistema como por su validez científica y que sean posibles de aplicar en escenarios semejantes a distintos niveles.

El ensayo de este tipo de metodologías, secuenciados en el tiempo o de modo diacrónico, representa un primer paso para el desarrollo de un observatorio de calidad de playas aceptable

por la comunidad científica, el medio social y el político administrativo. El presente trabajo presenta un modesto aporte al desafío de aplicar un sistema de generación de datos útiles a la gestión ambiental en playas de uso turístico.

El objetivo del estudio es ensayar un sistema de indicadores agrupados según un modelo de Estado, Presión y Respuesta para la determinación de la calidad ambiental en playas con uso turístico en la costa atlántica bonaerense.

ANTECEDENTES

El desarrollo de los indicadores ambientales, como indicadores de desarrollo sostenible (IA/IDS), se inició a finales de la década del 80 en Canadá y en algunos países de Europa. El trabajo de indicadores ha sido impulsado por esfuerzos internacionales de cooperación para el avance en los indicadores ambientales y de desarrollo sostenible, en particular el Proyecto Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) (Quiroga Martínez, 2007).

El concepto de sustentabilidad tiene su origen en el paradigma del desarrollo sostenible, analizado ampliamente por Gallopín (2003) y Guimarães (2003) entre otros autores. De este análisis se desprende que se trata de un objetivo a alcanzar y por lo tanto de un proceso en el que se pueden mencionar las siguientes dimensiones: i) dimensión ecológica, ii) dimensión social, iii) dimensión económica, y iv) dimensión política. De acuerdo con estas consideraciones, resulta necesario desarrollar instrumentos conceptuales y metodológicos para dimensionar esa sustentabilidad y al mismo tiempo evaluar el camino hacia ella.

Entre estos instrumentos se encuentran los indicadores (Quiroga Martínez, 2001, 2007). En los últimos años el uso de indicadores se ha ido legitimando como herramientas útiles para la formulación de políticas, en la evaluación de estrategias y en la gestión ambiental; sin embargo existen importantes obstáculos tanto técnicos como financieros que impiden desarrollar indicadores ambientales en forma sistemática.

Los indicadores ambientales son parámetros o variables que expresan información sobre ciertos fenómenos de manera simplificada y cuantificada, permiten explicar cómo cambian a lo largo del tiempo y/o el espacio, y ayudan a la prevención y corrección de situaciones ambientales adversas.

En aplicaciones geológicas, los denominados geoindicadores evalúan eventos tanto catastróficos como graduales, siempre y cuando éstos se mantengan dentro del marco del período de una vida humana (Berger e Iams, 1996). En muchos casos los geoindicadores, si bien dan cuenta de procesos inducidos antrópicamente, no dan una idea de la calidad del ambiente para un uso determinado como el que se postula en este trabajo.

A partir del año 2000, se desarrollaron distintos sistemas de indicadores aplicados, en principio, a cuantificar y determinar cambios ambientales a escalas regionales, nacionales o locales. Desde ese momento, se ha dado una profusión creciente de indicadores ambientales de distintas escalas de cobertura que llegan a niveles de temática específica o sectorial (Quiroga Martínez, 2007).

Uno de los primeros antecedentes sobre el desarrollo de indicadores sectoriales, específicamente aplicados a playas turísticas, fue desarrollado por Botero (2002) para playas del Caribe Colombiano. Los indicadores propuestos, tal como expresa su autor, se encuentran en consonancia con la propia idiosincrasia colombiana.

Cendrero et al. (2003) aplicaron un modelo de Estado, Presión y Respuesta para el análisis sincrónico de la calidad ambiental como fuente de recursos, soporte de actividades, naturalidad y sumidero en zonas costeras de España y América Latina. En este caso, los indicadores aplicados no se relacionan con el uso del ambiente de playa ante un factor dominante como el turismo y la recreación.

Camino et al. (2001), han aplicado indicadores para valorar la calidad ambiental en zonas costeras de la provincia de Buenos Aires. Madanes et al. (2010, 2011) han analizado y comparado valoraciones subjetivas y objetivas, basadas en aspectos físicos, biológicos e infraestructura, en playas arenosas bonaerenses y patagónicas. Camino et al. (2011), analizaron los efectos de la urbanización y la minería de áridos, en la costa bonaerense, en relación con la pérdida de amenidad para usos turísticos y recreativos

El Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible para Argentina (SIDSA, 2006), se ha desarrollado sobre un marco conceptual sistémico, definido como sistema socioecológico (Gallopín, 2003). En ese marco se define un *subsistema ambiental* y se presentan indicadores que dan cuenta del ambiente natural, incluyendo los recursos naturales y los procesos ecológicos que brindan condiciones para el soporte de la vida. Sin embargo no están contemplados particularmente los ambientes de playa y su calidad ambiental para el turismo

Zielinski y Botero Saltarén (2012), sobre la base de trabajos previos desarrollaron un modelo Índices de Calidad Playas Turísticas (ICAPTU, <http://www.dimar.mil.co/playas/index.htm>) en playas del Caribe Colombiano que permiten medir la calidad ambiental de playas sometidas a un uso turístico intensivo. En el año 2015, ese mismo grupo de investigadores publicó un modelo ICAPTU actualizado, éste se propone tanto como un instrumento técnico que resume los criterios para el análisis de los parámetros ambientales, como instrumento avanzado de gestión (Botero, et al., 2015).

Estas disquisiciones revelan el estado emergente e innovador de la cuestión epistemológica que los abarca; sin embargo la urgencia de contar con indicadores que orienten la gestión ambiental de las zonas costera y playas exige a avanzar en paralelo en la aplicación y la definición conceptual. En este sentido, se inscribe el presente trabajo como un aporte o ensayo metodológico tendiente a la determinación cuantitativa de la calidad ambiental de las playas de uso turístico.

ÁREA DE ESTUDIO Y DESCRIPCIÓN DE LAS PLAYAS ANALIZADAS

El área de estudio se localiza en la costa atlántica bonaerense y comprende playas localizadas desde el Partido de La Costa hasta el Partido de Necochea (Figura 1).

Santa Teresita

Ubicación

La playa analizada se encuentra en plena zona céntrica de Santa Teresita (Figura 1), sobre la avenida 32. Esta población pertenece al Partido de La Costa, es una localidad eminentemente turística. Cuenta con una población estable de aproximadamente 24.503 habitantes (Censo 2010).

Playa

En general se advierte una playa distal de arena mediana a fina, muy angosta de unos 10 metros de ancho y una playa

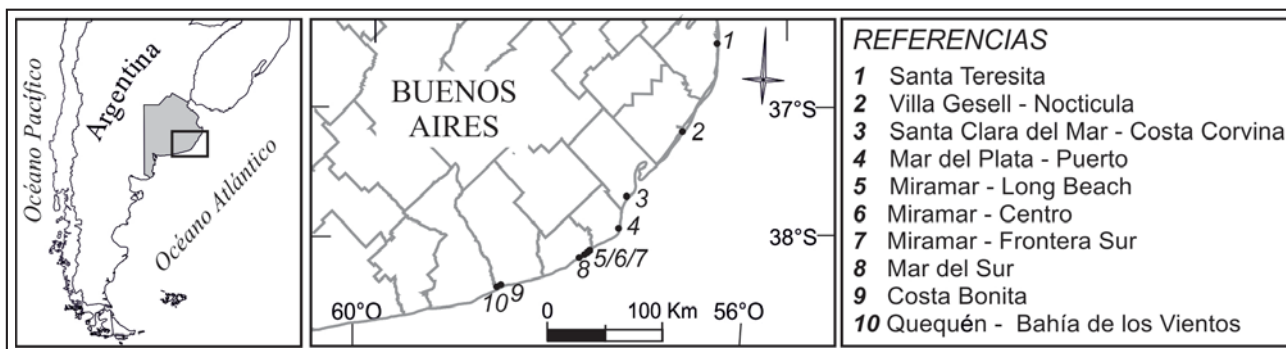


Figura 1. Mapa de ubicación.

frontal del orden de los 50 metros, sometidas a evidentes fenómenos erosivos, pese a lo cual no se observa el desarrollo de plataformas de erosión. La amplitud de marea corresponde a un ambiente micromareal. Si bien en el pasado el espaldón de la playa articulaba con médanos costeros hoy limita con la avenida costanera.

Gestión

La playa céntrica es, como en la mayoría de los balnearios, gestionada por la administración municipal. Esto plantea una carencia de servicios que también se traduce en una relativa pobreza de medios para asegurar la accesibilidad universal (Figura 2 a y b).

Villa Gesell

Ubicación

El Partido de Villa Gesell comprende esta ciudad cabecera y las localidades de Mar de las Pampas, Las Gaviotas y Mar Azul. El sector de Villa Gesell (Figura 1) se encuentra comprendido en el grupo de playas de mayor extensión de la provincia. Según el censo del año 2010 su población permanente ronda los 29.514 habitantes.

Se relevó en este sector el balneario Noctiluca, emplazado en la zona sur de la ciudad a la altura de la calle 126. Sus coordenadas exactas son: 37° 16' 39" S y 56° 58' 53" O.

Playa

Es una playa ancha de moderada pendiente que encuentra su espaldón en una duna costera modificada por la urbanización local. El ancho total de la playa en bajamar es cercano a los 100 m, su playa distal es de 74 metros con una amplitud de marea de 0,91 m. La granulometría de la arena de su playa es fina a media (Figura 2 c).

Gestión

Este balneario está concesionado al sector privado y es el primero, quizás el único a este momento, en haber certificado la norma IRAM 42.100 de Calidad de Gestión y Ambiental para balnearios (Fig 2 d).

Santa Clara

Ubicación

Santa Clara del Mar es una localidad balnearia del Partido de Mar Chiquita (Figura 1) que cuenta con población estable del orden de los 7.713 (Censo, 2010) habitantes. La zona relevada se encuentra en la porción céntrica y norte de la playa de uso turístico y recreativo.

Playa

La playa no es muy extensa, en general limitada por espigones en T para protegerla de la erosión marina, presenta una porción distal del orden de los 80 m y una porción frontal más pequeña del orden de los 40 m. La granulometría predominante es arena gruesa, lo que conlleva una pendiente relativamente alta de la porción frontal.

El espaldón de playa está formado por un médano relicto colgado que se encuentra muy degradado, se presenta estabilizado por plantas fijadoras, y alterado por el tránsito de personas y vehículos en la Avenida Costanera (Figura e y f).

Gestión

La zona relevada es gestionada a través de zonas concesionadas intercaladas entre sectores públicos.

General Pueyrredón

Puerto

La ciudad de Mar del Plata es la ciudad cabecera del Partido de General Pueyrredon. Una ciudad de 592.481 habitantes (Censo 2010) que resulta un escenario sumamente complejo que presenta a lo largo de su costa distintas formas de gestión de los espacios turísticos costeros, variada geología y dinámica de playas y consecuentemente con ambos temas una gran diversidad de escenarios y de equipamientos e infraestructura.

Ubicación

En este caso solo se relevó una playa situada al sur del puerto Mar del Plata en el extremo norte de la ensenada de Mogotes (Figura 1). La zona donde se ubica la playa es un límite entre muy diversos sistemas naturales y antrópicos, relacionado con la construcción del Puerto de la ciudad de Mar del Plata, iniciado en 1917. La deriva natural de las arenas, de sur a norte, hace que allí se acumulen arenas, que forman con el correr de los años las extensas playas del Continuo Puerto y Punta Mogotes.

Al norte y en la prolongación hacia el E y ENE de la Reserva Natural del Puerto se encuentra la playa del Puerto y hacia S y SSO la de Punta Mogotes.

Playa

Es una playa muy extensa de más de 150 de ancho de arenas finas y muy baja pendiente. El ambiente es carácter micromareal (Figura 2 g y h).

Gestión

La playa del Puerto es pública



Figura 2. Santa Teresita: a) Vistas de la playa en la zona céntrica, b) en pleamar los turistas y visitantes quedan constreñidos a una angosta playa distal; Villa Gesell: c) Vista espaldón y duna del Balneario Noctiluca, y d) Infraestructura y equipamiento Balneario Noctiluca; Santa Clara: e) y f) Vistas de la playa pública de costa Corvina; Puerto Mar del Plata: g) y h) Vistas de la playa del Puerto de Mar del Plata, situada al sur del mencionado puerto; Long Beach, Miramar: i) y j) Infraestructura y equipamiento en la playa.

Infraestructura y Equipamientos Específicos

La playa carece de infraestructura y servicios, salvo recolección de residuos y guardavidas. No presenta pasarelas rampas ni baños que hagan a este sector accesible (Figura 2 g y h).

General Alvarado

En este sector se consideran distintos balnearios tanto de la ciudad de Miramar propiamente dicha como otros pertenecientes al Partido de General Alvarado. Esta ciudad cuenta con una población de 29.475 habitantes (INDEC, 2010) habitantes y se sitúa según coordenadas geográficas a los 38°16'13"S, 57°50'23"O. Los lugares observados son el Balnearios Buenos Aires y Long Beach, La Playa del Centro de Miramar, el Parador Frontera Sur y las localidades balnearias de Mar del Sur (playa central) y Centinela del Mar (Figura 1).

Salvo la playa correspondiente a los Balnearios Buenos Aires y Long Beach que presentan una gestión privada por un acto concesionario, todas las restantes son administradas en forma de playas públicas.

Long Beach

Ubicación

El balneario se encuentra ubicado en el centro de una extensión de playa de aproximadamente 1.000 m que está delimitada por dos espigones de rocas (38°15'58,30" S; 57°49'10,42" O). Sobre la misma extensión existen otros balnearios similares, todos ubicados contra un acantilado de aproximadamente cuatro metros de altura.

Playa

La playa se extiende desde el límite de las construcciones hasta la orilla por una extensión del orden de los 90 m. Es de arena mediana a fina y baja pendiente.

Gestión

Privada.

Infraestructura y Equipamientos Específicos

El balneario Long Beach tiene una amplia infraestructura dividida en cuatro niveles donde cuenta con distintos servicios como cancha de tenis, pileta de natación, quincho, gimnasio, sauna, alquiler de carpas y sombrillas, estacionamiento privado. El ingreso a la playa es a través del estacionamiento del balneario, que se encuentra en el tercer nivel, pese a los servicios que ofrece, no existen ascensores ni rampas para facilitar la accesibilidad en los diferentes niveles (Figura 2 i y j).

Playa Centro

Ubicación

La playa se encuentra ubicada en la prolongación de la intersección de las calles 23 y 12, entre los balnearios Horizonte y 9 de Julio.

Está emplazada en la zona céntrica de la ciudad de Miramar a metros de la calle peatonal. Además cuenta con espacios verdes libres de edificaciones.

Playa

El sector de playa estudiado, está limitado por dos espigones cortos de roca implantados para reducir la erosión de la playa. Con estos sistemas se logra acumular arena en la playa distal pero a riesgo de inducir la erosión de los sectores situados

aguas abajo en el sentido de la deriva litoral. La playa presenta en particular en su porción frontal arenas gruesas y un fuerte aumento de la pendiente. No existe ninguna edificación sobre la playa. El régimen de mareas es mixta semidiurna con una amplitud del orden de los 0,79 m (Figura 3 a y b)

Gestión

Es una playa pública que en su ingreso tiene una oficina de Turismo y un estacionamiento público del municipio de General Alvarado.

Frontera Sur

Ubicación

El estudio se realizó en la playa ubicada a 5 km del centro de la ciudad de Miramar. El acceso a la misma es por la Ruta 11, que atraviesa la ciudad de este a oeste por la calle 12 y continúa por la avenida Costanera.

Una vez que finaliza el asfalto empalma con un camino de tierra en dirección al oeste que atraviesa los sectores de duna y bosque costeros, este último desarrollado por el Vivero Municipal. La playa se encuentra al frente del parador homónimo en el vivero Municipal.

Playa

La zona de playa es relativamente extensa y en su porción inferior correspondiente a la playa frontal se advierte el desarrollo de plataformas de abrasión (Figura 3 c y d). El límite continental de la playa se produce en la articulación con las dunas costeras.

Gestión

Esta es una playa pública. El área comercial Frontera Sur se encuentra en el ámbito medanoso y no participa directamente de la gestión del ambiente de playa.

Mar del Sur

Ubicación

Mar del Sur está ubicada a 17 km al Sur de la ciudad Miramar, cuenta con unos 699 habitantes según el *Censo 2010*. Se accede por la ruta Provincial 11. La playa estudiada se encuentra en la prolongación de la avenida 100, la cual es la arteria principal de Mar del Sur.

Playa

La playa es extensa, de unos 160 m, conformada por arenas gruesas cuya pendiente puede llegar hasta los 8° (Figura 3 e).

Gestión

En este sector coincide un área pública con un balneario gestionado en forma privada.

Quequén

El área de estudio se ubica en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, en el sector comprendido entre Quequén - Bahía de los Vientos- Costa Bonita, inmediatamente al Este de la localidad de Necochea. La población es de aproximadamente unos 16.091 habitantes (*Censo, 2010*). En la zona de estudio las mareas presentan amplitudes medias de sicigias de 1,28 m y 0,91 m en cuadraturas. El régimen de marea es de tipo de desigualdades semidiurnas con una duración de la bajante de 6,40 minutos. En la zona de Quequén se analizaron

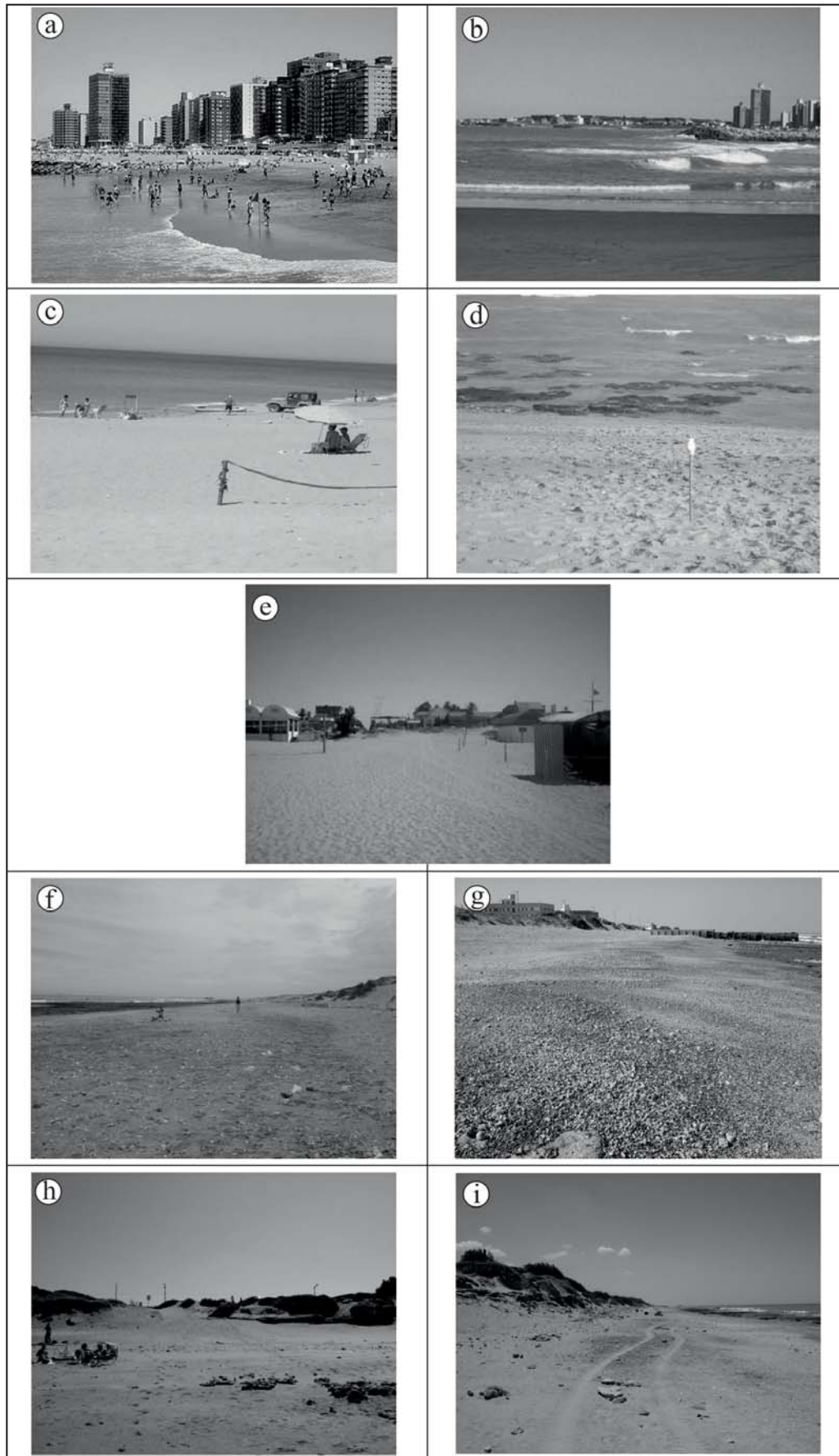


Figura 3. Miramar: a) y b) Vistas de la playa pública del centro de la ciudad; Frontera Sur: c) Vista de la playa, d) Plataforma de abrasión; e) Vista de la playa central en Mar del Sur; Costa Bonita: f) Plataforma de abrasión, g) Vista de la playa con rodados pefíticos; Bahía de los Vientos: h) Vista de la playa, i) Vista de la plataforma de abrasión.

dos sectores de playa uno correspondiente a la localidad denominada Costa Bonita y otro sector más próximo al Puerto Quequén denominado Bahía de los Vientos (Figura 1).

Costa Bonita

Ubicación

Es una localidad costera situada a unos 5 km de la desembocadura del río Quequén. Se llega por un camino de tierra desde la Ruta 88 o por un camino de tierra costero desde la localidad homónima.

Playa

Es una playa ancha de más de 90 m de arenas gruesas y clastos péfiticos de tormenta. En la porción inferior aflora una plataforma de abrasión amplia (Figura 3 f y g).

Gestión

En el sector estudiado la playa es pública.

Bahía de los Vientos

Ubicación

La playa estudiada se destaca por presentar una zona de acumulación inmediatamente al ENE de la escollera norte del Puerto Quequén Este sector corresponde a un conjunto de balnearios que se sitúan inmediatamente al norte de la escollera del Puerto Quequén.

Playa

Es una playa angosta de arenas medianas a gruesas. En la porción inferior suele aflorar una amplia plataforma de abrasión (Figura 3 h, i).

Gestión

En el sector estudiado la playa es pública.

METODOLOGÍA

La selección de las distintas playas sobre las que se ensayó la metodología de indicadores surgió de una combinación de criterios donde se consideró previa y prioritariamente la diversidad de condiciones tanto físicas como de uso de las mismas, para este modo tratar de discriminar de manera objetiva los factores que establecen el uso de las playas como recurso turístico.

Las mediciones se realizaron en los períodos estivales de los años 2009 (17/12), 2010 (18/01, 23/02 y 20/12), 2011 (24/01, 21/02 y 19/12), 2012 (16/01, 13/02 y 17/02) y 2013 (29/01 y 18/02). Al inicio de los relevamientos, en el año 2009, sólo se relevaron 4 playas del partido de General Alvarado (Long Beach, Centro, Frontera Sur y Mar del Sur), en años subsiguientes se incorporaron más playas (Puerto Mar del Plata, Costa Corvina en Santa Clara del Mar y Noctiluca en Villa Gesell entre otras) hasta llegar a diez playas desde de Santa Teresita al Norte hasta la Bahía de Los Vientos (Quequén) al Sur. En el análisis efectuado se consideraron tanto playas gestionadas por organizaciones privadas como públicas.

En diversos trabajos y distintos escenarios se ha utilizado profusamente el marco ordenador Presión - Estado - Respuesta (PER) o Fuerza Motriz - Estado - Respuesta (FER), originalmente recomendado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y posteriormente adoptado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (PNUMA). El presente trabajo se ha realizado adaptando el modelo PER para determinar variaciones en la calidad ambiental de playas utilizadas por un turismo estacional, que afectan la amenidad del sitio y que pueden tener efectos económicos relevantes a la hora de optar por un destino turístico (Ortolano, 1984).

Como tal, la metodología aplicada puede inscribirse en los grupos tipológicos de indicadores de primera generación los cuales, dan cuenta de un fenómeno complejo desde un sector productivo específico y de una regionalidad determinada (Quiroga Martínez, 2007).

El marco de referencia PER plantea las relaciones básicas entre:

- Las *presiones* a las que los humanos someten al medio ambiente
- El *estado* o condición resultante del medio ambiente y
- La *respuesta* de la sociedad a esas condiciones, para facilitar el uso o prevenir impactos negativos resultantes de las presiones.

Para el objetivo de este trabajo, se optó por un conjunto de indicadores compuesto por parámetros derivados directamente de los que se consideraron atributos relevantes de una playa de uso turístico de la región. Algunos de los parámetros considerados en este trabajo han sido recomendados para la evaluación ambiental a nivel regional o de países (*Social Affairs Economic and United Nations, 2007*), aunque no para el monitoreo de ambientes de costas o playas; en este caso los indicadores han servido a modo de referencia temática. Otros parámetros considerados han sido propuestos y aplicados para evaluar particularmente la calidad ambiental de playas sometidas a un uso turístico intensivo (*ICAPTU, Botero, 2002, Botero et al., 2012, 2015*).

Se han introducido también algunos parámetros, que si bien fueron generalizados a todas las playas consideradas, en una primera instancia fueron discutidos y consensuados con funcionarios de las áreas ambientales de los Municipios de General Alvarado y General Pueyrredon, por ser considerados apropiados para la evaluación local.

Los municipios y la provincia carecen de bases de datos y programas de relevamiento de las playas que administran, por este motivo la fuente de información principal ha sido la obtención de datos de campo mediante relevamientos complementada con datos censales.

Para el desarrollo de los relevamientos de campo se conformaron grupos de alumnos del último año de la Tecnicatura Superior en Medio Ambiente Marino Costero y de la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional, que fueron entrenados y supervisados por docentes para la toma de las muestras de campo y desplegadas en las distintas playas cada verano.

En todos los casos, se ha generado para el relevamiento de cada parámetro la metadata correspondiente, que por su extensión no se incluye en el presente trabajo. Su finalidad es sistematizar la interpretación y forma de obtención de cada parámetro.

Cada parámetro relevado a campo fue tomado en simultáneo (mismo día y hora) en las playas consideradas cada año, con excepción del ancho de playa que fue medido, en cada sitio, en el momento de la bajamar. Se estableció un protocolo de medición para cada uno de los parámetros seleccionados, lo

que permitió tener uniformidad de criterio en la totalidad de los grupos de relevamiento y facilitó la comparación de los resultados obtenidos.

Los parámetros considerados se agrupan en:

Presión:

Se refiere al conjunto de parámetros que instantáneamente o persistentemente dan información relevante sobre la cantidad de usuarios del ambiente de playa: *Población Proximal* (Cantidad de habitantes de la población donde se asienta la playa o balneario, Fuente censal), *visitantes* (Cantidad de usuarios de la playa en un momento dado entre las 12 y 15 hs), *bañistas* (Cantidad de bañistas en un momento dado entre las 12 y 15 hs) y *proyección de sombras sobre la playa distal* (Porcentaje de la playa distal cubierta por la sombra proyectada a las 17 hs).

Estado:

En este grupo encuentran fundamentalmente aquellos parámetros que hacen al soporte físico ambiental de la actividad turística: *ancho de playa* (distancia en metros desde el espaldón de la playa (o base del médano o pie del acantilado o estructura artificial que limite la playa hacia el continente) hasta la línea de bajamar. En cada playa se midió con cinta métrica, en el momento de la bajamar, establecido según las tablas de mareas correspondientes (*Servicio de Hidrografía Naval, 2009, 2010, 2011 2012 y 2013*), *tamaño modal de los sedimentos* (muestreados en la zona de pleamar, tamizado, 0: menor o igual a 0,062 mm e igual o mayor a 2 mm, 0,5: entre 0,062 y 0,125 mm y entre 1 y 2 mm y 1: aquellas arenas que presenten granulometrías entre 0,125 y 1 mm), *presencia de plataformas de abrasión/ erosión* (0: hay, 1: no hay), *temperatura del agua de mar* (medida a las 12 hs a un metro de profundidad con termómetro de alcohol), *calidad microbiológica* (se consideró la presencia de Enterococos para aguas recreacionales tomando como valor umbral 35/100ml), *turbidez del agua de mar* (muestras obtenidas a las 15 hs a un metro de profundidad, en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) de acuerdo con Método nefelométrico SM 2130 B *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, APHA, WEF, 1998)*, 0: valores menores a 10 NTU y 1: valores mayores o iguales a 100 NTU), ruidos (valor umbral 65 dB, 0: hay, 1: no hay) y presencia de *olores desagradables* (por percepción individual; 0: hay, 1: no hay).

Respuesta:

Bajo este ítem se han considerado las ofertas de servicios básicas que puede ofrecer un balneario y que también podrían ofrecer las playas públicas para su habilitación: *Servicio de sombra* (presencia - ausencia; 0: no hay, 1: hay), *equipamiento de accesibilidad universal* (0: ausente, 0,5: presencia de rampas, 0,75: presencia de rampas, pasillos y baños adaptados, 1: elementos previos más cadena de accesibilidad hasta la playa frontal y el agua: 1), *servicio de comidas* (0: no hay, 1: hay), *servicio de agua potable y baños* (se consideró una escala de distancia a donde se brinda el servicio; 0: mayor a 500 m, 0,5: entre 500 y 200m, 0,75: entre 200 y 100m y 1: menor a 100 m), *servicio de guardavidas* (presencia - ausencia; 0: no hay, 1: hay), *servicio de recolección de residuos* (presencia - ausencia; 0: no hay, 1: hay)

En una primera etapa se realizó un análisis univariado de los datos, se describió cada una de las variables o parámetros por playa. Sobre los parámetros considerados se calculó la media, el desvío estándar y el valor *p* del test de Shapiro-Wilk (test

de normalidad) en las variables continuas y para las variables categóricas se confeccionaron tablas de frecuencias.

En una segunda etapa, se realizó el análisis bivariado, es decir, el análisis de asociación entre pares de variables. Cuando se cruzaron dos variables categóricas, se aplicó el test de independencia. Para el análisis cruzado de variables continuas con variables categóricas, se utilizó el test de Wilcoxon Kruskal-Wallis. Este test permite detectar si las medianas de la variable continua varían de acuerdo a diferentes niveles de la variable categórica.

En el caso de dos variables continuas, se calculó el test de Correlación. Este índice indica la asociación lineal entre dos variables

Dada las características diferentes de cada parámetro, se aplicaron los mecanismos desarrollados por *Cendrero et al. (2003)* para su normalización e integración. Se llevó cada parámetro a una escala entre 0 y 1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición ambiental para un uso turístico recreativo.

Cuando el valor máximo medido del indicador corresponde a la mejor situación el valor normalizado será:

$$V_n = (I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}) \quad (1)$$

Cuando el valor máximo medido corresponde a la peor situación el valor normalizado se calcula:

$$V_n = 1 - [(I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})] \quad (2)$$

Donde

V_n = valor normalizado;

I_m = valor medido del indicador;

I_{max} = valor máximo del indicador;

I_{min} = valor mínimo del indicador.

Los índices de presión, estado y respuesta son obtenidos para las diferentes funciones de acuerdo con:

$$IF_p = \sum (V_i \times W_i / n) \quad (3)$$

Donde

IF_p = índice de presión sobre fuente de recursos;

V_i = valor individual normalizado;

W_i = peso del indicador;

n = N° de indicadores;

$\sum W_i = 1$.

Los índices de presión, estado y respuesta, son considerados con igual peso. Los índices de presión (*p*); estado (*e*) y respuesta (*r*) para cada función, son integrados en un índice por función:

$$IF = (IF_p + IF_e + IF_r) / 3 \quad (4)$$

RESULTADOS

El análisis univariado sobre las variables continuas, muestra el valor de la media y el desvío estándar diarios durante los meses de diciembre, enero y febrero de las temporadas 2009/2010; 2010/2011; 2011/2012 y 2012/2013 según cada playa (Tabla 1).

Algunos de los parámetros fueron relevados sólo por su presencia o ausencia (por ejemplo: presencia de plataformas de erosión/abrasión, ruidos, servicios recolección de residuos, de servicios de sombra, agua, alimentos, guardavidas, etc.), o de

Tabla 1. Media y desvío estándar (valor entre paréntesis y en itálicas) por playa.

Playa	Visitantes (Número)	Bañistas (Número)	Proyección sombra (%)	Turbidez (NTU)	Temperatura del agua (°C)	Calidad microbiológica (Cantidad de microorganismos/100ml)	Ancho de playa (m)
Bahía de los Vientos	87,66 (61,07)	2 (2,9)	0	113,33 (8,14)	19,08 (1,68)	31.700 (50.340,22)	53,57 (8,4)
Costa Bonita	76,33 (6,98)	0,33 (0,82)	0	13,67 (9,27)	19,67 (1,51)	1466,67 (1.416,27)	53,378 (9,18)
Mar del Sur	76,83 (67,09)	14,42 (15)	0	41,13 (43,09)	19,48 (1,39)	954,25 (1709)	142,89 (13)
Frontera Sur	25,83 (28,39)	2,83 (3,64)	0	20,56 (11,18)	19,78 (1,81)	10.500 (31.434,11)	54,51 (8,67)
Centro Miramar	178,42 (164,31)	75,58 (107,09)	0	22,44 (22,22)	19,56 (1,61)	453,5 (977,32)	88,38 (9,34)
Long Beach	61,17 (69,93)	17,33 (12,85)	0,44 (1,33)	11,63 (9,23)	19,39 (1,69)	453,5 (977,32)	71,24 (13,72)
Puerto Mar del Plata	15 (20,15)	7 (12,03)	0	9,56 (7,18)	19,89 (1,75)	255,89 (312,96)	205,56 (26,54)
Santa Clara	94,93 (73,56)	17 (14,89)	0	17,33 (8,14)	20,67 (1,01)	1.908,4 (4.513,3)	89,03 (14,75)
Villa Gesell	141,6 (79,05)	31,8 (24,61)	0	23,6 (19,46)	21,86 (1,5)	199 (206,91)	73,6 (9,21)
Santa Teresita	144,33 (107,64)	55 (48,34)	100	81,6 (62,51)	21,97 (0,90)	2.278,33 (1.614,19)	50,68 (24,01)

acuerdo con una escala de menor a mayor calidad ambiental, por ejemplo el caso de los sedimentos de la playa donde los considerados de mejor calidad son las arenas medianas y lapeor son los sedimentos extremadamente finos (pelitas en la fracción modal) o gruesos (sábulos o pefitas en la fracción modal). Estas variables categóricas se representan en la tabla 2, donde los 1

(unos) representan la condición más favorable, mientras que el 0 (cero) representa la peor situación.

El test de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que ninguna variable continua tiene distribución aproximadamente normal. Por lo tanto se aplicaron tests no paramétricos para el análisis bivariado.

Tabla 2. Variables categóricas por playa.

Playa	Sedimentos	Plataforma de Erosión/Abrasión	Ruidos	Olores	Accesibilidad Universal	Servicios de Comida	Servicios de agua y baños	Servicio Guardavidas	Servicio Recolección Residuos	Servicio de Sombra
Bahía de los Vientos	0,5	0	1	1	0	1	0	1	1	0
Costa Bonita	0	0	1	0,33	0	0	0	0	0,83	0
Mar del Sur	0,5	0	0,75	1	0	1	0,75	1	1	1
Frontera Sur	0,75	0	0,75	1	0	0	0,5	1	0	0
Centro Miramar	1	1	0,67	1	0,5	0	0	1	1	0
Long Beach	1	1	0,75	1	0	1	1	1	1	1
Puerto Mar del Plata	0,75	1	0,78	0,56	0	0	0	1	0,67	0
Santa Clara	0,5	1	0,8	1	0,5	0	0	1	-	0
Villa Gesell	1	1	0,8	1	0,75	1	1	1	1	1
Santa Teresita	0,75	1	0,33	1	0,5	0	0,5	1	1	0

Cuando se cruzaron una variable continua con una variable categórica, se aplicó el test de Kruskal-Wallis. Este test permite detectar si las medianas de la variable continua varían de acuerdo a los diferentes niveles de la variable categórica.

En el caso de analizar dos variables categóricas, se aplicó el test de independencia. Este test permite analizar si las dos variables cruzadas son independientes o no.

En el caso de analizar la relación dos variables continuas, se calculó el test de Correlación. Este índice indica la asociación lineal entre dos variables. El análisis estadístico de relaciones significativas entre los parámetros de Presión /Estado, Presión/Respuesta y Estado/ Respuesta se expone en la Tabla 3. Los valores p son los arrojados por el test cuya hipótesis nula afirma que las variables cruzadas son independientes. Si dichos valores son menores al nivel de significación del 5%, las variables sí están asociadas.

En las siguientes tablas se muestran sólo los pares de variables que resultaron están asociadas.

Calculo de indicadores

A partir de la estandarización de las diferentes variables observadas, se determinó un valor relativo de presión, estado y respuesta para cada una de ellas. Los valores cercanos a la unidad representan la mejor condición ambiental relativa (no absoluta ya que el método aplicado implica una comparación paramétrica, Tabla 4 a, b y c).

Tabla 3. Relaciones significativas entre las variables de Presión, Estado y Respuesta.

PRESIÓN	ESTADO	Valor p
Población	Turbidez	0,021
Visitantes	Tamaño sedimentos	0,000
Visitantes	Plataforma	0,018
Bañistas	Tamaño sedimentos	0,003
Bañistas	Plataforma	0,000
Bañistas	Temperatura agua	0,000
Bañistas	Proyección sombra	0,010
Proyección sombra	Ancho playa	0,022
Proyección sombra	Calidad microbiológica	0,031
Proyección sombra	Ruidos	0,030
PRESIÓN	RESPUESTA	Valor p
Población	Recolección residuos	0,037
Visitantes	Recolección residuos	0,000
Visitantes	Presencia guardavidas	0,001
ESTADO	RESPUESTA	Valor p
Ancho playa	Servicio sombra	0,039
Ancho playa	Servicio comida	0,039
Ancho playa	Recolección residuos	0,028

Tabla 4.a. Valores de Presión.

PRESIÓN					
Playa	Visitantes	Bañistas	Sombra	Población	Promedio
Bahía de los Vientos	0,813	0,994	1,000	0,973	0,945
Costa Bonita	0,987	0,999	1,000	1,000	0,997
Mar del Sur	0,837	0,954	1,000	0,999	0,948
Frontera Sur	0,945	0,991	1,000	0,950	0,972
Centro Miramar	0,620	0,758	0,996	0,950	0,831
Long Beach	0,870	0,944	0,996	0,950	0,940
Puerto Mar del Plata	0,968	0,978	1,000	0,000	0,737
Santa Clara	0,979	0,946	1,000	0,987	0,978
Villa Gesell	0,699	0,898	1,000	0,950	0,887
Santa Teresita	0,693	0,824	0,000	0,959	0,619

Tabla 4.b. Valores de Estado.

ESTADO									
Playa	Ancho de Playa	Sedimentos	Plataf. Erosión/Abrasión	Calidad microbiol.	Turb.	Temp.	Ruido	Olor	Promedio
Bahía de los Vientos	0,171	0,5	0	0,756	0,935	0,369	1	1	0,591
Costa Bonita	0,171	0	0	0,989	0,932	0,453	1	0,33	0,484
Mar del Sur	0,568	0,5	0	0,993	0,759	0,433	0,75	1	0,625
Frontera Sur	0,176	0,75	0	0,919	0,889	0,469	0,75	1	0,619
Centro Miramar	0,326	1	1	0,997	0,877	0,413	0,67	1	0,785
Long Beach	0,250	1	1	0,997	0,945	0,413	0,75	1	0,794
Puerto Mar del Plata	0,847	0,75	1	0,998	0,958	0,484	0,78	0,56	0,797
Santa Clara	0,260	0,5	1	0,985	0,909	0,596	0,8	1	0,756
Villa Gesell	0,260	1	1	0,998	0,870	0,766	0,8	1	0,837
Santa Teresita	0,159	0,75	1	0,982	0,503	0,781	0,33	1	0,688

Tabla 4.c. Valores de Respuesta.

Playa	RESPUESTA						Promedio
	Servicio de Sombra Universal	Accesibilidad	Servicio Comida	Servicio Agua y Baños	Servicio Guardavidas	Servicio Recolección Residuos	
Bahía de los Vientos	0	0	1	0	1	1	0,500
Costa Bonita	0	0	0	0	0	0,83	0,138
Mar del Sur	1	0	1	0,75	1	1	0,792
Frontera Sur	0	0	0	0,5	1	0	0,250
Centro Miramar	0	0,5	0	0	1	1	0,417
Long Beach	1	0	1	1	1	1	0,833
Puerto Mar del Plata	0	0	0	0	1	0,67	0,278
Santa Clara	0	0,5	0	0	1	1	0,417
Villa Gesell	1	0,75	1	1	1	1	0,958
Santa Teresita	0	0,5	0	0,5	1	1	0,500

Sobre la base de los indicadores de Estado, Presión y Respuesta se procedió a realizar una integración de los tres valores mediante un promedio simple sin ponderar. Los resultados se expresan en la Tabla 5.

Tabla 5. Índice integrado de calidad.

PLAYA	PROMEDIO GENERAL
Bahía de los Vientos	0,639
Costa Bonita	0,471
Mar del Sur	0,752
Frontera Sur	0,574
Centro Miramar	0,673
Long Beach	0,839
Puerto Mar del Plata	0,611
Santa Clara	0,692
Villa Gesell	0,888
Santa Teresita	0,610

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las relaciones significativas entre las variables de PRESIÓN, ESTADO y RESPUESTA muestran que el uso de la playa responde a cuestiones concretas como la calidad de las arenas o la presencia de plataformas de erosión o abrasión.

La relación entre la proyección de sombra con parámetros como ancho de playa y ruidos reflejan una condición de playa urbana donde la presencia de edificios de propiedad horizontal sobre la zona costera se manifiesta en la porción superior de la playa, cuyo caso extremo es la playa de Santa Teresita que en pleamar deja expuesta un zona de playa que puede ser

de una decena de metros. En playas extensas esta influencia no es significativa.

