

El agua subterránea en el funcionamiento hidrológico de los humedales del Sudeste Bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina

A. Romanelli^(1,2), O. M. Quiroz Londoño⁽²⁾, H. E. Massone⁽²⁾, D. E. Martínez^(1,2) y E. Bocanegra⁽²⁾

(1) CONICET. Casilla de correo 722, Mar del Plata Argentina-Correo Central. Funes 3350, Piso 1. (7600) Mar del Plata, Argentina. asuncionromanelli@hotmail.com; aromanel@mdp.edu.ar; demarti@mdp.edu.ar

(2) Universidad Nacional de Mar del Plata. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario. CC 722. Mar del Plata, Argentina. qlondono@mdp.edu.ar; hmassone@mdp.edu.ar; ebocaneg@mdp.edu.ar

RESUMEN

Elaborar modelos conceptuales que expliquen el funcionamiento y relación de los cuerpos de agua de una zona, resulta esencial para generar políticas de gestión del recurso hídrico. Una herramienta importante aplicada al análisis de sistemas hidrológicos es la interpretación hidrogeoquímica, que permite determinar tipos de agua, interacción, mezcla entre ellos y posibles procesos modificadores a lo largo de líneas de flujo. Las técnicas isotópicas también han demostrado ser otra herramienta útil en la validación y ajuste de estos modelos hidrogeológicos conceptuales. El objetivo de este trabajo es profundizar el conocimiento de los modelos hidrogeológicos conceptuales de humedales de la Llanura Pampeana Bonaerense mediante técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas, en el marco de una visión integral de los recursos hídricos. Se seleccionaron tres lagunas de distinto origen y se colectaron muestras de agua en superficie y profundidad para su análisis físico-químico e isotópico (¹⁸O y ²H). También se muestrearon arroyos y agua subterránea. El análisis hidroquímico clasificó las cuencas de La Brava y de Los Padres como de tipo bicarbonatada sódica, y la de La Salada como clorurada bicarbonatada sódica. Existen diferencias en las marcas isotópicas y en la conductividad eléctrica medida en los humedales: 6.766,8, 762,2 y 647,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Salada, Los Padres y La Brava respectivamente. A partir de información hidroquímica e isotópica, se logró confirmar el comportamiento efluente-influente de las mismas, sus principales fuentes de abastecimiento y su importancia como zonas de recarga al acuífero pampeano.

Palabras clave: geoquímica, hidrogeología, humedales pampeanos, isótopos estables

Groundwater in the hydrological functioning of wetlands in the Southeast of Buenos Aires Province, Argentina

ABSTRACT

The understanding of the hydrological functioning and the interaction among the different water bodies in an area is essential when a sustainable use of the hydric resources is considered. The hydrogeochemical interpretation of representative water-sample analyses is a useful tool developed for the analysis of hydrological systems. Isotopic techniques are also important tools for the validation and adjustment of conceptual hydrogeological models. The aim of the present paper is to develop depth of knowledge of the conceptual hydrogeological models for wetlands of the Pampa Plain by using hydrochemical and stable isotopic techniques. Three wetlands of different origin were sampled for hydrochemical and stable isotopic analysis (¹⁸O and ²H) at different depths. Groundwater and streams were also sampled. Hydrochemical analysis classified La Brava and Los Padres basins as sodium bicarbonate waters, and La Salada Basin as sodium chloride bicarbonate waters. Differences in the isotopic fingerprints and the electrical conductivity values were evident among wetlands: 6.766,8, 762,2 y 647,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in La Salada, Los Padres and La Brava respectively. Hydrochemical and isotopic data allowed us to define the effluent-influent behavior of these wetlands, their main recharge sources and their importance as aquifer recharge areas.

Key words: geochemistry, hydrogeology, pampa s' wetlands, stable isotopes

Introducción

En la Provincia de Buenos Aires, República Argentina, existe un gran número de cuerpos de agua someros permanentes o temporales de variada extensión denominados "lagunas", con estadios evolutivos muy distintos, cuya distribución, morfología y tipología se relaciona con el clima, el relieve y la geología

(Dangavs, 2005). Estas lagunas pampeanas cubren unos 100.000 km² del territorio de la llamada Pampa Argentina.

En el sudeste de esta provincia las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de abastecimiento para fines urbanos, agrícolas e industriales. Los ríos y arroyos si bien no son significativos desde el punto de vista de abastecimiento, lo son desde la

dinámica de los procesos hidrológicos. Los humedales, numerosos en esta zona, proporcionan importantes servicios ambientales como la participación en los ciclos de nutrientes, la regulación del clima a nivel local y regional, regulación de flujos hidrológicos y oportunidades educacionales y recreativas entre otros (MA, 2005).

Los cuerpos de agua superficial son parte activa del sistema de flujo del agua subterránea (Winter, 1999). La interacción entre las fuentes de agua superficial y los acuíferos es compleja. Para entenderla en relación a factores climáticos, topográficos, geológicos y bióticos, se requiere de un marco hidrogeológico robusto (Sophocleus, 2002). Estas interacciones tienen un importante rol en el ciclo hidrológico con fuerte impacto en la sustentabilidad y calidad del recurso (Gao *et al.*, 2010). Comprenderlas puede ayudar a los administradores de los recursos hídricos en la toma de decisiones, relacionadas con la mitigación de inundaciones, el aprovechamiento de aguas subterráneas y la conservación de la biodiversidad, en forma más integrada y sostenible (Schot y Winter, 2006).

Pese a la importancia ambiental de los humedales pampeanos, en la mayoría de los casos se carece de información que permita definir de manera precisa un modelo conceptual de funcionamiento hidrológico. La información disponible para determinar las relaciones hidrodinámicas de los humedales con otros cuerpos de agua es escasa y difícil de obtener.

Una herramienta importante aplicada al análisis de sistemas hidrológicos es la interpretación hidrogeológica, la cual permite determinar distintos tipos de agua, interacción y mezcla entre ellos, y posibles procesos modificadores a lo largo de líneas de flujo mediante el análisis del contenido y variación de las especies iónicas (Martínez *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2006). De igual manera, la aplicación de técnicas isotópicas en los estudios hidrogeológicos ha demostrado ser otra importante herramienta en la validación y ajuste de modelos conceptuales (Clark y Fritz, 1997; Mazor, 1991; Fontes, 1980). Los procesos físicos y los fenómenos meteorológicos responsables del transporte del agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico producen un fraccionamiento isotópico que puede ser aprovechado para obtener conclusiones sobre su origen y comportamiento. Esto permite definir, entre otros aspectos, las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas, zonas de recarga-descarga y tiempos de residencia del agua en los acuíferos.

El objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento de los modelos hidrogeológicos conceptuales de humedales de la llanura Pampeana

Bonaerense mediante técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas, permitiendo un mayor entendimiento de las interacciones entre el agua subterránea y estos humedales en el marco de una visión integral de los recursos hídricos.

Área de estudio

Para este estudio se seleccionaron tres lagunas del Sudeste Bonaerense: La Brava, de Los Padres y La Salada (Fig. 1). Las dos primeras están situadas en el Sistema serrano de Tandilia, la primera de origen estructural y también producto de embalsado por médanos (Ringuelet, 1962), y la segunda originada por deflación eólica y procesos de acumulación (Martínez, 2000). La Salada se localiza al SO de las anteriores, en un ambiente de lomadas denominado desde el punto de vista geomorfológico "zona de divisoria de aguas con lagunas". El origen de esta última no está bien establecido, si bien se sabe que esa zona es producto de un antiguo relieve de deflación-acumulación (Teruggi *et al.*, 2004; Martínez, 2007).