Por su parte la relación entre la proyección de sombra y la calidad microbiológica seguramente merece el desarrollo de estudios específicos y más avanzados que el presente, pero a modo de hipótesis, podría ser la consecuencia a una mayor concentración de visitantes y bañistas en zonas de playas muy angostas.

Las relaciones estadísticamente asociadas entre parámetros de presión y respuesta revelan, en principio, que uno de los aspectos reconocidos como más significativos está relacionado con la seguridad, representado por la limpieza de la playa (un modo de evitar lesiones y enfermedades) y la vida misma de los bañistas.

Las ausencias de relaciones significativas con otros de los parámetros de respuesta, considerados como importantes en lo que hace al uso seguro e inclusivo de las playas, como es la accesibilidad universal o la provisión de baños, agua potable o sombras, revela una concepción en la gestión de playas. Esta falta de servicios específicos se destaca en la gestión pública de las playas analizadas.

La relación estadística entre el ancho de la playa y los servicios involucrados como indicadores de respuesta parecen revelar simplemente que la playas que tienen un buen desarrollo también presenten buenos servicios (una excepción seguramente es lo que acontece en la playa del puerto Mar del Plata). La lógica que acompaña a este resultado estadístico es que en playas desarrolladas se emplazan actividades económicas que justifican el tipo de servicios considerados.

Se advierte que las playas que mayores presiones soportan son Santa Teresita y la playa del puerto Mar del Plata (Figura 4).

Santa Teresita si bien no presenta una población proximal importante recibe una cantidad significativa de visitantes y bañistas para un muy exiguo ancho de playa, esto implica que gran cantidad de visitantes se concentran en pocos metros de playa, especialmente en el hemicycle de pleamar.

La playa del Puerto Mar del Plata también presenta valores altos de presión, en este caso influido por la gran cantidad de habitantes estables de la ciudad de Mar del Plata.

Por el contrario las playas con menor presión son playas que presentan pocos atributos en zonas poco pobladas tales como Costa Bonita, Santa Clara del Mar o Frontera Sur (Figura 4).

Las playas que presentan un mejor indicador de Estado son playas amplias de arenas medianas a finas, sin plataformas de erosión o abrasión con buena calidad microbiológica, y que en general no presentan mucha turbidez de sus aguas, junto a temperaturas relativamente altas. También son aquellas playas que no presentan ni olores desagradables ni ruidos perturbadores.

Estas características están mejor representadas en playas como las de Villa Gesell, y la playa Long Beach en el partido de General Alvarado; la playa del puerto Mar del Plata resigna parte de su calidad por los malos olores y ruidos provenientes del sector industrial del puerto (Figura 4).

Por otro lado, las que presentan un peor estado relativo son las playas de Quequén (Costa Bonita y Bahía de los Vientos) por su granulometría que llega a la fracción pesifítica en la

porción distal de la playa, la presencia de plataformas de abrasión, calidad microbiológica y olores. Santa Teresita en el extremo norte de la zona analizada tampoco presenta buenos valores de estado, en particular por la poca extensión de la playa y la presencia de ruidos urbanos.

Las playas con mejores respuestas relativas son las playas de Villa Gesell (Balneario Noctiluca) y Miramar (Balneario Long Beach). En ambos caso se verifica una gestión privada, destacándose en el caso de Noctiluca un desarrollado sistema de accesibilidad universal desde el acceso al balneario hasta la orilla, aunque no contaba al momento de los relevamientos con sistemas apropiados para el ingreso al agua de personas con discapacidad motriz (Figura 4).

En Argentina, y en particular en la provincia de Buenos Aires, pese a que el turismo en zonas costeras es un motor fundamental de la economía de muchos municipios (*Secretaría de Turismo y Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005*), existe una falta de generación de la información ambiental sistemática y relevante sobre el estado y la evolución de estos sectores de la economía provincial. En general la información relevada se relaciona más con variables significativas para el análisis económico de la actividad turística que para conocer el estado y la evolución de las playas.

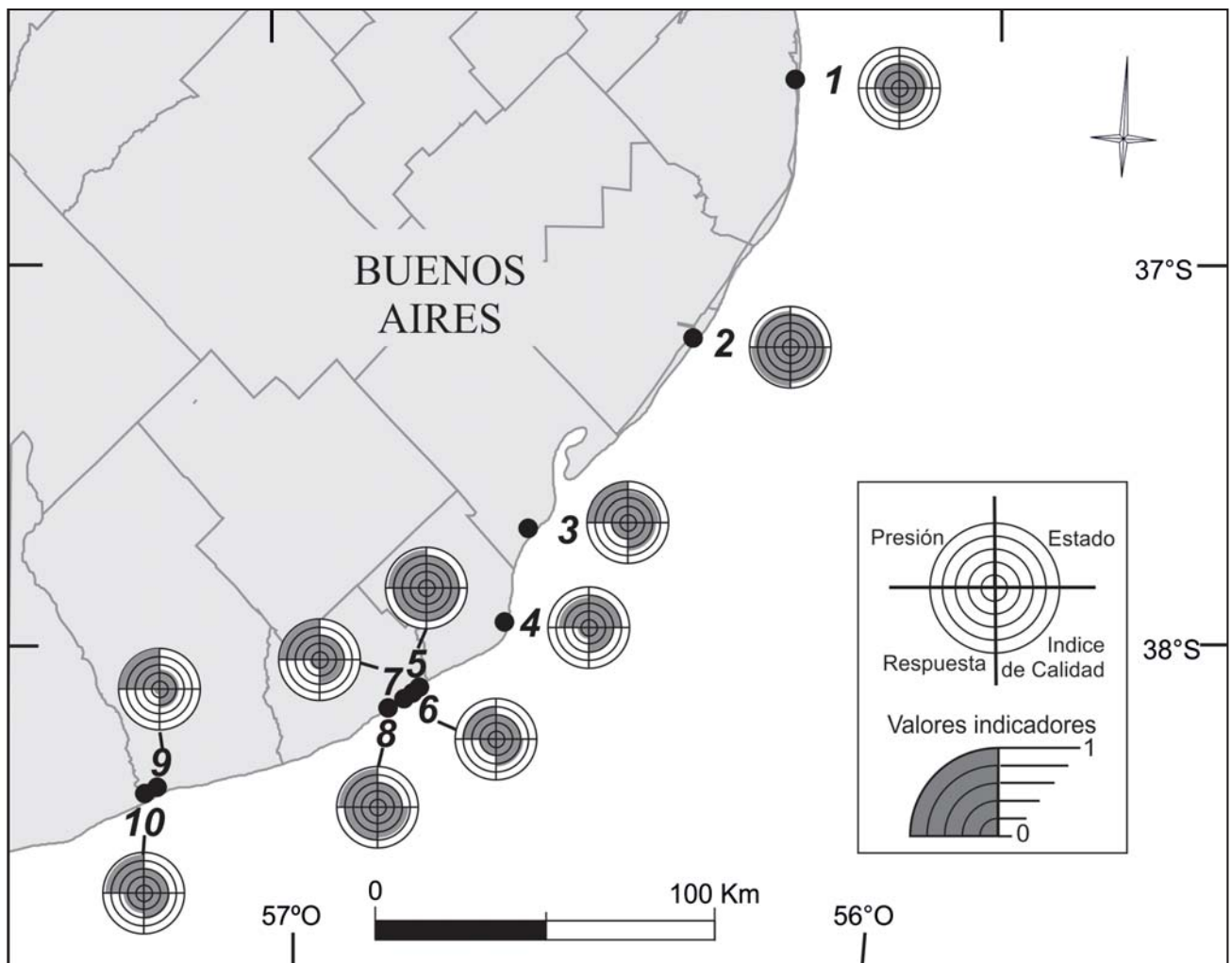


Figura 4. Distribución espacial del índice integrado de calidad. Referencias 1. Santa Teresita, 2. Villa Gesell, 3. Santa Clara del Mar, 4. Mar del Plata - Puerto, 5. Long Beach, 6. Centro, 7. Frontera Sur, 8. Mar del Sur, 9. Costa Bonita y 10. Bahía de los Vientos.

Este último punto ha sido abordado casi en exclusividad por un número relativamente pequeño de investigadores (entre los que se destacan Schnak, Codignotto, Kokot, López, Marcomini, Isla y Bértola) de universidades públicas y organismos científicos provinciales y nacionales. Algunos de esos trabajos si bien han sido realizados en colaboración o para los municipios costeros, se advierte una inconstancia institucional en las políticas costeras.

Tal como ha sido advertido por otros autores (*Quiroga Martínez, 2007*, entre otros), uno de los factores críticos para el desarrollo de un sistema de indicadores es la existencia de bases datos oficiales, disponibles, confiables y permanentes. Esto requiere una estructura, hoy inexistente, que no es funcional y eficazmente reemplazable por esfuerzos de proyectos académicos.

Damos por hecho que las playas públicas no brinden servicios, pero esto no debería ser así. El Estado debe comprometerse, y habilitar una playa para uso público debería contar con servicios adecuados e infraestructura básicos. Para la gestión estatal de estos frágiles, dinámicos y demandados ambientes, uno de los principales desafíos se identifica con la necesidad de contar o construir series estadísticas ambientales oficiales que permitan calcular y actualizar conjuntos de indicadores ambientales confiables. Esta misma falta de datos conspira contra la concepción social de una calidad ambiental de playas que opere también como meta a alcanzar por los actores sociales que intervienen en la gestión costera.

Resulta alentador que municipios como Pinamar presenten en la estructura comunal una Dirección de Frente Marítimo y un programa incipiente de Observatorio Costero, pero es indispensable un trabajo mancomunado e integrador donde estén presentes los restantes municipios costeros bajo modelo de toma y gestión de datos, en el cual pueden intervenir los centros académicos y de investigación.

Validación de los resultados

Si bien se ha llegado a una valoración de cada indicador en función de los parámetros considerados en cada playa, no se ha realizado una validación externa al sistema que permita definir si los mayores niveles de calidad determinados son ratificados por la percepción social.

Sin embargo vale destacar que el Balneario Noctiluca de Villa Gesell es el único que al momento de los relevamientos ha certificado la norma IRAM 42.100 de Calidad de Balnearios. Quizás se pueda considerar el uso efectivo de cada playa

como un elemento de validación por fuera del análisis metodológico propuesto.

CONCLUSIONES

Si bien se ha podido aplicar un método de medición de parámetros y se lo ha sostenido en el tiempo en algunas playas a lo largo de varios años, no se pueden establecer tendencias en el tiempo.

Como consecuencia de la aplicación de la metodología planteada resulta que la playa que mejor calidad presenta es la de Villa Gesell (balneario Noctiluca) seguida de Long Beach en la ciudad de Miramar, traccionado por su alto valor de respuesta respecto a las restantes, seguidas de la playa de Mar del Sur.

Las playas que peor resultado arrojan son las de la zona de Quequén, Costa Bonita y Bahía de los Vientos) seguidas de Santa Teresita.

En varios de los casos vistos, pero quizás más claramente en playas como las del Puerto Mar del Plata, seguramente una mejora de los servicios que se presten podrá mejorar la calidad de la playa como escenario turístico

Se debe reconocer también, que si bien este trabajo ha sido realizado con mucho esfuerzo en términos de logística, relevamientos a campo y participación transdisciplinar, los resultados están lejos de ser definitivos y satisfactorios.

La calidad de los datos es muy mejorable. Sustentar un trabajo como el presente sobre la base de estudiantes capacitados, pero que se renuevan en cada año, implica que no hay una curva de aprendizaje que disminuya tendencialmente el error en la toma de datos.

Para los autores del presente aporte resulta evidente, que si existiese algún consenso sobre la necesidad de contar con un sistema de indicadores de calidad ambiental costera para soportar una gestión integral de la costa o de las playas turísticas, se debe contar con un compromiso a nivel provincial y municipal para la conformación de bases de datos oficiales en suficiente cuantía y calidad para poder calcularlos adecuada y sistemáticamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al trabajo, de los alumnos de la Tecnicatura en Medio Ambiente Marino Costero y Maestría de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional por participar en los relevamientos de campo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BERGER, A. R. AND IAMS, W. J. (EDS) 1996.

Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems.
A. A. Balkema. 466 pp. Rotterdam.

BOTERO, C. 2002.

Índice de calidad ambiental en playas turísticas - ICAPTU.
Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad de la Salle, Bogotá.

BOTERO, C., PEREIRA C, TOSIC M, Y MANJARREZ, G. 2015.

Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach.
Ocean and Coastal Management 108: 65-73.

BOTERO, C., ZIELINSKI, S., PEREIRA, C., ESCUDERO, E.M., 2012.

Informe del programa de investigación en calidad ambiental de playas turísticas (CAPT) en el Caribe Norte Colombiano 2010 y 2014.
Periodo ENE a DIC 2011. Technical report. University of Magdalena, Santa Marta, Colombia.

- CAMINO, M.A., LÓPEZ DE ARMENTIA, A. OYARBIDE, R. F. Y J.L. DEL RÍO, 2001.
Análisis de la variación de la calidad ambiental mediante la utilización de índices cuantitativos en el litoral atlántico del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.
El caso de Mar del Sur. Actas de la III Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Área del Mercosur y I Simposio de Geoindicadores Ambientales: 32. Mar del Plata.
- CAMINO M. A., LÓPEZ DE ARMENTIA A. Y J. L. DEL RÍO, 2011.
Análisis de las variaciones en la función amenidad de ambientes costeros por efecto de la minería de áridos y la urbanización.
Caso de estudio: Mar del Sud, provincia de Buenos Aires. Párrafos Geográficos 10 (2): 130-145.
- CENDRERO, A., FRANCES, E., DEL CORRAL, D., FERMAN, J.L., FISCHER, D., DEL RÍO, J.L., CAMINO, M. AND A. LÓPEZ DE ARMENTIA, 2003.
Indicators and Indices of Environmental Quality for Sustainability Assessment in Coastal Areas; Application to Case Studies in Europe and the Americas.
Journal of Coastal Research, Vol 19(4), 914-933.
- DADON J., 2002.
El Impacto del Turismo sobre los Recursos Naturales Costeros en la costa pampeana.
En Dadon, J. y S. Mattecci (eds) Zona Costera de La Pampa Argentina: 101-121. Buenos Aires.
- GALLOPÍN, G., 2003.
Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL.
Serie Medio ambiente y desarrollo N° 64. 44 pp.
- GUIMARÃES, R. P., 2003.
Tierra de sombras: desafíos de la sustentabilidad y del desarrollo territorial y local ante la globalización corporativa.
United Nations Publications. Vol 67.
- INDEC, 2010.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, procesado con Redatam +Sp.
- MADANES, N., FAGGI, A. YESPEJEL, I. 2010.
Comparación de valoraciones de playas argentinas según la edad de los usuarios.
Calidad de Vida UFLO, Año I, N° 4 (VI):3-24.
- ORTOLANO, L., 1984.
Environmental planning and decision making.
Edit. John Wiley and Son, New York. 431pp.
- QUIROGA MARTÍNEZ, R., 2001.
Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas.
CEPAL Serie Manuales 16. 116 pp. Santiago de Chile.
- QUIROGA MARTÍNEZ, R., 2007.
Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe.
CEPAL Serie Manuales 55.228 pp. Santiago de Chile.
- SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL (SHN), 2009.
Tabla de Mareas.
Disponible en http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp, acceso libre, último acceso 2 de diciembre 2009.
- SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL (SHN), 2010.
Tabla de Mareas.
Disponible en http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp, acceso libre, último acceso 7 de diciembre 2010.
- SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL (SHN), 2011.
Tabla de Mareas.
Disponible en http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp, acceso libre, último acceso 6 de diciembre 2011.
- SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL (SHN), 2012.
Tabla de Mareas.
Disponible en http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/form_tmareas.asp, acceso libre, último acceso 4 de diciembre 2012.
- SOCIAL AFFAIRS ECONOMIC AND UNITED NATIONS, 2007.
Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies.
Third Edition. Disponible en www.un.org/esa/sustdev, último acceso 1 de abril 2015.

SECRETARÍA DE TURISMO Y SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. 2005.
Playas y Balnearios de Calidad: Gestión Turística y Ambiental Directrices y Guía de Autoevaluación

ZIELINSKI S. AND BOTERO SALTARÉN C.M., 2012.
Guía Básica para Certificación de Playas Turísticas.
Editorial Gente Nueva. 94 pp. Santa Marta.



Características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura

Morphometric and morphodynamic characteristics of a plain hydrographic basin

Calvi, Carolina ¹ ✉ - Dapeña, Cristina ¹ - Massone, Héctor ² - Martínez, Daniel ^{2,3}

Recibido: 18 de noviembre de 2016 • Aceptado: 7 de diciembre de 2016

Resumen

Los parámetros de la forma de una cuenca hídrica se consideran de interés en el análisis geomorfológico e hidrológico porque influyen en el volumen de agua que ingresa por precipitación al sistema, la magnitud de los caudales, el tiempo de concentración, etc. La pendiente media de una cuenca tiene una relación importante con los fenómenos de infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y con la contribución de agua subterránea al flujo de los cauces. La cuenca La Ballenera está ubicada en la llanura interserrana al sudeste de la provincia de Buenos Aires. En el caso de esta cuenca, el valor promedio de la pendiente topográfica es de 0,6%. Su característica topográfica de pendientes bajas permite que los procesos de evaporación e infiltración se conviertan en dominantes y que se comporten como elementos reguladores de la dinámica del agua superficial y subterránea. Para la construcción de mapas que muestren las características morfológicas del terreno como las unidades geomorfológicas y las pendientes, se trabajó con un Modelo Digital del Terreno. De esta manera se logró identificar y clasificar a la cuenca en ambientes, sistemas, unidades y elementos. La geología y la geomorfología controlan el comportamiento hidrodinámico del sistema. La distribución de las isopiezas muestra cierta homogeneidad en la permeabilidad del acuífero y un comportamiento ganador del arroyo. La caracterización de estos "parámetros geomorfológicos" servirá de base para el conocimiento integral del sistema hidrológico- hidrogeológico y su aplicación en la resolución de diversos problemas como anegamientos, contaminación y elaboración de mapas de riesgo y vulnerabilidad.

Palabras clave: *parámetros geomorfológicos, unidades morfodinámicas, comportamiento hidrogeológico.*

Abstract

The parameters of shape of a watershed are of interest in geomorphological and hydrological analysis because they affect the water amount entering in a system by precipitation, the magnitude of the flows, the time of concentration, etc. The average slope of a basin has an important relationship with infiltration, surface runoff, soil moisture and groundwater contribution to stream flow. La Ballenera catchment is located in the interserrana plain to the southeast in the Buenos Aires province. In this catchment, the average value of the

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, 5700, San Luis. 1 Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA), Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, 1428- Buenos Aires, Argentina

✉ calvi@ingeis.uba.ar

2. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario - UNMDP, CIC Prov. de Buenos Aires, CC 722, 7600-Mar del Plata, Argentina

3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -CONICET, UNMDP-Mar del Plata, Argentina

topographic slope is 0.6%. This feature allows the evaporation and infiltration processes become dominant and to behave as regulatory dynamics elements of surface and groundwater. The maps were made by a Digital Terrain Model showing geomorphological and slopes features. Therefore, it was identified environments, systems, units and elements. Geology and geomorphology controlled the hydrodynamic behavior of the system. The distribution of piezometric lines shows some permeability homogeneity of the aquifer and a winning behavior of the stream. The characterization of these "geomorphological parameters" is the basis for comprehensive knowledge of the hydrogeological- hydrological system and its application in solving diverse problems such as flooding, pollution and mapping of risk and vulnerability.

Keywords: geomorphological parameters, morphodynamic units, hydrogeological behavior.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Arroyo La Ballenera está ubicada entre los sistemas de Tandilia y Ventania, en la llanura interserrana al sudeste de la provincia de Buenos Aires. Sus nacientes se ubican en estribaciones bajas del sistema serrano de Tandilia. Este arroyo drena una zona de llanura y desagua en el Océano Atlántico. Conformar una red de drenaje con planicies aluviales estrechas con orientación norte-sur y perpendicular a la línea de la costa. Próximo a su desembocadura en el océano alimenta a la Laguna La Ballenera (Figura 1). Las principales localidades en la cuenca son Miramar y Comandante Nicanor Otamendi con 30000 y 7000 habitantes respectivamente.

Las características climatológicas, geológicas y geomorfológicas de la Llanura Pampeana permiten el desarrollo de suelos de alta productividad agrícola, lo que la convierte en una de las zonas de mayor desarrollo agrícola del país. Dicha actividad es altamente dependiente de la disponibilidad del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo (Kruse et al. 1997; Campo de Ferreras y Piccolo, 2002). Los objetivos de este trabajo son definir las características morfométricas y delimitar las unidades morfodinámicas de la cuenca La Ballenera y aplicarlas al comportamiento hidrogeológico del área de estudio.

La caracterización de estos "parámetros geomorfológicos" servirá de base para el conocimiento integral del sistema hidrológico y su aplicación en la resolución de diversos problemas como anegamientos, contaminación, etc. así como la elaboración de mapas de riesgo y vulnerabilidad.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

Tres grandes unidades definen a la estratigrafía del área de estudio. Un basamento cristalino que constituye la base de las sierras de Tandilia compuesto por rocas granitoides, diques básicos y rocas metamórficas principalmente gneis, anfibolitas y migmatitas (Dalla Salda et al. 2005). Le suprayace discordantemente una cubierta sedimentaria Precámbrica - Paleozoica inferior compuesta por una secuencia siliciclástica de arenitas y sabulitas asociadas a niveles arenosos correspondientes a la Fm Balcarce (Dalla Salda e Iniguez., 1979). Finalmente se encuentran los sedimentos Pampeanos y Postpampeanos (Figura 2a). Los primeros asociados al Plioceno inferior - Pleistoceno superior, son los de mayor extensión y espesor de la zona. Están constituidos por material limoso que predomina sobre las arenas y arcillas con proporciones variables de carbonato de calcio (tosca); presentan una estratificación poco definida y un aspecto

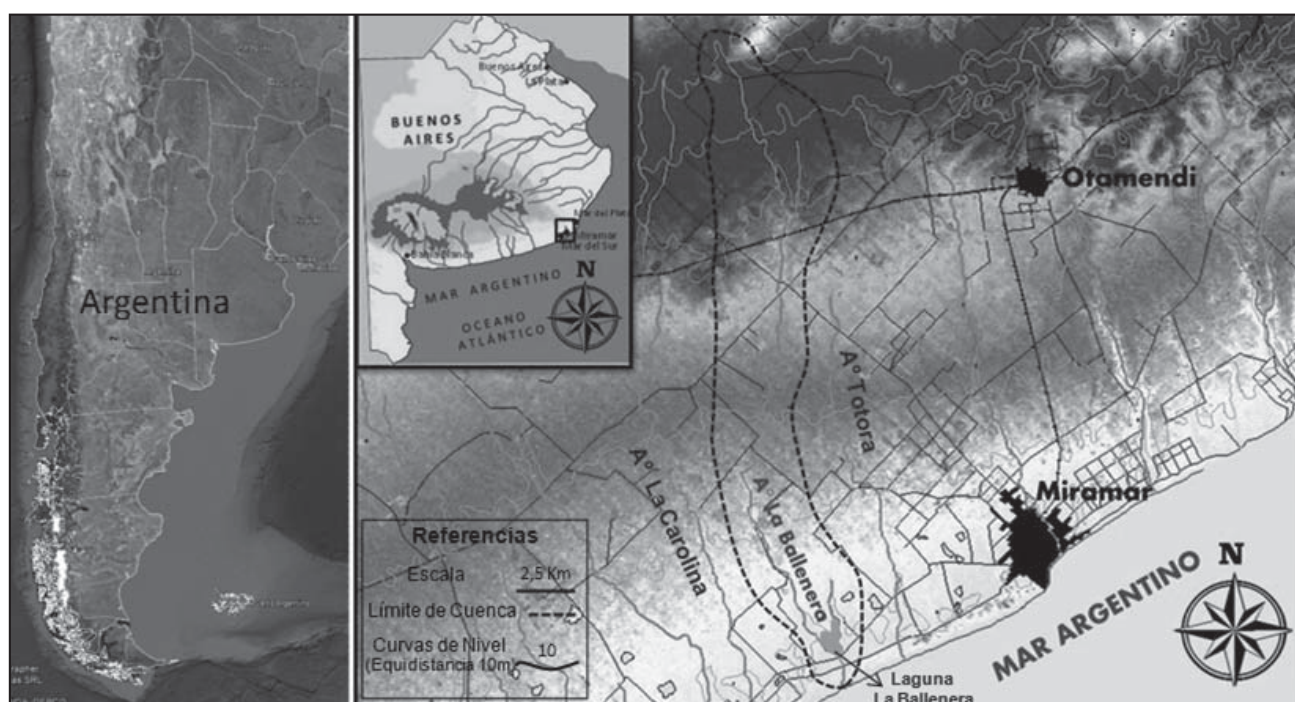


Figura 1. Ubicación de la Cuenca.

masivo, siendo su compactación mayor cuando hay carbonato de calcio. Los sedimentos Postpampeanos (Pleistoceno superior - Holoceno) de menor extensión y espesor que los anteriores se restringen a las zonas altas en los interfluvios. Están conformados por sedimentos arenosos, limosos, arcillosos, calcáreos, conchales, de origen fluvioacustre, eólicos y marinos (Varela y Teruggi, 2001). La geomorfología de la región pampeana es sumamente compleja debido principalmente a la escasez de pendiente, que ha dado lugar a la superposición de procesos de erosión y acumulación de origen eólico y fluvial. Estos procesos han sido controlados predominantemente por las oscilaciones climáticas ocurridas durante el Cenozoico superior (Martínez, 2007). Asimismo como consecuencia de las bajas pendientes que dominan esta región, los factores dominantes en el balance hidrogeológico son la evaporación e infiltración producto de que los movimientos verticales del agua prevalecen sobre los horizontales (Usunoff, 1994). Desde el punto de vista hidrogeológico, el acuífero de la cuenca La Ballenera está contenido en los sedimentos Pampeanos y Postpampeanos. El basamento hidrogeológico está conformado por la Fm Balcarce y por el basamento cristalino precámbrico. Es un acuífero libre y sus aguas son del tipo bicarbonatadas sódicas. El mapa de isopiezas muestra un flujo regional que se origina en el sector NO y se descarga hacia la costa (SE) (Calvi et al. 2016). La homogeneidad y equidistancia de las isopiezas no muestran cambios significativos de

permeabilidad en el acuífero, aunque si se diferencian en el contacto entre el sector con mayor proximidad al sector serrano y la zona de Planicie con lagunas. Se observa un comportamiento ganador para el arroyo La Ballenera durante todo su recorrido (Figura 2b).

METODOLOGÍA

Se trabajó con un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de cartas topográficas del área elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional, a escala 1:50.000. Esta información fue procesada mediante el programa ArcGis 10.1. Debido a la regularidad del terreno y la magnitud similar de pendientes en la zona, la herramienta ArcGis 10.1 permitió calcular los parámetros físicos del área. Con el MDT se construyeron mapas que muestran las características morfológicas del terreno como las unidades geomorfológicas y de pendientes. Asimismo mediante una medición directa sobre la cuenca se definieron otros parámetros como longitud, perímetro y ancho promedio. Se realizó un análisis del territorio con la metodología de Cartografía Geocientífica de Santander (Cendero y Teran, 1987) también aplicada por Massone (2005) para el área de Balcarce, por Romanelli (2006) para el sector de Laguna La Brava y por Quiroz Londoño (2009) para las cuencas de los arroyos Tamangueyu y El Moro. Estos autores definen los ambientes morfodinámicos en función de la identificación de mega relieves,

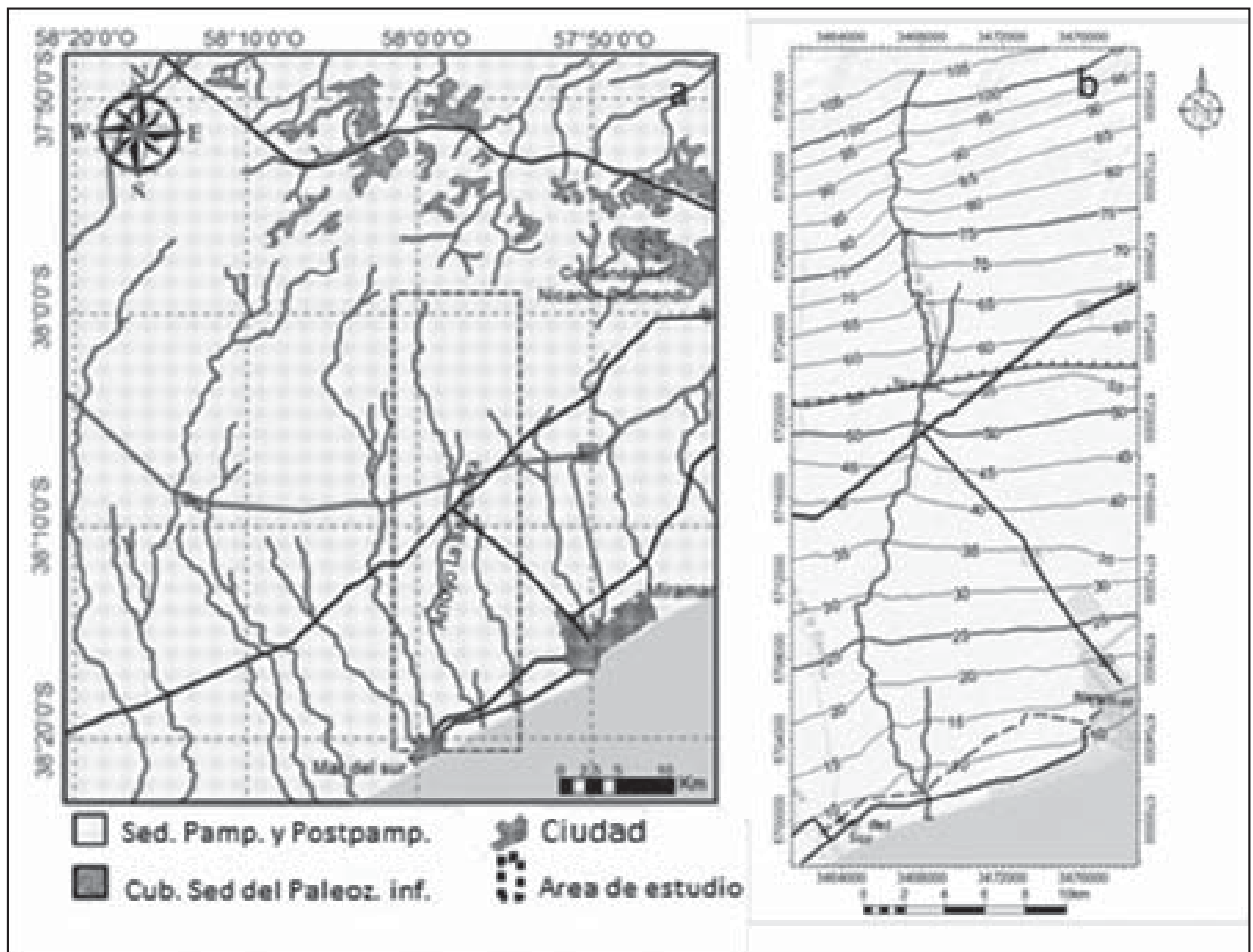


Figura 2a. Mapa Geológico del área y b. Mapa de isopiezas.

clima y características geológicas de escala regional. Los ambientes se subdividen en sistemas morfodinámicos, que responden a características litológicas, estructurales y geomorfológicas. A su vez los sistemas están conformados por unidades, las cuales se dividen analizando el lecho rocoso, depósitos y procesos superficiales. Por último se encuentran los elementos, los cuales son clasificados sobre la base de características geomorfológicas de detalle, suelos y vegetación.

RESULTADOS

Para la caracterización morfométrica del sistema se definen los parámetros físicos de la forma que corresponden a la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal. El área calculada corresponde a 160,13 km², dicho valor es aproximado producto de su escasa expresión topográfica que dificulta establecer sus límites con claridad. La longitud de la cuenca es de 30 km definida como la distancia horizontal del arroyo entre un punto aguas abajo y otro punto aguas arriba donde se intercepta la divisoria de la cuenca. El perímetro determinado como la longitud total de los límites de la cuenca es de 81,04 km. Con respecto al ancho promedio que obedece a la relación entre el área y la longitud de la cuenca es de 5 km².

Por otra parte en la cabecera de la cuenca se encuentran altitudes máximas de 170 msnm, mientras que las cotas menores se ubican hacia el SE próximas a la desembocadura con el Atlántico. El valor promedio de la pendiente topográfica en la cuenca es de 0,6%, con una desviación estándar de 1,1%, variando entre 0 y 16%.

Las Unidades Morfodinámicas de Mapeo (UMDM) se clasifican en ambientes, sistemas, unidades y elementos. El ambiente de lomadas y llanuras que representa la mayor extensión de la cuenca, tiene una cota máxima de 170 msnm en zonas próximas a los frentes serranos del sistema de Tandilia (Figura 3a). Posee una cota mínima de 5 msnm en la zona colindante al ambiente de dunas costeras y playa.

En cuanto al Sistema de Lomadas se identifican las formas irregulares y amplias con escotaduras de distinta magnitud y pendientes del orden del 1,71% a 15,8% (Figura 3b). Tienen una composición de sedimentos limosos y limo-arenosos, con frecuentes intercalaciones de tosca. Se reconocen los elementos de interfluvios, cauces y barrancas (Tabla 1). Los primeros corresponden a pequeñas elevaciones de 0,5 a 1 metro con baja pendiente y pobre expresión topográfica. Dentro de los cauces se distinguen dos ramas principales del arroyo La Ballenera con drenajes angostos y poca erosión de cauce, controlado por la presencia de capas superficiales de tosca que restringen su ex-

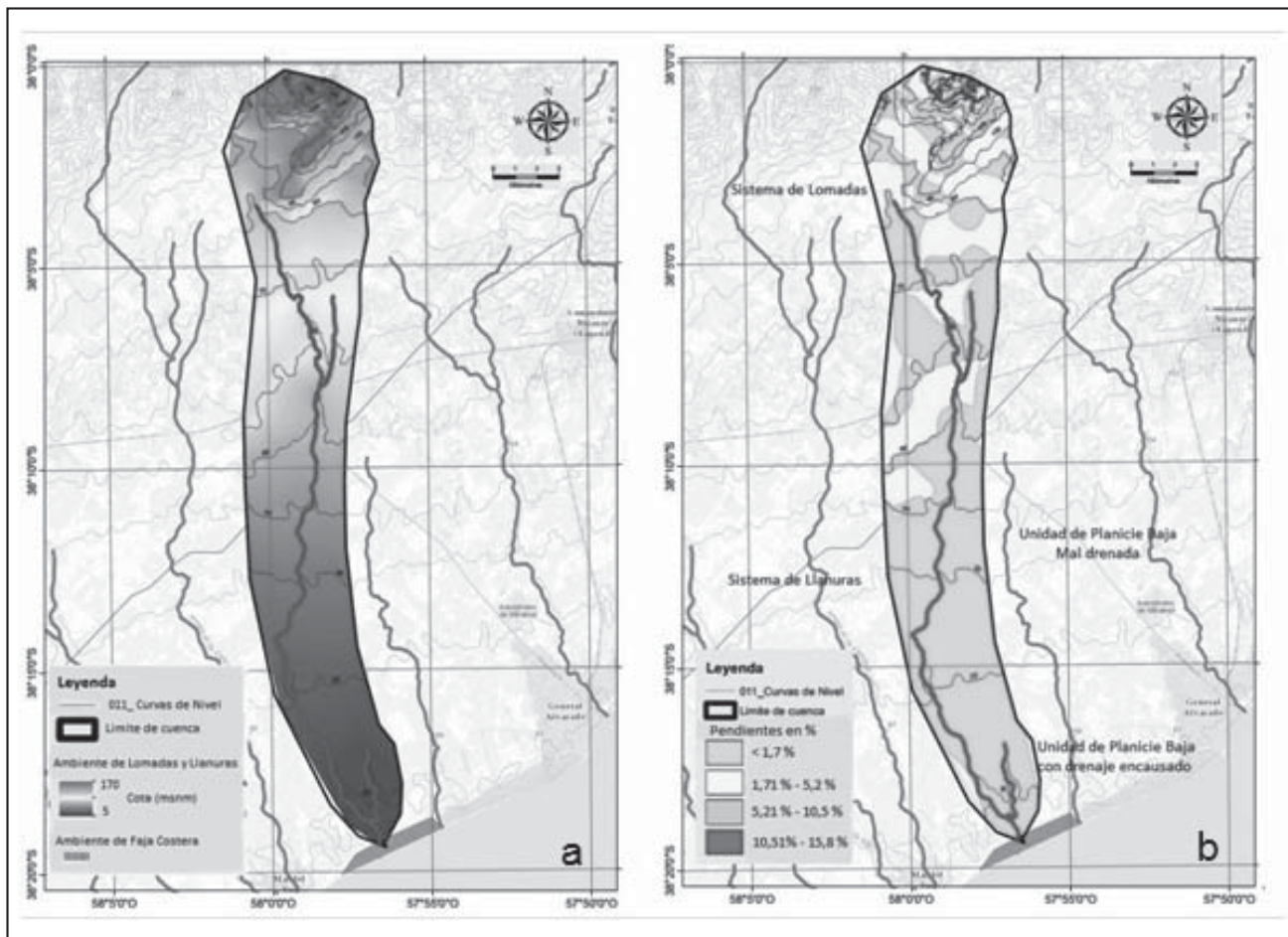


Figura 3a. Ambientes Morfodinámicos y b. Clasificación de sistemas en función de la pendiente: Pend <1,7% Sistema de Llanura y Pend >1,7%-15,8% Sistema de Lomada.

Tabla 1. Unidades Morfodinámicas de Mapeo

AMBIENTES	SISTEMAS	UNIDADES	ELEMENTOS
Lomadas y Llanura	Lomadas		Interfluvios Cauces Barrancas
			Interfluvios Cauces Bajos Inundables (Lagunas) Barrancas
	Llanura	Planicie Baja Mal Drenada	Interfluvios Cauces Barrancas Lagunas
Faja costera	Médanos Playa		

presión topográfica. Por último se identifica un pequeño desarrollo de barrancas de entre 0,3 y 1 metro de altura (Figura 4a).

El Sistema de Llanuras representa la mayor extensión de los sistemas en la cuenca con pendientes inferiores a 1,7% (Figura 3a y b). Las cubetas son de escasa profundidad y reciben el drenaje de las áreas circundantes más elevadas. En muchos casos estos bajos y bañados, se alinean subparalelamente al curso fluvial. Están constituidos por sedimentos limosos, limo-arcillosos, limo-arenosos. Se diferencian las unidades de *planicie baja mal drenada* y de *planicie baja con drenaje encauzado* (Tabla 1).

La *planicie baja mal drenada* tiene una característica textura especial debido a su red hidrográfica compuesta por drenajes subparalelos y zonas anegables. Está conformada por los elementos morfodinámicos de interfluvios, bajos inundables, cauces y barrancas (Figura 4b). Los elementos de Interfluvios tienen pequeñas elevaciones de 0,5 a 1 m y pobre expresión topográfica. Los elementos denominados bajos inundables son leves depresiones topográficas, correspondientes a pequeñas cubetas de deflación anegables durante periodos de lluvia. Los cauces se caracterizan por drenajes angostos, subparalelos, con poco desarrollo morfológico que dificulta seguir su continuidad a través de la unidad en la imagen. Las barrancas presentan un leve desarrollo con 20 a 50 cm de profundidad.

En la *unidad de planicie baja con drenaje encauzado* se observa una disminución de los bajos inundables y un reordenamiento de las dos ramas que conforman el arroyo La Ballenera. Se identifican los elementos morfodinámicos de interfluvios, cauces, barrancas y lagunas (Figura 4c). Los elementos de interfluvios, cauces y barrancas tienen la misma característica que la unidad de planicie baja mal drenada, aunque con menor densidad de lagunas. Además se reconoce una laguna de mayor dimensión denominada La Ballenera donde el arroyo homónimo desagua antes de descargar en el océano (Figura 4d).

El ambiente de *faja costera* (Figura 5 y Tabla 1) se compone de los sistemas de *médanos vegetados* y de *playa* localizada frente al Océano Atlántico. Los *médanos* están constituidos por arenas silíceas de granulometría fina bien seleccionada, mien-



Figura 4 a. Sistema de lomadas - elemento cauce y barranca. b. Unidad de planicie baja mal drenada- elemento bajos inundables, cauces y barrancas. c. Unidad de planicie baja con drenaje encauzado - elemento cauces y barrancas. d. Laguna La Ballenera.

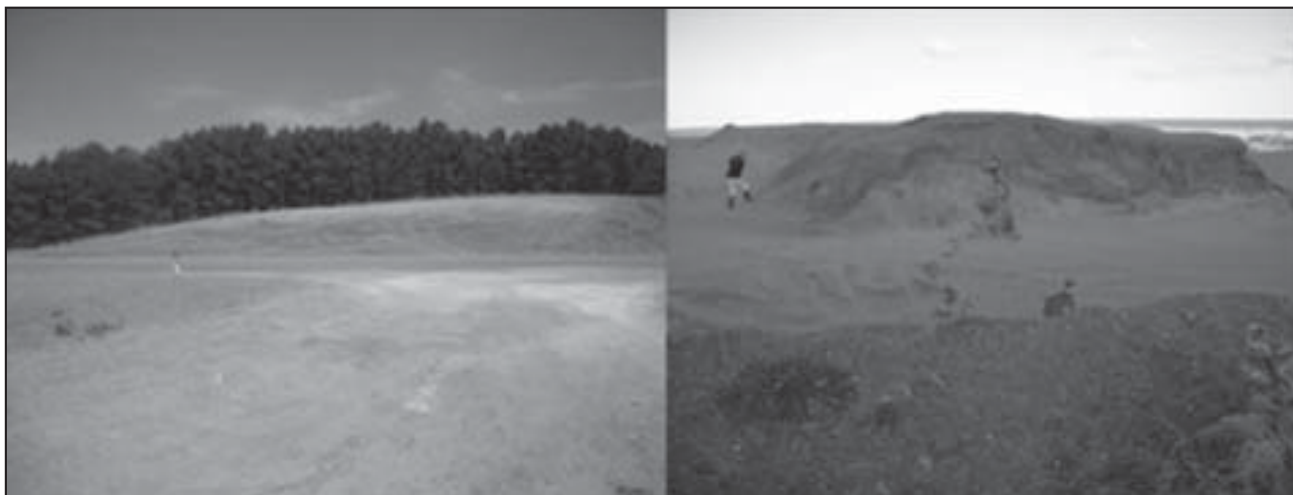


Figura 5. Ambiente de faja costera - sistema de médanos.

tras que las *playas* corresponden a depósito de arena fina a media que existe a lo largo de toda la costa.

DISCUSIÓN

La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media, red de drenaje, etc. El tamaño de la cuenca es un parámetro importante porque influye en su respuesta hidrológica (*Custodio y Llamas, 1983*). La cuenca La Ballenera (160,13 km²) se clasifica como cuenca pequeña que es sensible a lluvias de alta densidad y corta duración (*Chow et al. 1994*). Por su parte la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura, sobre las cuales el hombre ejerce algún control (*Campos Aranda, 1998*).

La pendiente es un parámetro del relieve que tiene una relación importante con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a los cauces (*Kruse y Zimmermann, 2002*). Además, influye en la velocidad media de la escorrentía, en su poder de arrastre, en la erosión sobre la cuenca y en posibles inundaciones. En La Ballenera el 92,5% de la cuenca tiene pendientes inferiores a 5,2%. Estos ambientes de pendientes bajas se caracterizan desde el punto de vista hidrológico por presentar un predominio de los movimientos verticales del agua (evapotranspiración – infiltración) sobre los horizontales (escurrimiento) y tener una fuerte interrelación entre el agua superficial y subterránea (Figura 2b). Al igual que extensas superficies de la región pampeana sufre periódicas inundaciones. Estas inundaciones afectan áreas rurales con sembrados, hacienda y viviendas y aún cascos urbanos de algunos pueblos y ciudades, con graves consecuencias para los pobladores y la economía regional (*Hernandez et al. 2003*).

Las unidades morfológicas del terreno reconocidas en esta cuenca con la metodología de Cartografía Geocientífica de Santander (*Cendero y Teran, 1987*) permiten reconocer dos ambientes morfodinámicos principales correspondientes a lomadas - llanuras y faja costera. Este paisaje relictual, estabilizado en las condiciones climáticas actuales, no solo controló y controla la

dinámica del escurrimiento superficial, sino también define en gran parte la distribución y el uso de los suelos en la región (*Martínez, 2007*).

En el comportamiento hidrológico del sistema de lomadas las capas superficiales de tosca generan un fuerte control litológico en la morfología de los cauces que se caracterizan por drenajes angostos y poca erosión. Esto también se reconoce en otros arroyos de la zona como La Tigra y La Carolina (*Rossi, 1994*). En el sistema de llanuras la presencia de cubetas circulares en la llanura es debida a procesos de deflación ocurridos durante el periodo árido del Pleistoceno Superior-Holoceno (*del Río et al. 2004*). Esas cubetas son de escasa profundidad, reciben el drenaje de las áreas circundantes más elevadas (1 o 2 m) y determinan la presencia de flujos locales someros que abastecen a las lagunas intermitentes de poca extensión, al arroyo o al mismo acuífero.

CONCLUSIONES

La aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta metodológica permitió realizar un análisis de las características morfométricas y morfodinámicas de una cuenca hidrográfica de llanura bajo condiciones climáticas húmedas. Se caracterizaron los parámetros de forma y de relieve de la cuenca La Ballenera que servirán de base entre otros usos para la aplicación de mapas de riesgo, contaminación y anegamientos. Además, se identificaron los ambientes de lomadas - llanuras y de faja costera. El primero de ellos representa la mayor extensión de la cuenca.

El comportamiento hidrodinámico del sistema está controlado por la geología y la geomorfología. La distribución de las isopiezas confirma cierta homogeneidad en la permeabilidad del acuífero y un comportamiento ganador del arroyo. Dentro de los parámetros analizados, la pendiente de la cuenca es uno de los más importantes porque ejerce un fuerte control en el sistema hidrológico debido a que está estrechamente relacionado a los fenómenos de infiltración, escorrentía superficial y contribución de agua al flujo base. Se calculó para la cuenca La Ballenera un valor promedio de la pendiente de 0,6%. A consecuencia de las bajas pendientes los procesos de evapora-

ción e infiltración son dominantes como elemento regulador en la dinámica subterránea y superficial. También es producto de las frecuentes inundaciones observadas en la cuenca.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CALVI, C.; MARTINEZ, D.; DAPEÑA, C. Y GUTHEIM, F. 2016.
Abundance and distribution of fluoride concentrations in groundwater: La Ballenera catchment, southeast of Buenos Aires Province, Argentina.
Environ Earth Sci 75:534 DOI 10.1007/s12665-015-4972-8
- CAMPOS ARANDA, D. 1998.
Procesos del ciclo hidrológico Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería.
Editorial Universitaria Potosina. ISBN-968-619-44-4
- CAMPO DE FERRERAS, A.M. Y PICCOLO M.C. 2002.
Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado.
Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física. Vol 1 (1): 97- 103.
- CENDERO, A. Y DIAZ DE TERAN, R. 1987.
The environmental Map System of the University of Cantabria, Spain.
Mineral resources extraction environmental protection and land - use planning in the Industrial and Developing Countries. CDG. Germany. 149.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D. Y MAYS, L. 1994.
Hidrología aplicada.
Mc-Graw Hill. 584 p.
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M. 1983.
Hidrología Subterránea.
Tomos I y II Ed. Omega. Barcelona.
- DALLA SALDA, L.E. E IÑIGUEZ R. M. 1979.
"La Tinta", precámbrico y paleozoico de Buenos Aires.
VII Congr. Geol. Arg., T I: 539-550. Neuquén, Argentina.
- DALLA SALDA, L.; DE BARRIO, R.; ETCHEVESTE, H. Y FERNÁNDEZ, R. 2005.
El Basamento de las Sierras de Tandilia. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del 16° Congreso Geológico Argentino IV, Tomo I: 31-50
- DEL RIO, J.L.; BÓ, M.J.; MARTINEZ ARCA, J.; LÓPEZ DE ARMENTIA, A.; CAMINO, M.; MAUREL, D.; DRAGO, C. Y VIOLA, D. 2004.
Evaluación de Riesgos Múltiples de las Cuencas de los Arroyos de Las Brusquitas, El Durazno y La Totorá. Prov. Buenos Aires, Argentina.
Rev. de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente 20:161-172. Buenos Aires
- HERNANDEZ, M.; GONZALEZ, N.; CABRAL, M.; GIMÉNEZ, J. Y HURTADO, M. 2003.
Inundaciones en la región pampeana. Importancia de la caracterización física del riesgo hídrico en la llanura húmeda (Cap. 9).
UNLP Secretaria de Relaciones Institucionales. ISBN:950-34-0246-8
- KRUSE, E.; LAURENCENA, P.; DELUCHI, M. Y VARELA, L. 1997.
Caracterización de la Red de Drenaje para la Evacuación Hidrológica en la Región Interserrana (Prov. de Buenos Aires).
Actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología :133 - 145 Bahía Blanca,
- KRUSE, E. Y ZIMMERMANN E. 2002.
Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina).
Groundwater and Human Development. ISBN 987-544-063-99
- MARTINEZ, G. 2007.
Mapeo geomorfológico con imágenes Landsat 7 y Radarsat 1 en la cuenca del río Quequén Grande, Prov. de Buenos Aires, Argentina.
Congreso de la Asociación Española de la Teledetección. Mar del Plata. Argentina
- MASSONE, H.; TOMAS, M. Y FARENGA, M. 2005.
Una aproximación Geológica a la Planificación de Usos Del Territorio Utilizando técnicas de SIG. Balcarce (Argentina) como estudio de caso.
Actas del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata Tomo IV: 51-58.
- QUIROZ LONDOÑO, O.M. 2009.
Hidrogeología de las cuencas de los arroyos Tamangueyú y El Moro, provincia de Buenos Aires.
Tesis doctoral. UNCR, Córdoba, Argentina. 292 pp.
- ROMANELLI, A. 2006
Estudio integral del área de Laguna La Brava. Diagnóstico y perspectiva de gestión sustentable.
Tesis de grado. UNMdeP. FCEN. Mar del Plata- Argentina.

ROSSI, L.F. 1994

Estudio Geohidrológico de Mar del Sur.

Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería VIII: 172-188. Buenos Aires

USSUNOFF, E. 1994.

Técnicas en estudios de Llanura.

Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea. UNMdeP - CFI.

Mar del Plata: 103 - 117

VARELA, L. Y TERUGGI, L. 2001.

Caracterización Hidrológica de la cuenca del Río Quequén Grande, Prov.de Buenos Aires.

Manejo Integral de Ccas Hidrográficas y Planificación Territorial. Vol1.:19-26



Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso

Identification and quantification of groundwater contaminant load of Monte Hermoso

Lexow, Claudio ¹ ✉ - Di Martino, Claudina ^{1,2} - Lafont, Daniela ¹ - Albouy, René ¹ - Marcos, Angel ¹

Recibido: 30 de noviembre de 2016 • Aceptado: 13 de diciembre de 2016

Resumen

La decisión instalar o no una actividad potencialmente contaminante debe considerar el peligro de contaminación del acuífero. Este está determinado por la interacción de la probabilidad de generación de una carga contaminante con los diferentes grados de vulnerabilidad. Monte Hermoso es una localidad turística ubicada sobre la costa Atlántica del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, cuya única fuente de abastecimiento de agua en la actualidad, es el acuífero freático. En este trabajo se plantea la necesidad de identificar y valorar las distintas amenazas antrópicas, potencialmente contaminantes del recurso hídrico subterráneo, a fin de ser consideradas dentro de un programa de protección del acuífero. Las amenazas señaladas como potencialmente contaminantes fueron: el basural a cielo abierto, las lagunas de estabilización de efluentes cloacales, el sistema de saneamiento público, los sectores con sistema de saneamiento in situ, estaciones de servicio y posibles derrames accidentales. Se determinó el índice de carga contaminante (ICC) para cada una de las actividades antrópicas en función de las siguientes características semi independientes: a) la clase de contaminante; b) la intensidad de la contaminación; c) el modo de disposición en el subsuelo y d) el tiempo de aplicación de la carga contaminante. Se observó, a través de los resultados, que los mayores ICC estarían relacionados con el basural a cielo abierto y con los sectores carentes de red de saneamiento, lo que evidencia la necesidad de avanzar con el proyecto del relleno sanitario y la cobertura total de la red de saneamiento público.

Palabras clave: Monte Hermoso, carga contaminante, acuífero freático.

Abstract

The installation or not of a potentially contaminant activity should take into consideration consider the hazard of aquifer contamination. The hazard is determined as the interaction of the contaminant load with the different zones of aquifer vulnerability. Monte Hermoso is a tourist city located on the southwest Atlantic coast of Buenos Aires Province. Today, the only source of water supply is the phreatic aquifer.

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

✉ lexow@uns.edu.ar

2. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional
Bahía Blanca. 11 de abril 461, (8000) Bahía Blanca, Argentina.

This paper raises the need to identify and assess the different anthropogenic threats potentially polluting of groundwater resource. The threats potentially polluting were: solid waste disposal facility, stabilization lagoons of sewage, public sanitary system, domestic septic tanks, gasoline stations and accidental spills. The following semi-independent features of contaminant load from anthropogenic activities were determined: a) contaminant class; b) intensity of contaminant; c) contaminant disposition mode; and d) contaminant load duration. The most elevated contaminant loads would be related to the solid waste disposal facility and the underserved sectors of public sanitary system. It demonstrates the need to move forward with the project of the sanitary landfill and the total network coverage of public sanitation.

Keywords: Monte Hermoso, contaminant load, phreatic aquifer.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Monte Hermoso es una localidad turística en pleno crecimiento y desarrollo que, como tantas otras de la costa atlántica bonaerense, tiene en el agua subterránea su única fuente de abastecimiento. El agua es un recurso vulnerable e indispensable para la vida de los seres humanos y para la naturaleza en su conjunto. Además, es un insumo imprescindible en numerosos procesos productivos, por lo que debe ser contemplado tanto en los planes específicos de gestión de los recursos hídricos, como en todos los planes generales relacionados con la protección del ambiente y el desarrollo social y económico. Por esta razón, surge la necesidad de contar, como primera herramienta, con un inventario de fuentes potenciales de contaminación del recurso hídrico subterráneo que cuente, además, con los valores estimados de su índice de carga contaminante (ICC) que impacta sobre este factor ambiental.

Di Martino (2014) pudo demostrar la existencia de amenazas (naturales, socio-naturales, antrópico-contaminantes y antrópico-tecnológicas) y vulnerabilidades (físicas, económicas, sociales, políticas, técnicas, ideológicas, culturales, educativas, ecológicas, institucionales y sanitarias) que pueden poner en riesgo la sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de la localidad.

En ese sentido, el presente trabajo, se funda sobre dos pilares conceptuales básicos. Por un lado reconocer a las actividades que serán inventariadas como Amenazas antrópico – contaminantes en el sentido que definió *Lavell (1994)*. Por el otro, entender que vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero es el conjunto de características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante (*Foster, 1987*). En general las actividades 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.

El objetivo de este trabajo es presentar un inventario de actividades potencialmente contaminantes al acuífero que a su vez esté clasificado en orden de importancia de acuerdo al ICC respectivo de carga contaminante implementando la metodología propuesta por *Foster et al. (2002)*. Estos resultados serán necesarios para elaborar un mapa de peligro (*Foster e Hirata, 1988*) definido como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero.

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Ubicación geográfica

Monte Hermoso es una localidad turística ubicada al Sur de la Provincia de Buenos Aires, en los 38° 59' de latitud Sur y 61° 15' 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). Cuenta con una población estable de 6.494 habitantes según el último censo (*INDEC, 2010*), mientras que la población en temporada estival, se estima en 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 (*Caruso et al., 2010*). Presenta una densidad poblacional estable aproximada de 794 hab/km².



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Geología e Hidrogeología

La localidad de Monte Hermoso está situada en la Subregión Hidrogeológica Médanos Costeros (*Santa Cruz y Silva Busso, 1999*) también denominada Región Costera (*Auge, 2004*). El acuífero libre está alojado, en los sedimentos arenosos de la Formación Punta Médanos y en la porción superior de los Sedimentos Pampeanos subyacentes (Figura 2), ambos constituyentes de la denominada Sección Hidroestratigráfica Epiparaniana (*DYMAS, 1974*).

Los Sedimentos Pampeanos tienen características acuíferas-acuitardas producto de las variaciones litológicas que presentan. Hacia el Norte del área de estudio esta unidad geológica aflora o está cubierta por sedimentos eólicos "pospampeanos" sobre los que han evolucionado los suelos actuales. Hacia la costa están cubiertos por dunas y médanos correspondientes a la Formación Punta Médanos (*CFI, 1990 en Santa Cruz y Silva Busso, 1999*). Presentan elevada permeabilidad y porosidad efectiva, debido a la arena suelta y bien seleccionada que los componen (*Auge, 2004*). La presencia de estos médanos costeros favorecen la rápida infiltración del agua de lluvia y su incorporación a la zona saturada (recarga) por lo que constituyen excelentes almacenes de agua. Su explotación es la única fuente de aprovisionamiento que poseen la mayoría de las localidades costeras de la provincia. La recarga al acuífero freático es de aproximadamente el 40% de la precipitación anual regional promedio de 670,5 mm (*Di Martino, 2014*), es decir, una carga hidráulica natural de 0,73 mm/d.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se basa en la aplicación de la metodología propuesta por *Foster e Hirata (1988)* partiendo del reconocimiento del grado de dificultad en la estimación cuantitativa de determinadas variables (ej. concentraciones y volúmenes de carga contaminante) que deben ser consideradas en la aplicación sobre el terreno. Sin embargo, se ha aplicado debido a la escasa complejidad y diversidad de las fuentes de contaminación y a la baja densidad de actividades existentes. En primer

lugar se realizó un inventario de las actividades potencialmente contaminantes que comprendió la identificación, localización espacial, período de funcionamiento y la caracterización de las prácticas utilizadas de forma sistemática.

En segundo término se procedió a la caracterización del ICC para cada una de las actividades antrópicas en función de las siguientes características semi independientes (Figura 3):

- La clase de contaminante (C) definida por su tendencia hacia la degradación o transformación in-situ (como resultado de la actividad bacteriológica o reacción química en el ambiente subterráneo) y por su coeficiente de retardo (relacionado con el flujo de aguas subterráneas y los procesos como intercambio de cationes, sorción, etc.).
- La intensidad de la contaminación (I) definida por la concentración relativa de cada contaminante involucrado de acuerdo con los valores recomendados por la OMS para la calidad de agua potable y por la proporción en área de la zona de recarga del acuífero, afectada. Su mayor calificación estará en condiciones de concentración relativa entre 106 y 109, para una proporción de la recarga afectada mayor del 10%. Dada la falta de análisis específicos de cada una de las fuentes para caracterizar este parámetro se hará referencia a lo sugerido por *Foster e Hirata (1988)*.
- El modo de disposición (M) en el subsuelo está definido por la carga hidráulica (incremento sobre la tasa de recarga natural o sobre recarga hidráulica) asociada con la descarga de contaminante y la profundidad debajo de la superficie del terreno, en la cual el efluente o lixiviado contaminado que ingresa es descargado o generado; y
- El tiempo de aplicación de la carga contaminante (T) definido por la probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo y por el período durante el cual la carga contaminante es aplicada.

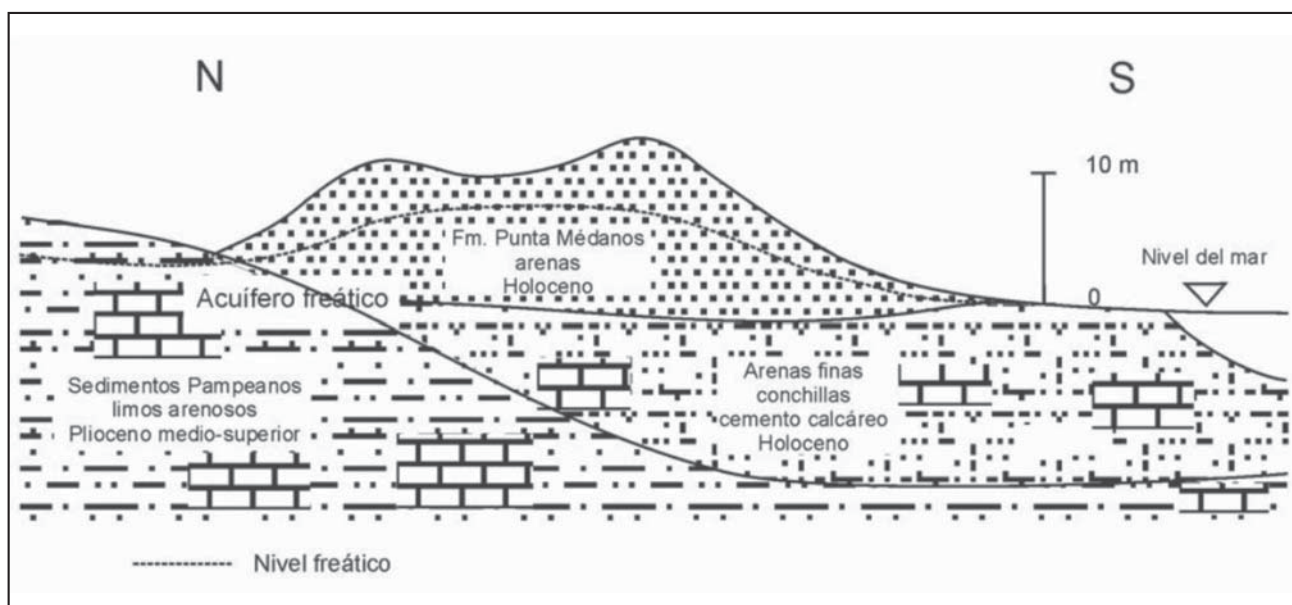


Figura 2. Esquema hidroestratigráfico (Fuente: Di Martino et al. 2012).

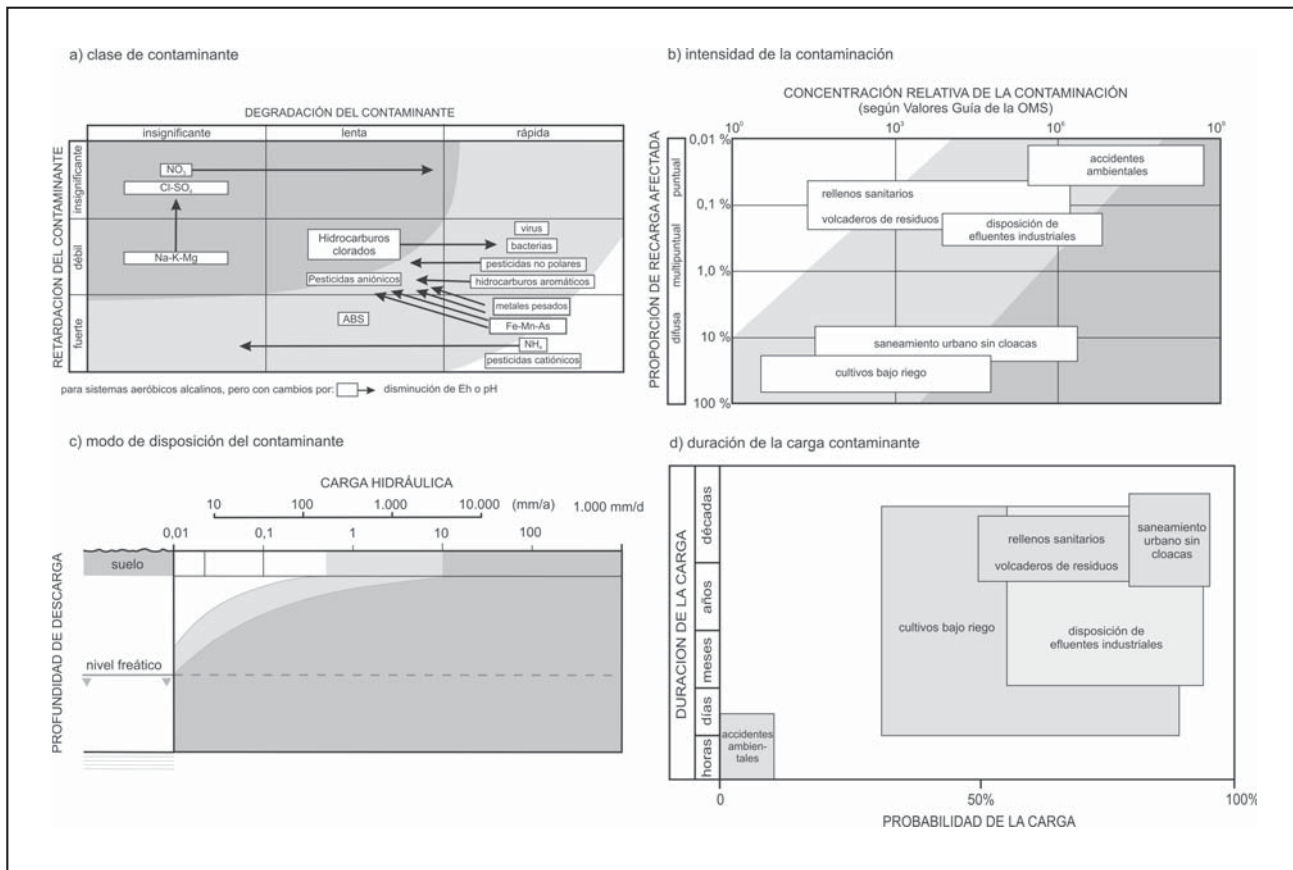


Figura 3. Caracterización de las cargas contaminantes (Fuente: Foster e Hirata, 1988).

El ICC se obtiene de la sumatoria de cada una de estas características semi independientes multiplicada por un factor de peso homogéneo de 0,25. Para efectuar las valoraciones es muy importante conocer aspectos teóricos y prácticos acerca de la movilidad y la persistencia de los compuestos o sustancias involucrados en las principales actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo. Es decir aquellas características fisicoquímicas como son la adsorción, la capacidad de intercambio iónico, la solubilidad, como así también procesos químicos tales como precipitación, hidrólisis, complejación y biodegradación para evaluar el transporte de los contaminantes tanto en la zona no saturada como saturada. El ICC se clasifica como reducido (0 - 0,30), moderado (0,31 - 0,60) o elevado (0,61 - 1).

RESULTADOS

En principio se llevó a cabo la identificación de aquellas actividades reconocidas como amenazas potencialmente contaminantes para el recurso hídrico subterráneo. Las mismas fueron categorizadas en difusas, multipuntuales y puntuales, siguiendo el criterio de Foster et al. (2002).

Fuentes de contaminación difusa - multipuntual

Área urbana con servicios de cloacas (Ucc)

El servicio de agua corriente y/o potable de Monte Hermoso está a cargo de la Municipalidad del mismo nombre. El número de partidas con red de agua corriente habilitada es de aproximadamente 7500 y la red colectora cloacal abastece a

7400 sobre un total de 11.338 partidas que componen el ejido urbano (Caruso et al., 2010). Por tratarse de una red que ya cuenta con una antigüedad, en algunos sectores superior a los 20 años, es factible aplicar una porcentaje de pérdida del 20% (sic). Además no todas las viviendas están conectadas al sistema colector y se han registrado con frecuencia denuncias de contaminación bacteriológica en los pozos de explotación domésticos utilizados con fines recreativos o riego. La cobertura del sistema de abastecimiento de agua coincide con la del servicio cloacal, que cubre aproximadamente el 66% de las partidas.

Esta fuente podría considerarse multipuntual pues tiene lugar a través de roturas aleatorias a lo largo de las cañerías y de los de los pozos ciegos aún existentes que en términos de ocupación de área equivale a 335 ha y a unos 4600 habitantes. La descarga al subsuelo sería de unos 0,1 mm/d. Si bien estos efluentes se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de sólidos disueltos, materia orgánica, cloruros, nitratos, nitritos, detergentes, microorganismos, etc. a los efectos de caracterizarlos para el objetivo planteado en el presente trabajo se tomará como indicador el nitrato (NO₃), por sus condiciones de limitante para el consumo humano y su movilidad en el subsuelo (Figura 4).

Áreas residenciales urbanas sin servicios de cloacas (Usc)

El 34% de las partidas no cuenta con el servicio cloacal y por lo tanto utiliza domiciliariamente pozos sépticos. En términos de ocupación de área, este porcentaje equivale a 165 ha y 2310 habitantes.

Se entiende a esta fuente como de aporte multipuntual a través de pozos ciegos, sin embargo en su expresión territorial la sumatoria de los aportes individuales podrían resultar, para el sector considerado, del tipo difuso. Esta característica corresponde a un 34% de las partidas que en términos de ocupación de área equivale a 165 ha y a 2310 habitantes. Considerando un consumo por habitante de 400 l/d, que a su vez se evacúan, el aporte al subsuelo sería de unos 0,56 mm/d. También se considerará como indicador el NO_3 , por sus condiciones de limitante para el consumo humano y su movilidad en el subsuelo (Figura 4).

Fuentes de contaminación puntual

Laguna de efluentes (Le)

Las lagunas de estabilización se encuentran, al noreste del núcleo urbano, ocupando unas 6 ha (Figura 4). Se ubican sobre terrenos arenosos friables de origen eólico que se extienden hasta unos 8 - 10 m de profundidad. El efluente cloacal de la localidad es colectado en la ex planta depuradora y de allí transportado, a las lagunas, a través de una cañería de 4 km de longitud (2 km por impulsión y 2 km por gravedad). Las lagunas fueron impermeabilizadas utilizando una base de tosca y cemento. El efluente, una vez depurado, se deriva al Río Sauce Grande.

En este tipo de lagunas es común encontrar una carga importante de material orgánico junto con altas concentraciones de nutrientes y sales. Se debe considerar que muchos

contaminantes, especialmente los microorganismos y metales pesados, quedarán retenidos en los sedimentos del fondo.

Es una fuente puntual con carga hidráulica positiva y constante. Dadas las características constructivas es factible suponer que existan filtraciones a través del piso compactado. En términos cualitativos, sería posible evaluar el nivel de funcionamiento de las lagunas de aguas residuales municipales por medio de un riguroso control de caudales de entrada y salida a fin de calcular el balance hídrico en la misma. Esto debería complementarse con la construcción de pozos de monitoreo de la calidad del agua subterránea circundante. Para ese tipo de terreno se puede asignar una permeabilidad de $1 \cdot 10^{-4}$ m/d (Driscoll, 1986) que equivale a 0,1 mm/d de recarga por unidad de área. En este tipo de instalaciones (lagunas) tanto los microorganismos como metales pesados son fuertemente degradados y adsorbidos respectivamente (Foster e Hirata, 1988), por lo tanto, como para el caso anterior, se toma el NO_3 como elemento indicador para evaluar la situación (Figura 5).

Disposición de residuos sólidos (Rs)

La recolección de los residuos sólidos urbanos (RSU) se encuentra a cargo del Municipio de Monte Hermoso. Los mismos son volcados en un basural a cielo abierto (de unas 3 ha, que se ubica a unos 3 Km al NO del centro) (Figura 4) sin ningún tipo de tratamiento previo, ni control. En la actualidad, se encuentra en ejecución el proyecto de reciclaje de RSU y de la construcción de un relleno sanitario.

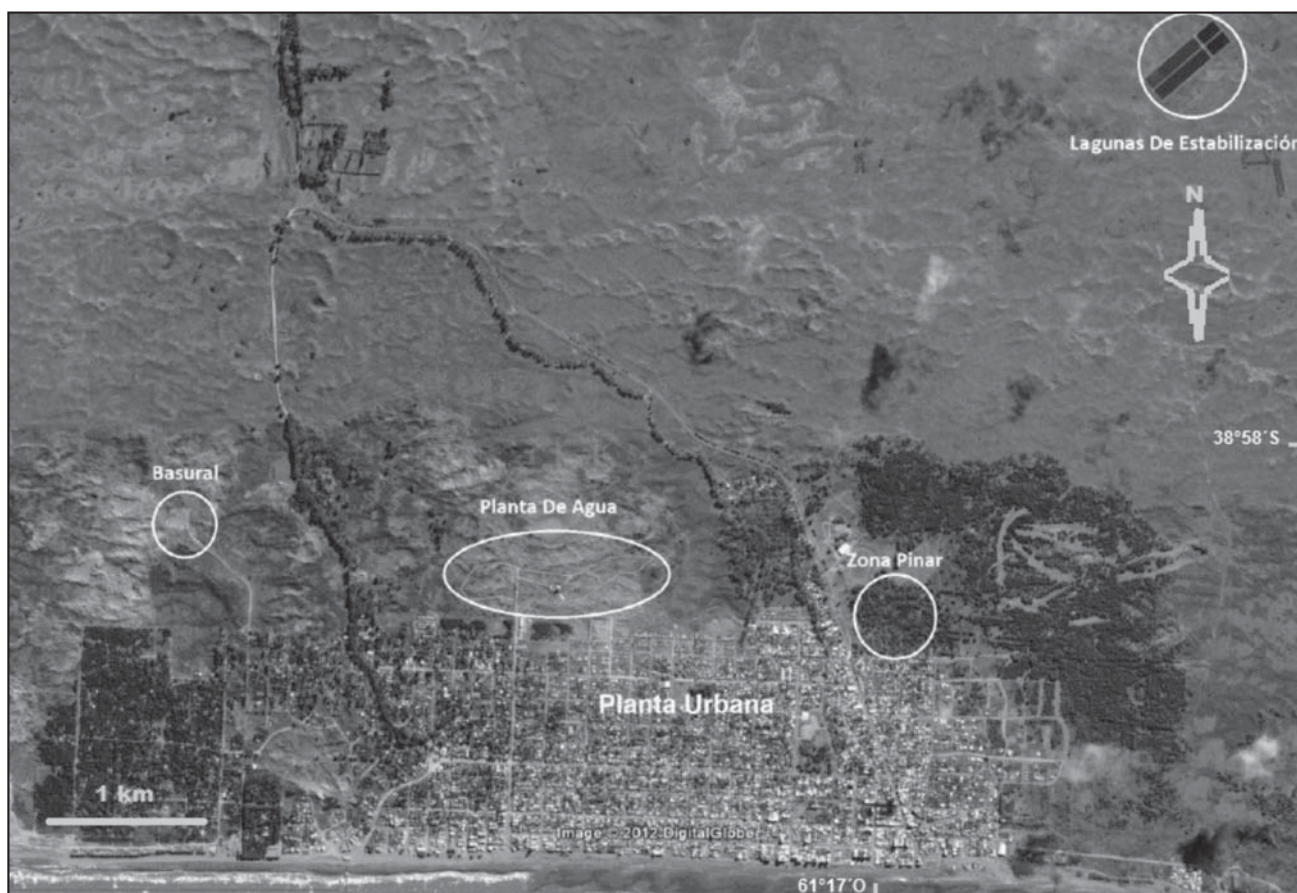


Figura 4. Ubicación de las lagunas de estabilización y el basural a cielo abierto (Fuente: Di Martino, 2014).

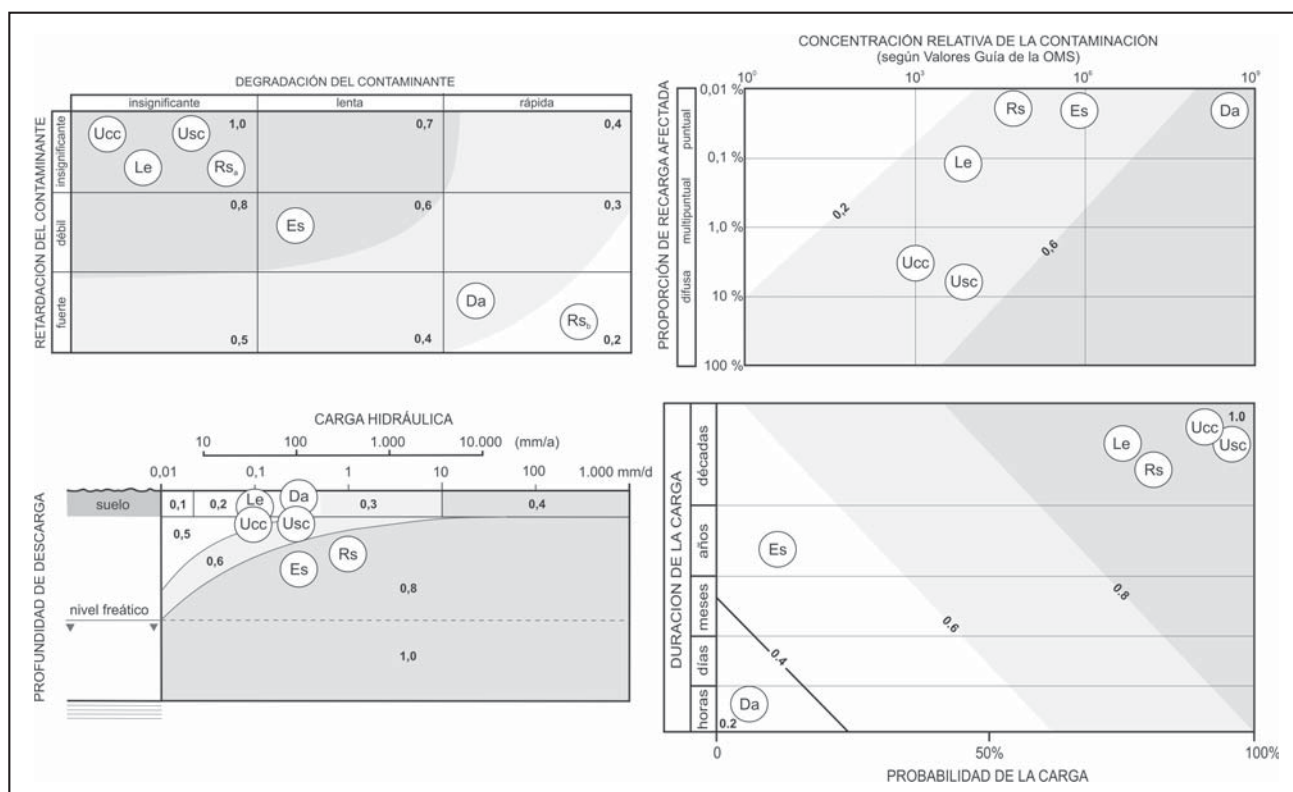


Figura 5. Caracterización de las cargas contaminantes.

Se trata de una fuente puntual, continua y de disposición directa sobre el terreno excavado. Al tratarse de un sitio de acumulación de residuos sin control se encuentran elementos muy variados: desechos orgánicos, chatarra, productos oleosos, baterías, plásticos, restos de poda, inertes, etc. La producción de lixiviados está en relación directa con las precipitaciones, la pendiente del terreno, el tipo de cobertura y el grado de humedad y densidad aparente de los residuos. Si bien estos dos últimos parámetros no están caracterizados es posible efectuar una cuantificación aproximada a partir de la precipitación (Henry y Heinke, 1996) y considerando el área sin escurrimiento superficial por tratarse de una zona medanosa resulta en un 50% de la precipitación anual, es decir una carga hidráulica de 0,97 mm/d. Se proponen como indicadores a considerar los nitratos (NO₃) y los metales pesados identificados como Rs_a y Rs_b respectivamente (Figura 5).

Estaciones de servicio (Es)

Las estaciones de servicio son uno de los elementos antrópicos de mayor afectación en la problemática de la contaminación de las aguas subterráneas en zonas urbanas, sobre todo antes de la década del 90 cuando no existían firmes regulaciones en cuanto al almacenamiento y manipulación de los combustibles.

En la localidad existen actualmente dos de estas instalaciones, una de ellas con una antigüedad superior a los 50 años y la otra inaugurada hace 2 años. Si bien las regulaciones aplicadas por la Secretaría de Energía a partir del año 1993 en cuanto a la construcción y vigilancia de las estaciones de servicio han mejorado mucho la situación ocurren con cierta frecuencia situaciones que provocan fugas de combustibles.

Éstas son fuentes puntuales y potencialmente contaminantes del acuífero freático con hidrocarburos livianos. Las causas más probables de una posible fuga es la rotura de alguno de los sistemas que componen el almacenamiento del producto, es decir el propio tanque de almacenamiento subterráneo (TAS) o el sistema de cañerías. En la actualidad existen normativas (Secretaría de Energía Res. 1102/2004) que regulan tanto la instalación de los TAS como los sistemas de detección de fugas que se pueden utilizar de forma individual o combinada, obteniendo así un sistema de detección redundante. Sin embargo las pérdidas son denunciadas a menudo, por lo que es factible aplicar una frecuencia de ocurrencia 0,057 año⁻¹ (USEPA, 1986). Se considerará una carga hidráulica equivalente a la recarga por agua de lluvia, pues se evalúa el transporte por disolución de los productos (Figura 5).

Derrames accidentales (Da)

En esta categoría se podría involucrar el transporte, el manejo y disposición de sustancias peligrosas que ocurren con alguna frecuencia; dentro de esta categoría podría ser considerado el transporte de combustible. Este tipo de accidentes es capaz de causar una importante carga contaminante al subsuelo y amenazar la calidad del agua subterránea en algunos acuíferos. Se consideran las vías de comunicación, caminos y rutas, y también las terminales de carga y descarga.

Son sucesos de muy baja probabilidad pero de gran impacto puntual y de afectación inmediata. Se representará el caso de un vuelco de un transporte con plaguicidas pero que son retenidos en la zona no saturada, es decir no alcanza el fluido a llegar a la capa freática. De esta manera su transporte se considera por lixiviación de la recarga en tránsito a partir del agua de lluvia (Figura 5).

En los gráficos Clase de contaminante y Modo de disposición, la ubicación de cada tipo de amenaza (una vez seleccionada la sustancia contaminante indicadora), es relativamente sencilla, puesto que cada cuadrante tiene una calificación determinada. En los casos correspondientes a Intensidad y Duración, el valor relativo se debe calcular mediante interpolación lineal.

En la Tabla 1 se muestran los ICC calculados al aplicar la sumatoria de cada una de las características semi independientes multiplicada por el factor 0,25. Los valores obtenidos clasifican como moderados y elevados.

CONCLUSIONES

Lograr una clasificación de cargas contaminantes al acuífero, en un área específica, es muy importante como herramienta

para identificar las actividades que presentan procesos con una mayor probabilidad de generación de contaminación al acuífero. Esta clasificación es de utilidad al momento de establecer prioridades para definir qué actividades deberán ser estudiadas más detalladamente.

Los mayores ICC están relacionados con el basural a cielo abierto (0,75) y con los sectores carentes de red de saneamiento (0,78), lo que evidencia la necesidad de avanzar con el proyecto del relleno sanitario y la cobertura total de la red de saneamiento público.

Si bien la laguna de efluentes muestra un ICC elevado esta no representa una verdadera amenaza para el acuífero freático explotable pues desde el punto de vista hidrológico el flujo subterráneo es hacia el Este y descarga en el Río Sauce Grande.

Tabla 1. Caracterización de las cargas contaminantes

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	NO ₃	1	0,3	0,8	0,9	0,75	elevado
	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	
Da	Plaguicidas	0,2	0,7	0,3	0,2	0,35	moderado	

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M., 2004.

Regiones Hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fé. Ciudad de La Plata. 112 pp. EBook: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/RegionesHidrogeol.pdf>.

CARUSO, M., CIFUENTES, O. Y VAQUERO, M., 2010.

Impacto del Turismo sobre los Servicios de Agua Corriente y Desagües Domiciliarios. Estudio de caso: Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires. 4 Congreso Latinoamericano de Investigación Turística. Eje Temático: Espacio Turístico y Medio Ambiente. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 26 pp.