Estos cuerpos de agua son de régimen permanente y somero. Las lagunas La Brava y de Los Padres poseen una superficie de 400 y 216 ha y una profundidad máxima de 1.24 y 4.57 m, respectivamente (Pozzobon y Tell, 1995; Grosman y Sanzano, 1999). Presentan su zona litoral con abundante vegetación acuática emergente. Ambas reciben un único afluente, formado por la conjunción de tributarios en el sector alto de su respectiva cuenca y drenan parte de sus aguas superficialmente a través de otro curso superficial, conformando un sistema efluente-influente. La Laguna La Salada es un cuerpo arreico con una superficie de 578 ha y una profundidad máxima de 2.80 m. No presenta vegetación litoral, posiblemente debido a su elevada salinidad. Se localiza al Sudeste de la cuenca hídrica del Río Quequén Grande (RQG), su vinculación con este río ha sido establecida por Romanelli *et al.* (2009b). Alrededor de la Laguna de Los Padres se encuentra el Cinturón Hortícola de la ciudad de Mar del Plata, desarrollado en pequeñas parcelas dedicadas especialmente a la producción de hortalizas, frutillas y plantas ornamentales. El uso del suelo en las cercanías de las lagunas La Brava y La Salada está dedicado casi exclusivamente a la actividad agropecuaria, predominado los cultivos de trigo, maíz, soja, girasol y papa, con una ganadería de tipo extensiva en algunos sectores.

Tanto Cionchi *et al.* (1982) para la Laguna de Los Padres, como Kruse (1987) para la Laguna La Brava plantearon el modelo hidrogeológico conceptual de

estos humedales estableciendo una relación efluente-influente con el acuífero. Ambos reciben un importante aporte subterráneo de las zonas topográficamente más altas, y a su vez, descargan subterráneamente un volumen significativo de aguas abajo. El agua subterránea y sus arroyos afluentes constituyen las principales fuentes de recarga a estos humedales, mientras que las descargas se producen a través de sus arroyos efluentes y del acuífero. La distribución de las isopiezas para la zona donde se ubican estas lagunas determina la existencia de un flujo regional con dirección SO-NE (Romanelli *et al.*, 2009a) (Fig 1). Para la laguna La Salada se definió también un comportamiento efluente-influente. Desde las zonas topográficamente más altas se producen flujos concéntricos hacia la laguna, y ésta a su vez descarga sus aguas en la zona noreste, en dirección al RQG (Romanelli *et al.*, 2009b).

En la zona de estudio se distinguen dos unidades hidrogeológicas diferentes. La primera, asociada a los sistemas serranos, compuesta por rocas cristalinas Precámbricas (gneis, granitos y migmatitas) y una secuencia siliciclástica del Paleozoico inferior (arenitas y sabulitas cuarzosas) que conforman el basamento hidrogeológico. Esta unidad está caracterizada como un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo con agua en fisuras y productividad de nula a baja (Sala, 1975). Regionalmente se le adjudica un comportamiento acuífugo aunque su porosidad secundaria es responsable de la generación de algunos manantiales donde se originan cursos de agua de carácter ganador y como consecuencia considerados como zonas de descarga local (González, 2005). La segunda unidad está constituida por una cubierta cenozoica (sedimentos Postpampeanos y Pampeanos) que conforman el único acuífero del área "acuífero pampeano". Éste, somero y de tipo libre, está constituido esencialmente por intercalaciones de limos y arenas finas de origen eólico y fluvial, depositándose directamente sobre el basamento. Es considerado en estudios regionales como "pobre acuífero", asignándoles permeabilidades de hasta 0,5 m/d llegando localmente a 5 ó 10 m/d (Sala, 1975). Este adquiere un carácter semilibre cuando el espesor es considerable en función de la anisotropía vertical. En general el agua de este acuífero presenta un contenido salino bajo (< 2.000 mg/l) González (2005). El modelo hidrogeológico regional para este sector de la provincia de Buenos Aires plantea un tipo de recarga autóctona directa a través de la precipitación y otra concurrente, por afluencia subterránea desde las sierras, no descartándose en este proceso la influencia de las fisuras en el material rocoso. La descarga, por su parte, ocurre a través de los sistemas

fluviales y regionalmente hacia las regiones circundantes (Santa Cruz y Silva Busso, 1999).

El clima de la región se clasifica como subhúmedo-seco con nulo o pequeño exceso de agua a los efectos agronómicos, de tipo mesotermal "B2" Thornthwaite (1948). Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de diciembre y marzo. La precipitación promedio para los últimos 20 años en la zona serrana varió entre 587 y 1.442 mm/año, con un promedio de 979 mm/a. Los valores de evapotranspiración potencial calculados para el mismo periodo, aplicando el método de Thornthwaite variaron entre 696 y 766 mm/a, con un promedio de 732 mm/a. El registro pluviométrico para los años 1993-2005 en el sector de laguna La Salada presenta un valor medio de 931 mm/a. El valor promedio de evapotranspiración potencial calculado para el mismo periodo de tiempo es 785 mm/a (Quiroz Londoño, 2009).

Metodología

La primera fase de este trabajo consistió en la compilación de datos e información preexistente (topografía, geología, hidrogeología e imágenes de satélite) relacionada con el recurso hídrico del área.

Se colectaron muestras en cada laguna para su análisis hidroquímico y para la determinación de isótopos estables (^{18}O y ^2H), definiendo una malla de muestreo regular en cada una de ellas. En cada punto se midieron *in situ* temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE), siguiendo el siguiente esquema: subsuperficial (0,5 m), 1 m, 2 m y profundidad máxima, usando una sonda multiparamétrica HANNA HI9828. Además, se seleccionaron estratégicamente puntos en los cuales se colectaron muestras en superficie y a la máxima profundidad para su análisis químico e isotópico. Se obtuvieron un total de 33, 35 y 43 muestras de agua de las lagunas de Los Padres, La Brava y La Salada, respectivamente. También se muestrearon los principales arroyos y captaciones de agua subterránea por bombeo directo, en las cuencas de cada laguna. Todos los puntos de muestreo se localizaron por medio de un GPS Garmin eTrex Vista (Fig. 1).

A todas las muestras se les determinó en laboratorio: iones mayoritarios y dureza total. Los métodos empleados fueron: cloruros por el método de Mohr, sulfatos por turbidimetría, calcio y magnesio por titulación complejométrica con EDTA, sodio y potasio por espectrometría de llama, y bicarbonatos-carbonatos por titulación potenciométrica. Las determinaciones químicas se hicieron siguiendo la metodología detallada en APHA (1992). La información hidroquímica fue analizada mediante una caracterización esta-