DI MARTINO, C.; CIFUENTES, O.; ALBOUY, R.; MARCOS, A.; CALÓ, J., 2012.

Evaluación preliminar del funcionamiento de la batería de pozos de abastecimiento en Monte Hermoso. Argentina. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. 29, 73-81.

DI MARTINO C., 2014.

Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. 208 pp. En: http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Di_Martino_FRBB.pdf.

DYMAS, 1974.

Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. DYMAS (CFI-PBA), La Plata, Inédito.

DRISCOLL, F.G., 1986.

Groundwater and wells. Johnson Division. Minnesota. 1088 pp.

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.
- FOSTER, S., HIRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M. Y PARIS, M., 2002.
Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities
and environment agencies.
World Bank, WMATE. Washington, 101 pp.
- HENRY, J.G. Y HEINKE, G.W., 1996.
Ingeniería Ambiental. Segunda Edición.
Prentice Hall. México. 778 pp.
- 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.
- SANTA CRUZ, J. Y SILVA BUSSO, A., 1999.
Escenario Hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana
y Mesopotamia Septentrional, Argentina.
*En: II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales
en Hidrología Subterránea. San Miguel de Tucumán, Tucumán. 461-471.*
- USEPA, 1986.
Hazardous waste tank failure model: Description of methodology.
EPA 530-SW- 86-012.



Propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo. Ejemplo de caso: cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul

Proposal for the comparative study of groundwater resources. Case example: basins of the Langueyú and Del Azul streams

Barranquero, Rosario Soledad ^{1,4} ✉ - Varni, Marcelo Raúl ² - Pardo, Rafael ³ - Vega, Marisol ³
Zabala, María Emilia ^{2,4} - Ruiz de Galarreta, Víctor Alejandro ¹

Recibido: 12 de diciembre de 2016 • Aceptado: 20 de diciembre de 2016

Resumen

Dada la complejidad de la evaluación integral de los recursos hídricos es necesario que los estudios hidrogeológicos a nivel de cuenca se enriquezcan con el análisis regional, por ejemplo a través de la comparación entre cuencas de una región. Se planteó como objetivo del trabajo elaborar una propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo y analizarla a través del ejemplo de caso de las cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul. Los aspectos definidos para la comparación fueron: litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica. Se consideraron mediciones de niveles freáticos y análisis fisicoquímicos en redes de monitoreo del agua subterránea; se analizaron los impactos potenciales al sistema según las características del medio físico y las actividades antrópicas. De acuerdo a los resultados, en ambas cuencas la disponibilidad de agua subterránea está dada por dos ambientes hidrogeológicos (fisurado y poroso); el modelo conceptual hidrodinámico e hidroquímico es similar. En tanto, existen diferencias respecto a las dimensiones de los servicios sanitarios en los centros urbanos (suministro de agua y gestión de efluentes domiciliarios) y las principales cargas contaminantes potenciales. Se concluyó que a nivel regional es importante profundizar el estudio en el uso y la gestión del recurso, ya que las

diferencias relevantes se presentaron en este aspecto, no en sus características naturales. El trabajo permitió tanto sistematizar la información con que cuenta el grupo de trabajo, como probar que la comparación es un camino metodológico posible para trabajar posteriormente con otras cuencas del faldeo Norte de las Sierras de Tandilia en la elaboración de propuestas de gestión conjuntas.

Palabras clave: *cuenca, Llanura Pampeana, análisis regional, estudio comparativo, gestión de los recursos hídricos.*

1. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales, UNCPBA. Gral. Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina. Tel. 0249 4385772.

✉ rosariobarranquero@yahoo.com.ar

2. Instituto de Hidrología de Llanuras 'Dr. Eduardo J. Usunoff', UNCPBA. República de Italia 780, B7300 Azul, Argentina.

3. Departamento de Química Analítica, UVA. Campus Miguel Delibes, E- 47011 Valladolid, España.

4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

Abstract

The integral water resources evaluation requires that the hydrogeological studies at the basin level will join regional analysis, for example through comparison analysis between basins of a region. The objective of this work was to elaborate a proposal for the comparative study of the groundwater resources and to analyze it through the case example in the basins of the Langueyú and Del Azul streams. The aspects defined for comparison were: lithology, hydrodynamic, hydrochemistry and anthropogenic influence. Groundwater levels and physicochemical analysis at monitoring networks was considered; the potential impacts to the system were analyzed according to the physical characteristics and human activities. According to the results, in both basins groundwater availability is given by two hydrogeological environments (fissured and porous); the hydrodynamic and hydrochemical conceptual model is similar. Meanwhile, there are differences in the dimensions of urban sanitation services (sewer and potable water network) and the main potential pollutant loads. It was concluded that at the regional level it is important to deepen the study on the resource use and management, since the differences were relevant in this respect, not their natural characteristics. The work allowed both to systematize the information available to the working group, and to prove that the comparison is a possible methodological way to work later with other basins of the Tandilia hills in the elaboration of joint management proposals.

Keywords: basin, Pampean plain, regional analysis, comparative study, water resources management.

INTRODUCCIÓN

La cuenca como la delimitación territorial más adecuada para el estudio de los recursos hídricos es un principio reconocido por numerosos autores (CEPAL, 2002; Dourojeanni et al., 2002; Jouravlev, 2003; Kosten y Guerrero, 2005; Guerrero et al., 2006; Custodio et al., 2008; Sabuquillo et al., 2009; Ministerio de Jefatura de Gabinete de Ministros de la Provincia de Buenos Aires y Universidad Nacional de La Plata, 2012; Peña, 2016). Entre ellos, Dourojeanni et al. (2002) explican que hay tres razones fundamentales por las cuales la gestión ambiental de los recursos hídricos debe plantearse a este nivel:

- Las cuencas, como unidades que captan y concentran la oferta de agua, son representativas de la interdependencia y las interrelaciones que se establecen entre los usos y usuarios de agua, que necesitan distintas condiciones del recurso, en cuanto a cantidad y calidad, para cada caso.
- Constituyen además un área de interdependencia e interacción, en un proceso permanente y dinámico, del agua con el sistema físico (recursos naturales) y el biótico (flora y fauna).
- En sus territorios también se manifiestan las interrelaciones con el sistema socioeconómico, formado por los usuarios de las cuencas, sean habitantes o interventores externos de la misma. En este sentido, es imprescindible considerar que en una cuenca se comparte la dependencia de un sistema hídrico, de los caminos y las vías de acceso, y de las oportunidades de desarrollo en ese territorio, con lo cual las características culturales también tienen rasgos comunes.

Muchos autores reconocen además que la gestión a nivel de cuenca representa un gran desafío porque su delimitación no coincide con las formas tradicionales de gobierno que se basa en límites político-administrativos, como estados, provincias, regiones y municipios. Sumado a esto, las entidades públicas y privadas que deben llevarla adelante tienen usualmente una visión sectorial de la gestión del agua. De hecho, en el año 2005 (*Millennium Ecosystem Assessment, 2005*) se reconoció que los avan-

ces de las últimas décadas en el conocimiento de los recursos hídricos, así como en la comprensión de su importancia, no se han correspondido con avances notables en el uso y gestión sustentable, entendiéndose como uno de los factores causantes de ello la falta de líneas de gestión regionales. En este sentido, se considera que el abordaje del recurso hídrico subterráneo debe basarse en el conocimiento integral a nivel de cuenca, pero con una proyección regional, es decir que involucre varias cuencas de una región a partir de la identificación de rasgos comunes para lo cual es necesario aplicar un estudio comparativo.

Aunque la comparación como enfoque metodológico tuvo un importante desarrollo en las ciencias sociales (Merino Escobar, 1993; Sartori y Morlino, 1994; Duverger, 1996; entre otros), los estudios comparativos utilizando enfoques hidrogeológicos y ambientales son muy escasos. En trabajos antecedentes la comparación se centra en uno o algunos aspectos específicos como: variables geohidrológicas (Kruse, 1986), niveles de nitrato y herbicidas (Panno y Kelly, 2004), o evolución hidroquímica (Galego Fernandes et al., 2005). Se han hallado además estudios más amplios por considerar tanto variables referidas al medio físico como a aspectos socio-económicos, o tener como propósito la generación de pautas de gestión (Salomón y Soria, 2003; Bazán et al., 2011 y Prat, 2014). Considerando los antecedentes limitados en el campo de la comparación en términos del estudio integral de recursos hídricos, se planteó como objetivo del trabajo elaborar una propuesta para el estudio comparativo del recurso hídrico subterráneo y analizarla a través del ejemplo de caso de las cuencas de los arroyos Langueyú y Del Azul. La proyección regional va más allá del objetivo específico de este trabajo, ya que pretende ser un aporte metodológico para incorporar posteriormente otras cuencas de la región y proponer estrategias de gestión conjuntas.

La consideración de estas cuencas como caso ejemplo obedece, en primer lugar, a su pertenencia a la Llanura Pampeana, la principal área de producción agrícola de secano y una de las regiones de Argentina con mayores fortalezas desde el punto de vista económico (Figura 1). Sumado a esto, ambas se ubican en el sistema de Tandilia y tienen sus nacientes en el faldeo Norte; varios estudios, con diferentes escalas espaciales,

han identificado características comunes entre las cuencas con cabecera en dicho faldeo (Hernández *et al.*, 2002; Ruiz de Galarreta, 2006; Barranquero, 2009; Varni, 2013). En tercer lugar, se posee un grado de conocimiento similar sobre el comportamiento de las aguas subterráneas de las cuencas del arroyo Languayú y Del Azul, dado que se estudian a nivel de cuenca en el Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) en el primer caso, y en el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) en el segundo. Las cuencas se encuentran separadas entre ellas por aproximadamente 80 km, en los cuales se desarrollan otras cuencas de similar tamaño que no han sido estudiadas de manera sistemática, razón por la cual se tiene menor grado de conocimiento.

El sistema de Tandilia se ubica en la parte central de la provincia de Buenos Aires. Tiene una longitud mayor a 300 km, un ancho máximo de 60 km y se extiende en dirección NO-SE. Se caracteriza por serranías de entre 50 y 250 m que emergen en el relieve plano de la Llanura Pampeana (Cingolani, 2010). El sistema se ha dividido en grupos designados con el nombre de la ciudad o distrito más cercano, sin correspondencia con las características hidrogeológicas.

Las cuencas de los arroyos Languayú y Del Azul están situadas en los distritos de Tandil y Azul, con 123.871 y 65.280 habitantes, respectivamente (INDEC, 2010). Las ciudades cabecera de dichos partidos se asientan dentro del área de cada cuenca y generan una fuerte demanda de aguas subterráneas para abastecimiento humano y para diferentes actividades socioeconómicas, principalmente la agricultura.

Languayú y Del Azul se extienden sobre un área de aproximadamente 600 km² y 6000 km², respectivamente, excluyendo el área de descarga regional de agua subterránea que ocurre en el río Salado, es decir al NE de las cuencas estudiadas. La diferencia en la extensión no está dada por elementos geomórficos o fisiográficos, sino por límites arbitrarios que se han impuesto en el extremo aguas abajo de cada una por cuestiones operativas del muestreo de campo. Esto hace que las trayectorias de flujo en la cuenca Del Azul sean más largas, es decir que el agua subterránea tenga mayor tiempo de recorrido. Otra

diferencia importante es que la ciudad de Tandil se encuentra en el sector de piedemonte, mientras que la ciudad de Azul se asienta en el sector de transición entre el piedemonte y la llanura. Incluso teniendo en cuenta estas diferencias, ambas áreas tienen muchas características comunes que las hacen comparables, como la ubicación de sus cabeceras en el faldeo N del sistema de Tandilia, y la dirección de la escorrentía superficial y el flujo de agua subterránea hacia el NE con descarga en el río Salado.

Desde el punto de vista geomorfológico las cuencas tienen tres sectores (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005; Zárate *et al.*, 2010; Varni, 2013):

- Serranías: con un fuerte control estructural de la dinámica hidrológica que determina una red de drenaje integrada y con diseño dendrítico. Las pendientes tienen valores promedio de 6% en la cuenca del arroyo Languayú y de 5% en la cuenca del arroyo Del Azul.
- Piedemonte: con una red de drenaje de diseño bien definido y distributivo. El flujo es divergente en concordancia con la morfología. Las pendientes son más suaves que en el sector anterior con valores de 0,2% para ambas cuencas.
- Llanuras: el drenaje es poco definido y pobremente integrado, muestra cauces estrechos y cursos temporarios, los cuales a menudo se pierden en suaves depresiones. Las pendientes tienen valores promedio de 0,1% en la cuenca del arroyo Languayú y entre 0,05 y 0,1% en la cuenca del arroyo Del Azul. El movimiento del agua tiene un predominio de la componente vertical frente a la horizontal debido a estas escasas pendientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El marco conceptual del método comparativo define dos formas de realizar la comparación. Una posibilidad es el enfoque centrado en los casos, que se apoya en el reconocimiento de la diversidad y complejidad y por lo tanto recurre al análisis cualitativo. La alternativa es centrarse en las variables, bajo la

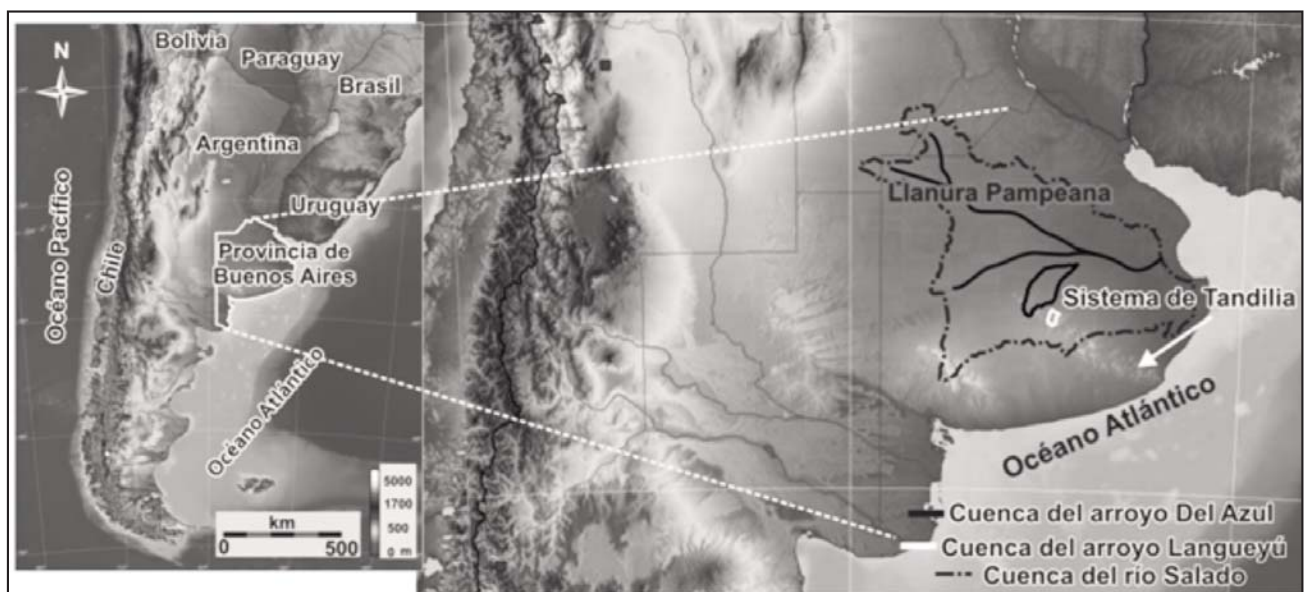


Figura 1. Localización de la Pampa Húmeda, el Sistema de Tandilia y representación de las cuencas Languayú y Del Azul en Argentina (modificada a partir de Barranquero *et al.*, 2016, pp. 2).

conceptualización de la búsqueda de generalidades, haciendo uso en este caso del análisis cuantitativo (*Ragin, 1987*). El estudio comparativo que se plantea en esta propuesta se podría definir como un enfoque centrado en los casos ya que se estudian sólo dos cuencas. Sin embargo, es necesario aplicar el análisis cuantitativo para algunas variables y el cualitativo para otras, siendo esto parte de la complejidad que involucra el estudio integral de los recursos hídricos. *Duverterger (1996)* indica que la comparación se trata de evaluar la analogía estructural y la complejidad de los elementos a cotejar. En este marco se consideró que el funcionamiento del sistema hídrico subterráneo puede compararse analizando la interacción de las variables que definen a nivel de cuenca: los aspectos generales del medio físico, los aspectos hidrogeológicos, la relación de la población con el recurso hídrico, y las políticas públicas vinculadas a su gestión. Para concretar el análisis es necesario:

- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas a los aspectos *generales del medio físico* (climáticos, geomorfológicos y edáficos), que a priori serían: régimen climático, montos y momentos de ocurrencia de excesos y déficits en el balance hídrico, morfología, diseño y características del drenaje superficial, pendientes, tipos de suelos y/o presencia o ausencia de horizontes limitantes para la infiltración, composición mineralógica y contenido de materia orgánica de los suelos, y régimen de humedad de los mismos.
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas al aspecto *hidrogeológico-hidrolitológico*, que a priori serían: ambientes hidrolitológicos, tipo de acuífero, y profundidad del basamento cristalino.
- Definir y aplicar las técnicas de cotejo de las variables referidas al aspecto hidrogeológico-*hidrodinámico*, que a priori serían: recarga, profundidad y variaciones del agua subterránea, sitios de descarga, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, y relación agua superficial-agua subterránea (considerando especialmente el coeficiente de escurrimiento que se encuentra "regulado" sólo en la cuenca del arroyo Languyú).
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas al aspecto hidrogeológico-*hidroquímico*, que a priori serían: tipificación de aguas, procesos hidrogeoquímicos fundamentales, y calidad del agua subterránea para distintos usos (doméstico, industrial y agropecuario).
- Definir y aplicar las técnicas de comparación de las variables referidas a la *relación de la población con el recurso hídrico*, que a priori serían: racionalidad de ocupación del territorio, usos del suelo, cantidad de agua subterránea requerida para distintos usos (doméstico, industrial y agropecuario), calidad de agua requerida para esos usos, y afectación hidrodinámica e hidroquímica por distintas actividades.
- Definir y aplicar de las técnicas de comparación de las variables referidas a las *políticas públicas* vinculadas al recurso hídrico, su uso y gestión, que a priori serían: contenidos, instrumentos, aspectos institucionales y previsión de resultados. Se considerarán tanto las políticas públicas a nivel local, como regional, provincial y nacional.

En esta publicación se muestran los resultados de un primer análisis general realizado con los propósitos de sistematizar la información con que cuenta el grupo de trabajo hasta el momento y probar la metodología. Para ello se consideraron algunos de los aspectos de comparación explicados anteriormente con menor nivel de detalle: litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica. El período de estudio se definió entre los años 2010 y 2013 porque la profundización de las investigaciones ocurrió en estos años.

Para comparar la litología se utilizaron estudios antecedentes a distintas escalas, tanto realizados en la totalidad del sistema de Tandilia como específicamente en las Sierras de Tandil y de Azul. Se consideraron además descripciones de perfiles litológicos de perforaciones efectuadas por el ente prestador del servicio de agua de red en la cuenca del Languyú (Obras Sanitarias Tandil -OST-) y por el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) y la Cooperativa Eléctrica de Azul (Servicios Sanitarios) en la cuenca Del Azul. También fueron importantes los estudios geofísicos, realizados por grupos de trabajo que los autores integran en el CINEA y el IHLLA, a través de los cuales ha sido posible conocer la profundidad y configuración del basamento cristalino en ambas cuencas.

Para analizar la hidrodinámica e hidroquímica se utilizaron redes de monitoreo, representativas de la sección superior del acuífero, en las que el CINEA y el IHLLA realizan mediciones de niveles freáticos y análisis fisicoquímicos desde hace muchos años. Si bien estas redes se definieron en momentos y centros de investigación distintos se consideran adecuadas para la comparación porque se planificaron con objetivos similares. En la cuenca del arroyo Languyú la red consta de 21 perforaciones y en la Del Azul de 24, con una distribución de forma aproximadamente regular en la superficie de cada cuenca. En las perforaciones se determinó en campo conductividad, pH, temperatura y bicarbonatos, y los restantes iones mayoritarios y nitratos en laboratorios de la UNCPBA con métodos normalizados (*APHA, 2005*).

Para conocer la situación hidrológico-climática en el período de estudio se calculó el balance hídrico según *Thornthwaite y Mather (1957)*, utilizando los datos proporcionados por la estación Tandil Aero (175 msnm, 37° 23' S y 59° 25' W) y la estación meteorológica Azul (145 msnm, 36° 50' 5.08" S y 59° 53' 18.86" W) -Servicio Meteorológico Nacional-. Los balances de agua se compararon mediante el análisis de la magnitud y el tiempo ocurrencia de los excesos y déficits.

Respecto a la influencia antrópica se analizaron los impactos potenciales según las características del medio físico y las actividades antrópicas, considerando tanto estudios antecedentes sobre cargas contaminantes potenciales al recurso hídrico, como observación directa de campo y análisis puntuales de cargas realizados en el CINEA y el IHLLA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Litología

El sistema de Tandilia presenta un núcleo constituido por el basamento cristalino de edad precámbrica denominado Complejo Buenos Aires (*Marchese y Di Paola, 1975*) sobre el cual se asientan en determinados sectores sedimentitas con cierto grado de metamorfismo del Grupo La Tinta: pelitas, calizas, ortocuarcitas, etc., del precámbrico superior-paleozoico inferior (*Dalla Salda, 1999*) y la cubierta areal de sedimentos cenozoicos Pampeanos y Postpampeanos (*Teruggi y Kilmurray, 1975*).

En la cuenca del arroyo Langueyú la composición del basamento cristalino metamórfico es tonalítica a granodiorítica (Teruggi y Kilmurray, 1975). Este basamento se encuentra en superficie en la cabecera de la cuenca y se profundiza de manera irregular, escalonada, alcanzando una profundidad de 200 m en el límite impuesto al Noreste.

La cubierta sedimentaria tiene edad Plio-Pleistoceno y es mayormente limosa. En las proximidades del frente serrano (cuenca superior) se compone principalmente por conglomerados de 30 a 50 cm, disminuyendo su tamaño hacia el Noreste donde se hallan diámetros de 3 o 4 cm. La matriz es generalmente limosa con fracciones subordinadas de arena y arcilla, pero también puede hallarse arenisca limo-arcillosa con proporciones variables de carbonato de calcio sobre todo cerca del frente serrano (Fidalgo et al., 1975).

En tanto, el basamento cristalino en la cuenca Del Azul presenta composición granítica a tonalítica con presencia de gneis, migmatitas, anfibolitas y plutones graníticos, con escasos esquistos y rocas ultramáficas (Dalla Salda et al., 2006). Las rocas cristalinas emergen en la cabecera y adquieren luego distintas profundidades: 30 a 50 m en la cuenca alta, hasta 120 m en la cuenca media, y alrededor de 800 metros en la cuenca baja (Zabala, 2013); por lo tanto el espesor saturado es mayor en esta cuenca que en la del Langueyú, pero simplemente porque el límite Noreste impuesto en esta cuenca está más cercano al río Salado que en la del Langueyú.

La cubierta sedimentaria está compuesta por sedimentos Pampeanos de edad Pleistoceno-Holoceno y Postpampeanos del Pleistoceno tardío y Plioceno-temprano. Estas unidades consisten en limos, limos arenosos y arcillosos con lentes de carbonato de calcio a poca profundidad (Fidalgo et al., 1975). Por debajo de la Formación Pampeano, a partir de aproximadamente los 90 m, se desarrolla la Formación Paraná, compuesta por calizas y materiales arenosos a arcillosos con abundantes fósiles (Aceñolaza, 2000).

Resumiendo, si bien las cuencas en estudio muestran algunas diferencias en el tipo y la profundidad de los materiales geológicos, tienen en común los dos principales ambientes hidrogeológicos que definen la disponibilidad de agua subterránea:

- En el sector de serranías y parte del piedemonte, el basamento cristalino se encuentra en superficie o a muy poca profundidad de ella y el material presenta una permeabilidad secundaria dada por la fisuración en las rocas. Aquí la cubierta sedimentaria es delgada y por lo tanto el acuífero tiene bajo rendimiento de la explotación.
- Hacia el Noreste el basamento cristalino se profundiza haciéndose impermeable a los fines prácticos, por la disminución y/o desaparición de fisuras, y constituyendo el límite inferior del acuífero en piedemonte y llanuras. El espesor de la cubierta sedimentaria, medio poroso, aumenta constituyendo un acuífero freático multiunitario, ya que tiene discontinuidades en profundidad, aunque éstas son sólo de carácter local (Sala et al., 1981; Sala et al., 1987). A pesar de las diferencias en los distintos sectores geomorfológicos, toda la cubierta sedimentaria superficial, hasta aproximadamente 200 m, está formada por sedimentos Pampeanos y Postpampeanos.

Hidrodinámica

Ambas cuencas tienen un régimen climático subhúmedo-húmedo mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua, C2B'2r (clasificación Thornthwaite y Mather, 1957).

En Tandil (cuenca del arroyo Langueyú) Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) realizaron un balance de agua en el período 1900-2000, obteniendo que: la precipitación media anual fue de 838 mm y la evapotranspiración real media de 712 mm, con un déficit de 18 mm correspondiente a enero, febrero y marzo. Los excesos fueron de 144 mm y se distribuyeron en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre.

A partir del balance hídrico en los años de muestreo hidrodinámico e hidroquímico (2010, 2011 y 2012) se visualiza una alternancia del año 2010, que se puede considerar húmedo, porque los excesos fueron mayores a los del balance modular (Figura 2 a), el 2011 seco, con excesos menores y mayores déficits, y 2012 que vuelve a ser húmedo con excesos 300% más altos que los ocurridos en el balance modular. En cuanto

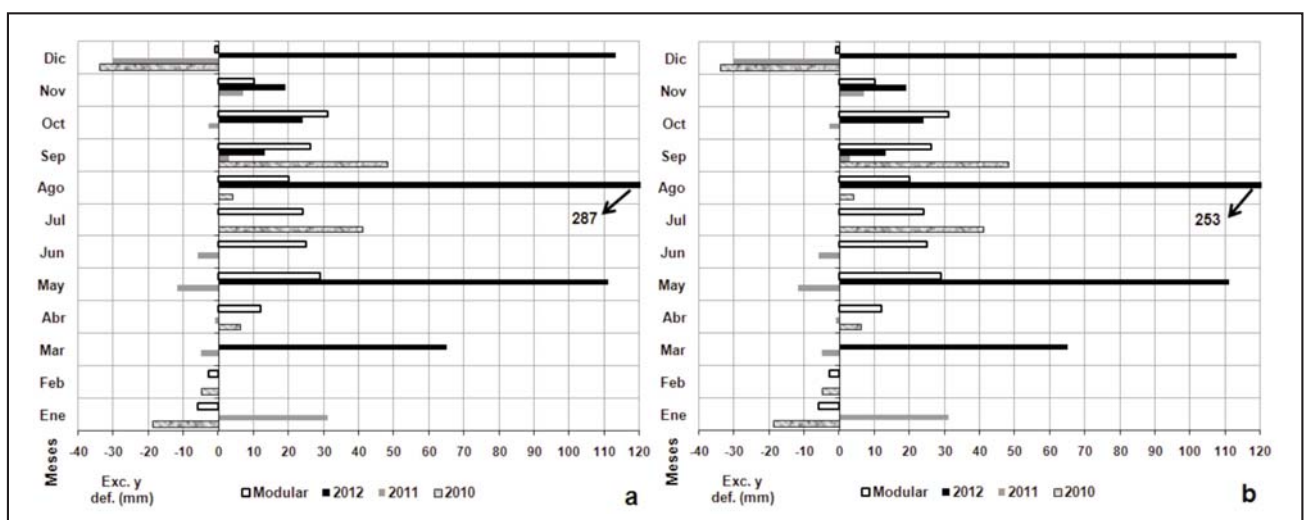


Figura 2. Comparación de excesos y déficits en el balance hídrico modular y de los años 2010, 2011 y 2012. Izquierda (a): Tandil. Derecha (b): Azul.

a los momentos de ocurrencia de excesos y déficits en el año, en los tres años de muestreo se producen de manera mucho más irregular que en el balance modular.

La recarga de aguas subterráneas calculada con el balance de masas de cloruro mostró valores entre el 18 y el 14% de la precipitación en el sector serranías, de 13% en el piedemonte, e inferior a 12% en llanuras (Barranquero, 2009).

En Azul, del balance modular realizado para el período 1901-2013, se obtuvo que la precipitación media anual fue de 912 mm y la evapotranspiración real media de 735 mm. Los excesos se produjeron en la mayor parte del año con un total de 177 mm, lo que restringe los déficits a los meses de diciembre, enero y febrero, con un total de 10 mm.

La Figura 2 b muestra que en 2012 los excesos fueron mayores que en el balance modular y que no hubo déficit. Los años 2010 y 2011 mostraron excesos menores que los del balance modular y los déficits fueron mayores. Al igual que en Tandil, la ocurrencia de excesos y déficits en 2010, 2011 y 2012 fue mucho más irregular que en el balance modular.

En la cuenca del arroyo Del Azul el balance de masas de cloruro da como resultado una recarga mayor al 20% en el sector serranías, entre 20 y 10% en piedemonte, y por debajo de 10% en el sector llanuras (Varni, 2013).

El sentido de flujo subterráneo es de Suroeste a Noreste en ambas cuencas y los niveles freáticos se encuentran cercanos a la superficie (entre 2 y 5 m) excepto en el sector de serranías. La variación temporal del nivel freático está fundamentalmente asociada al balance entre precipitación y evapotranspiración por ser el flujo superficial de menor orden de magnitud.

Varni (2013) analizó los diferentes componentes superficiales y subterráneos del balance de agua en los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Del Azul; a partir de ello mostró un modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico que es muy similar al observado en la cuenca del arroyo Languyú.

La recarga ocurre fundamentalmente en el sector de serranías por precipitación. Los cursos superficiales son generalmente temporales en las cabeceras, y proporcionan agua al acuífero en períodos de lluvia; en tanto hacia posiciones topográficas más bajas los arroyos pasan a tener regímenes permanente. En la cuenca del arroyo Languyú se observó una modificación de esta dinámica en una parte del sector de serranías debido a la explotación antrópica del acuífero.

Aunque en el piedemonte la recarga disminuye respecto a las serranías, este sector también recibe flujo de agua subterránea de éste último y contribuye al flujo de agua subterránea regional a través de su salida a la zona de llanura. Además, se produce un aporte del acuífero a los cursos de agua superficial pero limitado a pocos metros de sus márgenes. También se detecta efecto antrópico (inversión de la relación acuífero-curso de agua superficial), ya que se produce un aporte importante del arroyo al acuífero en el sector de mayor concentración de perforaciones para suministro de agua de red a la población de la ciudad de Tandil (aguas abajo de la ciudad) y en Azul en perforaciones que están en la misma planta urbana.

En el sector de llanuras, el movimiento vertical del agua (precipitación-evapotranspiración) es más importante que el movimiento horizontal (flujo de escorrentía de aguas subterráneas) por la suavidad de las pendientes que presenta el área. La descarga se produce en el arroyo principal y sus afluentes aunque

representa un volumen pequeño. En ambas cuencas la descarga regional está situada hacia el Noreste del área de estudio, en la cuenca del río Salado. Sólo en la cuenca del arroyo Del Azul se identifican algunos sitios puntuales de descarga del agua subterránea, que se reflejan en muestras con alto contenido salino.

Hidroquímica

Si bien se analizaron los resultados de la totalidad de las campañas para evaluar las variaciones de nitratos y otros indicadores vinculados a la actividad antrópica, para la caracterización hidroquímica se tuvieron en cuenta los resultados de octubre de 2010 en la cuenca del arroyo Languyú (Tabla 1) y agosto de 2010 (Tabla 2) en la cuenca del arroyo Del Azul por ser el balance hídrico de ese momento más parecido al modular.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables hidroquímicas en la cuenca del arroyo Languyú. Parámetros expresados en mg/l excepto la conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el pH (adimensional).

Parámetro	Mediana	Media	DE	Mínimo	Máximo
Conductividad	801	828	147	530	1035
pH	7,6	7,5	0,2	7,0	8,3
Bicarbonatos	476	489	107	268	830
Cloruros	34	34	15	3	106
Sulfatos	13	17	15	3	106
Nitratos	26	29	17	4	84
Calcio	41	44	21	12	116
Magnesio	21	23	8	8	43
Sodio	118	116	57	17	253
Potasio	11	15	14	1	67

Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables hidroquímicas en la cuenca del arroyo Del Azul. Parámetros expresados en mg/l excepto la conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el pH (adimensional).

Parámetro	Mediana	Media	DE	Mínimo	Máximo
Conductividad	740	1017	813	586	4650
pH	7,5	7,5	0,2	7,1	8,2
Bicarbonatos	459	503	150	361	1211
Cloruros	15	53	130	4	620
Sulfatos	16	78	174	4	876
Nitratos	10	16	17	1	82
Calcio	49	53	24	9	111
Magnesio	24	28	17	4	114
Sodio	93	153	182	4	947
Potasio	16	17	7	5	51

En la cuenca del arroyo Languyú las aguas presentan un bajo contenido de sales totales disueltas (entre 370 y 720 mg/l) y son mayormente bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas en serranías y piedemonte, y bicarbonatadas sódicas hacia el NE. El contenido de sales totales disueltas aumenta, como es lógico, en el sentido del flujo, en tanto la concentración de calcio y magnesio disminuye por el intercambio con el sodio. Si bien

el contenido de cloruros y sulfatos aumenta hacia el límite N de la cuenca, los bicarbonatos siguen estando en mayor proporción por no abarcar el área de estudio el sector de descarga regional, sino solo descargas locales y sectorizadas.

En la cuenca del arroyo Del Azul las aguas tienen mayor contenido salino (entre 410 y 3.250 mg/l), lo cual resulta coherente con el aumento de recorrido dado que su estudio abarcó una extensión mayor del sector de llanura respecto a la del Langueyú. También en este caso los bicarbonatos son predominantes en todas las muestras, aunque hacia el NE el contenido de sulfatos y cloruros también es importante. En cuanto a los cationes, el sodio es predominante en el 71% de las muestras, y el calcio en el 19% restante, correspondiéndose el último porcentaje a muestras del sector de cabecera de la cuenca. Esto es coherente con la tipificación de las aguas que son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas en ese sector, y bicarbonatadas sódicas en el centro y N, producto del intercambio iónico.

Dado que en ambas cuencas se ha probado el origen antrópico de las concentraciones más elevadas de nitratos, este aspecto se explica en el apartado siguiente.

Influencia antrópica

La ciudad de Tandil ocupa aproximadamente 50 km² y, como se mencionó antes, se encuentra principalmente en el sector de piedemonte, aunque en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento significativo hacia las laderas de las sierras. En tanto, la ciudad de Azul, situada en la parte central de la cuenca, en el área de transición entre el piedemonte y la llanura, tiene una superficie de aproximadamente 34 km².

En ambas cuencas el agua que se utiliza para diferentes usos, entre ellos el consumo humano, provienen de la fuente de agua subterránea que constituye el acuífero Pampeano. Las perforaciones se encuentran principalmente en el medio poroso clástico que posee mucho mayor rendimiento y homogeneidad que el medio fisurado.

En Tandil la cobertura de la red de suministro de agua implica el 95,6% de la población. La cantidad de extracción anual es de 18 hm³ que representa el 25% de toda el agua que se recarga al acuífero en la cuenca del arroyo Langueyú (Barranquero, 2015). La explotación se realiza a través de 49 pozos que se encuentran en su mayoría dentro de la zona urbana. En el período 2010-2012, se comprobó que esta explotación generó afectaciones puntuales a la hidrodinámica con descenso de niveles freáticos cerca de la mayor concentración de perforaciones para suministro de agua de red y una inversión de la relación acuífero-arroyo en por lo menos la cuarta parte de sector de piedemonte, pasando el arroyo a ser influente respecto al acuífero (Barranquero et al., 2015).

Hasta el año 2013 el servicio de red cloacal abastecía al 53% de la población, según los datos facilitados por la entidad encargada del servicio (OST). Los efluentes de esta red son procesados en plantas de tratamiento que presentan algunos problemas puntuales de funcionamiento y eficiencia, por los cuales se ve afectada la calidad del arroyo Langueyú en los sitios de descarga final; en dichos sitios se ha comprobado que el arroyo es influente respecto al acuífero lo que representa un riesgo de contaminación a este último (Barranquero et al., 2015).

En los sectores donde no se cuenta con este servicio la eliminación de excretas se realiza in situ sin tratamiento previo (pozos negros). Estos pozos absorbentes por lo general no tienen un adecuado diseño y construcción, constituyendo una

fente de contaminación multi puntual. Su potencial de contaminación de las aguas subterráneas ha sido clasificada como moderada (Barranquero, 2015). Esta situación es especialmente preocupante en el sector de las serranías, donde el espesor de la zona no saturada es escaso debido a que el basamento cristalino es poco profundo, y por tanto la disposición de efluentes en pozos ciegos no sería una alternativa adecuada y/o eficiente; sumado a ello, la carga puede moverse rápidamente por el medio fracturado y afectar en forma directa al acuífero.

La alteración de la hidrodinámica como resultado del bombeo para suministro de agua de red también ha facilitado la contaminación del acuífero en el área en el que se concentran las perforaciones más antiguas de OST. La combinación de una cobertura de red cloacal mínima y la distorsión del flujo subterráneo dada por la superposición de los conos de depresión de esas perforaciones, ocasionó el aumento de nitratos en ellas muy por encima de los 45 mg/l recomendados por el Código Alimentario Argentino (Barranquero et al., 2006). En Rodríguez (2014) pueden verse los resultados de un estudio que realizó en 2011 extrayendo muestras en domicilios particulares; con dicho trabajo comprobó que el contenido de nitratos es superior al establecido en el Código Alimentario Argentino en cinco de los seis subsistemas que posee el sistema de distribución de agua de red en la ciudad de Tandil.

Además del abastecimiento de agua y el tratamiento de efluentes domiciliarios son relevantes en cuanto a fuentes potenciales de contaminación del acuífero las restantes actividades que se desarrollan en la cuenca del arroyo Langueyú. En ella las actividades primarias son preponderantes, con un 79,3% de su superficie (55.079 ha) destinada a la producción agrícola; mientras que la ganadería cubre un total de 9985 hectáreas (14,4%). El 6,3% restante se dedica a otras actividades por la presencia del basamento cristalino aflorante o a escasa profundidad (INDEC, 2002). Los rubros industriales más importantes son alimentos y bebidas (38%) y las industrias metálicas básicas/fabricación de productos metálicos (35%).

Utilizando la metodología de Zaporozec (2002) y algunos criterios de Foster e Hirata (1995) se han clasificado las actividades de acuerdo a su potencial de contaminación al acuífero, siendo las de potencial de moderado a alto: a) el tratamiento y/o la disposición final de aguas residuales domésticas, con conexiones causales con la alteración hidrodinámica ocasionada por la explotación para suministro de agua de red; b) la disposición en suelo de efluentes industriales, principalmente agroindustrias y tambos con fábrica; y, c) la agricultura y ganadería intensiva (Barranquero, 2009; Ruiz de Galarreta et al., 2010). Uno de los indicadores fundamentales de casos de contaminación por este tipo de fuentes son los nitratos que se hallan en concentraciones elevadas en algunas perforaciones particulares con pozos ciegos o importantes cantidades de animales sueltos en sus inmediaciones e inadecuadas condiciones de construcción, protección y mantenimiento.

En tanto, la ciudad de Azul posee un abastecimiento de agua de red del 98,7% de su población, alimentada por el agua subterránea obtenida de 21 pozos, con una extracción anual de alrededor de 9 hm³ (Oficina de Desarrollo Económico de Azul, comunicación personal del 10 Junio de 2014). Usunoff y Varni (1995) realizaron un estudio hidroquímico, incluyendo perforaciones localizadas en la planta urbana de la localidad y aguas arriba y abajo de ella, en el cual detectaron contaminación con nitratos en la zona urbana como consecuencia de la cobertura parcial de la red cloacal en ese momento. Estudiaron además

las alternativas para el abastecimiento de agua de red con concentraciones de nitratos inferiores a 45 mg/l, obteniendo que la mejor solución en términos económicos, de demanda de infraestructura y de capacitación del personal era el manejo adecuado de los tiempos de bombeo e inactividad de las distintas perforaciones que aportan a la red.

La red cloacal tiene actualmente una cobertura de 90,2% de la población, de acuerdo a la información proporcionada también por la Oficina de Desarrollo Económico. Los efluentes son procesados en una planta de tratamiento y volcados luego al arroyo Del Azul, en el sector de llanuras, en el cual el arroyo es efluente respecto al acuífero. Al igual que en Tandil, en sectores sin abastecimiento de red cloacal se realiza la eliminación de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Esta situación ocurre en el sector de llanura donde el acuífero es vulnerable por la poca profundidad del nivel freático.

Ambas redes, agua y cloacas, son gestionadas por CEAL, una empresa mixta con participación gubernamental significativa, a diferencia de Tandil donde la entidad es solo de responsabilidad gubernamental.

Los límites de la cuenca del arroyo Del Azul y del partido de Azul son prácticamente coincidentes con lo cual se pue-

de considerar la clasificación de usos de suelo del partido para describir las principales actividades de la cuenca. A la ganadería se aboca el 57% de la superficie, a la agricultura el 38% y a minería el 5%. En cuanto a producción industrial los dos rubros principales son agroindustrias, con un total de 31% de los establecimientos, y la minería para construcción (17%); la fabricación de productos metálicos también es importante ya que el 12% de los establecimientos industriales corresponden a este rubro. A partir de los trabajos de *Peluso et al. (2004)*, *Zabala (2013)* y *Peluso et al. (2014)* se puede concluir que en la cuenca del arroyo Del Azul las actividades con potencial de contaminación moderado a alto son: a) la disposición en suelo de efluentes industriales, principalmente agroindustrias y tambos con fábrica; y b) la agricultura y ganadería intensiva. Al igual que en la cuenca del Languyú se han encontrado casos puntuales de contaminación con nitratos pero, teniendo en cuenta los estudios antecedentes y la observación en campo de los casos, se infiere que están asociados al uso de fertilizantes nitrogenados en parcelas con agricultura intensiva.

En la Tabla 3 se presentan, a modo de resumen, los resultados más relevantes en cuanto al aspecto "Influencia antrópica" teniendo en cuenta que en él se centran las principales diferencias entre las cuencas:

Tabla 3. Cuadro comparativo de los principales aspectos que definen la influencia antrópica sobre el recurso hídrico subterráneo en las cuencas de los arroyos Languyú y Del Azul.

	LANGUEYÚ	DEL AZUL
Agua de red	Cobertura del 95,6% de la población, extracción anual de 18 hm ³ (Barranquero, 2015). Afectación hidrodinámica y contaminación.	Cobertura del 98,7% de la población, extracción anual de alrededor de 9 hm ³ (Oficina de Desarrollo Económico de Azul, 2014). Contaminación comprobada en un estudio del año 1995, hace falta actualización (2014).
Red cloacal	Cobertura del 53% de la población (2013), tratamiento con problemas puntuales de funcionamiento y eficiencia, vuelco al arroyo (influyente).	Cobertura del 90,2% de la población, vuelco al arroyo (efluente). No se han realizado estudios del funcionamiento de las redes de agua y cloacas.
Actividades con mayor potencial de contaminación	· Tratamiento y/o la disposición final de aguas residuales domésticas · Disposición en suelo de efluentes industriales (agroindustrias y tambos con fábrica) · Agricultura y ganadería intensiva.	· Disposición en suelo de efluentes industriales (agroindustrias y tambos con fábrica). · Agricultura y ganadería intensiva.
Casos de contaminación	Por la combinación de pozos ciegos o animales sueltos e inadecuadas condiciones de construcción, protección y mantenimiento (nitratos).	Por uso de fertilizantes nitrogenados en parcelas con agricultura intensiva (nitratos).

CONCLUSIONES

Como se mostró en los resultados, las cuencas presentan más similitudes que diferencias en los cuatro aspectos definidos para su comparación (litología, hidrodinámica, hidroquímica e influencia antrópica). Entre las similitudes más importantes se destacan: a) los ambientes hidrogeológicos que definen la disponibilidad de agua subterránea (fisurado y poroso), a pesar de las diferencias en el límite inferior del acuífero (basamento cristalino) y los materiales que forman el acuífero en profundidad en el límite NE de la cuenca Del Azul; y, b) el régimen climático, en líneas generales, así como el total de los excesos y déficits y sus meses de ocurrencia en el balance hídrico. En tanto

difieren, por el emplazamiento de cada ciudad principal en la cuenca y el aprovechamiento de los recursos hídricos, en la dimensión y particularidades del potencial de contaminación a los recursos hídricos producto del manejo antrópico.

Las cuencas poseen en líneas generales el mismo comportamiento hidroquímico, siendo comunes los procesos fundamentales que explican sus variaciones temporales: a) el aumento de la salinidad hacia el NE, es decir en la dirección del flujo del agua subterránea; b) el intercambio iónico calcio-magnesio por sodio también en la dirección de flujo; y, c) la contaminación con nitratos de tipo puntual y multipuntual, como se explicó a partir de distintas fuentes en cada cuenca.

Como principal conclusión de la comparación se extrae que una parte importante de las estrategias para la gestión integral de los recursos hídricos debería centrarse en su manejo antrópico. Esto se debe que el trabajo permitió comprender que la cantidad y calidad de agua estaría más fuertemente condicionada por las decisiones de manejo que por las características naturales intrínsecas de los recursos.

La aplicación de la comparación combinando el enfoque cualitativo, a través del estudio en profundidad de dos casos, con el cuantitativo, para la búsqueda de generalidades acerca de algunas variables como la hidroquímica, ha resultado una buena herramienta para corroborar el modelo conceptual del sistema de aguas subterráneas en ambas cuencas.

Este estudio mostró que dos o más cuencas hidrogeológicas pueden ser evaluadas con el método comparativo, propio de las ciencias sociales, utilizando herramientas complementarias propias de las ciencias exactas como el análisis estadístico. Se logró por tanto el propósito de un camino metodológico a través del cual trabajar posteriormente con otras cuencas del faldeo N de las Sierras de Tandilia para proponer estrategias de gestión conjuntas.

Podemos señalar, por último, que se ha cumplido con los objetivos específicos planteados al inicio: sistematizar la infor-

mación con que cuenta el grupo de trabajo hasta el momento y probar la metodología. Se evidenció la necesidad de profundización y actualización de estudios acerca de la afectación antrópica al recurso hídrico subterráneo, especialmente respecto al saneamiento básico (agua y cloacas) en la cuenca del arroyo Del Azul dado que la información con la que se cuenta es escueta y desactualizada en este aspecto. Si consideramos el muestreo hidroquímico del año 2010, analizado para este trabajo, podemos decir que se comprobó la eficiencia de la metodología para la comparación considerando la coherencia entre la influencia antrópica en dichos resultados, principalmente en el indicador nitratos (en la cuenca del Langueyú más vinculados a las actividades en el espacio urbano y en la cuenca Del Azul a las propias del espacio rural), y la diferencia de emplazamiento de las ciudades identificada previamente a la comparación (en piedemonte en la cuenca del Langueyú y en la zona de transición entre piedemonte y llanura en la cuenca Del Azul); este emplazamiento tiene una clara influencia en el desarrollo de las actividades, por los condicionamientos que imponen las características naturales de los distintos sectores geomorfológicos, y, a priori, también en su afectación al recurso hídrico subterráneo, aunque es necesario profundizar los estudios en este aspecto.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ACEÑOLAZA, F.G., 2000.

La Formación Paraná (Mioceno Medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. *En F.G. Aceñolaza y R. Herbst (eds.), El Neógeno de Argentina, Serie correlación geológica, 14: 9-27, Tucumán.*

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), 2005.

Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. *APHA, 21st Edition. Washington, D.C.*

BARRANQUERO, R., 2009.

Análisis hidrogeológico y evaluación de cargas contaminantes en la cuenca del arroyo Langueyú. *Tesis Master, 148 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Pampa.*

BARRANQUERO, R., 2015.

Análisis y evaluación del sistema hidrogeológico ambiental en la cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires. *Tesis Doctorado, 258 pp. y anexos. Universidad Nacional de Córdoba.*

BARRANQUERO, R., RUIZ DE GALARRETA, A. Y BANDA NORIEGA, R., 2006.

Análisis integral de la gestión del recurso hídrico en la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM - FCEIA (UNR), Vol. 12: 65-75.*

BARRANQUERO, R. S., VARNI, M. Y RUIZ DE GALARRETA, A., 2015.

Relación arroyo-acuífero en un sistema hídrico afectado por explotación antrópica. *Revista digital Estudios Ambientales. Vol. 3 Nro. 2: 30-51.*

BARRANQUERO, R. S., VARNI, M. R., PARDO, R., VEGA, M., ZABALA, M. A. Y RUIZ DE GALARRETA, V. A., 2016.

Joint interpretation of the hydrochemistry of two neighbouring basins by N-way multivariate methods. *Environmental Earth Sciences, Vol. 75 Nro. 4: 335 1-14.*

BAZÁN, J. M., J. C. ALBERINO, N. VARRIANO, J. CARIELLO, E. KRUSE, A. ROJO, M. DELUCHI Y P. LAURENCENA, 2011.

Cuencas del arroyo El Pescado y el Gato en los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. *En Tercera Reunión Anual PROIMCA Primera Reunión Anual PRODECA.*

CINGOLANI, C., 2010.

The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), Vol. 100 Nro. 2: 221-242.*

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA (CEPAL), 2002.

Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica, Recursos naturales e infraestructura. *Naciones Unidas, 9 pp. Santiago de Chile.*

- CUSTODIO, E., MANZANO, M. Y MONTES, C. 2008.
Perspectiva general del papel y gestión de las aguas subterráneas en el Área de Doñana, Sudoeste de España.
Boletín Geológico y Minero, Vol. 119 Nro. 1: 81-92
- DALLA SALDA, L., 1999.
Cratón del río de La Plata. 1. Basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García.
Anales, Vol. 29 Nro. 4: 91-100.
- DALLA SALDA, L., L. SPALLETTI, D. POIREDE, R. BARRIO, H. ECHEVESTE Y A. BENIALGO, 2006.
Tandilia.
En H. Echeveste & A. Benialgo (eds.), Serie correlación geológica [online], INSUGEO, Vol. 21: 17-46.
- DUVERGER, M., 1996.
Métodos de las ciencias sociales.
Ariel Sociología, 592 pp. Barcelona.
- FABER, N., BRO, R. Y HOPKE, P.K., 2003.
Recent developments in candecomp/parafac algorithms: a critical review.
Chemometric Intelligent Laboratory Systems, Vol. 65: 119-137.
- FIDALGO, F., F. DE FRANCESCO Y PASCUAL, R., 1975.
Geología superficial de la Llanura Bonaerense.
En Relatorio Geología Provincia de Buenos Aires del VI Congreso Geológico Argentino, 104-106, Bahía Blanca.
- FOSTER, S. E HIRATA, R., 1995.
Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data.
CEPIS (OPS-OMS), 2nd Edition. Lima.
- GALEGO FERNANDES, P., BAHIR, M., MENDONCA, J., CARREIRA, P., FAKIR, Y. Y SILVA, M.O., 2005.
Anthropogenic features in the Sines (Portugal) and Essaquira (Morocco) coastal aquifers: a comparative study of their hydrochemical evolution by a principal component analysis.
Estudios Geológicos, Vol. 61: 207-219.
- GUERRERO, E., DE KEIZER, O. Y Y CÓRDOBA, R. 2006.
La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos.
UICN, 78 pp. Quito.
- HERNÁNDEZ, M., L.M. GIACONI Y N. GONZÁLEZ, 2002.
Línea de base ambiental para las aguas subterráneas y superficiales en el área minera de Tandilia, Buenos Aires, Argentina.
En E. Bocanegra, D. Martínez & H. Massone (eds.), Groundwater and human development, 336-343, Mar del Plata.
- INDEC, 2002. CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2002.
Total del país y provincias por departamento: resultados provisionales.
INDEC, Serie 1 resultados generales N° 1.1. Buenos Aires.
- INDEC 2010.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
Disponible en <http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp>, ultimo acceso 5 de diciembre de 2016.
- JOURAVLEV, A. 2003.
Los municipios y la gestión de los recursos hídricos, CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
Naciones Unidas, 72 pp. Santiago de Chile.
- KOSTEN, S. Y E. GUERRERO, 2005.
Fundamentos para la Aplicación del Enfoque Ecosistémico en el Manejo de Cuencas Hidrográficas y Humedales Fluviales.
En Humedales Fluviales de América del Sur: Hacia un Manejo Sustentable, 169-192, Santa Fe.
- KRUSE, E., 1986.
Aspectos geohidrológicos de la región sudoriental de Tandilia- Cuencas de los Aos.
Vivorata, Las Brusquitas y El Durazno. Asociación Geológica Argentina, Tomo XLI (3-4): 367-374.
- MARCHESE, H.G. Y DI PAOLA, E., 1975.
Reinterpretación estratigráfica de la Perforación Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 30 Nro. 1: 44-52.
- MERINO ESCOBAR, J.M., 1993.
El debate cualitativo/cuantitativo en la investigación social comparativa.
PAIDEIA 18, 13 pp. Concepción.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESMENT, 2005.
Ecosistemas y Bienestar Humano: Informe de Síntesis.
World Resources Institute. Washington.

- MINISTERIO DE JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, 2012.
Evaluación de la Infraestructura social básica de la Provincia de Buenos Aires.
Convenio de Asistencia Técnica. Proyecto de Regionalización de la Provincia de Buenos Aires. Informe final. Abril de 2012, La Plata.
- PEÑA, H. 2016.
Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe, Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas, 57 pp. Santiago de Chile.
- PANNO, S.V. Y KELLY, W.R., 2004.
Nitrate and herbicide loading in two groundwater basins of Illinois' sinkhole plain.
Journal of Hydrology, Vol. 290: 229-242.
- PRAT, N. 2014.
La sostenibilidad en el ciclo del agua. Comparación de dos planes de cuenca españoles.
Disponibile en http://www.aproma.org/mmm/file/LA%20SOSTENIBILIDAD%20EN%20EL%20CICLO%20DEL%20AGUA_%20Moif.pdf, ultimo acceso 5 de diciembre de 2016.
- PELUSO, F., CAZENAVE, G., VIVES, L. Y USUNOFF, E., 2004.
Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas.
Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, Vol. 4: 166-178.
- PELUSO, F., DUBNY, S., OTHAX, N. Y GONZALEZ CASTELAIN, J., 2014.
Environmental Risk of Pesticides: Applying Del Azul pestrisk to Freshwaters of an Agricultural Area of Argentina.
Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, Vol. 20 Nro. 5: 1177-1199.
- RAGIN, C.C., 1987.
The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies.
University of California Press, 185 pp. California.
- RODRÍGUEZ, C.I., 2014.
Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil.
Pautas para su gestión sustentable. Tesis Doctorado, 207 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Plata.
- RUIZ DE GALARRETA, A., 2006.
Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, provincia de Buenos Aires.
Tesis Doctorado, 192 pp. y anexos. Universidad Nacional de La Plata.
- RUIZ DE GALARRETA, A Y R. BANDA NORIEGA, 2005.
Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina.
En Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, 99-108, Río Cuarto.
- RUIZ DE GALARRETA, V.A., BANDA NORIEGA, R.B., BARRANQUERO, R.S., DÍAZ, A.A., RODRÍGUEZ, C.I. Y MIGUEL, E.R., 2010.
Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina.
Boletín Geológico y Minero de España, Vol. 121 Nro. 4: 343-356.
- SALA, J.M., KRUSE, E. Y AGUGLINO, R., 1987.
Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires,
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires Informe 37, 235 pp. La Plata.
- SALA, J. M., ROJO, A., MARTIN, E. Y ULIBARRENA, J., 1981.
Investigaciones geohidrológicas de la cuenca de Tandil y su zona de influencia.
Informe Anual para la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. La Plata.
- SALOMON, M. Y SORIA, D. 2003.
Métodos de trabajo para el análisis de cuencas andinas áridas y semiáridas de tamaño medio.
Estudio de cuencas precordilleranas y pedemontanas de Mendoza. (Argentina). En III Curso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas. FAO. REDLACH. INARENA, 11 pp., Arequipa.
- SARTORI, G. Y MORLINO, L. (COMPS.), 1994.
La comparación en las ciencias sociales.
Alianza, 49 pp. Madrid.
- SAHUQUILLO, A., CUSTODIO, E., Y LLAMAS, M. R., 2009.
La gestión de las aguas subterráneas.
Tecnología del agua, Vol. 305: 60-67.
- TERUGGI, M. Y J. KILMURRAY, 1975.
Tandilia.
En Relatorio Geología Provincia de Buenos Aires del VI Congreso Geológico Argentino, 55-77, Buenos Aires.

- THORNTHWAITE, C.W. Y MATHER, J.R., 1957.
Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance,
Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, Vol. 10 Nro. 3: 185-311, Centertown.
- USUNOFF, E.J. Y VARNI, M.R., 1995.
Nitrate-polluted groundwater at Azul, Argentina: characterization and management issues.
Journal of Environmental Hydrology, Vol. 3 Nro. 2: 7 pp.
- VARNI, M., 2013.
Application of several methodologies to estimate groundwater recharge in the Pampeano aquifer, Argentina.
Water Technologies and Sciences, Vol. 4 Nro. 3: 63-85.
- ZABALA, M.E., 2013.
El origen de la composición química del acuífero freático en la cuenca del arroyo del Azul.
Tesis Doctorado, 466 pp. con anexos. Universidad Nacional de Córdoba.
- ZAPOROZEC, A., 2002.
Groundwater Contamination Inventory.
A methodological Guide. IHP-VI, SERIES ON GROUNDWATER Number 2.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA (CEPAL), 2002.
Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica, Recursos naturales e infraestructura.
Naciones Unidas, 9 pp. Santiago de Chile.
- ZÁRATE, M., MEHL, A. Y CASTRO, M., 2010.
Geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul.
Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires. Informe inédito. 66 pp.



Riesgo hídrico poblacional a la contaminación por efluentes urbanos en Misiones

Population risk to water pollution by urban effluents in Misiones

Páez Campos, Hugo Ramiro ¹ ✉ - Dornes, Pablo Fernando ¹

Recibido: 02 de diciembre de 2016 • Aceptado: 21 de diciembre de 2016

Resumen

Típicamente los centros urbanos en la provincia de Misiones utilizan recursos hídricos locales para el aprovisionamiento de agua. Considerando que la mayoría de las ciudades no poseen servicio cloacal y la disposición de efluentes se realiza in situ, existe un riesgo de contaminación para los sistemas hidrológicos y la población en general.

El objetivo de este trabajo consistió en el análisis espacial del riesgo hídrico poblacional frente a la contaminación por efluentes urbanos dentro de dos cuencas hidrológicas drenadas por los arroyos Tulipán y Capilla de Jardín América, Misiones. Dicho riesgo se constituye por la amenaza de contaminación y la vulnerabilidad social ante la misma. La primera se determinó evaluando la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la concentración del ion Nitrato (NO_3^-). Para la segunda, se procesaron datos censales del año 2010.

Se comprobó la existencia de un fenómeno de contaminación en proceso que resulta en un aumento de la concentración de NO_3^- en el sentido del flujo subterráneo y en menor medida en el escurrimiento superficial, aunque no afecta significativamente la calidad del agua debido a la capacidad de depuración del sistema. Sin embargo, el riesgo poblacional se manifiesta diferencialmente. Los sectores más expuestos, fueron los barrios periféricos localizados a la vera de los cauces en donde se verifican mayores índices de necesidades básicas insatisfechas. Así, este estudio contribuye a la planificación de políticas sanitarias y a la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: riesgo, contaminación, hidrología, Misiones.

Abstract

Typically urban centers in the province of Misiones use local water resources for water supply. Whereas most cities have no sewage systems and therefore effluent disposal is carried out in situ, there is a risk of contamination for water systems and the population.

1. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.
Av. Uruguay 151. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
Tel: 54-2954-701513, Fax: 432535.

✉ ramiropaezcampos@hotmail.com

The objective of this work was the spatial analysis of population risk to water pollution by urban effluent in two watersheds drained by Tulipán and Capilla creeks in Jardín América, Misiones. This risk is constituted by the threat of pollution and social vulnerability. The first was determined by evaluating the intrinsic vulnerability of the aquifer and the concentration of nitrate ion (NO_3^-). For the second, 2010 population census data were interpreted.

It was observed, the existence of a phenomenon of contamination in process that results in an increase of the NO_3^- concentration in the direction of the groundwater flow and to a lesser extent in surface runoff. However, it did not significantly affect the water quality due to the system depuration capacity. The population risk is expressed differentially. The most exposed sectors were the suburbs located on the banks of rivers, where greater unsatisfied basic needs indices are verified. Thus, this study contributes to health policy planning and management of water resources.

Keywords: risk, pollution, hydrology, Misiones.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Provincia de Misiones posee abundantes recursos hídricos en todo su territorio, utilizados por la población para distintos usos. Existen alrededor de 800 cursos de aguas permanentes que nacen en las distintas sierras que atraviesan la provincia y desembocan en los grandes ríos Paraná, Uruguay e Iguazú (IPEC, 2012) atravesando zonas naturales, rurales y urbanas. Así también, las abundantes precipitaciones que generan estos ríos y arroyos infiltran en el terreno alimentando un acuífero sostenido, a poca profundidad, por rocas basálticas de la formación Serra Geral (Herbst, 1971).

Estos recursos son utilizados por la población, ya sea con previa potabilización o de manera directa por medios más o menos artesanales de acuerdo a la condición social y la accesibilidad a los mismos. Además, la gran mayoría de los centros urbanos no poseen una cobertura suficiente de redes cloacales. Estadísticas provinciales indican que un 81,4% de las viviendas no tiene conexión a la red de cloacas y que el 29,9 % no accede al agua potable; motivo por el cual la provincia de Misiones se encuentra como la más deficiente en la provisión de ambos servicios básicos del país (Capello et al, 2011).

Estos factores combinados suponen la existencia de un riesgo hídrico poblacional que tiene como elemento eje al agua y como objeto a la población (Herrero, 2006). Maskery (1989) y Wilches-Chaux (1998) consideran al riesgo como la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad social, factores que para este estudio se definieron, respectivamente, como la contaminación orgánica del agua y las condiciones sociales que exponen a los distintos sectores de la población a la misma.

Un caso particular de esta situación lo constituye la localidad de Jardín América que con 25.726 habitantes (INDEC, 2014), y atravesada por los arroyos Tulipán y Capilla (Figura 1), no cuenta con una red cloacal. Con respecto al aprovisionamiento de agua potable, si bien existe una cobertura incompleta del servicio en algunos sectores, la misma alcanza a la mayor parte del ejido urbano.

El objetivo de este trabajo consistió en el análisis espacial del riesgo hídrico poblacional frente a la contaminación por efluentes urbanos dentro de dos cuencas hidrológicas drenadas por los arroyos Tulipán y Capilla de Jardín América, Misiones. Dicho riesgo se constituye por la amenaza de contaminación y la vulnerabilidad social ante la misma. La definición y representación espacial del riesgo hídrico poblacional, permitió además, contrastar las variables de riesgo con otras variables sociales e hidrológicas.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Jardín América ($27^{\circ}2'25''$ S; $55^{\circ}13'40''$ O), provincia de Misiones, Argentina. La misma se encuentra 100 km al Noreste de la capital provincial sobre la Ruta Nacional N° 12 y aproximadamente a 10 km del Río Paraná. La ciudad cuenta con una población de 25.726 habitantes (INDEC, 2014) y se abastece de agua para provisión de agua potable del arroyo Tabay. Para este estudio se delimitó el área de interés al sector que corresponde a las cuencas hidrológicas de los arroyos Tulipán y Capilla, que comprenden al casco urbano y a una porción de la zona rural aledaña (Figura 1). Ambas cuencas cubren en total 41 km² y pertenecen a la cuenca del arroyo Tabay que vierte sus aguas en el Río Paraná. Estos cursos de agua son de carácter permanente y atraviesan la ciudad en sentido SO-NE. Aunque no se cuentan con datos históricos, se ha registrado en agosto del año 2015 un caudal en el arroyo Capilla de 9,34 m³/s y de 18,46 m³/s para el Tulipán. Considerando que la precipitación durante el año hidrológico 2014-15 totalizó aproximadamente 2300 mm, valor que se encuentra muy por encima de la media.

El clima de la zona se define como tropical húmedo sin estación seca definida y presenta un régimen pluviométrico isohigro, debido a que el mismo no posee estaciones bien marcadas y en cualquier momento del año pueden producirse sequías o inundaciones (IPEC, 2012). La precipitación media anual en el área de estudio es de 1724 mm.

En el área de estudio la geomorfología está determinada estructuralmente por la litología basáltica que se manifiesta como diques y coladas ocupando el 90% del territorio provincial. Esta litología corresponde a la formación Serra Geral, la cual se originó en el Mesozoico y cubre el área desde el actual territorio de Brasil (Herbst, 1971).

Sobre esta formación, como producto de la meteorización de la roca basáltica, se han formado suelos lateríticos arenos-arcillosos profundos de color rojizo, que según la clasificación del Soil Taxonomy se definen dentro de los órdenes de los Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles aunque también es posible encontrar, Entisoles y Molisoles (Panigatti, 2010). Más precisamente en el área de estudio se pueden encontrar tres unidades cartográficas de suelo, según C.A.R.T.A. (1962-63), las cuales son: La N° 3, de suelos variadamente evolucionados, generalmente hidromórficos, ácidos, poco fértiles, derivados de depósitos aluviales, la unidad N° 6A, de características similares a la anterior, pero de menor acidez y mayor fertilidad, con buena permeabilidad y sobre relieves planos con poco riesgo de erosión, y por

último la unidad N° 9, que es la más extendida en el área, y corresponde a suelos rojos profundos muy evolucionados, lixiviados, permeables, ácidos o ligeramente ácidos y medianamente fértiles. En general estos últimos pueden considerarse como suelos residuales, por su formación in situ producto de una alta meteorización tanto física como química en condiciones tropicales

húmedas. Son altamente heterogéneos en su estructura, induciendo a una alta variabilidad de la conductividad hidráulica, tanto lateral como verticalmente. Estos suelos, junto a los distintos factores físicos, biológicos y antrópicos generan un comportamiento complejo de diversos procesos hidrológicos (Mendiondo y Tucci, 1997)

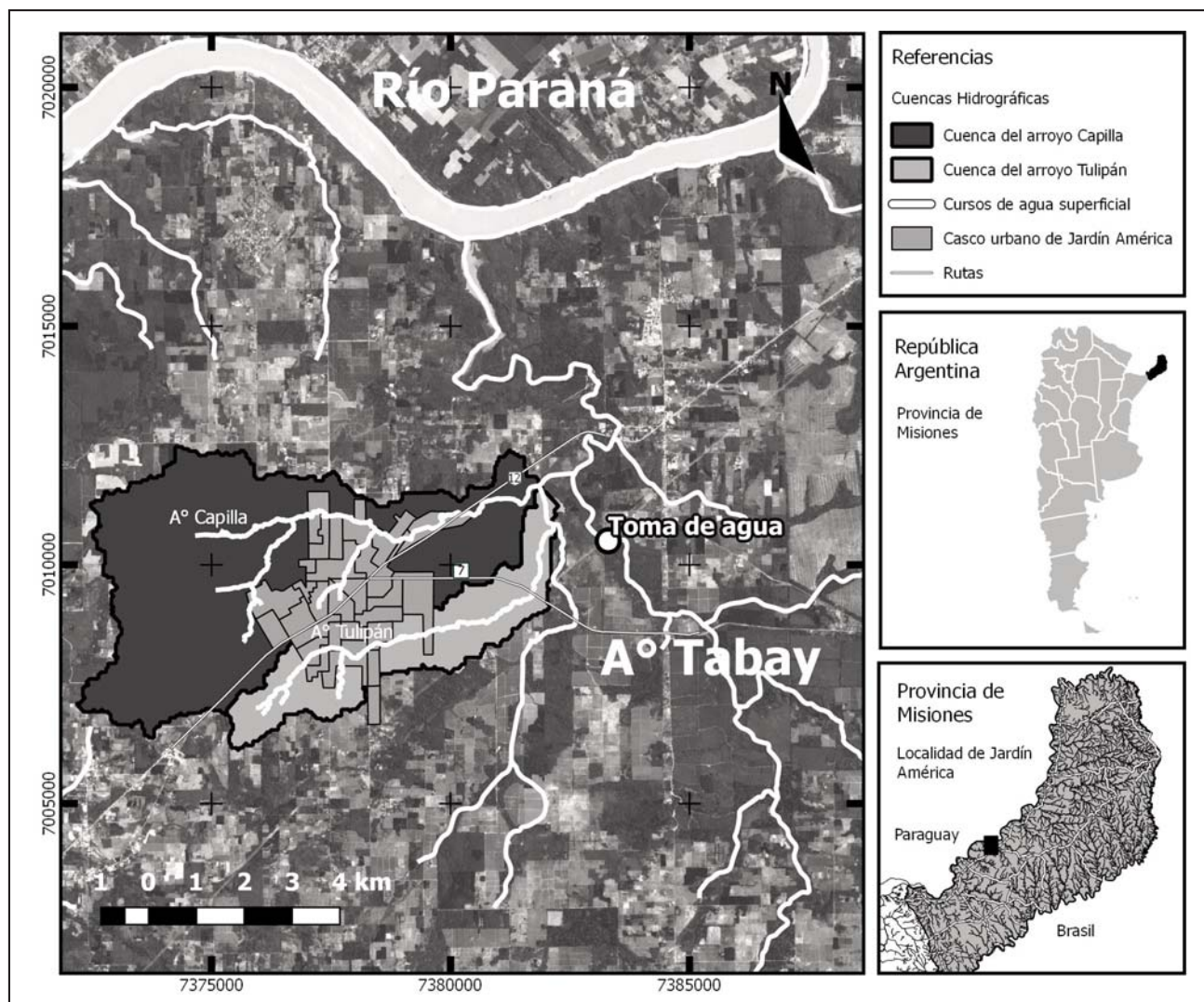


Figura 1. Ubicación del casco urbano de Jardín América. Se indican las dos cuencas que conforman el área de estudio, la toma de agua para abastecimiento de la población y la red de drenaje del área.

METODOLOGÍA

Definición y caracterización de las cuencas hidrológicas

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se determinó la extensión de las cuencas, a partir del Modelo de Elevación Digital del Terreno denominado MDE-Ar (IGN, 2014). A este modelo se le aplicaron correcciones basadas en el conocimiento detallado del área de estudio, obtenido en sucesivas salidas a campo. A partir del mismo, se obtuvieron, además, los valores de cota para los 97 puntos muestreados en donde se midió la profundidad del nivel freático y la profundidad del basalto (considerado hidroapoyo del acuífero libre) durante una campaña en Abril de 2015. Con estos datos

se realizó el mapa piezométrico del área de estudio, interpolando los valores acotados del nivel freático con el método kriging, a través del software Surfer 11.

Determinación del Riesgo hídrico poblacional por radio censal

En este estudio se adaptó la metodología propuesta por Herrero (2006) para la determinación del riesgo hídrico poblacional (RHP) constituido por la amenaza de contaminación y la vulnerabilidad social ante la misma. Como modificación de la metodología adoptada, la distribución espacial del índice RHP se planteó a partir de radios censales, tal cual se dispone la información de base.

La amenaza de contaminación (AC) se determinó por medio del análisis de la concentración de Nitratos (NO_3^-) y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, la cual se evaluó a partir del método *EKv* (*Auge 2004*). A diferencia de *Herrero (2006)* no se incluyó explícitamente en el índice la contaminación bacteriológica por la baja intensidad de muestreo. Sin embargo el análisis de presencia/ausencia de *Escherichia Coli* fue considerado en el análisis espacial del área de estudio.

La Vulnerabilidad Social (VS) se determinó a partir de datos del Censo de Hogar, Población y Vivienda del 2010 (*INDEC, 2014*) elaborados en términos porcentuales.

Para la construcción del índice de RHP (Ec. 1) se categorizaron en cinco clases, enumeradas de 1 a 5, los valores de cada variable según el método de rupturas naturales (*Jenks, 1977*). De la misma manera se categorizó el resultado final de la ecuación 1 para su representación.

$$RHP = AC \cdot VS \quad (1)$$

Donde

RHP: Índice de riesgo hídrico poblacional. Varía en 5 clases: 1 (mínimo) y 25 (máximo)

AC: Índice de amenaza de contaminación, 1 (muy bajo), 2, 3, 4, y 5 (muy alto)

VS: Índice de vulnerabilidad social, 1 (muy bajo), 2, 3, 4, y 5 (muy alto)

Para el cálculo del índice de AC se determinó un índice de vulnerabilidad intrínseca clasificado del acuífero (EKv_c) y un índice de amenaza por concentración de Nitratos (NO_3^-), (Ec 2). Para el primero se censaron 97 puntos donde se determinó el espesor de la zona no saturada (a partir de la medición de la profundidad del nivel freático) y se infirió la permeabilidad vertical de la misma con información de las cartas edafológicas del área. Para el índice de concentración de NO_3^- se tomaron 33 muestras de agua en pozos y cursos superficiales y se determinó su concentración mediante los métodos Salicilato de Sodio y Reducción de Cadmio. A partir de las determinaciones de laboratorio y de los valores de *EKv*, se realizaron mapas con la interpolación de Kriging a través del software Surfer 11. Para la generación de ambos índices se tomaron de los mapas respectivos el valor medio para cada radio censal mediante el software QGIS. Luego se procedió a clasificar los conjuntos de valores con el método de rupturas naturales en cinco clases otorgándoles a cada clase el valor de su numeración respectiva.

$$AC = \text{EKv}_c + \text{NO}_3^- \quad (2)$$

Donde

AC: Índice de amenaza de contaminación,

EKv_c : Índice de vulnerabilidad intrínseca clasificado,

NO_3^- : Índice de concentración del ion nitrato,

La valoración de cada índice es: 1 (muy bajo), 2 (bajo), 3 (medio), 4 (alto), y 5 (muy alto)

El índice de VS se determinó a partir de la definición de los índices de VS por acceso al recurso hídrico (VSRH), por disposición de excretas (VSDE), y por densidad poblacional (VSDP) según Ec. 3

$$VS = \text{VSRH} + \text{VSDE} + \text{VSDP} \quad (3)$$

Donde

VS: Índice de vulnerabilidad social,

VSRH : Índice de vulnerabilidad social por acceso al recurso hídrico,

VSDE : Índice de vulnerabilidad social por disposición de excretas

VSDP : Índice de vulnerabilidad social por densidad poblacional

La valoración de cada índice es: 1 (muy bajo), 2 (bajo), 3 (medio), 4 (alto), y 5 (muy alto)

Las variables utilizadas para el cálculo de índice de VSRH (Ec. 4) son basadas en la fuente de captación del recurso hídrico y fueron: acceso al agua por red pública (RP), por perforación con bomba a motor (PBMt), por perforación con bomba manual (PBMn), por pozo (P), a través de transporte por cisterna (TC), y de captación de agua de lluvia, río, canal o arroyo (LlyA). Para el cálculo de VSDE (Ec. 5), las variables fueron: disposición de excretas a cámara séptica y pozo ciego (CS), solo a pozo ciego (PC), y a hoyo, excavación en la tierra (H). Cabe destacar que en el caso del índice RP, la asignación de los valores mediante el método de rupturas naturales fue de manera contraria al resto de las variables, por su relación inversamente proporcional a la vulnerabilidad. La ponderación tuvo en cuenta si el factor no aporta a que se agrave la vulnerabilidad social (1), lo hace de manera intermedia (3) o alta (5). El índice de VSDP se calculó en función a los valores de densidad poblacional, a partir del método de rupturas naturales en cinco clases, del mismo modo en que fue utilizado para las demás variables.

$$\text{VSRH} = RP + 3 \cdot (PBMt + PBMn + P + TC) + 5 \cdot LlyA \quad (4)$$

$$\text{VSDE} = CS + 3 \cdot PC + 5 \cdot H \quad (5)$$

Análisis complementarios

Para complementar la interpretación de los índices propuestos, se procesó la variable Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) del mismo modo que se trató con las demás variables censales en el análisis de riesgo, por considerarse un indicador de pobreza estructural siendo la misma un factor explicativo de la vulnerabilidad frente a una amenaza de este tipo (*Suarez et al., 2004*). También, en forma complementaria, se tomaron 20 muestras de agua para determinar presencia/ausencia de *Escherichia Coli* por el método APHA: 1995 y posteriormente se colectaron 5 muestras para analizar concentración de bacterias coliformes fecales y Nitritos (NO_2^-) por los métodos ISO 9308-2:2012 y Método de la Sulfanilamida, respectivamente. Cabe aclarar que los análisis bacteriológicos están típicamente sujetos a casos de contaminación puntual siendo variables de difícil extrapolación en el espacio.

RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Proceso de Contaminación e hidrodinámica

En cuanto a la hidrodinámica, la elaboración del mapa piezométrico y la delimitación de las cuencas hidrográficas, demuestra el carácter efluente de los arroyos (Figura 2). La

profundidad del nivel freático en promedio fue de 5,04 m con un valor máximo de 14 m y zonas donde el nivel interceptó la superficie del suelo. De igual manera la profundidad promedio del hidroapoyo, variable medida a campo, fue de 7,55 m con un máximo de 25 m y un valor mínimo de 1m. Observaciones mostraron para distintos períodos fluctuaciones del espesor saturado de hasta 7 m, con alta variabilidad espacial (máximo de 7,6 m y un mínimo de 0,1 m), característica de un medio altamente anisotrópico.

La poca profundidad del hidroapoyo le otorga un control predominantemente geológico al sistema. Esto explica que la dirección del flujo subterráneo obtenida a partir del censo de pozos, coincida con la dirección del flujo superficial definida para las distintas subcuencas a partir de su delimitación topográfica. Esta condición sumada a la importante pluviosidad y a los variables y marcados gradientes hidráulicos (de hasta 0,14), resulta en un breve tiempo de residencia del agua en el acuífero, con una rápida descarga a los arroyos.

En cuanto a los valores de NO_3^- sólo una muestra de agua subterránea superó el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (CAA) de 45 mg/l, con 51 mg/l. El promedio de los valores fue de 16,89 mg/l y el mínimo de 1 mg/l (Tabla 1). Espacialmente se puede apreciar que los valores más bajos se corresponden a muestras de agua superficial tomadas en las cabeceras de los arroyos, y se corrobora un aumento de la concentración fundamentalmente en el agua subterránea a medida que los flujos atraviesan el casco urbano, con un posterior descenso de los mismos aguas abajo. Se observa también que dentro del ejido urbano las zonas de mayor concentración se verifican en áreas de confluencia de flujos tanto superficiales como subterráneos. Por otro lado, en todos los casos se observa que la concentración de NO_3^- es menor en los arroyos que en los pozos aledaños, lo cual da cuenta de una capacidad de depuración aun no sobrepasada en los cursos superficiales (Figura 2).

Tabla 1. Determinaciones de NO_3^- en pozos y cursos de agua (*) utilizadas en el cálculo del índice AC. Toma de muestra realizada en Julio de 2015.

Muestra	NO_3^- (mg/l)	Muestra	NO_3^- (mg/l)	Muestra	NO_3^- (mg/l)	Muestra	NO_3^- mg/l)
002	14,0	056	32,0	256	16,7	307	6,6
040	51,0	022	41,0	*116	1,5	316	1,0
327	10,0	311	9,0	326	1,7	320	12,0
035	37,0	125	39,0	49	18,6		
283	10,0	302	10,0	*93	3,5		
241	28,0	310	34,0	*108	3,2		
251	11,0	266	22,0	114	13,0		
117	6,0	*244	16,0	136	18,9		
012	4,0	80	33,0	*237	7,2		
*252	10,0	294	19,0	277	17,4		

La determinación de NO_2^- en los pozos con los valores más altos de NO_3^- , indicó la existencia de contaminación orgánica reciente en 5 de las 6 muestras tomadas y ninguna superó los valores guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Tabla 2), aunque la muestra 40 excede el valor de referencia provisional (0,2 mg/l).

Tabla2. Comparación de indicadores de contaminación orgánica en aquellos pozos y cursos de agua (*) con determinaciones de NO_3^- y NO_2^- . Se resalta el valor que supera el límite establecido. Valores guía OMS/CAA: 50/45 mg/l (NO_3^-), 3/10 mg/l (NO_2^-), y ausencia de E.Coli.[P: presencia, A: ausencia].

Muestra	NO_3^- (mg/l) 07/2015	NO_3^- (mg/l) 02/2016	NO_2^- (mg/l) 02/2016	E. Coli 07/2016
22	41	36,5	---	A
40	51	33,1	0,35	P
80	33	35,1	0,056	P
125	39	41,8	0,016	---
244*	16	6,4	0,063	A
252*	10	4,3	0,016	P

La distribución NO_3^- y la presencia de NO_2^- indican la existencia de un fenómeno de contaminación en proceso que no ha alcanzado a degradar el recurso hídrico de manera drástica. Estos bajos valores son coincidentes con otros estudios realizados en la provincia (Tchilinguirian et al., 2005; Avigliano y Schenone, 2016) y pueden deberse a la hidrodinámica del sistema anteriormente descrita, la cual permite una rápida evacuación de la carga contaminante a los cursos superficiales, sumado a una posible limitación de la nitrificación debido al potencial efecto reductor del suelo bajo condiciones de saturación, frecuentemente observadas. Dicho fenómeno se manifiesta en un reducido aumento en el espacio de la carga contaminante en el acuífero.

En cuanto al análisis de E. Coli, se reveló poca presencia de contaminación bacteriana por excretas humanas (solo 3 muestras sobre 20 dieron positivo), sin embargo de las cinco muestras de Coliformes fecales en cuatro se obtuvo un valor de 1100 NMP/100ml. Dada las características puntuales de este tipo de contaminación, la baja intensidad de muestreo de Coliformes fecales y la poca presencia de E. Coli, no es posible averiguar la existencia de una contaminación bacteriana generalizada en el municipio.

Riesgo Hídrico Poblacional

La Figura 3 ilustra que el RHP(Ec.1) no se distribuye homogéneamente entre los distintos radios censales del área de estudio. Los radios categorizados de riesgo alto y muy alto (categorías 4 y 5 respectivamente) se encuentran cerca de los arroyos, en zonas periféricas del casco urbano y en la zona rural Este. Se observa en la cuenca del arroyo Tulipán que el mayor riesgo se registra en los radios urbanos 12, 13, 15 y 32 de la cuenca

media y el radio rural 11. En la cuenca del arroyo Capilla el mayor riesgo se concentra en los radios 21, 22, 23 y 33, ubicados también en la cuenca media de dicho arroyo. El menor riesgo (categorías 1 y 2) se sectoriza en los radios del centro de la ciudad (14, 25, 28, 29, 30, 31 y 35), el radio 24 que se extiende longitudinalmente a la vera de la Ruta Nacional Nro. 12, y los radios urbanos periféricos (3, 19, 20 y 27) y rurales del Oeste de la ciudad (8, 9, 1 y 18), notándose un aumento del RHP en el sentido del escurrimiento de Oeste-Este.