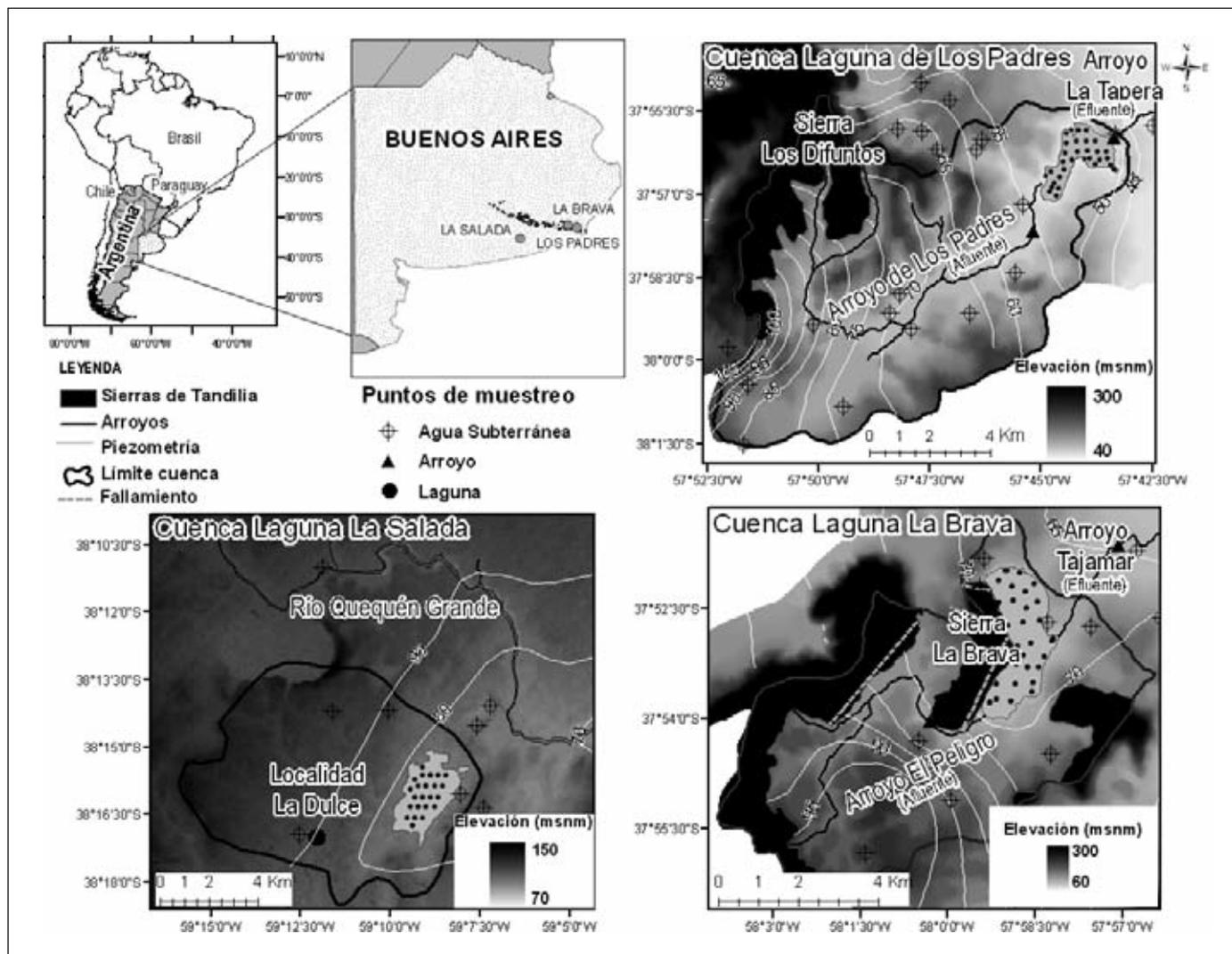


Figura 1. Mapa de localización de las lagunas estudiadas del Sudeste Bonaerense
 Figure 1. Location map

dística general y diagramas convencionales de Piper (Hem, 1992), utilizando el programa AQUACHEM 4.0 (Calmbach y Waterloo Hydrogeologic Inc., 2003). Los mapas de isovalores se construyeron utilizando el software SIG ArcGis 9.2 (ESRI, 2007).

Las determinaciones isotópicas se realizaron mediante un espectrómetro láser DLT-100 Liquid-Water Isotope Analyzer, Automated Injection desarrollado por Los Gatos Research. Los resultados se expresan como δ , definido como: $\delta = 1.000(Rs-Rp)/Rp$ ‰, donde, δ : desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: referencia internacional; R: relación isotópica ($^2H/^1H$, $^{18}O/^{16}O$). La referencia utilizada es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978). Las incertidumbres son $\pm 0,3\text{‰}$ para $\delta^{18}O$ y \pm

1,0‰ para δ^2H . Se utilizaron para este trabajo los datos isotópicos de precipitación media mensual obtenidos en la localidad de San Manuel, ubicada a 60 km distancia de las lagunas estudiadas, correspondientes al periodo comprendido entre el mes de noviembre de 2004 y marzo de 2008 (Quiroz Londoño *et al.*, 2008). Estos datos fueron utilizados para construir la Línea Meteorica Local (LML).

Todas las actividades de campo fueron llevadas a cabo durante el período 2007-2009. El muestreo en cada laguna se realizó en un solo día, en el mes de noviembre (primavera), entre las 9:00 AM y las 18:00 PM. Este mismo día se colectaron muestras tanto de los arroyos como de agua subterránea. Para estos últimos, se cuenta además con datos hidroquímicos

de diferentes fechas dentro del mismo año. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Hidrogeoquímica e Hidrología isotópica del Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Resultados

Caracterización hidroquímica

La variación de facies hidroquímicas en cada una de las cuencas fue analizada mediante los diagramas triangulares de Piper (Fig. 2). La tabla 1 muestra el número de muestras colectadas y los principales parámetros estadísticos del contenido iónico de los distintos tipos de aguas en las cuencas de las lagunas La Brava, de Los Padres y La Salada.

Agua subterránea

El agua subterránea en la Cuenca de Laguna La Brava es de tipo bicarbonatada sódica, presentando homogeneidad en su composición catiónica (Fig. 2.A). En su contenido aniónico dominan los bicarbonatos, existiendo algunas muestras con mayor contenido de cloruros (140,0 mg/l a 173,0 mg/l). El valor medio de CE es de 830 μ S/cm, alcanzando valores máximos de 1.100 μ S/cm, con un pH y temperatura promedio de 7,9 y 16,5 °C, respectivamente. Según estos parámetros se trata de aguas levemente alcalinas y de moderada salinidad.

En la Cuenca de Laguna de Los Padres el agua subterránea presenta gran variabilidad en la compo-

sición catiónica, encontrándose muestras que varían desde cálcico-magnésicas hasta sódicas (Fig. 2.B). Los valores de sodio y magnesio oscilan entre 27,5 y 357,6 mg/l y entre 3,8 y 167,0 mg/l, respectivamente. Los bicarbonatos varían entre 330.0 y 833.0 mg/l con un valor promedio de 492,6 mg/l. El agua es levemente alcalina con valores de pH que oscilan entre 7,04 y 8,34 y un promedio de 7,53, con una CE media de 757,3 μ S/cm y máximos de 1.440 μ S/cm, con una temperatura promedio de 15,9°C

Para el caso de la Cuenca de Laguna La Salada, el agua subterránea es de tipo bicarbonatada sódica (Fig. 2.C). Las muestras se hacen algo más ricas en cloruro en dirección al RQG. Presenta valores medios de CE de 1.145 μ S/cm, pH de 7,7 y temperatura de 17,4 °C. De acuerdo a estos parámetros las aguas subterráneas son moderadamente alcalinas y de baja salinidad.

Agua superficial

Lagunas

La composición química de la Laguna La Brava es de tipo bicarbonatada sódica. Las muestras se ubican en el extremo sódico del triángulo catiónico del diagrama de Piper (Fig. 3.A), existiendo algunas muestras donde el magnesio también es importante. En cuanto a los aniones se observa que predominan los bicarbonatos, aunque existen muestras en donde los cloruros son significativos. El valor de pH fluctúa entre 8,50 y 9,39, con un promedio general de 9,17. Se observa una disminución del mismo en profundidad, con una variación en los valores medios que van

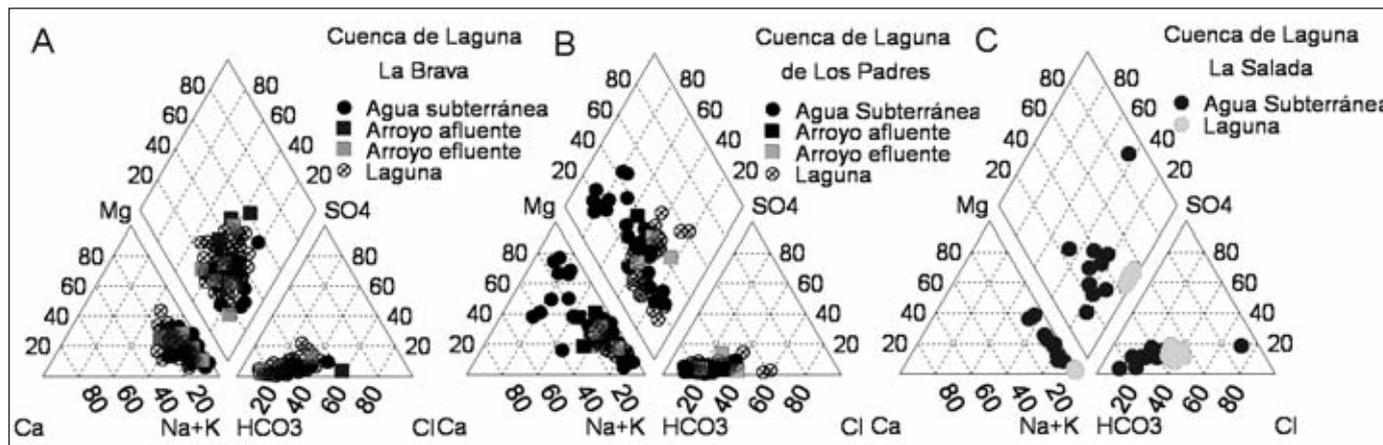


Figura 2. Contenido iónico de las aguas de las cuencas de drenaje de las lagunas A) La Brava, B) de Los Padres y C) La Salada
 Figure 2. Water ionic content of the drainage basins of A) La Brava, B) de Los Padres and C) La Salada wetlands

A)