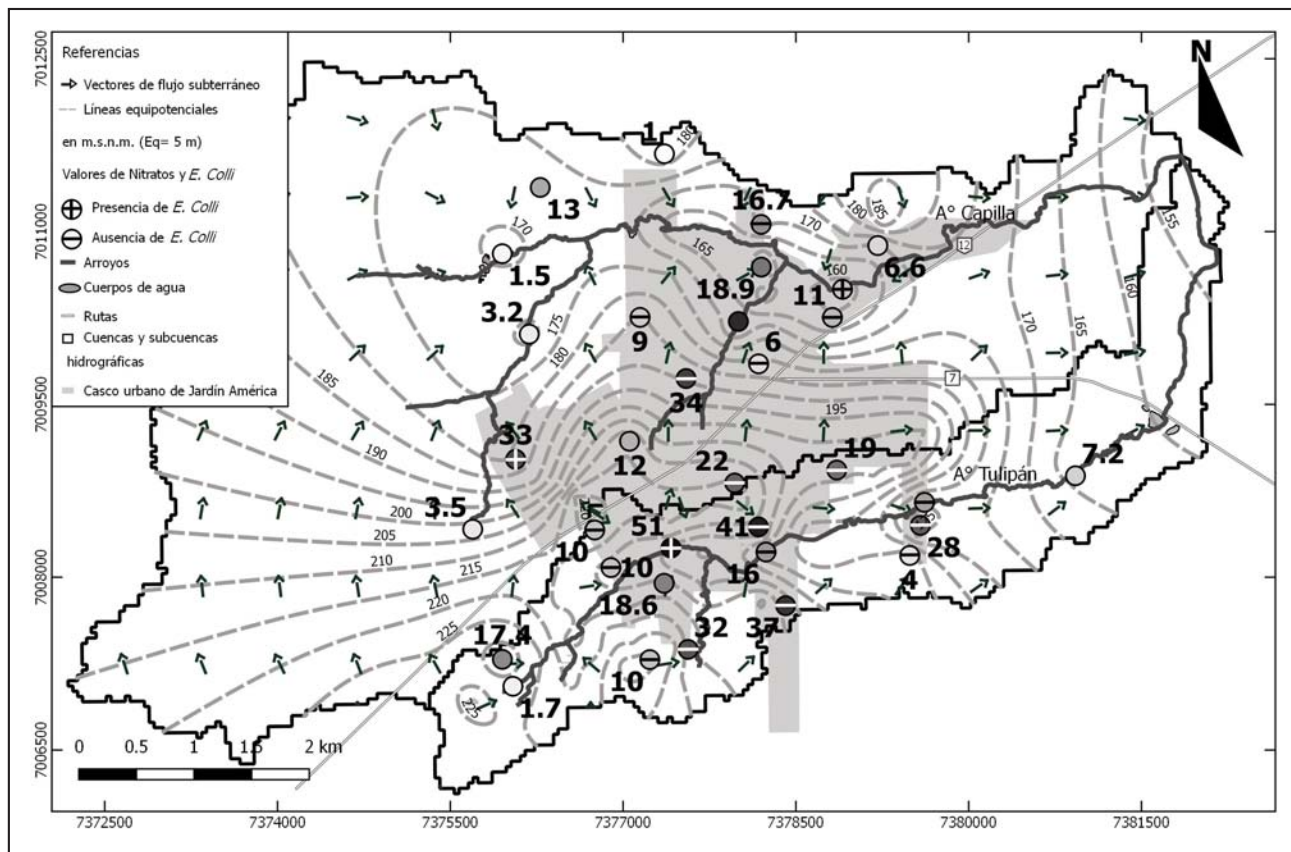


Figura 2. Mapa piezométrico de la localidad de Jardín América. Se detalla el área urbana (sombreado), los arroyos Capilla y Tulipán y sus cuencas, y valores (círculos) de NO₃⁻ y E. coli.

Los radios que se categorizan cualitativamente como de RHP Muy alto son el 13, 15, 32 y 23, son también los que tienen mayores porcentajes de población con NBI (a excepción del 13), con 48,07% para el radio 15, 43,79% y 65,67% para los radios 32 y 23, respectivamente. Esta situación indica una mayor vulnerabilidad potencial por disminución de la capacidad de resiliencia de dichos sectores poblacionales.

Los radios 22, 23, 33 (cuenca del A° Capilla) y 32 (cuenca del A° Tulipán) son los que presentan una mayor índice de VS (Figura 4a). El 22 y el 33 deben esta situación, fundamentalmente, a la precariedad de los sistemas de disposición de efluentes que elevan el índice de VS_{DE} (Figura 5b). En el caso de los radios 23 y 32 se combina la alta densidad poblacional con la precariedad de los sistemas de disposición de aguas residuales, resultando en mayores valores de VS que los anteriores. Todos los radios urbanos de mayor VS se ubican en sectores con altos índices de AC (Figura 4), lo que corrobora la

explotación sufrida por los sectores sociales de bajos recursos (Carballo, 2001).

Analizando el índice de VS_{RH} (Figura 5a), se concluye que los valores 4 y 5 se presentan en los radios rurales, lo cual es esperable dada la falta de red de agua potable. Sin embargo, el efecto de un VS_{RH} Alto en el radio urbano 13 resulta en un VS y RHP elevados. Esto se debe a que el sector, además de encontrarse en un área con un alto índice AC (Ver figura 4b), presenta un valor medio en el índice RP pero valores altos en los índices de aprovechamiento del agua subterránea (PBMt y PBMn). Es importante resaltar que en el mismo sector el NBI es bajo (6,67%), y en la observación a campo se comprobó que aunque es un sector relativamente heterogéneo en su composición social, la mayor parte de su población no es de escasos recursos. Datos tomados a campo revelan que un 55% de las viviendas censadas en toda la ciudad utilizan agua subterránea (ya sea mediante bomba o manualmente) aun teniendo conexión a la red de agua potable, debido a una preferencia de los propios usuarios. Esto denota un factor cultural importante en

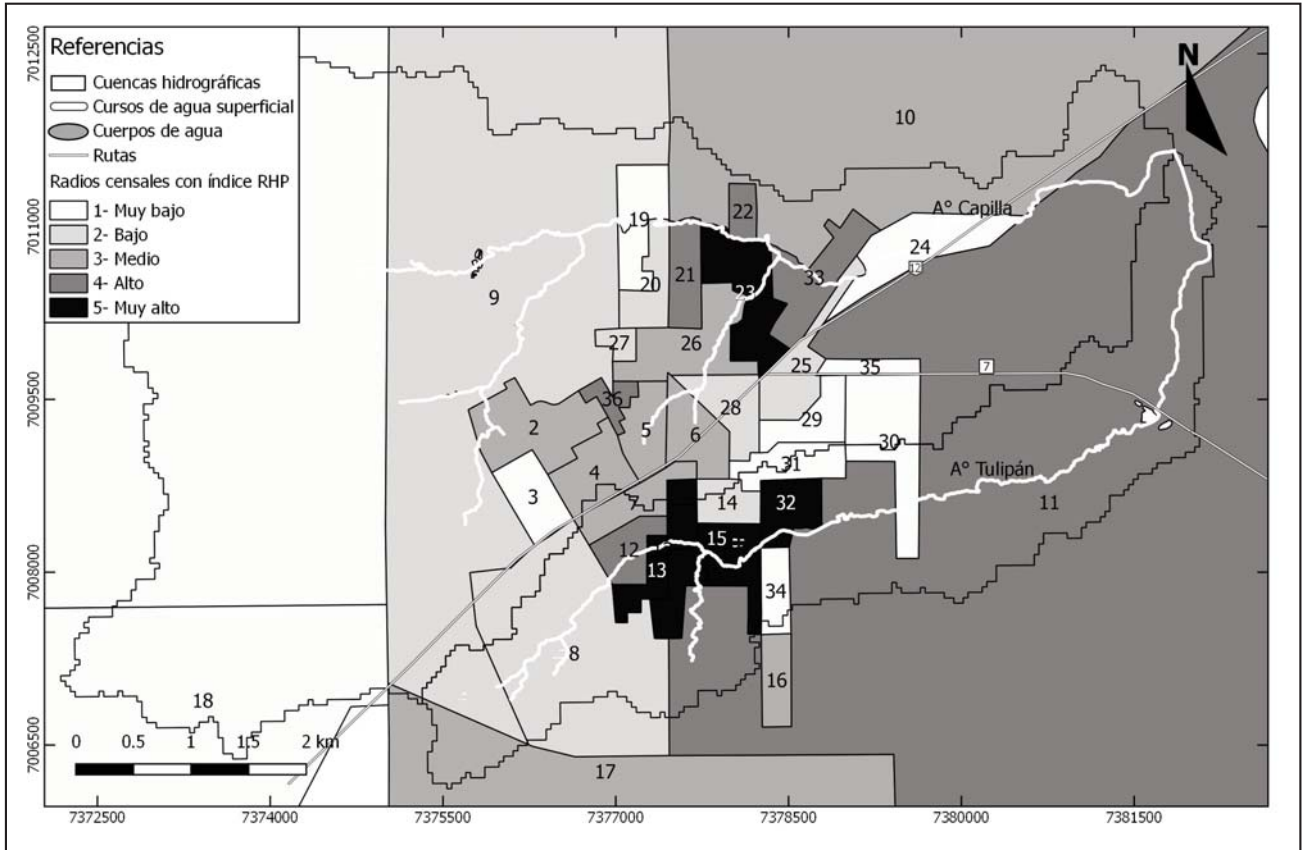


Figura 3. Mapa de Riesgo Hídrico Poblacional (RHP) por radio censal. Jardín América, Misiones. Se enumeran los radios censales.

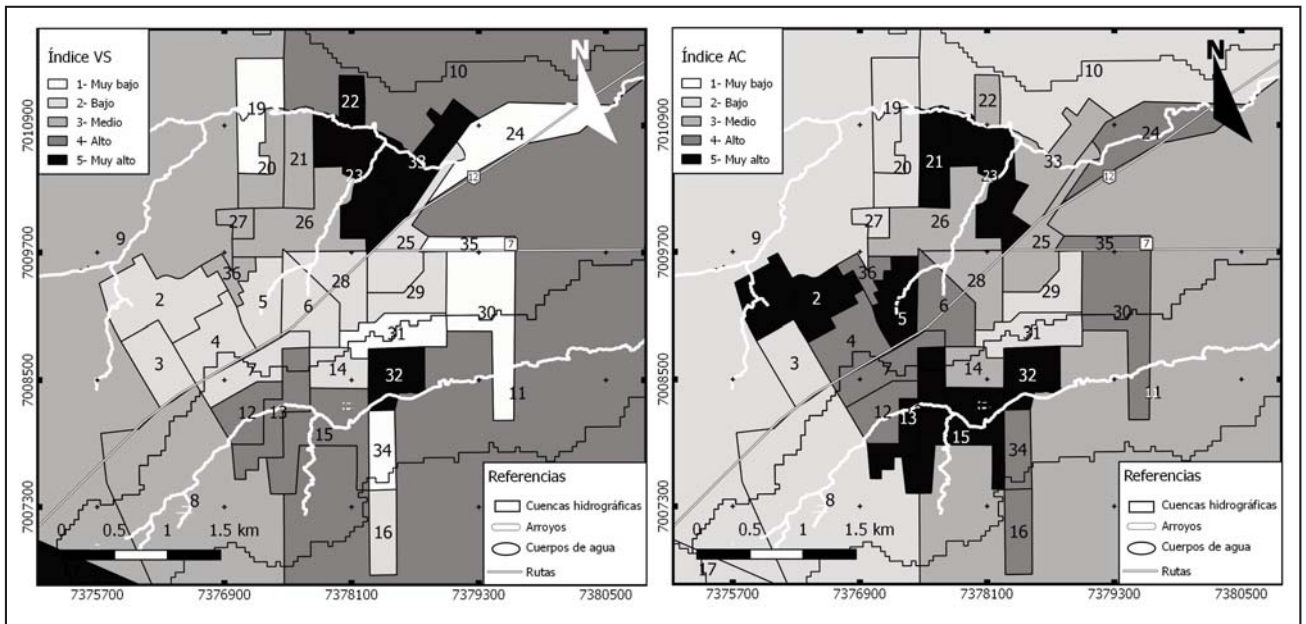


Figura 4. Mapas de Vulnerabilidad Social (VS) (a) y Amenaza de Contaminación (AC) (b).

el aprovechamiento de los recursos hídricos que se debe tener en consideración.

En cuanto a la densidad poblacional (VS_{DP}) no se observa una relación directa con otras variables. Algunos de los radios con mayores valores se encuentran en la periferia del casco

urbano, pero no resultan en altos índices de RHP, por encontrarse en sectores más elevados del terreno con bajo índice AC y/o corresponder a planes de viviendas (baja VS) debido a la existencia de red de agua potable y disposición de excretas a cámara séptica.

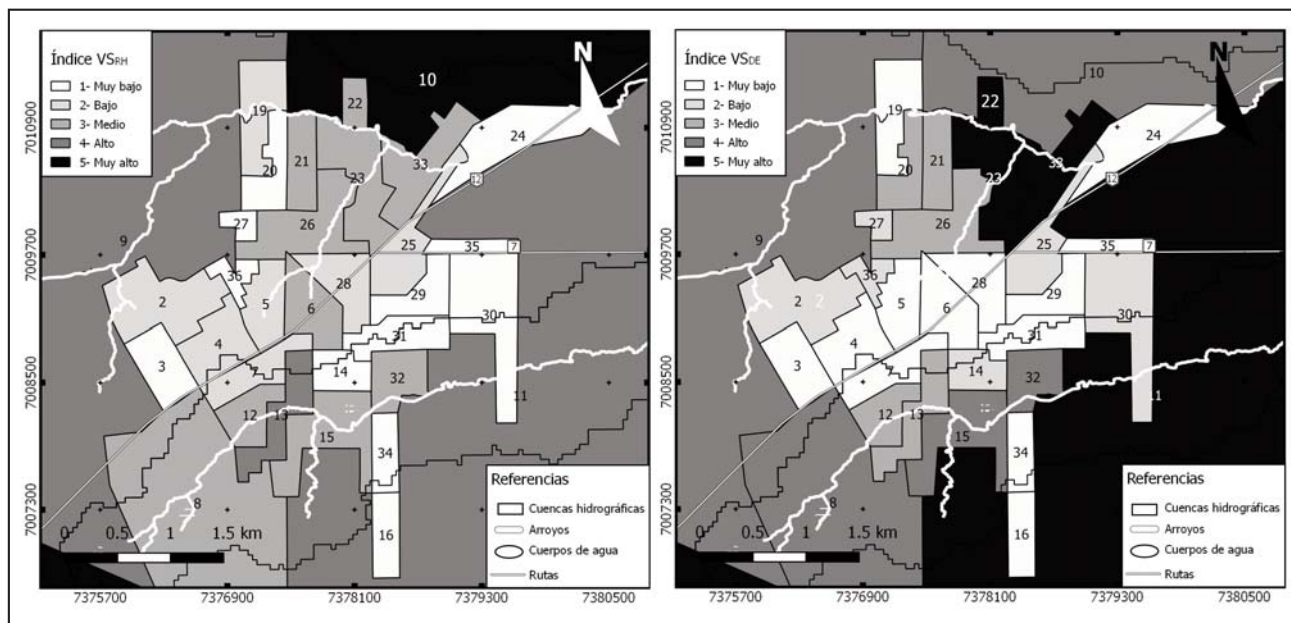


Figura 5. Mapas de Vulnerabilidad social por acceso al recurso hídrico (VS_{RH})(a) y Vulnerabilidad Social por disposición de excretas (VS_{DE})(b).

CONCLUSIONES

Se presenta un análisis del riesgo hídrico poblacional de la ciudad de Jardín América, Misiones. La ciudad con una población de 25.726 habitantes, sin unared de evacuación de excretas y ubicada sobre dos cuencas drenadas por los arroyos Capilla y Tulipán, se encuentra en una situación de riesgo hídrico a la contaminación por efluentes urbanos.

El índice de RHP constituido por la amenaza de contaminación y la vulnerabilidad social ante la misma,mostró mayores valores en radios urbanosperiféricos y cercanos a los cursos superficiales sobre las cuencas medias de los arroyos.

Los mayores valores del índice AC se registraron en sectores donde existe una confluencia de flujos subterráneos y superficiales. En dichos sectores es donde se verificó las mayores concentraciones del ion NO₃⁻. Aunque los valores de los indicadores decontaminación orgánica y bacteriológica no excedan notablemente los límites estandarizados, se evidencia un fenómeno de contaminación en proceso, mitigado por las condiciones naturales que le imprimen al sistema una alta tasa de renovación del agua.

El índice de VS fue mayor en aquellos sectores con una precaria disposición de excretas sin cámaras sépticas y por el uso de pozos y perforaciones para consumo de agua, a pesar de la existencia de red de agua potable. La densidad poblacional tuvo un efecto disímil debido a que barrios más densos, en general suelen estar acompañados de red de agua potable y uso de cámara séptica.

Lo anteriormente descrito pone en evidencia la tendencia hacia una situación de posibles efectos sanitarios.

La ubicación de sectores de la población de bajos recursos y por tanto más vulnerables a la degradación ambiental en sectores de mayor amenaza, conlleva a una degradación progresiva de esos sectores de la sociedad, que contribuye a su exclusión social (Sudrez et al., 2004). Por otro lado, el factor cultural asociado al uso de los recursos hídricos tradicionales es transversal a las distintas clases sociales, lo que amerita acciones de concientización generalizadas a toda la población.

De esta manera, este trabajo sienta las bases para la evaluación del riesgo y el establecimiento de un sistema de monitoreo. Además, constituye una herramienta de gestión para lapriorización espacial y temporal de políticas hídricas, habitacionales y sanitarias.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M. P., 2003.

Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Hidrored. Rediris.

Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>, último acceso 10 de Octubre de 2015

AVIGLIANO, E., SCHENONE, N., 2016.

Water quality in Atlantic rainforest mountain rivers (South America): quality indices assessment, nutrients distribution, and consumption effect. Environmental Science and Pollution Research. Environmental Science and Pollution Research.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299610709_Water_quality_in_the_Atlantic_Rainforest_Mountain_Rivers_South_America_quality_indices_assessment_nutrients_distribution_and_consumption_effect, último acceso 10 de Mayo de 2016

- CAPELLO, M., GALASSI, G., VERA, L.M., 2011.
La situación de la vivienda y los servicios sociales básicos: horizontes de largo plazo.
IERAL Documento de Investigación (55). Disponible en: <http://www.ieral.org>, último acceso 08 de Julio de 2015
- CARBALLO, C.T., 2001.
Inundación, degradación urbana y construcción social del riesgo.
Revista Geográfica N°129 enero/junio. Buenos Aires
- COMPAÑÍA ARGENTINA DDE RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y AEROFOTOGRAMÉTRICOS (C.A.R.T.A.), 1962-1963.
Mapa Edafológico de la Pcia. Misiones, Hoja 2754-19-1 y Hoja 2754-19-2, Escala 1:50.000
- HERBST, R., 1971.
Esquema estratigráfico de la Pcia. Corrientes, Arg.
Revista Asociación Geológica Argentina. 24 (2): 221-243
- HERRERO, A. C., 2006.
Tierra: Red temática de ciencias de la tierra.
Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Tcarolina.html>, último acceso 02 de Abril de 2016
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN), 2014.
Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina.
Consultado: 01/07/2015. Disponible en: www.ign.gob.ar
- INSTITUTO PROVINCIAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (IPEC), 2012.
Gran Atlas de Misiones (Versión electrónica).
Disponible en: <http://www.ipecmisiones.com/w1/>, último acceso 08 de Julio de 2015
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC), 2014.
Censo Nac. de Población, Hogares y Viviendas 2010.
Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar>, último acceso 08 de Julio de 2015
- JENKS, G. F., 1977.
Optimal Data Classification for Choropleth maps. Artículo N° 2,
Departamento de Geografía, Universidad de Kansas
- LEY N° 18284, 1969.
Código Alimentario Argentino,
Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada.
Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoal/Ley_18284.pdf, último acceso 29 de noviembre de 2016.
- MASKERY, A., 1989.
El manejo popular de los desastres naturales.
IT. Lima
- MENDIONDO, E. M., TUCCI, C. E., 1997.
Escalas Hidrológicas. II: Diversidade de processos na bacia vertente.
RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 81 - 100.
- PANIGATTI, J.L., 2010.
Argentina 200 años, 200 suelos.
Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp. Ilustraciones y cuadros.
- SUÁREZ, F., CALELLO, T., & LOMBARDO, R., 2004.
La dimensión sociocultural de los problemas ambientales urbanos.
En: M. Di Pace (Ed), Ecología de la ciudad (págs. 231 - 246). Bs. As. Prometeo libros.
- TCHILINGUIRIAN, P., CAVALLARO, S., FRATALOCCHI, C., MARENGO, H., PALMA, Y.I., TEJEDO, A., TOBIO M.I., TOLOCZYKI, M., 2005.
Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial: San Ignacio.
Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), Alemania. Buenos Aires: Rastelli, Daniel C.
- WILCHES-CHAUX G., 1998.
Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y soldador o Yo voy a correr el riesgo.
La Red. Lima
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011.
Guidelines for drinking-water quality 4th edition.
WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Versión electrónica. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf, último acceso 29 de noviembre 2016.



Dispersión de hidrocarburos disueltos en el acuífero freático a partir de la fase libre no acuosa

Dispersion of dissolved hydrocarbons in groundwater from the non-aqueous phase liquid

Lexow, Claudio ¹ ✉ - Pera Vallejos Guillermo ¹ - Tonelli, Stella ² - Carrica, Jorge ¹

Recibido: 30 de noviembre de 2016 • Aceptado: 21 de diciembre de 2016

Resumen

Las estaciones de servicio constituyen una de las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos en el acuífero freático de la ciudad de Bahía Blanca. En los procesos de transporte de hidrocarburos, la adsorción y la dispersión son factores medioambientales determinantes. En este trabajo se intenta determinar, ante diferentes condiciones del subsuelo, el alcance que podría presentar la pluma de contaminación por hidrocarburos disueltos en el acuífero. En principio se analizó el alcance y distribución de la fase libre no acuosa (FLNA) y de los compuestos disueltos en el agua. Por ser el Tolueno el hidrocarburo aromático de mayor presencia en las naftas se llevaron a cabo ensayos de adsorción del mismo mediante experimentos batch para determinar el coeficiente de distribución (K_d). A estos resultados se sumaron los obtenidos a partir de datos tabulados del coeficiente de partición octanol-agua (K_{oc}) y de la fracción de carbono orgánica (f_{oc}) presente en el terreno. Para el cálculo de transporte de tolueno se aplicó la ecuación de transporte advección-dispersión para una fuente continua considerando además el factor de retardo (R). Se seleccionaron dos sitios contaminados por combustibles pozos de monitoreo en los que solo se hubiese detectado productos disueltos. Los resultados muestran baja movilidad de los compuestos disueltos de hidrocarburos en el agua a partir de la FLNA. La aplicación de conceptos de dispersión en el transporte de hidrocarburos disueltos en el agua subterránea resulta de gran utilidad al momento de evaluar el alcance espacial de los mismos y de la FLNA.

Palabras clave: acuífero freático, estaciones de servicio, contaminación, hidrocarburos disueltos.

Abstract

Service stations are one of the main causes of pollution of hydrocarbon groundwater contamination in Bahia Blanca city. Adsorption and dispersion are mainly one of the environmental factors in transport processes. This paper attempts to determine, under different conditions of the subsoil, the scope that could present dissolved oil contamination in the aquifer. At first the extension and

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

✉ lexow@uns.edu.ar

2. PLAPIQUI (UNS-CONICET)
Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253 - Cuerpo C^o. Primer Piso. (8000) Bahía Blanca. Argentina

distribution of the non-aqueous phase liquids (NAPLs) and compound dissolved in groundwater was analyzed. As toluene is the greatest aromatic hydrocarbon percentage in gasolines was taken to adsorption tests by batch experiments to determine the distribution coefficient (K_d). These results were added those obtained from tabulated data octanol-water partition (K_{oc}) and the fraction of organic carbon (f_{oc}) present in the soil. Fate of toluene was calculated with advection-dispersion equation for a continuous source considering retardation coefficient (R). Two contaminated sites were selected and the calculation was carried out between monitoring wells in which only dissolved products were detected. The results show low mobility of hydrocarbon compounds dissolved in groundwater from NAPLs. The application of concepts of dispersion in the transport of hydrocarbons dissolved in the groundwater is very useful when evaluating the spatial extent of dissolved compounds and the NAPLs.

Keywords: *phreatic aquifer, service stations, pollution, dissolved hydrocarbons.*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una de las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas en las áreas urbanas son las producidas por las pérdidas de hidrocarburos a partir de los sistemas de almacenamiento subterráneo de hidrocarburos (SASH) en las estaciones de servicio. A principios de la década del 90 un censo demostró que más del 90% de las estaciones de servicio de Bahía Blanca habían tenido algún problema relacionado con pérdidas de combustible (Lexow, 1994). En la actualidad, y a pesar de los acondicionamientos establecidos por el Ministerio de Energía de la Nación a las estaciones expendedoras, en el registro histórico de la Agencia Ambiental del municipio son varios los casos reportados, en los últimos años, de pérdidas de hermeticidad en los SASH. Las características propias de los combustibles (densidad, volatilidad, solubilidad, etc.) como las del subsuelo (humedad de la zona no saturada, profundidad del nivel freático, permeabilidad, etc.) serán los condicionantes de la distribución, migración y acumulación de los hidrocarburos. Los hidrocarburos derramados en superficie o que se pierden de los SASH son adsorbidos por el suelo y migran verticalmente a través de la matriz del terreno. Dependiendo de los volúmenes derramados pueden alcanzar el acuífero freático y desplazarse por encima de la capa freática siguiendo en general el gradiente de la misma. Esta fracción se denomina fase libre no acuosa (FLNA) que actúa como vector de dispersión de los hidrocarburos disueltos en el agua subterránea. Para determinar la cantidad y distribución de los hidrocarburos en el subsuelo es necesaria la integración de toda esa información. Además depende de los objetivos, si el acuífero es utilizado para el consumo humano se deben considerar valores límites de concentración que no deben ser superados para no comprometer la salud de la población, mientras que si no es usado para abastecimiento debe ser considerada, dada su condición de sustancias inflamables, como generadora de riesgo de incendio y explosión en recintos cerrados tales como cocheras subterráneas, sótanos, cámaras, etc.

El objetivo en el presente trabajo es analizar la distribución y alcance de los hidrocarburos disueltos a partir de la fase libre no acuosa, tomando de ejemplo al Tolueno por ser el hidrocarburo aromático de mayor presencia en las naftas. Ese modelo de transporte podría generar argumentos que contribuyan a definir y/o optimizar, en cuanto a número y ubicación, la red de pozos de monitoreo.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este trabajo se analizan dos situaciones que se encuentran en el ámbito de la ciudad de Bahía Blanca, provincia

de Buenos Aires. El primero denominado Caso 1 está ubicado en un área netamente residencial y céntrica, mientras que el Caso 2 se localiza en el sector industrial del sur de la localidad (Figura 1). Los datos de campo evaluados fueron suministrados por la Municipalidad de Bahía Blanca.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

El acuífero freático subyacente a la localidad de Bahía Blanca se caracteriza por presentar diferentes condiciones hidrogeológicas dada las importantes variaciones formacionales del subsuelo. En principio se destacan los “sedimentos pampeanos” (loess) que se encuentran ampliamente distribuidos en toda la región en posición aflorante o subaflorante y conforman el acuífero libre de la zona Norte y Este de la ciudad. Están compuestos principalmente por arenas finas y arenas limo arcillosas cementadas por carbonato de calcio, presentando comunes zonas de entoscamiento que la tipifican. Presenta frecuentes anisotropías hidrolíticas locales dando lugar a una alternancia de niveles acuíferos-acuitados que desde el punto de vista hidrogeológico regional, se comportan como un solo sistema de transmisión de agua más o menos homogéneo, pobremente acuífero o acuitado. La permeabilidad no sobrepasaría los 0,5 m/d pero localmente podrían alcanzar máximos del orden de 5 a 10 m/d (Sala, 1975).

Sobre la margen derecha del A° Napostá y hasta aproximadamente la cota de 10 m.s.n.m., por debajo de un suelo somero y sobre los sedimentos pampeanos, existe un conjunto de sedimentos cuya potencia puede alcanzar hasta los 10 metros y que corresponderían a la Formación Bahía Blanca, edad Holoceno (Fidalgo, 1983) y de características acuíferas. Se trata de arenas medianas a finas calcáreas, friables y sin estratificación que alternan con arenas gruesas y gravas con rodados angulosos de cuarcitas y conchillas de moluscos continentales.

Las arenas fluviales con rodados de cuarcitas se adjudican a antiguas llanuras de inundación de los A° Napostá Grande y Maldonado. A pesar de la heterogeneidad litológica de la unidad, desde el punto de vista hidrogeológico, todo el conjunto se comporta como un acuífero somero de buena permeabilidad con caudales específicos variables entre 0,5 y 5 m³/h por metro de depresión. La profundidad del nivel freático en el área de Bahía Blanca, se ubica entre los 3 y 5 metros dependiendo de la estación del año y de la alternancia anual de los ciclos pluviométricos.

Hacia la costa y por debajo de la cota de 10 m.s.n.m. aproximadamente, sobre los sedimentos pampeanos yace, en discordancia erosiva, el nivel arenoso marino, innominado, de

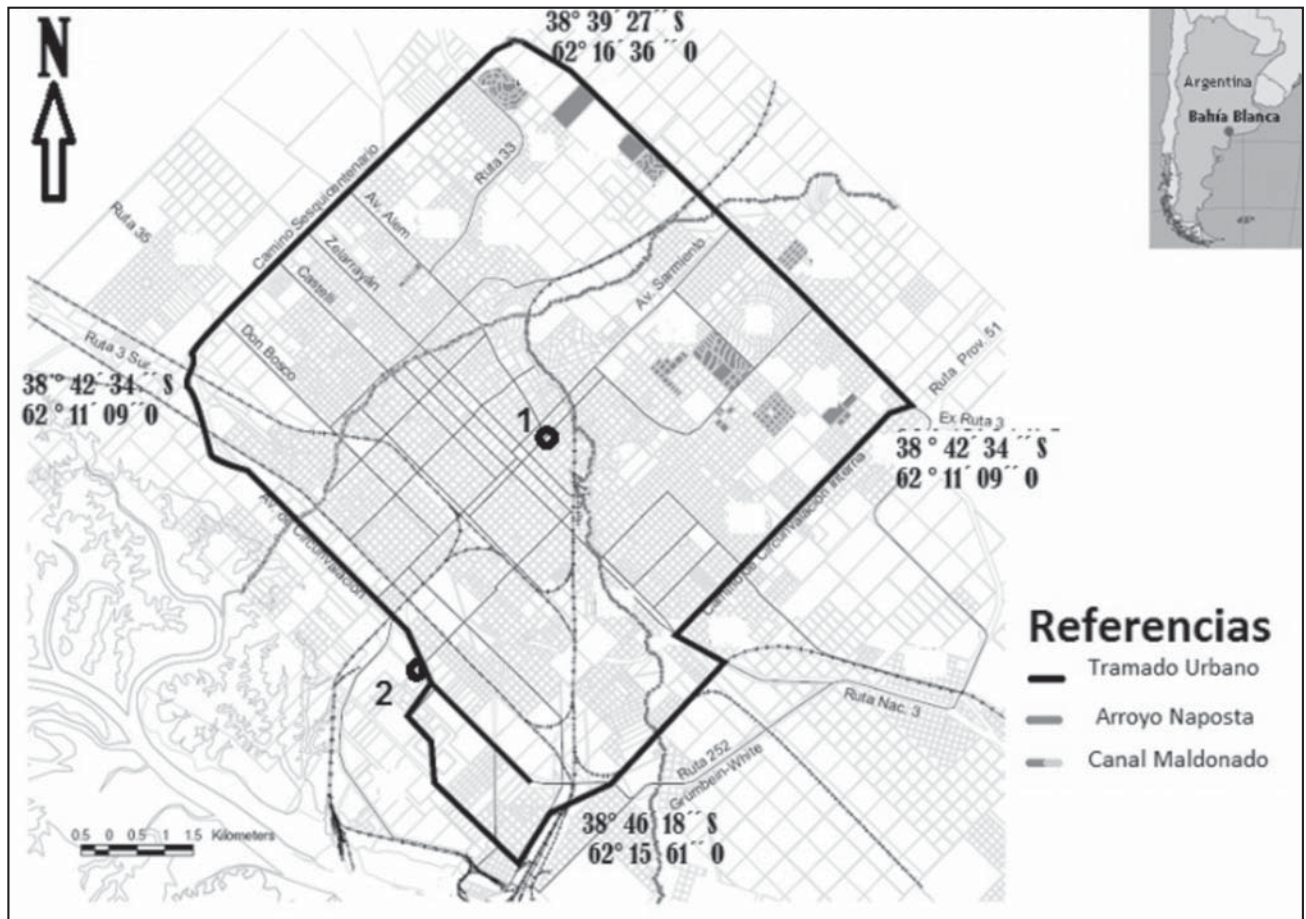


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio.

edad pleistocena (Chaar et al., 1992; Lafont, 2009). Este nivel está constituido por arenas de playa, a veces sueltas y limos arenosos subordinados, cementados por carbonato de calcio y se caracteriza por presentar abundantes restos de conchillas. Hacia el norte, se acuña sobre los sedimentos pampeanos y hacia el sur continúa por debajo de la Fm Maldonado. Estos sedimentos poseen, en su conjunto, buena permeabilidad y alojan al acuífero freático del sector, el cual se encuentra a escasa profundidad (1 a 3 metros).

En el área costera, este nivel se halla cubierto por una secuencia, de hasta 15-20 metros de espesor, de arena mediana a fina gris oscura, a veces suelta, que pasa transicionalmente en los términos superiores, a limos arenosos y a arcillas limosas de origen marino. Estos corresponden a la ya descrita Formación Maldonado, de edad Pleistoceno superior-Holoceno (Fidalgo, 1983), la que conjuntamente con el nivel marino antes descrito y a la porción superior de los sedimentos pampeanos, contienen al acuífero libre costero.

MARCO TEÓRICO

Al producirse una pérdida o un derrame, los hidrocarburos comienzan a migrar, a través de la zona no saturada (ZNS), principalmente debido a las fuerzas de gravedad. Además intervienen en el proceso los efectos capilares del terreno poroso, la porosidad, la permeabilidad y parámetros como la densidad y la viscosidad de los hidrocarburos.

Newell et al. (1995) definieron cuatro fases en los que los constituyentes de hidrocarburos livianos pueden encontrarse en el subsuelo: 1) Fase aire-vapor en el espacio poral; 2) Fase acuosa, disuelta en agua; 3) Fase líquida, hidrocarburos en fase libre o móvil; 4) Fase adsorbida en el subsuelo o saturación residual. Al llegar a la zona saturada y encontrarse dos fases fluidas no miscibles entre sí, agua y combustible, esta última por presentar una densidad menor se desplaza por sobre el agua constituyendo la fase libre no acuosa (FLNA). El desplazamiento de la FLNA a través de la franja capilar es complejo debido a la competencia entre las fases (aire-agua-combustible) y genera condiciones propicias para incrementar la disolución de los hidrocarburos (Dobson et al., 2007). El modo de transporte y destino de los hidrocarburos, además de los parámetros antes mencionados, está dado por parámetros fisicoquímicos como: la solubilidad, el coeficiente de partición octanol-agua Kow, el coeficiente de distribución Kd, coeficiente de distribución aire-agua Kaw que depende de la constante de Henry y la presión de vapor que a su vez están relacionadas con el peso molecular (Lovanh et al., 2000). El coeficiente de partición octanol-agua indica el grado de lipoafinidad e hidrofobicidad de un compuesto, es decir señala el potencial de incorporación a los tejidos vivos (Green y Karickhoff, 1990).

Otro parámetro importante es el factor de retardo (R) que describe el grado en que los contaminantes disueltos pueden ser retrasados por la adsorción a la matriz del acuífero. El grado de retraso depende tanto de las propiedades de los

compuestos contaminantes como las del acuífero. El factor de retardo representa la relación entre la velocidad real del agua subterránea (v) y la velocidad promedio de un contaminante que migra (v_c) (Freeze y Cherry, 1979). El factor R depende del coeficiente de partición, la densidad aparente del sedimento acuífero (ρ_a) y la porosidad eficaz (n_e) y suponiendo equilibrio lineal local para la adsorción está dado por:

$$R = \frac{v}{v_c} = 1 + \frac{\rho_a K_d}{n_e} \quad (1)$$

Se debe recordar que R para un contaminante disuelto caracteriza el flujo advectivo de la línea de isoconcentración correspondiente al 50% ($C/C_0 = 0,5$, donde C_0 : concentración inicial y C : concentración a una distancia transcurrido un tiempo) de la concentración de una fuente constante (Figura 2), es decir el centro de masa de una pluma contaminante que se mueve sometida al proceso de adsorción (Freeze y Cherry, 1979). Debido a que algunas moléculas contaminantes migran más allá de esta posición debido a la dispersión, la primera aparición de un contaminante en bajas concentraciones, en algún pozo de monitoreo aguas abajo, tendrá lugar antes que el tiempo señalado por v_c .

La adsorción es el proceso más importante que afecta el transporte de los hidrocarburos en el ambiente subterráneo y es considerada, para un contaminante orgánico no polar, un proceso de equilibrio-partición entre la fase acuosa y el medio poroso. Cuando la concentración del soluto es baja (o menor que la mitad de la solubilidad), la partición puede describirse usando la isoterma lineal, donde la concentración sorbida (C_s) es una función de la concentración acuosa (C_e) es decir $K_d = C_s/C_e$ (cm^3/gr). Depende en gran medida del contenido de arcillas y/o materia orgánica de la fracción sólida y puede ser determinada en el laboratorio a través de ensayos batch. Los datos de la concentración en la fase acuosa versus la cantidad sorbida en la fase sólida se representan gráficamente (Chin et al., 1988).

El mecanismo primario de la adsorción mecánica es la formación de un enlace hidrofóbico entre un contaminante y la materia orgánica natural asociada al acuífero. Por lo tanto, la adsorción de una sustancia específica se puede estimar del contenido de carbono orgánico en los materiales del acuífero (foc) y una constante de proporcionalidad característica de la sustancia química (koc), $K_d = koc \cdot foc$ si el contenido orgánico es suficientemente alto ($foc > 0,001$) (Karickhoff, 1984). Cuanto mayor es koc mayor es el grado de afinidad con la fracción de carbono orgánica del suelo (ASTM, 1998).

El movimiento advectivo de un contaminante que se mueve en el acuífero es descrito matemáticamente por la dirección y la magnitud de la velocidad del centro de la masa disuelta. Las condiciones naturales: tortuosidad del medio poroso, heterogeneidades litológicas etc., generan para diferentes escalas un proceso de mezcla que en términos de transporte se denomina dispersión, y es tratado comúnmente como un proceso expresado por la primera ley de Fick. La tortuosidad provoca una mezcla y resulta en el transporte de la sustancia desde zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración.

Una solución analítica a la ecuación de transporte considerando además el factor de retardo es la ecuación de advección-dispersión para una fuente continua, que se conoce como ecuación de Ogata-Banks (Freeze y Cherry, 1979).

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[\text{erfc} \left(\frac{Rx - vt}{2\sqrt{R\alpha_l vt}} \right) \right] \quad (2)$$

Esta ecuación permite calcular la concentración de una sustancia a una distancia (x) en un tiempo (t). Está en función del factor de retardo (R) y de la dispersividad longitudinal (α_l), si se considerara solo una dimensión. La dispersividad es escala dependiente, aumenta con la distancia, así $\alpha_l = 0,1 \cdot x$ (10% de la distancia recorrida) (Gelhar et al. 1992). El argumento de la función de error complementario (erfc), que aparece en la ecuación de advección-dispersión, es una función tabulada, por lo que gráficos o tablas entregan directamente los valores numéricos. Más allá del frente advectivo, donde $x \gg vt$, el argumento es positivo y tiende a infinito, por lo que $\text{erfc}(\infty) = 0$ y, de la

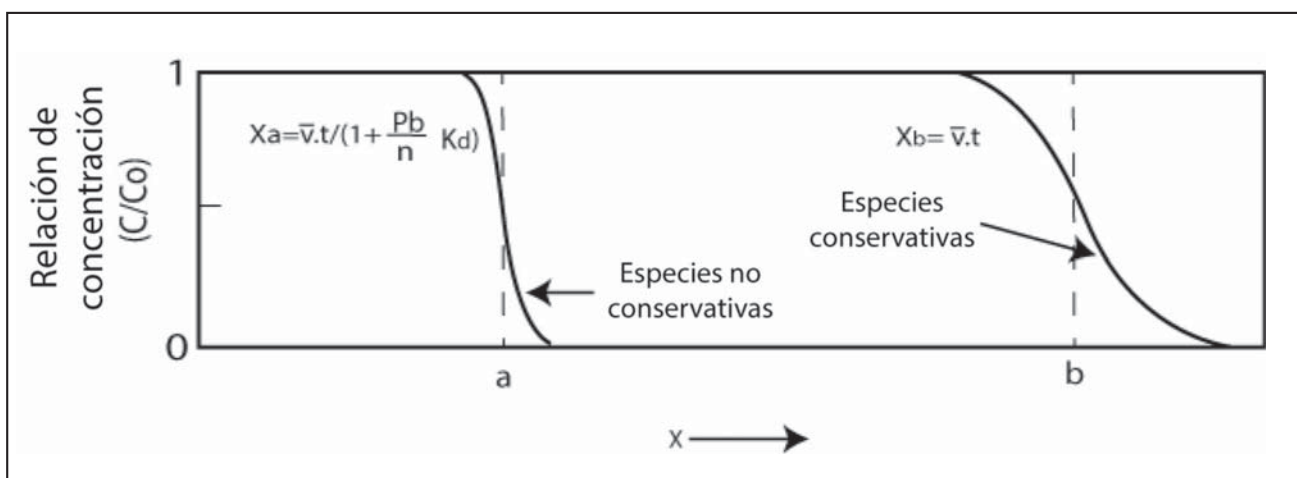


Figura 2. Frente de avance de un soluto no adsorbido (conservativo) y otro adsorbido (no conservativo) a través de una columna de material poroso (Fuente: Freeze y Cherry, 1979).

ecuación (2) $C = 0$. En otras palabras, el punto de observación se encuentra tan lejano de la zona de dispersión que no se ha generado mezcla y solo se observa la concentración original del agua subterránea. Es decir que el modelo de transporte que se aplicará a los dos casos incluirá el retardo R y la dispersividad longitudinal α_L .

DESARROLLO Y RESULTADOS

Los estudios de adsorción pueden llevarse a cabo mediante experimentos denominados en batch (por lotes). Se basan en la agitación de una disolución acuosa conteniendo el hidrocarburo, con una cantidad determinada de suelo y luego de un tiempo, durante el cual se supone que se alcanza el equilibrio, se determina la concentración del hidrocarburo en el líquido sobrenadante (C_e), considerando que la diferencia entre ésta y la concentración inicial es la cantidad de hidrocarburo adsorbido en el suelo (C_s). Con los datos experimentales obtenidos, se puede calcular el K_d (cm^3/gr). Estas experiencias suelen presentar complicaciones sobre todo cuando se trata de compuestos orgánicos volátiles. En laboratorio se alcanzaron algunos resultados para las formaciones Maldonado y Pampiano que arrojaron unos K_d de 2,5 y 4,4 respectivamente. En ambos casos los valores ploteados presentaron un cierto grado de curvatura lo que podría indicar un mejor ajuste a la isoterma de Freundlich. Sin embargo, para el rango de concentraciones ensayadas, muy inferior a su solubilidad 526 mg/l (Saval et al., 2004), podría aplicarse, en general, el valor de las isotermas lineales. Por las dificultades observadas su aplicación directa es dudosa, razón por la cual se plantea una medida alternativa para su valoración.

Existen numerosas fuentes con valores tabulados de los coeficientes K_{ow} y k_{oc} y relaciones matemáticas entre los mismos y el K_d , para llegar a ello es necesario la aplicación del foc (Tabla 1).

Tabla 1. Características físicas y contenido de carbono orgánico

Formación	f_{oc}	% arcilla	% limo	% arena
Maldonado	0,0052	10	8	82
Pampiano	0,0088	22	46	34

Una relación probada es la propuesta por Scharzenbach y Westall (1981):

$$\log k_{oc} = 0,72 (\log K_{ow}) + 0,5 \quad (3)$$

Según Saval et al. (2004) para el tolueno corresponde $\log K_{ow} = 2,8$, por lo tanto aplicando la ecuación (3) $k_{oc} = 328$ (cm^3/gr).

Caso 1

En este sitio los sedimentos atravesados corresponden a un ambiente fluvial, que corresponderían a la Formación Bahía Blanca (Fidalgo, 1983), donde se han identificado numerosos paleocanales (determinados por tomografía eléctrica) de arenas con gravas, fragmentos de cuarcitas y calcáreos rodeados por sedimentos arcillosos y limos. Resulta así una significativa heterogeneidad hidráulica condicionante del transporte de solutos.

La profundidad del nivel freático promedio medido fue de 2,1 mbbp, y la dirección general del flujo subterráneo hacia el Sur (Figura 3). En el mes de septiembre de 2012 se detectó FLNA en los pozos de monitoreo instalados en los alrededores de los SAHS de la estación de servicio. A posteriori, en otros pozos construidos para delimitar el alcance de la FLNA, se la identificó en la dirección del flujo subterráneo hasta una distancia de 40 metros (PM 2) de la estación de servicio. Es decir que la afectación en el subsuelo, excedió los límites del predio donde se desarrolla la actividad.

Desde la primera detección, que tuvo lugar en los pozos PAD 8 y PAD 13, se ejecutaron más perforaciones a fin de delimitar el alcance de la FLNA y poder establecer medidas tendientes a su extracción. Hacia septiembre de 2013 en la mayoría de los pozos se había detectado FLNA en espesores relativos muy variables, desde 1 cm (PM 4, PADp 4, PADp 5) hasta 58 cm (PAD 15). No se detectó FLNA en los pozos PM 1, PM 3, PM 5, PM 6, PM 7, y PAD 12A.

Mediante un equipo vactor móvil se extrajeron, desde las perforaciones que acusaron presencia de FLNA, diversas cantidades de combustible que totalizaron los 1.240 litros. Por ejemplo del PM 2 se extrajeron 13,5 litros entre junio 2013 a marzo 2014. Como en el PM 7 no se detectó FLNA se decidió aplicar el modelo de transporte por dispersión para determinar si el combustible solo había alcanzado el PM 2 o se encontraba más allá según el gradiente hidráulico. Los fundamentos matemáticos y físicos del modelo se adaptan pues ambos pozos están localizados en un paleocanal (Figura 3). El PM 7 se encuentra a 11 metros de distancia aguas abajo y se ha detectado solo hidrocarburos disueltos, entre ellos Tolueno.

Hidrogeológicamente ese sector se caracteriza por presentar una permeabilidad medida de 1 m/d, un gradiente hidráulico promedio $i = 0,01$ y una porosidad eficaz $ne = 0,20$. Dichos parámetros determinan una velocidad real del flujo subterráneo de $v = 0,05$ m/d. Luego, considerando el contenido de carbono orgánico $f_{oc} = 0,005$ (Tabla 1) se obtiene un coeficiente de distribución $K_d = 1,64$ y aplicando (1) para una densidad aparente $\rho_a = 1,4$ gr/cm^3 resulta $R = 12,48$. Es decir la velocidad media de la curva de isoconcentración de 50% del tolueno ($C/C_0 = 0,5$) sería $V_c = 0,004$ cm/d. De esta manera, considerando el tiempo transcurrido, desde la aparición de la FLNA en PM 2 (junio 2013) hasta la aparición de los compuestos disueltos, 0,22 mg/l, en el PM 7 (mayo de 2014), de aproximadamente unos 330 días, la misma se encontraría a 1,32 m de distancia del PM 2.

Aún aplicando una dispersividad longitudinal $\alpha_L = 1$ m, valor elevado para esas distancias (Lovanh et al., 2000) de la ecuación (2) resulta que en el pozo PM 7 no se debería haber detectado tolueno en fase disuelta. Por lo tanto la FLNA, fuente continua de tolueno en solución, debería encontrarse a una distancia de 4 metros del PM 7 (Figura 4).

Caso 2

Los sedimentos identificados en el área corresponden a arenas y limos arenosos friables, en la base algo calcáreos. La profundidad media del nivel freático es de 1,27 m y la dirección general del flujo subterráneo es sur (Figura 5). En este sitio, para el mes de mayo de 2012, no se había registrado FLNA en ninguno de los pozos de monitoreo aunque sí tolueno, salvo en el PM 5 y PM 6 (este último al NE del PM 4 y fuera del área representada en la figura). Las concentraciones fueron muy variables, desde 21,7 mg/l en PM 1, hasta 0,03 mg/l en PM 4.

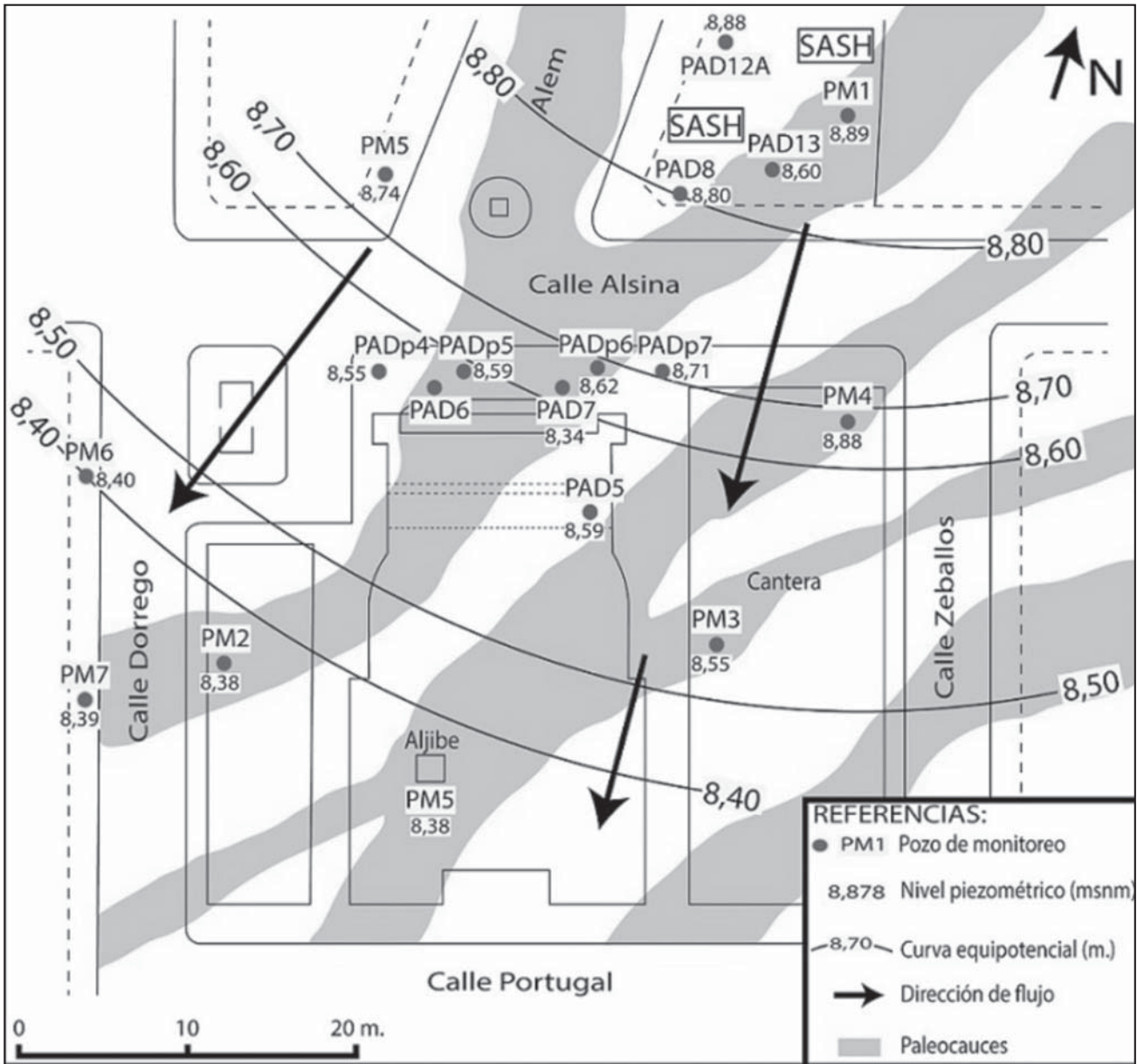


Figura 3. Dirección de flujo subterráneo.

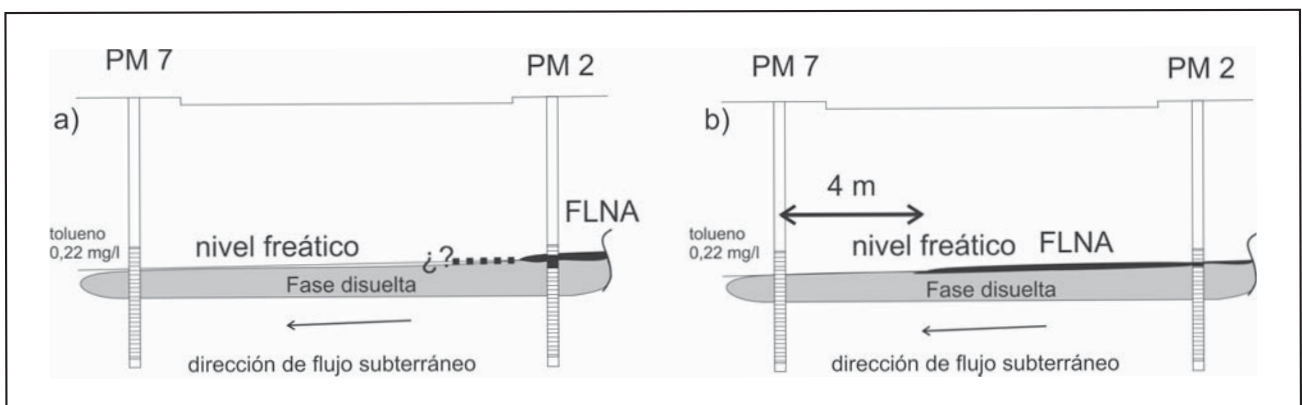


Figura 4. Situación inferida originalmente (a) y la estimada al aplicar el concepto de flujo dispersivo (b).

A diferencia del caso 1, el área afectada está comprendida dentro del perímetro de la empresa comercializadora de combustible. A los efectos de la elaboración de un modelo hipotético de transporte los puntos de aporte o fuentes de producto disuelto pueden ser más numerosos y podrían comprender: FLNA sobrenadante en el acuífero, hidrocarburos en saturación residual en la zona no saturada y aportes por vuelcos o derrames no registrados distribuidos de manera aleatoria.

Las detecciones de FLNA tuvieron lugar en los pozos PM 2, PM 4 y PM 11 que corresponden al sector de despacho de diesel ubicado al oeste del predio. Los pozos en donde se detectaron concentraciones de combustible disuelto y entre ellos tolueno fueron todos menos el PM 5 y PM 6.

En este caso, para la elaboración del modelo de transporte, se evalúa zona de pérdidas de combustibles el sector de despacho de naftas que genera una FLNA a partir de la cual se disuelven los hidrocarburos. Se toma como referencia el PM 9 que está ubicado a unos 15 metros aguas abajo según el flujo subterráneo en donde solo se comprobó fase disuelta (Figura 5). Hay que destacar que en el PM 3, próximo al despacho de naftas, solo se detectó producto disuelto.

Esta zona presenta un gradiente hidráulico promedio de $i = 0,005$, una permeabilidad determinada de 1 m/d y una

porosidad eficaz $n_e = 0,20$. Estos parámetros arrojan una velocidad real del flujo subterráneo $v = 0,025$ m/d. Luego, considerando un contenido de carbono orgánico $f_{oc} = 0,005$ se obtiene $K_d = 1,64$ y aplicando (1) con $p_a = 1,4$ gr/cm³ resulta $R = 12,48$. Es decir la velocidad media de la curva de isoconcentración de 50% del tolueno ($C/C_0 = 0,5$) sería $V_c = 0,002$ m/d.

Si, por ejemplo, se toma un tiempo de tránsito aproximado de 360 días, la curva $C/C_0 = 0,5$ se encontraría a 0,72 m de distancia de la fuente. De acuerdo a la ecuación (2) y si en el PM 9 se detectaron 0,13 mg/l, considerando también una dispersividad longitudinal $\alpha_l = 1$ m, resulta que la fuente de FLNA debería encontrarse a 2,8 m de distancia de dicha concentración (Figura 6).

Los resultados indican que pudieron haber existido al menos dos fuentes de FLNA: pérdidas o filtraciones desde superficie y/o roturas de los SASH (Figura 6b). Las primeras, aunque no hayan alcanzado la capa freática, contribuyen por lixiviación de los hidrocarburos solubles por parte del agua infiltrada al entrar en contacto con la fracción retenida como saturación residual. Las originadas a partir de pérdidas directas de los SASH podrían haber provocado la migración de la FLNA a través de vías preferenciales, cambios texturales en el sedimento acuífero, por sectores próximos al PM 3, que hayan permitido su desplazamiento hasta proximidades del PM 9.

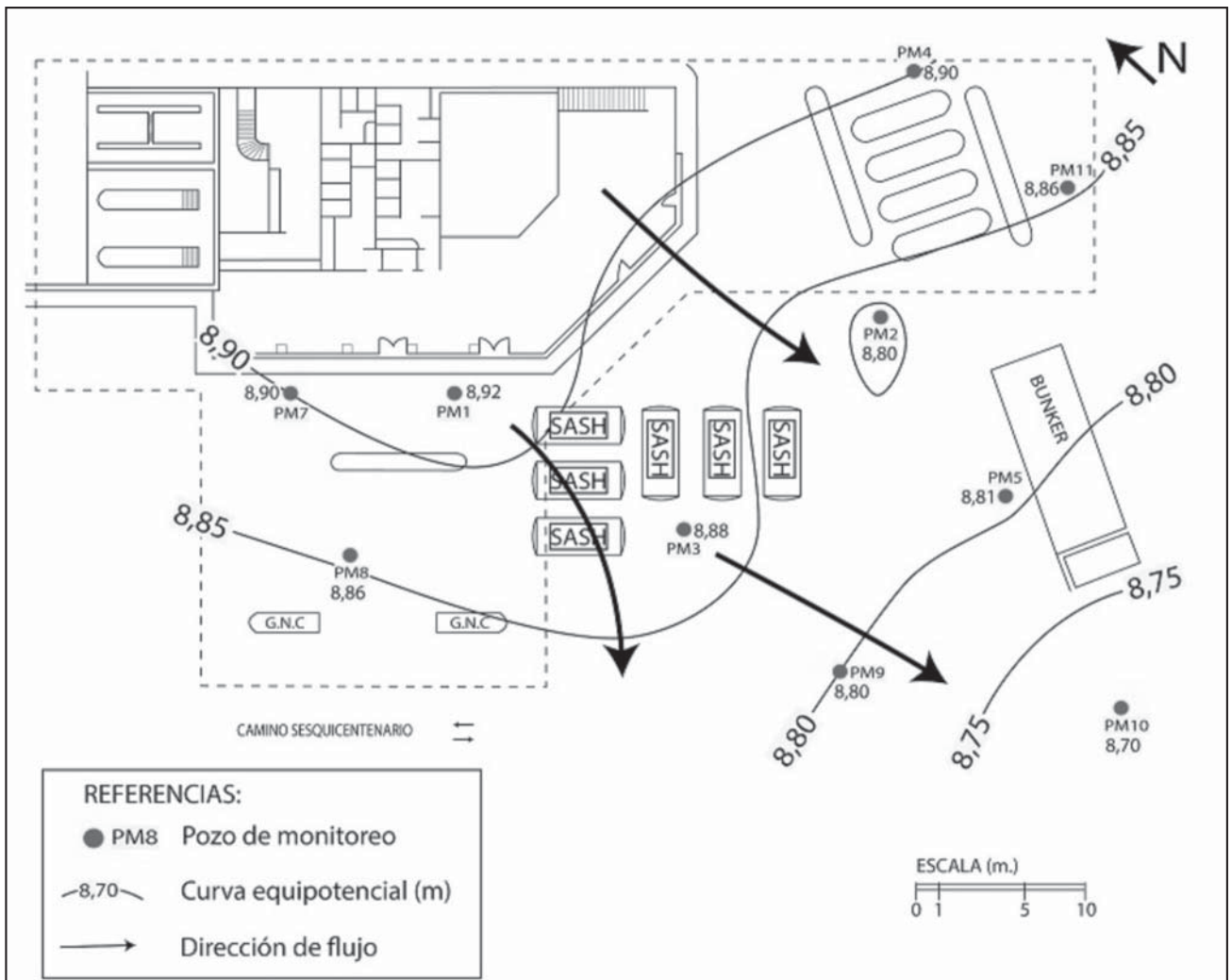


Figura 5. Dirección de flujo subterráneo.

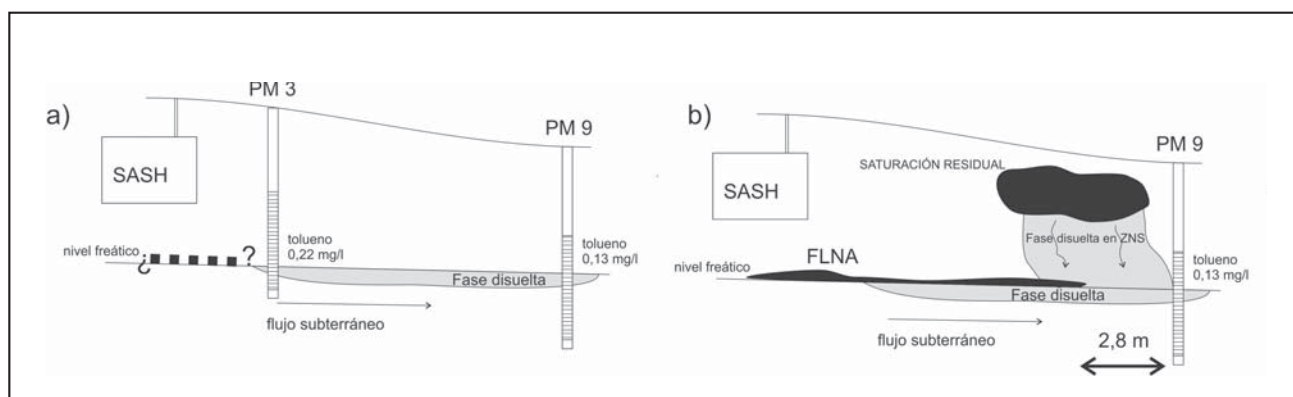


Figura 6. Situación inferida originalmente (a) y la estimada al aplicar el concepto de flujo dispersivo (b).

CONCLUSIONES

La aplicación de conceptos de dispersión en el transporte de hidrocarburos disueltos en el agua subterránea puede ser de gran utilidad al momento de evaluar el alcance espacial de los mismos.

En aquellos pozos donde solo se ha determinado fase disuelta, en este caso tolueno como indicador, se comprobó que

la FLNA, fuente de dichos productos, ocuparía un área superior a la determinada físicamente a través de los sondeos mecánicos.

Los resultados demuestran que el uso de estos modelos contribuye, con fundamentos criteriosos, en la planificación de un programa de ampliación de una red de pozos de monitoreo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ASTM, 1998.
Annual Book of ASTM Standards: Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites (Designation: E 1943-98).
American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 11.04: 875-917.
- CHAAR, E, FARINATI, E., ALIOTTA, S. Y TASSONE, A., 1992.
Pleistoceno marino al sur de la ciudad de Bahía Blanca.
Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas, 59-62. La Plata, Argentina.
- CHIN, Y.P., PEVEN, C.S. Y WEBER, JR. W.J., 1988.
Estimating Soil/Sediment Partition Coefficients For Organic Compounds By High Performance Reverse Phase Liquid Chromatography.
Water Resources. (2):7, 873-881.
- DOBSON, R., SCHROTH, M.H. AND ZEYER, S., 2007.
Effect of water-table fluctuation on dissolution and biodegradation of a multi-component, light nonaqueous-phase liquid.
Journal of Contaminant Hydrology. 94 235-248
- FIDALGO, E, 1983.
Geología y geomorfología del área White-Cerri y los alrededores de Bahía Blanca.
Comisión Estudio Suelos White-Cerri. MOP de la provincia de Bs. As. Informe Final (Inédito) La Plata.
- FREEZE, R.A. Y CHERRY, J.A., 1979.
Groundwater.
Prentice Hall Inc. 604p.
- GELHAR, L. W., WELTY, C. AND REHFELDT, K. R., 1992.
"A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers".
Water Resources Research 28 (7): 1955-1974.
- GREEN, R.E. Y KARICKHOFF, S.W., 1990.
Sorption estimates for modeling.
In: The soil environment, SSSA Book Series, n° 2, Soil Science Society of America, Madison, 79-101.
- KARICKHOFF, S.W., 1984.
Organic pollutant sorption in aquatic systems.
Journal of Hydraulic Engineering. 110 (6), 707-735.

- LAFONT, D., 2009.
Identificación y caracterización de contaminantes metálicos en el acuífero costero del área industrial de Bahía Blanca.
Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Inédita. 137 pp y Anexos.
- LESSER, J.M., 1995.
Prospección de Contaminación de Acuíferos por Hidrocarburos.
Revista del Colegio de Ingenieros Geólogos de México. Vol. 1, Núm. 6, 5-8.
- LEXOW, C., 1994.
Las Estaciones de Servicio como fuentes de Contaminación del Agua Subterránea.
Revista Museo de Ciencias, Año II (3): 4-8. Bahía Blanca.
- LOVANH, N., ZHANG, Y.K, RICHARD, C., HEATHCOTE, R.C. Y ALVAREZ, P.J.J., 2000.
Guidelines to Determine Site-Specific Parameters for Modeling the Fate and Transport of Monoaromatic Hydrocarbons in Groundwater.
IOWA Comprehensive Petroleum Underground Storage Tank Fund Board. 55 pp.
- NEWELL, C. J., ACREE, S. D., ROSS, R. R. Y HULIN, S. G., 1995.
Light Non-Aqueous Phase Liquids.
EPA Ground Water Issue, EPA/540/S-95/500. 28 pp.
- SALA, J. M., 1975.
Recursos hídricos de la provincia de Buenos Aires, especial mención de las aguas subterráneas.
VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca, Relatorio: 169-193.
- SAVAL, S., GUERRERO, F., LESSER, J.M. Y NIETO, J.M., 2004.
Contaminación de acuíferos con hidrocarburos: causas, efectos, riesgos asociados y medidas de prevención.
En: El Agua en México vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias. México D.F., 403 pp.
- SCHWARZENBACH, R.P., WESTALL, J., 1981.
Transport of nonpolar organic compounds from surface water to groundwater.
Laboratory sorption studies. Environmental Science and Technology. 15 (11): 1360-1367.



Caracterización geoelectrica, hidrodinámica e hidroquímica del acuífero pampeano y su relación con el arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires

Geoelectrical, hydrodynamic and hydrochemical characterization of the pampeano aquifer and its relation with Pergamino creek, province of Buenos Aires

Ruiz, María Soledad ¹ ✉ - Perdomo, Santiago ^{1,2} - Calahorra Fuertes, Patricia ¹ - Ainchil, Jerónimo ¹ - Villarreal, Julio ³

Recibido: 13 de diciembre de 2016 • Aceptado: 23 de diciembre de 2016

Resumen

La zona de Pergamino pertenece al sector noreste de la provincia de Buenos Aires, de gran importancia económica debido a la actividad agroindustrial y cuyo desarrollo depende fundamentalmente de la disponibilidad de recursos hídricos. El análisis de la relación agua superficial - subterránea en zonas de sobreexplotación constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones vinculadas a la gestión, el manejo y aprovechamiento sustentable del recurso. Con la finalidad de profundizar en el conocimiento de la relación existente entre el Arroyo Pergamino y el agua subterránea que caracteriza al acuífero Pampeano se diagramaron un conjunto de tareas que incluyeron la exploración del subsuelo mediante sondeos eléctricos verticales (SEV), el relevamiento y muestreo de una red de monitoreo, integrada por pozos ubicados en la zona urbana y rural; que fueron comparados con puntos de muestreo de agua superficial a largo del cauce del arroyo. Los resultados evidencian una superficie potenciométrica de morfología radial convergente, con dirección del flujo subterráneo hacia el curso de agua. La dinámica natural se encuentra puntualmente influenciada por el desarrollo de actividades antrópicas vinculadas al bombeo de pozos ubicados en la zona urbana, que generan una inversión del gradiente natural. Los valores analíticos indican una predominancia de aguas de composición bicarbonatada sódica, que hacia la zona urbana presenta características bicarbonatadas cloruradas sódicas, reflejando cierta similitud con el agua superficial del arroyo de composición netamente clorurada sódica y/o magnésica.

Palabras clave: *Relación agua superficial-subterránea, Arroyo Pergamino, Acuífero Pampeano.*

1. Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Monteagudo 2772, Pergamino, 2700, Argentina. Tel: +54 2477 409500

✉ ruizsoledad@gmail.com

2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de investigación y transferencia del noroeste de la provincia de Buenos Aires (CITNOBA)

3. Municipalidad de Pergamino. Dirección de Obras y Servicios Sanitarios.

Abstract

Pergamino city is a very important agro industrial center of the northwestern region in the province of Buenos Aires. The development of these activities relies on the availability and access to water supply resources. The analysis of the relationship between superficial and groundwater in areas with high demands and even over exploitation, it is an important tool for making a sustainable use and management of water resources. The main objective of this work was to update and assess the relation between surface water from Pergamino creek and groundwater from the Pampeano-Puelche aquifer system. A geoelectric survey was performed using vertical electrical soundings (VES), groundwater samples were collected and depth of water was measured in wells distributed in rural and urban areas. Also samples from the creek were analyzed. Results showed that there is a radial convergent flow of water towards the creek. It was verified that pumping wells in the city modified the natural gradient. According to laboratory tests groundwater can be classified as sodium bicarbonate water, while in the city are more sodium bicarbonate chloride type. Similar characteristics were found in the Pergamino creek, which are sodium and magnesium chloride.

Keywords: Relationship surface water - groundwater, Pergamino creek, Pampeano aquifer.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En la región Pampeana, la principal fuente de agua para consumo humano, uso agrícola y ganadero lo constituye el sistema de acuíferos Pampeano-Puelche (Reynoso et al., 2010).

La actividad principal de la zona es la agricultura, con bajo porcentaje de riego por aspersión (Reynoso y Andriulo, 2009) y en menor medida la ganadería.

En particular, en el partido de Pergamino el acuífero Pampeano resulta la única fuente de provisión de agua dulce subterránea debido a que el acuífero Puelche presenta un elevado contenido salino que le otorga condiciones poco favorables para su utilización. La ciudad posee un parque industrial de 70 hectáreas sobre la margen del arroyo homónimo, junto a una planta de tratamiento de residuos y de aguas cloacales.

La presencia de elevadas concentraciones de arsénico y nitratos, relacionadas a factores naturales y antrópicos, define la calidad y aptitud del recurso subterráneo en el ámbito de estudio.

El arroyo Pergamino atraviesa el área en dirección noroeste-sureste, reviste carácter permanente y representa el único curso de importancia en la zona. Presenta un contenido salino relativamente alto, aunque se considera probable la existencia de procesos de dilución de sales debido al aporte de la freática a lo largo de su trayecto (Bertol de los Santos, 1988).

El objetivo del siguiente trabajo es la validación del modelo conceptual hidrogeológico de la zona próxima a la ciudad de Pergamino. Para este fin se realiza una prospección geoelectrica del sistema, y una caracterización geoquímica e hidrodinámica del agua subterránea y su vinculación con el agua superficial del arroyo Pergamino.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se localiza en la cuenca media del arroyo Pergamino, al noroeste de la provincia de Buenos Aires. Abarca un área aproximada de 500 km² que se extiende a partir de un radio de 10 km desde la ciudad homónima (Figura 1).

El clima es templado, con una temperatura media de 16 °C y una precipitación media anual de aproximadamente

970 mm, que definen períodos húmedos de 5 - 15 años y secos de 10 años (Sainato et al., 1997; Heredia, et al. 2010).

El arroyo Pergamino tiene su origen en los esteros del Juncal y adquiere su nombre a partir de la laguna El Pescado, desde la cual recorre aproximadamente 100 km hasta su desembocadura en el Río Arrecifes. En el transcurso recibe del aporte de pequeños cursos de carácter temporario (Botija y ChuChu) y permanente (Tambo Nuevo), al igual que efluentes de actividades agrícolas, urbanas e industriales desarrolladas a lo largo de sus márgenes (Heredia et al., 2010).

En relación a la región geomorfológica se ubica en la Llanura Pampeana, dentro de la subregión denominada Pampa Ondulada. Hacia el noreste se localizan los mayores valores de cota topográfica, del orden de 80 msnm, los cuales disminuyen hacia el oeste y sur, donde alcanzan 50 msnm definiendo una pendiente general igual o inferior al 2 %.

Los sedimentos que integran la columna estratigráfica se reconocen a través de un conjunto de perforaciones realizadas en la ciudad de Pergamino, por la Dirección de Obras y Servicios Sanitarios, y en las localidades de Acevedo y Guerrica, por la Dirección de Minas de la Provincia de Buenos Aires. Sobre la base de antecedentes referidos a Bertol de Santos (1987) y Santa Cruz (1988), se identifican materiales de edad terciaria y cuaternaria, integrados de base a techo por las siguientes formaciones:

- Formación Olivos o Mioceno Rojo: Areniscas arcillosas y arcillas arenosas rojizas de origen continental, con participación eólica y fluvial, que se disponen a una profundidad mayor a - 100 msnm (reconocido en la perforación hasta - 110 msnm).
- Formación Paraná o Mioceno Verde: Secuencia marina de arcillitas, arenas arcillosas y arenas con grava, de coloración verde azulada, con niveles calcáreos y yesíferos. Presenta un espesor variable de 70 m que se dispone a partir de - 30 msnm.
- Arenas Puelches: Arenas cuarzosas, medianas y finas de color amarillento y blanquecino, con espesores entre 10 m y 25 m, que se ubican a una profundidad de - 25 msnm.
- Sedimentos Pampeanos: Integrado por limo con fracciones subordinadas de arena y arcilla, de tonalidad cas-

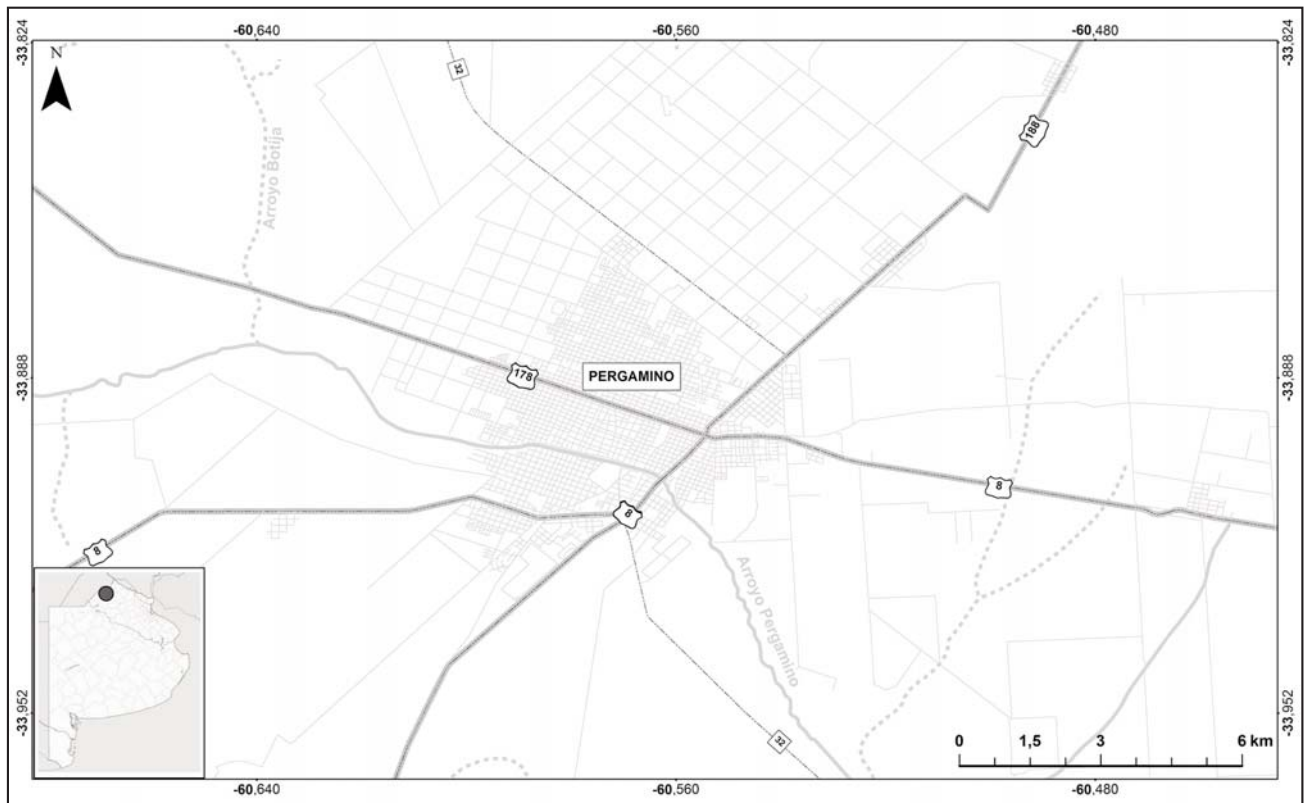


Figura 1. El área de estudio se ubica próxima a la ciudad de Pergamino, en el noroeste de la provincia de Buenos Aires.

taño amarillento y castaño rojizo, e intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o bancos continuos (tosca). Se extiende hasta una profundidad de aproximadamente -21,5 m en el ejido urbano, donde presenta un espesor variable que alcanza máximos de 95 m.

Hidrogeológicamente se reconoce la sección epiparariana, integrada por las Arenas Puelches, que definen un acuífero semiconfinado y los Sedimentos Pampeanos que contienen al acuífero libre y a otros de mayor profundidad, con carácter semiconfinado o semilibre.

Se reconoce que los Sedimentos Pampeanos presentan significativas variaciones laterales de espesor y granulometría las cuales definen los valores de transmisividad y conductividad hidráulica.

En igual sentido, Bertol de Santos (1987) reconoce la dificultad de correlacionar un horizonte definido en la dirección vertical y/o horizontal así como de encontrar un depósito de arcilla franca, de extensión areal y espesor apreciable, que confine los horizontes acuíferos alojados en estos sedimentos continentales.

METODOLOGÍA

En la primera etapa del estudio se midieron siete (7) sondeos eléctricos verticales (SEV) con un arreglo Schlumberger de 400 m de longitud. El procesamiento de los datos consiste en la obtención de un modelo inicial con el algoritmo de Zohdy (1989) y una reducción del número de capas del modelo utilizando los parámetros de Dar Zarrouk (Orellana, 1982). Para el cálculo de la resistividad aparente se utiliza el operador lineal

de Johansen (1975), que se considera suficiente para evaluar grandes contrastes en las resistividades.

Los modelos propuestos para cada SEV suponen que el subsuelo está estratificado con capas de espesor y resistividad constante. Cada modelo se atribuye al punto central del arreglo y los resultados de cada SEV se presentan a lo largo de un perfil para facilitar la interpretación.

En la segunda etapa del estudio se efectuó el relevamiento y monitoreo de 57 puntos distribuidos mayormente en la zona rural y en menor medida en la zona urbana, de los cuales se extrajeron 47 muestras de agua subterránea correspondientes al acuífero Pampeano y 1 al acuífero Puelche.

En relación al agua superficial, se recolectaron tres (3) muestras en la sección aguas arriba, en la zona urbana (central) y aguas abajo del ejido urbano (Figura 2), a partir de las cuales se definieron las características químicas del arroyo Pergamino. En comparación con antecedentes se reconocen variaciones en los resultados analíticos que indican una menor concentración salina del arroyo respecto a datos previos, situación que podría deberse a que el muestreo se llevó a cabo en una época de intensas lluvias.

Durante el relevamiento se determinaron la profundidad del agua, usos, frecuencia, profundidad final de la captación (pozo perforado, cavado, molino) y cuestiones relacionadas al diseño constructivo de la misma.

Sobre el conjunto de muestras enviadas al laboratorio se analizaron sólidos totales disueltos (TDS), iones mayoritarios (HCO_3^{-1} , SO_4^{-2} , Cl^{-1} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}), minoritarios y trazas (NO_3^{-1} , F^{-1} , As).

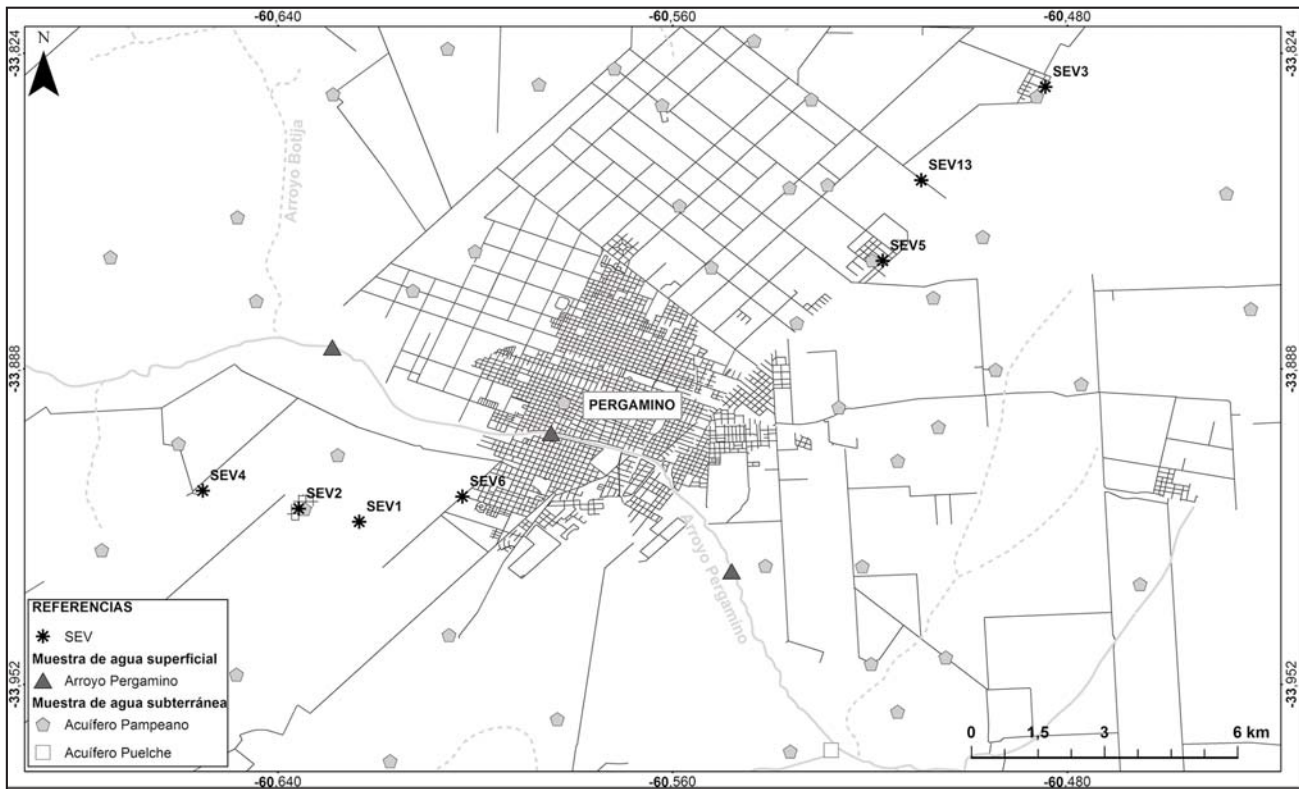


Figura 2. Mapa de ubicación de sondeos eléctricos verticales y puntos de muestreo de agua superficial/subterránea.