Parámetro	AGUA SUBTERRÁNEA (N=13)				ARROYOS (N=10)				LAGUNA (N=35)			
	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE
Ca ²⁺ (mg/l)	5,2	34,3	15,9	8,4	28,8	52,2	39,3	8,9	19,6	55,7	31,8	8,5
Mg ²⁺ (mg/l)	7,2	64,4	35,5	16,3	21,4	92,0	42,7	28,8	9,0	63,1	29,5	12,8
Na ⁺ (mg/l)	105,0	398,0	249,6	84,3	126,4	266,4	192,7	56,9	106,5	271,0	194,5	53,6
K ⁺ (mg/l)	2,2	11,0	4,9	2,7	3,2	5,7	4,4	0,9	2,9	10,9	6,6	1,7
Cl ⁻ (mg/l)	48,1	173,0	99,1	37,3	62,8	250,0	140,0	69,0	56,5	128,8	89,2	18,9
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	240,0	894,2	484,2	164,4	282,2	388,7	341,9	42,4	223,6	857,5	418,4	179,6
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	0,0	53,3	32,8	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,6	171,5	84,3	41,9
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	1,0	48,3	17,4	15,1	17,8	73,6	40,2	27,4	2,2	77,6	26,9	15,7
Dureza (mg/l)	58,6	303,1	187,9	69,9	117,0	283,8	196,4	58,1	118,6	322,5	185,9	49,9

B)

Parámetro	AGUA SUBTERRÁNEA (N=25)				ARROYOS (N=7)				LAGUNA (N=33)			
	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE
Ca ²⁺ (mg/l)	9,2	96,0	38,8	26,2	20,0	49,5	29,3	11,0	18,9	50,4	27,9	6,6
Mg ²⁺ (mg/l)	3,8	167,0	67,6	48,9	21,6	67,3	39,4	14,8	19,0	47,4	32,6	7,7
Na ⁺ (mg/l)	27,5	357,6	130,1	85,5	98,6	273,0	154,4	57,8	203,6	400,0	277,0	50,5
K ⁺ (mg/l)	3,1	14,8	6,9	2,5	5,2	9,6	7,4	1,6	3,5	9,8	7,6	1,6
Cl ⁻ (mg/l)	28,2	185,9	89,2	35,4	47,1	153,9	101,6	34,1	48,1	128,2	88,0	11,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	330,0	833,0	492,6	137,0	308,6	596,4	374,4	104,2	396,0	841,4	555,3	91,7
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	0,0	202,3	16,6	43,5	0,0	85,2	42,6	33,1	0,0	364,0	112,6	73,8
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	3,2	65,0	20,9	16,0	10,9	54,0	20,3	15,6	13,0	41,0	24,3	8,1
Dureza (mg/l)	37,0	825,0	364,6	241,3	178,0	332,0	237,6	53,7	148,3	260,3	205,3	29,0

C)

Parámetro	AGUA SUBTERRÁNEA (N=15)				LAGUNA (N=43)			
	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE
Ca ²⁺ (mg/l)	11,0	57,2	27,6	15,3	16,0	45,1	27,2	6,7
Mg ²⁺ (mg/l)	12,3	103,2	50,1	29,5	8,3	54,2	28,0	9,6
Na ⁺ (mg/l)	26,8	345,0	187,1	87,1	2.036,6	2.970,0	2.642,3	191,5
K ⁺ (mg/l)	3,7	10,3	7,4	1,8	10,3	52,0	29,7	7,6
Cl ⁻ (mg/l)	55,0	237,0	98,2	56,1	1.033,1	1.595,5	1.243,3	128,0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	372,7	992,0	546,4	175,1	2.479,0	3.260,1	2.907,6	195,0
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	0,0	610,0	87,1	230,6	1.154,6	1.765,9	1.475,5	128,2
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	8,1	166,0	50,2	45,6	305,0	872,2	597,9	143,6
Dureza (mg/l)	87,3	553,5	277,9	157,8	117,0	276,6	184,8	31,9

Referencias: DE: desvío estándar.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la composición química del agua en las cuencas de las lagunas A) La Brava, B) de Los Padres y C) La Salada
 Table 1. Statistic parameters of the water ionic composition in the drainage basins of A) La Brava, B) de Los Padres and C) La Salada wetlands

desde 9,27 a los 0,5 m hasta 8,58 a los 4 m. Con respecto a la CE se detectó una variación entre 565 y 658 $\mu\text{S/cm}$, con un promedio de 651 $\mu\text{S/cm}$. En la Figura

4.A se visualizan dos valores diferentes en la CE a los 2 y 3 metros de profundidad (574 y 565 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente). Estas muestras se localizan próximas

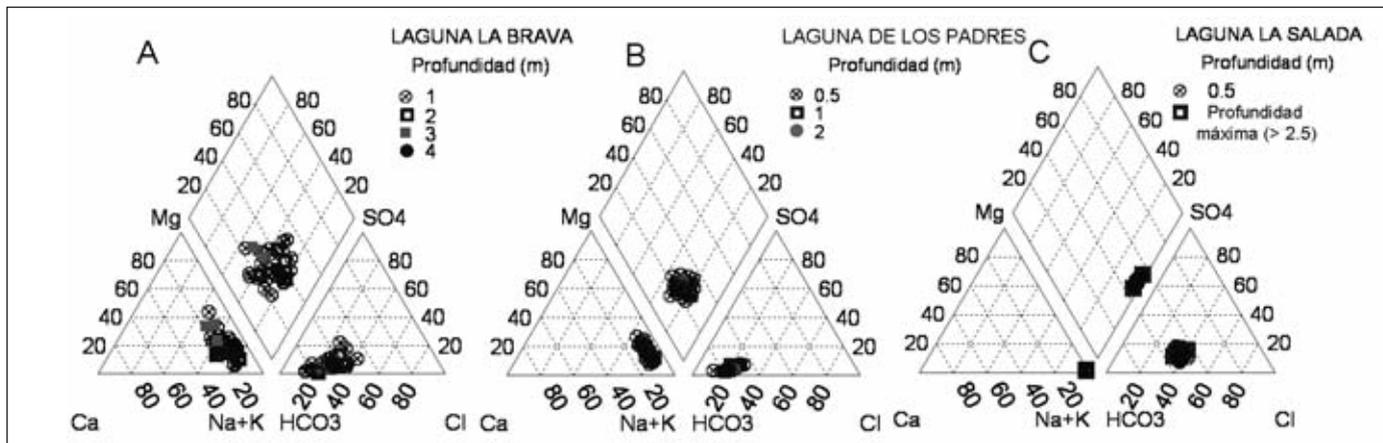


Figura 3. Contenido iónico a distintas profundidades de las lagunas A) La Brava, B) de Los Padres y C) La Salada
 Figure 3. Water ionic content at different depths in A) La Brava, B) de Los Padres and C) La Salada wetlands

al límite E de la Sierra La Brava, coincidiendo espacialmente con un sistema de fracturación regional definido para dicha sierra por Mauriño *et al.* (1981). La temperatura del agua oscila entre 18,0 y 20,2 °C con un valor medio de 19,0 °C.

La distribución espacial de la CE demuestra el predominio de valores superiores a los 655 µS/cm (Fig. 4.A), se puede observar una zona de menor conductividad localizada en el sector Oeste de la laguna en contacto con el límite de la Sierra la Brava, con valores promedios de 569 µS/cm. Los valores de pH y a la temperatura resultaron ser muy homogéneos existiendo cierta zonación causada posiblemente por la diferencia horaria en la toma de las mediciones.

La Laguna de Los Padres presenta una composición química de tipo bicarbonatada sódica (Fig. 3.B). La representación de estas muestras en el diagrama de Piper permite observar un mayor agrupamiento en el extremo sódico del diagrama con un leve desplazamiento de algunas muestras hacia el vértice del magnesio. Respecto a su composición aniónica, dominan claramente los bicarbonatos. El agua es levemente alcalina con valores de pH que oscilan entre 7,64 y 9,02, y un promedio de 8,53. Se observa una disminución de este parámetro a los 2 m de profundidad, con un valor medio de 7,72. El valor de CE media es de 854 µS/cm, con un rango de variación entre 805 y 895 µS/cm. Al analizar la temperatura a lo largo de la columna de agua se observa que varía de 20,38 a 25,49 °C, con un promedio de 21,66 °C, evidenciando una mayor dispersión de los datos subsuperficiales. La temperatura del agua es similar a la del ambiente, siendo esta última en promedio de 21,7 °C.