A partir de las cartas topográficas Pergamino, Juan Anchorena y Acevedo del IGN (Instituto Geográfico Nacional) a escala 1:50.000, de determinaron los valores de cota del terreno, que permitieron definir el potencial hidráulico y consecuentemente, la morfología de la superficie potenciométrica y dirección del flujo subterráneo.

Se elaboraron mapas de isocontenidos (TDS – Cl⁻¹) e hidroquímico a partir de los diagramas (Piper Hill y Stiff) que facilitaron la interpretación y visualización de los datos analíticos.

RESULTADOS

Prospección geoelectrica

A continuación se analiza el modelo de resistividad propuesto para el SEV #6 (Figura 3), el cual se encuentra próximo a una perforación de 105 m de profundidad cuya descripción litológica sintética se presenta en la Tabla 1

Tabla 1. Parámetros del modelo geoelectrico (SEV #6) y descripción litológica del pozo próximo.

Profundidad (m)	Resistividad (Ohm m)	Litología
1,5	16	Suelo vegetal
4	24	Limo arenoso con tosca
22	12	Limo arcilloso plástico
55	15	Limo arenoso fino toscoso
INF	3,3	Arcilla azul plástica

El modelo propuesto consta de 5 electrocapas y un error de ajuste del 2%. Las dos primeras capas de escasos metros de espesor caracterizan los sedimentos superficiales compuestos por limos con concreciones de tosca. Por debajo, y hasta los 22 m de profundidad, se observa una capa de 12 Ohm m de resistividad atribuible a limos arcillosos plásticos. Se continúa una electrocapa de 15 Ohm m, hasta los 55 m de profundidad donde se describe una sucesión de limo arenoso fino, limo toscoso muy consolidado y tosca calcárea muy consolidada. Finalmente, la base del modelo está representada por una electrocapa de baja resistividad (3,3 Ohm m), que estaría caracterizando la presencia de arcillas plásticas.

El acuífero Puelche se desarrolla desde los 90 m hasta los 105 m de profundidad, sin embargo debido a la elevada conductividad del agua no presenta contraste eléctrico con los sedimentos arcillosos de la base del Pampeano así como tampoco con el techo de la Formación Paraná.

La descripción enunciada se corresponde a un SEV característico de la zona, que permite realizar una interpretación precisa sobre el comportamiento eléctrico de los sedimentos señalados en los antecedentes. A partir de este análisis, se propone la integración de los modelos en dos perfiles de orientación oeste-este y suroeste-noreste a fin de estudiar la correlación entre SEV cercanos.

El siguiente perfil (Figura 4) integra los modelos de los SEV 4, 2, 1 y 6, alineados en dirección oeste-este, donde es posible correlacionar la base de baja resistividad que se desarrolla entre los 20 msnm y los 10 msnm.

Subyacente a la base conductiva se desarrolla una electrocapa de mayor resistividad que estaría caracterizando los Sedimentos Pampeanos más arenosos y con presencia de tosca,

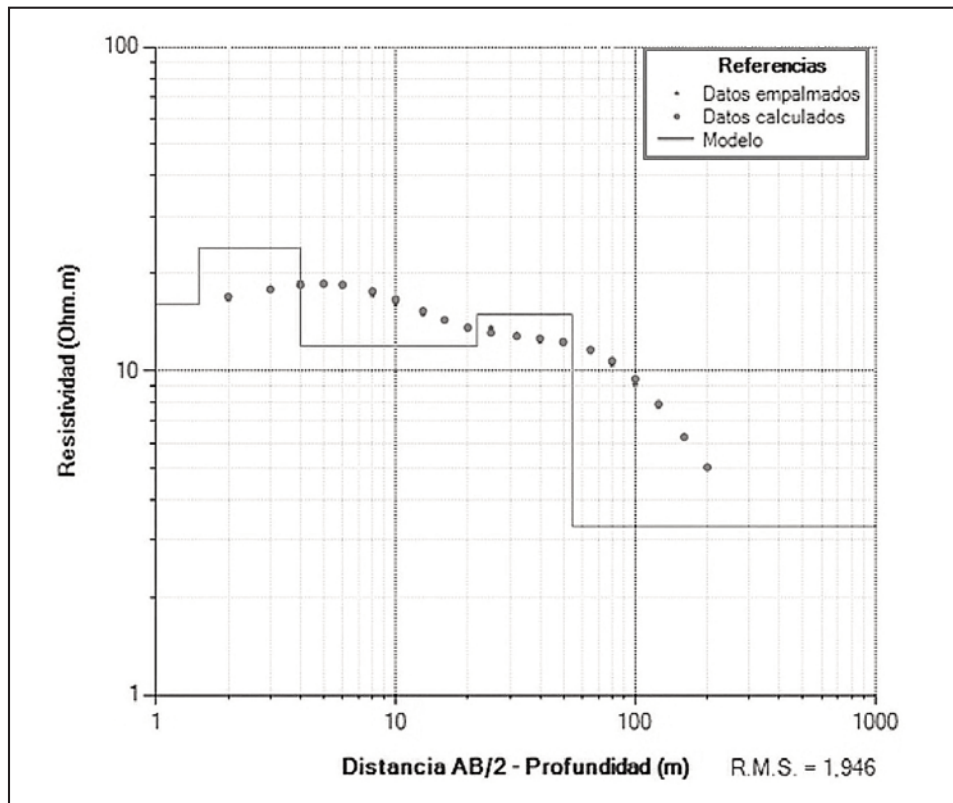


Figura 3. SEV #6: El modelo de resistividades y profundidades (trazos rectos) presenta un error de ajuste de 1,95% entre la curva de resistividad aparente de campo y la calculada.

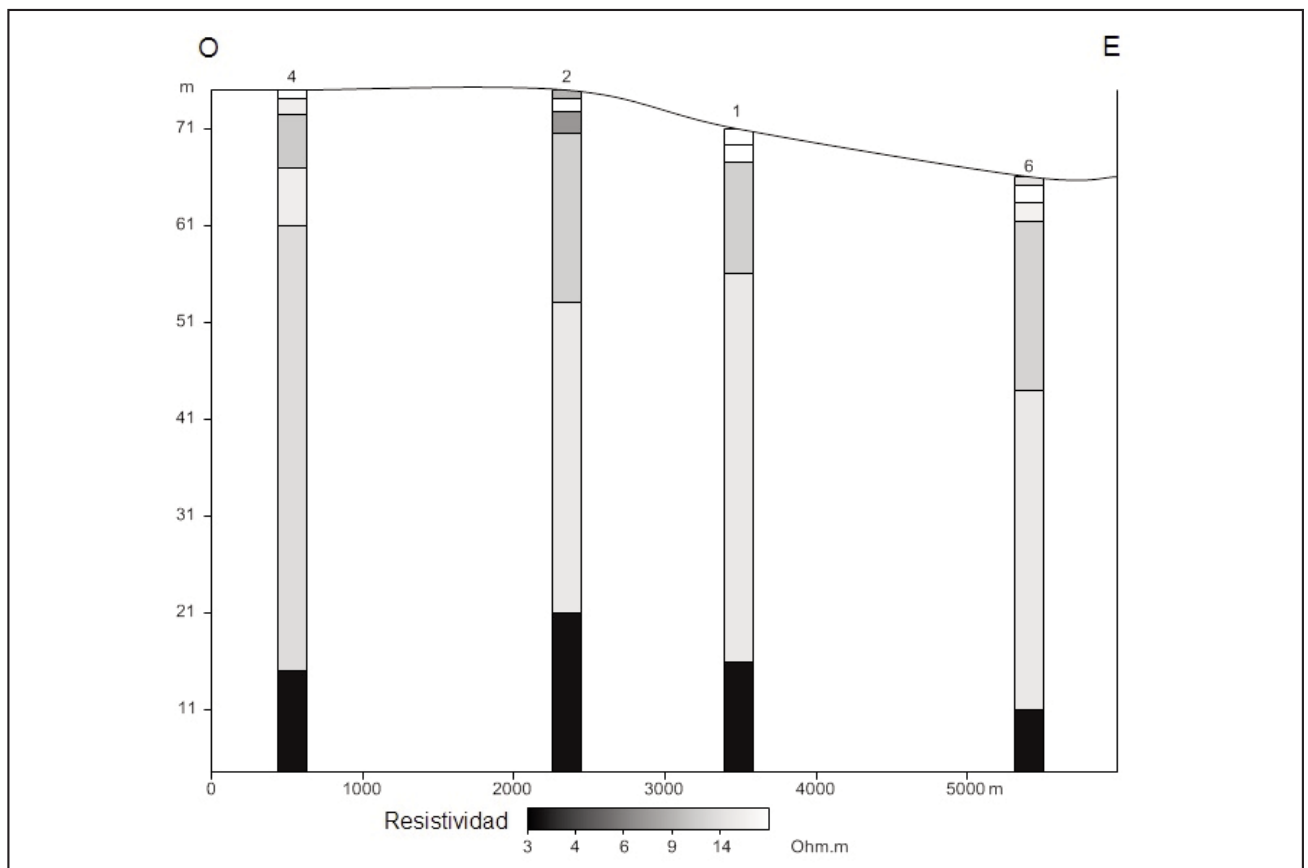


Figura 4. Modelos de SEV integrados en un perfil de dirección oeste-este. La base de baja resistividad indicaría el límite inferior de la zona explotable del acuífero Pampeano.

cuyo techo varía entre una cota de 61 msnm y 45 msnm. Hacia la superficie, los modelos difieren en el número de capas e incluso en los valores de resistividad asignados a cada una. Este resultado es concordante con las diferencias litológicas observadas en las perforaciones de la zona y con las observaciones enunciadas por Bertol de Santos (1987). Se interpreta que las resistividades más bajas corresponderían a un mayor contenido de arcilla en los niveles de los Sedimentos Pampeanos.

El siguiente perfil integra los modelos de los SEV 6, 5, 7 y 3 a lo largo de aproximadamente 15.000 m (Figura 5). Las resistividades propuestas varían entre 3 Ohm m y 15 Ohm m.

En el perfil es posible reconocer la base de baja resistividad a una cota variable entre 10 msnm y 7 msnm. La electrocapa por encima de esta base presenta una mayor resistividad, con valores máximos de 30 Ohm m en el SEV 5, la cual correspondería a sectores con mayor contenido de niveles toscos en los Sedimentos Pampeanos. Subyacente se presenta una electrocapa con una resistividad levemente inferior, atribuible a sedimentos más finos. Al igual que en los modelos del perfil anterior, hacia la parte superficial se observan diferencias en el número electrocapas siendo difícil realizar una correlación lateral.

Hidrodinámica

El nivel freático se localiza a una profundidad variable entre 1 mbbp y 8 mbbp. Los menores valores se localizan en la zona rural, mientras que en el entorno del ejido urbano y hacia el este de la ciudad predominan profundidades superiores a 5 mbbp.

Hacia el norte-noreste y en correspondencia con las máximas alturas topográficas se presentan los mayores valores de potencial hidráulico, que resultan del orden de 79 msnm, mientras que hacia el sur los valores decrecen hasta 48 msnm, evidenciando una zona de descarga del agua subterránea.

La superficie potenciométrica local adquiere una morfología radial convergente, que define un sentido del flujo subterráneo hacia el cauce del arroyo Pergamino, con gradientes hidráulicos bajos del orden de 2×10^{-5} y 3×10^{-5} (Figura 6).

A partir del cálculo de cota de agua se denota una profundización del nivel en la zona urbana, que provoca la generación de un cono de depresión hacia el centro oeste de la ciudad, con la consecuente inversión del gradiente natural.

Tal situación fue oportunamente señalada por Bertol de Santos (1987), donde refiere la posibilidad de una probable recarga de la freática con agua del arroyo, que se manifestaría través del aumento progresivo de sales observado en pozos cercanos al curso de agua.

Geoquímica

A partir de la clasificación geoquímica de Piper Hill (Figura 7), se reconocen aguas de composición generalmente bicarbonatada sódica, con menor contenido de sulfatos y cloruros. En menor proporción se identifican aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, que caracterizan los sectores topográficamente elevados o zonas de recarga

Hacia el centro noreste, próximo al arroyo Chu-Chu, se verifica la presencia de una muestra con bajo contenido iónico

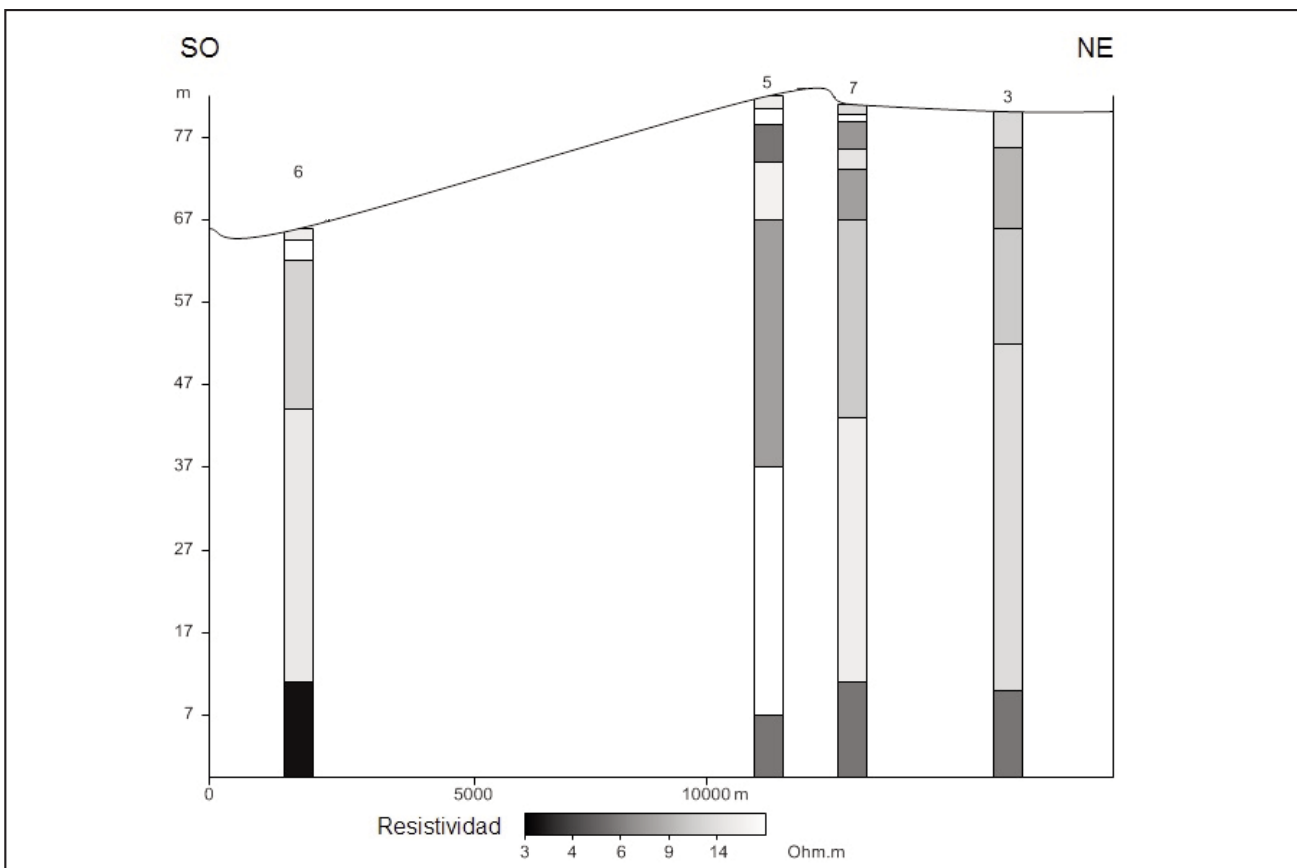


Figura 5. Modelos de SEV integrados en dirección suroeste-noreste.

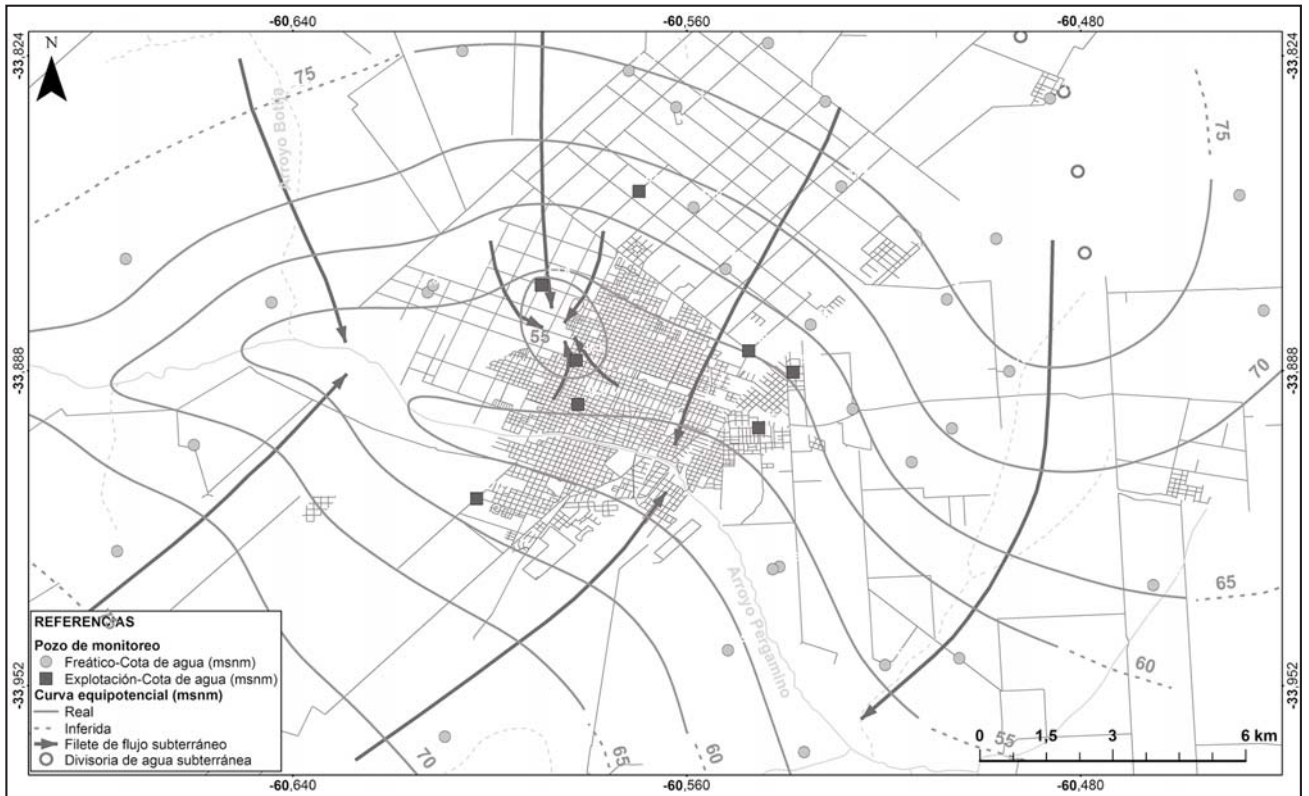


Figura 6. Mapa equipotencial. La superficie potenciométrica local es radial convergente, con un sentido de flujo hacia el arroyo Pergamino.

y escasa proporción de bicarbonatos en relación al resto de los puntos analizados, situación que le confiere características predominantemente sulfatadas sódicas.

En el área urbana se identifican aguas con mayor contenido iónico, de composición bicarbonatada clorurada sódica, similares a las observadas en el Arroyo Pergamino, de condición

predominantemente clorurada sódica y/o magnésica. En general las tres (3) muestras de agua superficial presentan características equivalentes, siendo la del centro levemente superior en cuanto al contenido de sulfatos y cloruros.

El agua del acuífero Puelche denota un elevado contenido iónico y condiciones netamente cloruradas sódicas (Figura 8).

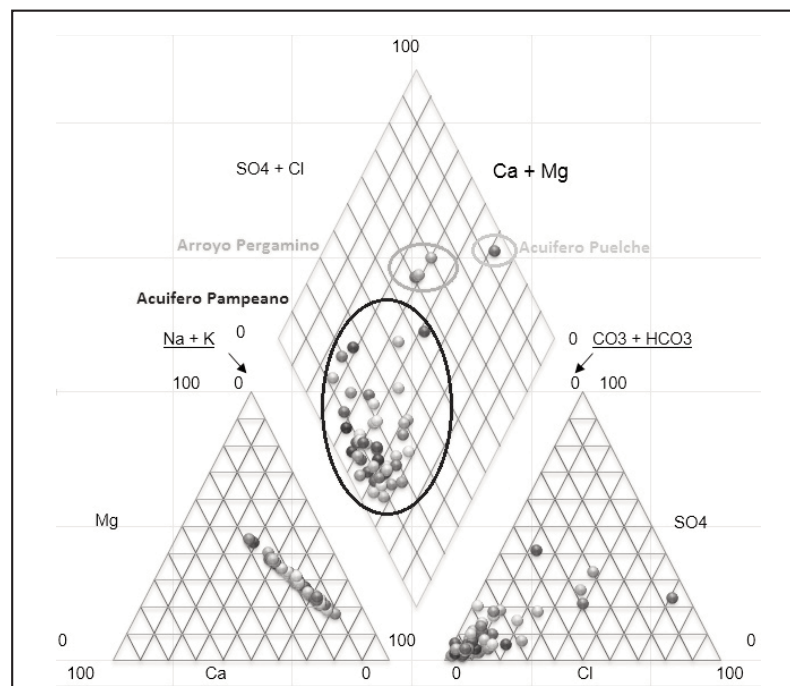


Figura 7. Diagrama de Piper Hill.

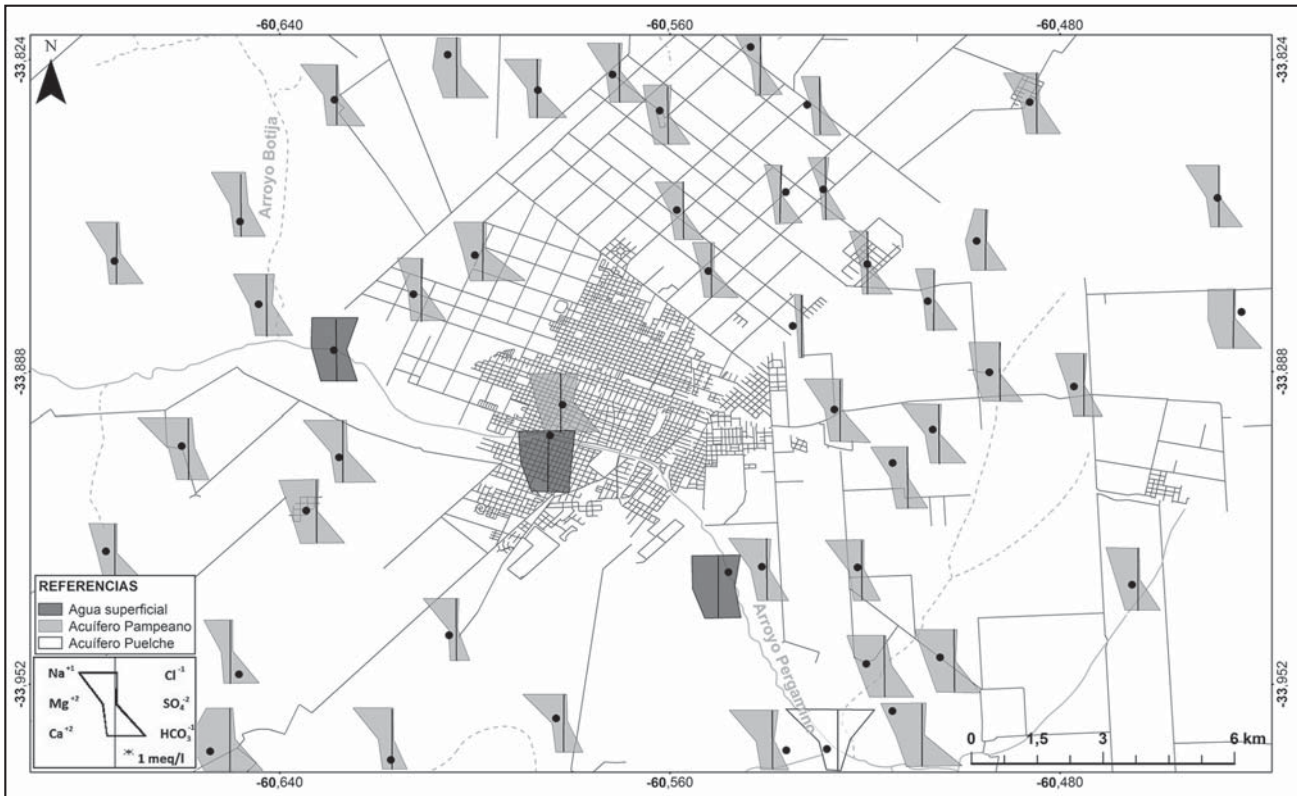


Figura 8. Mapa hidroquímico. El agua del arroyo Pergamino es predominantemente clorurada sódica y/o magnésica, mientras que el agua subterránea del acuífero Puelche es netamente clorurada sódica.

En base a la clasificación de salinidad definida por Davis y Wiest (1967) se reconocen aguas dulces, con contenidos de TDS inferiores a 1000 mg/l. El área de estudio se caracteriza por concentraciones entre 400 mg/l y 700 mg/l, a excepción de

la zona noreste, en proximidad al arroyo Chu-Chu donde se registran valores puntualmente bajos y en el ámbito urbano donde alcanzan máximos de 960 mg/l (Figura 9).

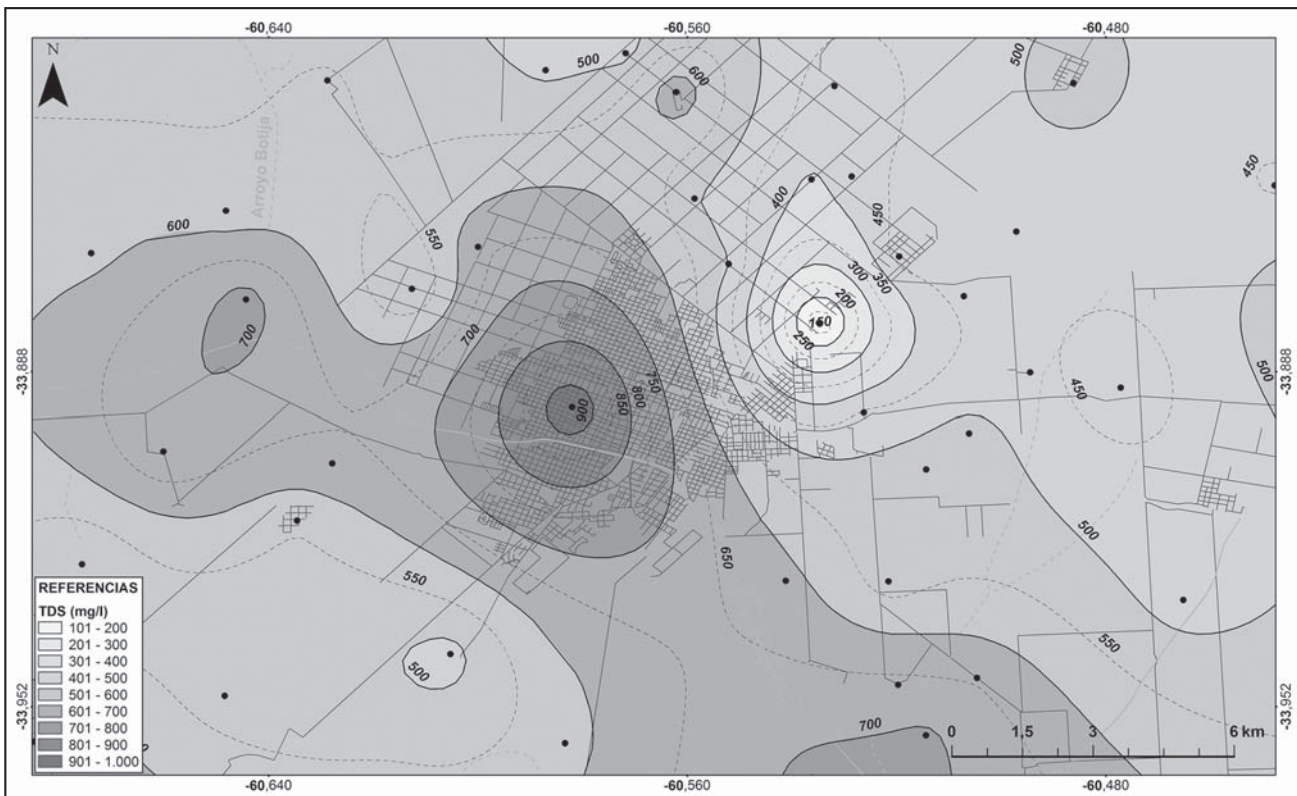


Figura 9. Mapa de isocontenido de sólidos totales disueltos. Los máximos valores se registran en la zona urbana.

La concentración de cloruros varía entre valores de 4 mg/l hasta 80 mg/l y su distribución espacial adquiere una morfología similar a la enunciada para los TDS. Puntualmente se registran contenidos de hasta 156 mg/l que se localizan en el ámbito urbano, en cercanías al cauce del arroyo Pergamino (Figura 10).

En relación al resto de los aniones mayoritarios, las concentraciones de sulfatos oscilan entre 5 mg/l y 95 mg/l con valores máximos de hasta 160 mg/l en la zona urbana.

Los bicarbonatos constituyen el ión dominante en el agua subterránea del acuífero Pampeano con contenidos que varían entre 200 mg/l y 700 mg/l, a excepción de la muestra ubicada en proximidad al arroyo Chu-Chu que presenta 35 mg/l.

La distribución de los iones calcio y magnesio adquiere una configuración espacial semejante, con concentraciones máximas hacia el suroeste y este del área del estudio, mientras que el sodio presenta contenidos mínimos al noreste que se incrementan hacia el sur y oeste.

Respecto a los elementos minoritarios la presencia de nitratos podría atribuirse a la aplicación de fertilizantes, residuos orgánicos o filtración de aguas residuales. Las mayores concentraciones se evidencian en la zona urbana, con valores de hasta 130 mg/l que disminuyen hacia la zona rural, donde varían entre 10 mg/l y 80 mg/l.

El contenido de arsénico en la región se debe fundamentalmente a factores naturales de los sedimentos, compuestos por ceniza y vidrio volcánico que integran el loess pampeano. Los contenidos máximos, del orden de 0,08 mg/l se localizan al suroeste, oeste y noreste del área de estudio, mientras que en la zona urbana y hacia el este disminuyen hasta valores de 0,02 mg/l.

En base al diagrama de clasificación de agua para irrigación se evidencia que, en general, el agua subterránea que caracteriza al acuífero Pampeano presenta óptimas condiciones para riego. Hacia el este y en el centro urbano se evidencian muestras puntuales con un moderado a elevado riesgo de salinización, mientras que al suroeste presentan un moderado riesgo de alcalinización, aunque podrían ser utilizadas bajo ciertas precauciones. Por su parte, el agua del acuífero Puelche no presenta condiciones favorables para riego.

CONCLUSIONES

Se ha comprobado que los sondeos eléctricos verticales permiten diferenciar las principales unidades del sistema acuífero Pampeano-Puelche en la ciudad de Pergamino. Fue posible identificar el espesor del acuífero Pampeano, y reconocer una base conductiva, que podría indicar la presencia de arcilla o de arenas con agua de elevada salinidad, ambas situaciones son desfavorables para la explotación del recurso para consumo humano.

El análisis de las perforaciones existentes confirma que en la región, el acuífero Pampeano presenta fuertes variaciones laterales en el espesor de las zonas más productivas y que, las capas con mayor contenido de arcilla no se correlacionan entre pozos separados unas centenas de metros. Esto mismo se observa en los modelos propuestos para los SEV, donde las electrocapas superficiales no se corresponden en número o valores de resistividad para sondeos adyacentes.

La metodología implementada permitió confirmar que el acuífero Pampeano se haya integrado por una alternancia de niveles arenosos, limo arcillosos, y arcillosos que le otorgan una variada permeabilidad y le confieren carácter de acuífero multicapa.

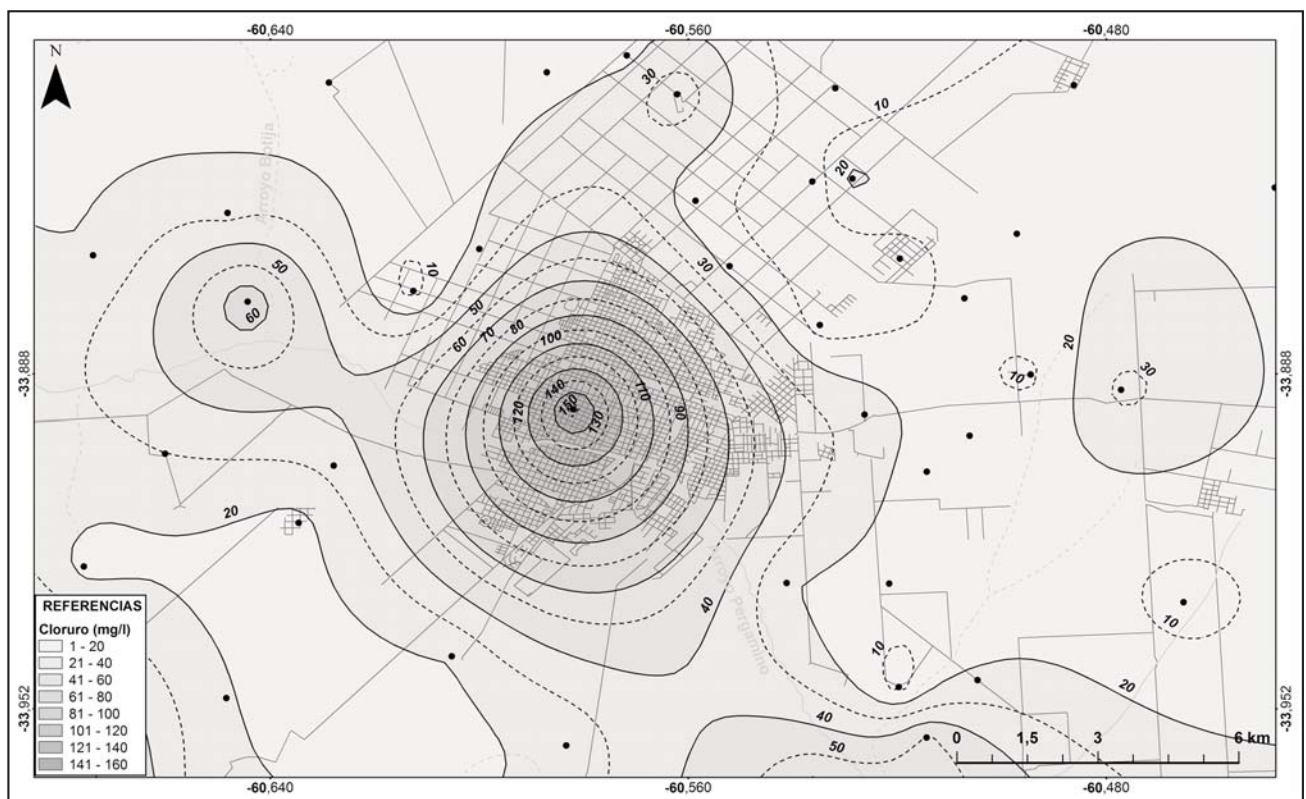


Figura 10. Mapa de isocontenido de cloruros.

La profundidad del nivel freático varía entre 1 mbbp y 8 mbbp, con valores inferiores a 5 mbbp en la zona rural que se profundizan hacia el este y zona urbana. Los valores máximos de altura potenciométrica coinciden con las zonas de mayor altura topográfica hacia el norte-noreste, y decrecen hasta 55 msnm hacia el arroyo Pergamino.

El flujo subterráneo regional presenta una dirección predominante noroeste - sureste, mientras que localmente se observa una morfología radial convergente con sentido al cauce del arroyo. En el área urbana se reconocen valores de altura potenciométrica inferiores en relación al entorno, que definen una zona de descarga puntual, situación que podría haber sido generada por efecto de bombeo en los pozos de explotación cercanos.

La caracterización hidroquímica muestra una predominancia de aguas de composición bicarbonatada sódica, que caracterizan la mayor parte del área de estudio, a bicarbonatadas cálcicas y/o magnésica en los sectores topográficamente elevados.

En la zona urbana se reconocen aguas predominantemente bicarbonatadas cloruradas sódicas que evidencian una

estrecha relación composicional con el agua del arroyo, de características cloruradas sódicas y/o magnésicas.

Los resultados permiten considerar la existencia de una estrecha vinculación entre el agua superficial-subterránea en la zona urbana, manifestada fundamentalmente por la presencia de un cono de depresión y el incremento del contenido salino en cercanías al arroyo.

En base a lo expuesto, se recomienda intensificar los muestreos de agua superficial- subterránea en la zona urbana durante diferentes épocas del año y establecer un seguimiento periódico de las condiciones hidrodinámicas en los pozos e hidrológicas sobre el arroyo, que permitan conocer en detalle el funcionamiento del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro especial agradecimiento a Darío Selva por importante colaboración en los relevamientos de campo, y al personal de la Dirección de Obras y Servicios Sanitarios de la ciudad de Pergamino.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BERTOL DE SANTOS, M., 1987.
Informe comisión de estudio. Primera etapa. Pergamino.
Obras Sanitarias de la Nación. Gerencia de asistencia y desarrollo. División del recurso hídrico. Informe inédito.
- BERTOL DE SANTOS, M., 1988.
Informe comisión de estudio. Segunda etapa. Pergamino.
Obras Sanitarias de la Nación. Gerencia de asistencia y desarrollo. División del recurso hídrico. Informe inédito.
- DAVIS, S. Y DE WIEST, R., 1967.
Hidrogeología.
Ediciones Ariel. Barcelona. España.
- HEREDIA O.S.; COMESE R.V.; ZUBILLAGA M.S.; CHIRCKES J.D.; GRAZIANO A.L. Y PAGANO E., 2010.
Caracterización física química de las aguas superficial y subterránea de Pergamino (Bs. As.).
INA. Instituto Nacional del Agua. Artículo sin referato. Disponible en <http://ina.gov.ar/infh-2014/Eje2/2.17>.
- JOHANSEN, H., 1975.
An interactive computer-display-terminal system for interpretation of resistivity soundings.
Geophysical Prospecting, 23.
- LOSINNO, B.; SAINATO, C. Y GIUFFRÉ, L. 2005.
Propiedades edáficas y del agua subterránea. Riesgos de salinización y sodificación de los suelos, en la zona de Pergamino-Arrecifes.
Revista Ciencia del Suelo (23): 1. 47-58 pp.
- ORELLANA, E., 1982.
Prospección Geoeléctrica en corriente continua
(2 ed.). Madrid: Paranainfo.
- REYNOSO, L.Y ANDRIULO, A., 2009,
Estado actual de la calidad de agua en la cuenca del arroyo Pergamino.
INTA. Estación experimental agropecuaria Pergamino. Artículo sin referato. Disponible en <http://linta.gov.ar/documentos/estado-actual-de-la-calidad-del-agua-en-la-cuenca-del-arroyo-pergamino>.
- REYNOSO, L.; PORTELA, S.Y ANDRIULO, A. 2010,
Implementación de un sistema de monitoreo de aguas subterráneas en cinco microcuencas del Arroyo Pergamino.
I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul, Buenos Aires, Argentina. Pp681-688
- SAINATO, C; GALINDO G.; POMPOSIELLO M.C.Y MALLEVILLE H., 1997.
Hidrogeología de la cuenca del arroyo Pergamino.
Actas de la 190 Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. San Juan, vol 1, p 415.
- SANTA CRUZ, J. N., 1988.
Caracterización del recurso hídrico subterráneo con miras al riego complementario en la Región NNE -típica maicera- de la provincia de Buenos Aires.
Documento de trabajo N°15. Convenio SAGyP-IICA

SANTA CRUZ, J. Y SILVA BUSSO A., 1995.

Disponibilidad del agua subterránea para riego complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe.

Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (Argentina), 55p.

ZOHDY, A., 1989.

A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curve.

Geophysics, 54(2), 245-253.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

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

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

a) De carácter general:

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

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

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

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

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

c) Sobre el formato de figuras y tablas:

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

tener una resolución mínima de 300 dpi.

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

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

- No se admite la reproducción de figuras o tablas originales

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

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

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

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

e) Notas Técnicas

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

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

f) Arbitraje

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

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

FORMULARIO DE SUSCRIPCIÓN O COMPRA

ENVIAR A:

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

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

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

2. Deseo adquirir los números *atrasados*:

_____ []

3. Deseo comprar los artículos:

_____ []

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

FORMA DE PAGO

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

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

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

CBU 0720 11542 000000 2056654

Solicitud de *factura* para pago mediante transferencia.

PRECIO DE COMPRA (Desde 01-11-2016):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Compra de número vigente: **900** Pesos
- Compra de número atrasado: **720** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **240** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Compra de número vigente: **56** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **25** Dólares por artículo

PRECIOS DE SUSCRIPCIÓN (Desde 01-11-2016):

Para Argentina: Gastos de envío incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **980** Pesos, en formato electrónico, y **1750** Pesos en edición papel
- Suscripción Instituciones: **3920 / 7000** Pesos
- Compra de número atrasado: **720** Pesos
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **400** Pesos por artículo

Para el exterior: Gastos de envío no incluidos.

- Suscripción anual: dos números.
- Suscripción normal: **61** Dólares, en formato electrónico, y **110** Dólares en edición papel
- Suscripción Instituciones: **244 / 440** Dólares
- Compra de número atrasado: **45** Dólares
- Compra de artículos sueltos (se enviarán en formato electrónico .pdf): **25** Dólares por artículo

Envíos fuera de Argentina: se añadirán gastos de envío a los precios anteriormente señalados. Ver tarifas de correos en: www.correoargentino.com.ar

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

Los Socios de ASAGAI reciben sin cargo alguno la revista.

Copyright
© Editorial ASAGAI. 2016
Printed in Argentina

Se terminó de imprimir en Diciembre de 2016