El análisis de distribución espacial de los datos fisicoquímicos subsuperficiales en esta laguna mues-

tra el predominio de valores de CE en el rango 850-875 µS/cm (Fig. 4.B), con los menores valores cerca de la desembocadura del arroyo de Los Padres. Para el pH se observaron principalmente valores dentro del rango 8,50-8,75, y un pequeño sector tuvo valores menores a 8,25. Por último, la mayor parte del cuerpo de agua presentó temperaturas entre 20 y 22°C. Las máximas temperaturas (> 24°C) son coincidentes con las zonas de menor profundidad.

El contenido iónico del agua de la Laguna La Salada indica que es de tipo bicarbonatada clorurada sódica (Fig. 3.C). Según su salinidad es oligohalina, con una CE media de 6766.81 µS/cm. Los valores de pH oscilan entre 9,40 y 9,73. Los parámetros fisicoquímicos medidos a diferentes profundidades, muestran un aumento de temperatura hacia la parte más superficial (0.5 m) (Fig. 4.C). En el caso de la CE, se observa un rango menor a mayor profundidad. Los valores promedios de pH y CE en la laguna fueron siempre mayores a los datos medidos en el acuífero.

Arroyos

Se muestrearon los cursos de agua afluentes y efluentes a los humedales, los arroyos de Los Padres (SLP) y El Peligro (SEP) afluentes de las lagunas de los Padres y La Brava, respectivamente, y los arroyos La Tapera (SLT) y Tajamar (STJ) efluentes de las mismas. Su contenido iónico permite establecer algunas diferencias entre ellos (Fig. 2. A y B). En forma general, los arroyos afluentes presentan un buen agrupamiento en los cationes siendo siempre aguas de tipo sódicas y con mayor contenido de calcio y magnesio

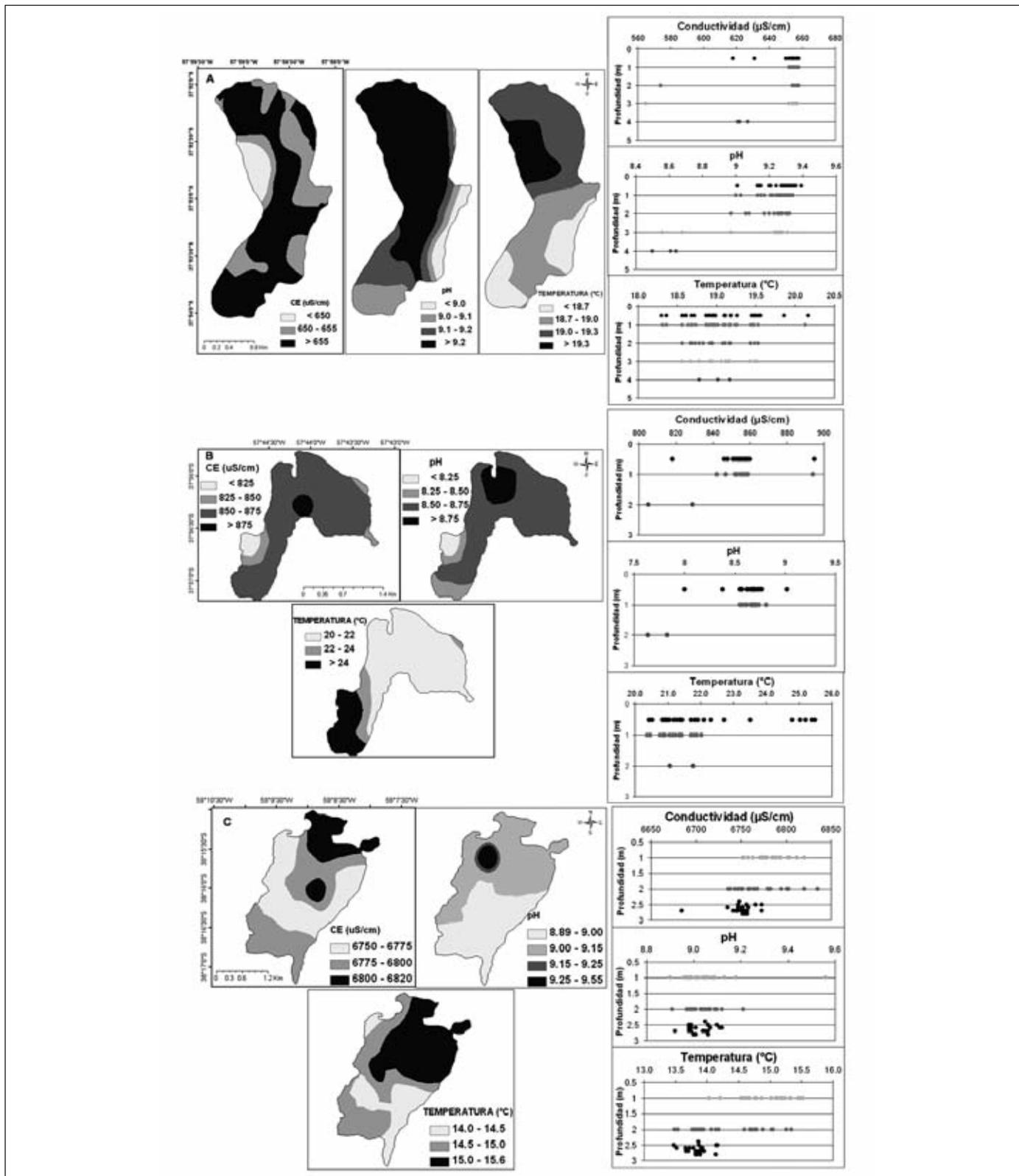


Figura 4. Variación espacial y en profundidad de la conductividad eléctrica (CE), pH y temperatura de las lagunas A) La Brava, B) de Los Padres y C) La Salada
 Figure 4. Spatial and depth distribution of electrical conductivity (CE), pH and temperature of A) La Brava, B) de Los Padres and C) La Salada wetlands

en comparación con los cursos efluentes. En cuanto a lo aniones se observa mayor dispersión en SEP, siendo en algún caso de tipo clorurada bicarbonatada. Para SLP los bicarbonatos son predominantes. Los arroyos efluentes, por su parte, presentan una composición química de tipo bicarbonatada sódica. La CE promedio del agua en SEP es de 658 $\mu\text{S/cm}$, mientras en SLP el valor medio es de 808 $\mu\text{S/cm}$. En el caso de los arroyos efluentes, las CE medias son 646 (STJ) y 822 $\mu\text{S/cm}$ (SLT). El valor de pH en los cursos de agua superficial de la zona serrana fluctúa entre 7,3 y 9,0, con un promedio general de 7,92. Los valores más altos se observan en los arroyos efluentes, con un rango de variación de 7,47 a 8,98 y un promedio de 7,98, mientras que en los cursos afluentes este parámetro varía de 7,3 a 8,3 con un valor medio de 7,77.

Caracterización isotópica

Los resultados de las determinaciones isotópicas fueron graficados en un diagrama convencional $\delta^2\text{H}$ Vs.

$\delta^{18}\text{O}$, junto con la líneas meteóricas mundial (LMM) y local (LML) y datos isotópicos promedio de precipitación, agua subterránea, arroyos y lagunas (Fig. 5).

En el gráfico puede observarse un agrupamiento en la mayoría de las muestras de agua subterránea, lo que sugiere un sistema bien mezclado a partir del agua lluvia y confirma el origen de la recarga al acuífero a partir de la precipitación. En el sector serrano el 81% de estas muestras de agua subterránea muestran una composición isotópica constante, con un agrupamiento alrededor de un valor medio de -5,41 en $\delta^{18}\text{O}$ y de -29,23 $\delta^2\text{H}$. El 19% restante, indica una composición isotópica diferente al resto del agua subterránea. Las muestras de las lagunas La Brava y de Los Padres indican aguas enriquecidas en isótopos con referencia a las fuentes de agua que las originan (agua subterránea y arroyos afluentes), con un valor promedio de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de 2,62 ‰ y -0,05 para la Laguna La Brava y de -14,67 ‰ y -2,69 para la Laguna de Los Padres. La composición isotópica de los arroyos afluentes a estos humedales es similar al del agua subterránea, con lo cual se comprueba el pre-

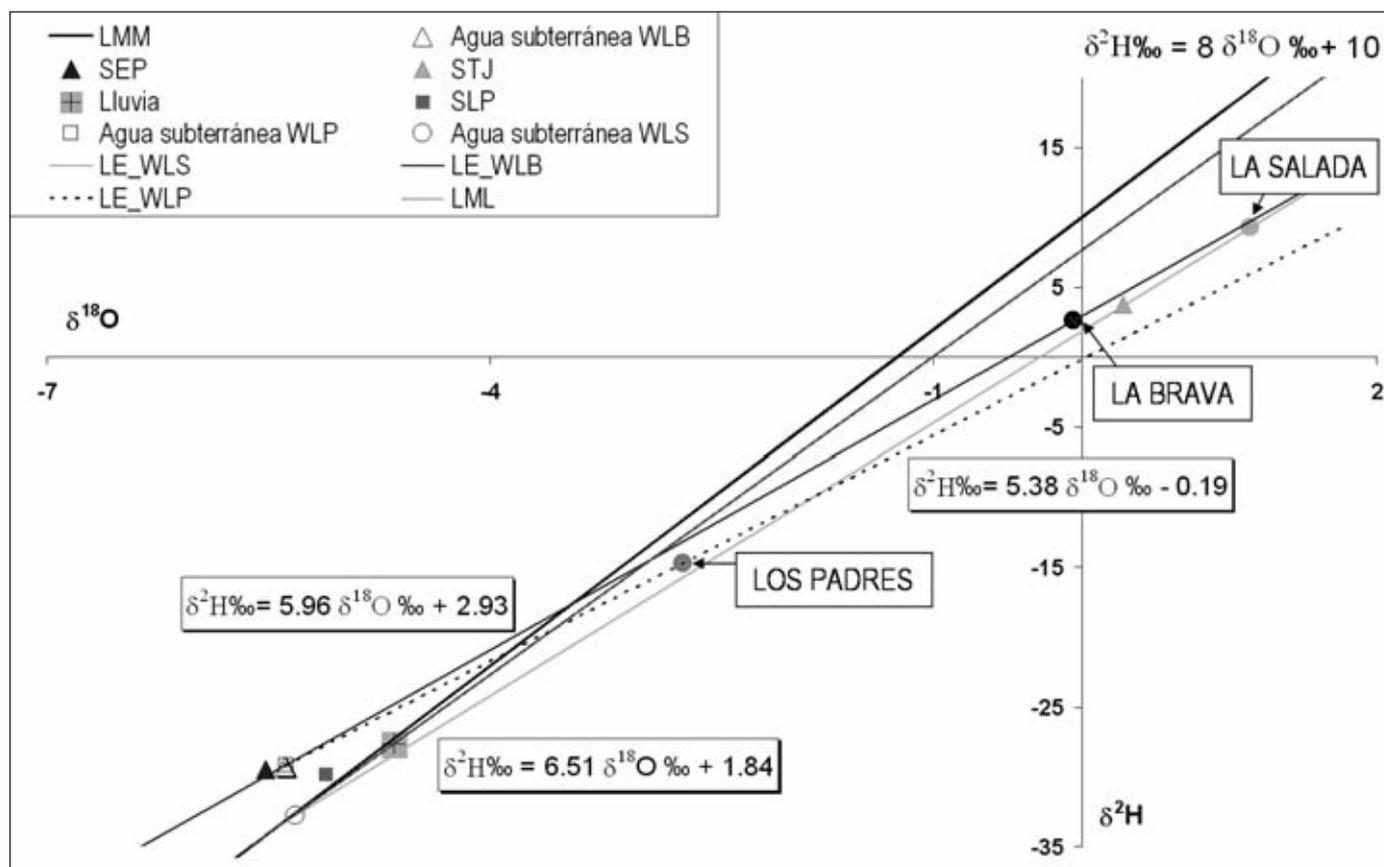


Figura 5. Contenido isotópico promedio ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) del agua subterránea, arroyos, lagunas y agua de lluvia
 Figure 5. Mean isotopic content ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) of groundwater, streams, wetlands and rainfall

dominio de la misma en el caudal de estos cursos de agua. Por otra parte los arroyos que nacen en estos humedales, adquieren su marca isotópica.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ encontrados en las muestras de la Laguna La Salada se ubican sobre una línea de evaporación que tiene como origen la composición media del agua subterránea. Los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en este humedal son de 1,14‰ y 9,27‰ y en el agua subterránea son -5,32‰ y -32,77‰, respectivamente.

Finalmente, se calcularon las líneas de evaporación para cada una de las lagunas, teniendo como punto de partida el agua subterránea de su respectiva cuenca. Estas líneas son definidas por las siguientes ecuaciones: $\delta^2\text{H}=5,9612 \delta^{18}\text{O} + 2,9309$ para la Laguna La Brava (LE_WLB), $\delta^2\text{H}=5,3779 \delta^{18}\text{O} - 0,1871$ para la Laguna de Los Padres (LE_WLP) y $\delta^2\text{H}= 6,5117 \delta^{18}\text{O} + 1,8378$ para la Laguna La Salada (LE_WLS).

Discusión

Teniendo en cuenta que las CE encontradas en las fuentes de recarga de estos humedales (acuífero y/o arroyos afluentes) son diferentes a las medidas en las lagunas, podría considerarse a este parámetro como un indicador de zonas de descarga preferencial. Asumiendo esto, puede inferirse una zona de recarga para la Laguna La Brava, desde el sector E de la sierra homónima, coincidiendo espacialmente con el lineamiento regional definido por Mauriño *et al.*, (1981), sugiriendo un aporte proveniente del sistema de fisuras presente en las ortocuarcitas que conforman esta sierra. Para el caso de la Laguna de Los Padres, se observa una disminución de la CE en el extremo SE, coincidiendo con la desembocadura del arroyo de Los Padres al humedal. La poca profundidad de la laguna en este sector puede hacer muy significativo el aporte de dicho arroyo. Por su parte, en la Laguna La Salada, el mapa de distribución de CE muestra los menores valores en las márgenes NE y SW lo que coincide con las líneas de flujo definidas en el mapa piezométrico por Romanelli *et al.* (2009b). El análisis de los perfiles de profundidad (Fig. 4) corroboran las zonas de descarga para las lagunas de Los Padres y La Brava.

Los valores altos de pH encontrados en el agua de las lagunas, los cuales exceden en todos los casos a los medidos en el acuífero, pueden vincularse a la disminución de la presión parcial de CO_2 en el momento en que el agua subterránea descarga en los humedales y en la evaporación. Esto ocasiona el aumento del pH y la precipitación de CaCO_3 . Este último proceso es observado sobre la línea de costa,

coincidiendo especialmente en los sectores de menor CE en las lagunas. Un proceso similar se evidencia en los arroyos afluentes, comprobando el régimen ganador de los mismos.

La información isotópica muestra que el agua subterránea presenta un contenido relativamente homogéneo, lo que puede interpretarse como el resultado de un sistema bien mezclado. El agua de los arroyos muestra una mayor variación a lo largo de las líneas meteóricas y de evaporación. Las muestras de los arroyos afluentes presentan una marca isotópica similar a la del agua subterránea, lo que evidencia el importante aporte del acuífero al caudal de los mismos. Por su parte los arroyos efluentes, presentan marcas isotópicas similares a las de las lagunas que los originan.

Cada laguna tiene un efecto de evaporación diferente, dando como resultado una marca isotópica propia, lo cual es relevante a la hora de establecer procesos de mezcla en el acuífero aguas abajo. En particular, la Laguna de Los Padres presenta una marca isotópica que refleja menor evaporación que los otros dos humedales, infiriendo una mayor circulación del agua en la misma. Por el contrario, la Laguna La Salada presenta la mayor evidencia de evaporación, lo cual puede explicarse por su condición de cuerpo arreico. Las líneas de evaporación de cada laguna interceptan la LMM cerca del valor isotópico promedio del agua subterránea de sus respectivas cuencas. El agua subterránea de las cuencas de las lagunas La Brava y de Los Padres es muy similar en su contenido isotópico, mientras que las aguas subterráneas de la cuenca de la Laguna La Salada presentan valores más empobrecidos.

En forma general, la interpretación obtenida a partir de los datos hidroquímicos es confirmada por la composición iónica de las diferentes fuentes de agua analizadas (Fig. 2). Para el caso de la Laguna de Los Padres el agua tiene la misma composición de que las facies hidroquímicas más evolucionadas del agua subterránea en su cuenca ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), con un aumento en la concentración de cloruros en su arroyo efluente, lo que sugiere un proceso de evaporación.

Para el caso de la Laguna La Salada se tiene un agua con mayor contenido iónico que en el acuífero. La relación Cl/HCO_3 en la laguna es de 0,43 y de 0,18 en el agua subterránea. El agua subterránea que descarga en la laguna se encuentra en equilibrio con CaCO_3 ($\text{IS} = 0.05$) mientras que en la laguna se encuentra sobresaturada con respecto a este mineral. Esto sugiere un aumento de cloruros debido a un proceso de evaporación y de precipitación de CaCO_3 dada su menor solubilidad, por lo que el incremento de HCO_3^- es proporcionalmente menor en el humedal.

Para esta laguna Romanelli *et al.* (2009b) calcularon un factor de evaporación de 11,4.

En la Cuenca de la Laguna La Brava en cambio, el agua subterránea y la laguna presentan una composición parecida a pesar que los valores isotópicos demuestran un proceso de evaporación en el humedal. La relación Cl/HCO_3^- presenta un valor similar (0,36 y 0,29 respectivamente), lo que sugiere el ingreso de agua bicarbonatada de menor contenido iónico que diluye la concentración del agua subterránea evaporada.

El modelo de evolución hidroquímica planteado en forma general para el acuífero pampeano en la zona, y que toma como punto de partida el agua lluvia, explica la evolución en el contenido iónico en el agua teniendo en cuenta un equilibrio con calcita en un sistema abierto y procesos de intercambio catiónico (Bonorino *et al.*, 2001; Martínez y Bocanegra, 2002; Quiroz Londoño, 2009). La presencia de calcita en diferentes formas (concreciones, estratos o diseminada) en toda la zona, tiene un impacto significativo en la calidad química del agua. Como puede inferirse desde una tendencia evolutiva común en aguas subterráneas (Chevotarev, 1955), el agua evoluciona desde tipo Mg-Ca- HCO_3 en la zona de recarga hasta Na- HCO_3 en la zona de descarga. La presencia de este tipo de humedales puede producir cambios significa-

tivos en las características químicas del acuífero al ser fuente de recarga de aguas con pH altos y conductividades distintas a las del agua subterránea.

Todos estos humedales presentan gran homogeneidad en su composición iónica tanto arealmente como en profundidad, predominando el Na^+ como catión y los HCO_3^- y Cl^- como aniones. De acuerdo a U.S. Department of Interior (1979), el contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} , clasifica al agua de estas lagunas como moderadamente duras. Respecto a los parámetros físicoquímicos, el pH y la temperatura propios de cada humedal son muy similares, pudiendo existir alguna zonación, las mayores variaciones se encuentran en todos los casos referidos a la CE.

Los datos hidroquímicos e isotópicos obtenidos en este trabajo permitieron validar y ajustar los modelos conceptuales propuestos para estos humedales, corroborando el carácter efluente-influente de los mismos. Todos ellos se encuentran en zonas topográficamente bajas, actuando como áreas de descarga tanto del agua superficial como subterránea de sus respectivas cuencas. Para cada uno de ellos se identificaron y localizaron fuentes de recarga preferencial (Fig. 6).

Estas lagunas en forma general, deben ser consideradas como áreas de recarga al acuífero pampeano. Esto resulta de suma importancia ya que los

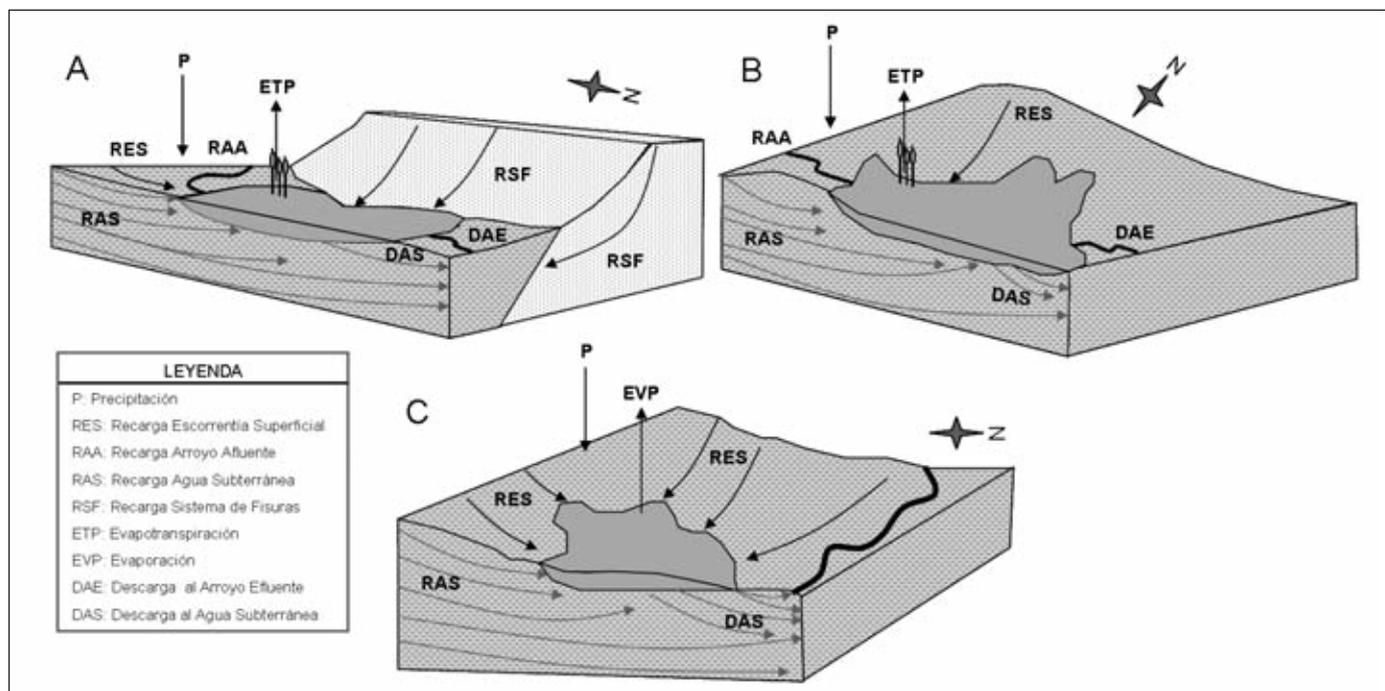


Figura 6. Modelo conceptual del funcionamiento hidrológico de las lagunas A) La Brava, B) de Los Padres y C) La Salada
 Figure 6. Conceptual model of the hydrological functioning of A) La Brava, B) de Los Padres and C) La Salada wetlands

humedales no sólo alimentan al sistema acuífero sino que también contribuyen con el mantenimiento de los niveles freáticos de su zona de influencia. Además, influyen sobre las características fisicoquímicas del agua subterránea filtrando sedimentos y posibles contaminantes (a través de su vegetación litoral) provenientes de las actividades desarrolladas en su cuenca de drenaje, influyendo sobre la calidad del agua para distintos usos.

Conclusiones

El análisis de los iones mayoritarios permitió clasificar a las cuencas de las lagunas La Brava y de Los Padres como de tipo bicarbonatada sódica, y la de La Salada como de tipo bicarbonatada clorurada sódica. Son marcadas las diferencias en cuanto a la CE medida entre las diferentes lagunas; los valores medios de este parámetro son de 6.766,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Salada, 762,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Los Padres y 647,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en La Brava.

A partir de información hidroquímica e isotópica de estas lagunas, se logró confirmar su relación hidrológica de tipo efluente-influente con el acuífero pampeano, las principales fuentes de abastecimiento de los mismos y su importancia como zonas de recarga al sistema. Además, se ajustó el modelo hidrogeológico para cada humedal identificando las zonas preferenciales de recarga en cada uno de ellos. Para la Laguna La Brava se establece una recarga desde el acuífero pampeano y el arroyo El Peligro en la zona S, y un flujo no cuantificado proveniente del sistema de fisuras de la sierra La Brava. Para la Laguna de Los Padres, las fuentes de recarga son el acuífero regional especialmente en el sector SW y el arroyo de Los Padres. Por último, la Laguna La Salada es recargada por el sistema acuífero en los márgenes NE y SW, con un importante aporte desde su lecho.

La información isotópica es consistente con el modelo hidrogeológico conceptual definido para las tres lagunas, confirmando la relación existente entre el agua superficial y subterránea. Las marcas isotópicas de cada componente del sistema hídrico en las diferentes cuencas permitieron corroborar las interacciones entre las distintas fuentes de agua en las mismas. Los parámetros que más información proporcionaron para el ajuste y validación de cada modelo fueron, la CE en la identificación de zonas de recarga preferenciales y el contenido isotópico para establecer las interacciones entre el agua superficial, subterránea y meteórica. Todos estos parámetros sugieren altas tasas de renovación en las cuencas de la laguna de los Padres y la Brava, por el contrario

para la Laguna La Salada se evidencia el predominio de la evaporación.

Los resultados de este trabajo dejan de manifiesto la importancia hidrogeológica que estos humedales tienen para el acuífero. Esto debe ser considerado en las políticas de gestión que se tienen para estos cuerpos de agua, las cuales hasta el momento sólo consideran los servicios ecosistémicos relacionados con la provisión de oportunidades de recreación y el soporte de la biodiversidad. Los modelos hidrogeológicos ajustados obligan a pensar en las cuencas de estos humedales como zonas de alta vulnerabilidad para el acuífero y como fuentes de recarga al mismo. Esta característica debe ser incluida en los planes de ordenamiento del territorio como factor clave a la hora de llevar a cabo diferentes actividades alrededor de estos cuerpos de agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Téc. Higrógrafo A. Ferrante por su colaboración en los muestreos y al Téc. Químico G. Bernava por los análisis químicos. Estos estudios fueron financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por el CRP "Isotopic techniques for assessment of hydrological processes in wetlands", la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) PICT 07-00390 y la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Referencias

- APHA. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 1100 pp.
- Bonorino, G., Albouny, R. y Rossi, S. 2001. La influencia del sistema carbonatado sobre el quimismo del agua subterránea (Cuenca Superior del Arroyo Chasicó). *Geoacta*, 26, 1-11.
- Calmbach y Waterloo Hydrogeologic. 2003. *Water Quality Data Analysis, Plotting, y Modeling; Aquachem User's Manual v.4.0.*, Co-Developed by Lukas Calmbach and Waterloo Hydrogeologic, Inc., United States of America, 276 pp.
- Chevotarev, I. I. 1955. Metamorphism of natural water in the crust of weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 8, 22-48.
- Cionchi, J. L., Schnack E. J., Álvarez J. R., Bocanegra, E. M., Bogliano, J. E. y Del Río, J. L. 1982. *Caracterización hidrogeológica y físico-ambiental de la laguna de Los Padres, Partido de Gral. Pueyrredón, Provincia de Bs. As.* Convenio Municipalidad de Gral. Pueyrredón-CGCyC, UNMdP, 101 pp.
- Clark, I. y Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publisher, New York, 328 pp.

- Dangavs, N. 2005. Los ambientes acuáticos de la Provincia de Buenos Aires. En: R.E de Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata, 219-236.
- ESRI. 2007. *Environment System Research Institute*. Home page: <http://www.esri.com>.
- Fontes, J. C.H. 1980. Environmental Isotopes in groundwater hydrology. En: Fritz, P., Fontes, J. C.H (eds.), *The Terrestrial Environmental Handbook of Environmental Isotopes Geochemistry*, Vol I, Elsevier, Amsterdam, 75-140.
- Gao X., Wang, Y., Wu, P. & Guo, Q. 2010. Trace elements and environmental isotopes as tracers of surface water-groundwater interaction: a case study at Xin'an karst water system, Shanxix province, Northern China. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1223-1234.
- Gonfiantini, R. 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271, 534-536.
- González, N. 2005. Los Ambientes Hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata 2005, 359-374.
- Grosman, F. y Sanzano, P. 1999. *Estudio ictiológico Laguna La Brava, Partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires*. Informe Final. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro, 26 pp.
- Hem, J. D. 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. *U.S.G.S. Water-Supply Paper*, 2254, fourth printing, 263 pp.
- Kruse, E. 1987. El agua subterránea en el régimen hidrológico de Laguna la Brava. *Informe* 40, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, 18 pp.
- MA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis. *Millennium Ecosystem Assessment report to the Ramsar Convention*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Martínez, D. y Bocanegra, E. 2002. Hydrochemistry and cationic exchange processes in the coastal aquifer of Mar del Plata, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 10 (3), 393-408.
- Martínez, D., Bocanegra, E. M. y Manzano, M. 2000. La modelación Hidrogeoquímica como herramienta en estudios Hidrogeológicos. *Boletín Geológico y Minero*, 111-4, 83-98.
- Martínez, G. 2000. *Geomorfología y geología del Cenozoico superior de las cuencas de drenaje de los arroyos Los Cueros y Seco, Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral. Univ. Nac. Del Sur. Inédito.
- Martínez, G. 2007. Mapeo geomorfológico con imágenes Landsat 7 y Radarsat 1 en la cuenca del río Quequén Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *XII Congreso de la Asociación española de Teledetección*. 19-21 de septiembre, Mar del Plata, Argentina.
- Mauriño, V., Varde, O. y Scanavino, R. 1981. Investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas para el proyecto de una central hidroeléctrica de acumulación por bombeo. *VIII Congreso Geológico Argentino*, San Luis, Actas II, 45-66.
- Mazor, E. 1991. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Marcel Dekker, New York, 413 pp.
- Pozzobon, M. V. y Tell, G. 1995. Estructura y dinámica de la comunidad perifítica sobre *Ricciocarpus natans* (Hepaticae) de la Laguna de Los Padres (Buenos Aires, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 30 (3-4), 199-208.
- Quiroz Londoño, O. M. 2009. *Hidrogeología e Hidrogeoquímica de las Cuencas de los Arroyos Tamangueyú y El Moro Provincia de Buenos Aires*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto, 317 pp.
- Quiroz Londoño, O. M., Martínez, D. E., Dapeña, C. & Massone, H. 2008. Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient catchments of the province of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 16 (6), 1113-1127.
- Ringuelet, R. A. 1962. Rasgos principales de las lagunas pampeanas con criterio bioecológico. *Anales de la Comisión de Investigación Científica (CIC)*, Vol. III. La Plata, Argentina.
- Romanelli, A., Lima, M. L., Massone, H. y Escalante, A. 2009a. Caracterización hidroquímica subterránea y su relación con la cobertura del suelo en el Corredor Mar del Plata-Balcarce, Prov. de Buenos Aires. *XXII Congreso Nacional del Agua (CONAGUA)*, Trelew, Argentina.
- Romanelli, A., Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E. y Bocanegra, E. 2009b. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de la laguna La Salada y su relación con el acuífero pampeano (Partido de Necochea, Provincia de Buenos Aires). *VI Congreso Nacional de Hidrogeología y IV Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Actas, Tomo II, 601-610.
- Sala, J.M. 1975. Recursos Hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). *Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires, IV Congreso Geológico Argentino*, Buenos Aires, September 1975, 169 pp.
- Santa Cruz, J. N. y Silva Busso, A. 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. *II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea*, Actas Tomo I, pp 461-473, Tucumán, Argentina.
- Schot, P. y Winter, T (eds.) 2006. Groundwater - surface water interactions in wetlands for integrated water resources management. *Journal of Hydrology*, 320 (3-4), 261-520.
- Sophocleous, M.A. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10, 52-67.
- Teruggi, L., Martínez, G., Billi, P. y Preciso, E. 2004. Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins. *IAHS Publications*, 299, 154-160.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach towards a rational classification of climate. *Geographycal review*, 38, 55-94.
- U.S. Department of Interior 1979. Disponible en internet: <http://www.water-research.net/hardness.html>.
- Wang, Y., Guo, Q., Su, C. & Ma, T. 2006. Strontium isotope

characterization and major ion geochemistry of karst water flow, Shentou, northern China. *Journal of Hydrology*, 328, 592–603.

Winter, T.C. 1999. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 7, 28–45.

Recibido: junio 2010
Revisado: julio 2010
Aceptado: agosto 2010
Publicado: octubre 2010