

# HIDROGEOLOGÍA DE LA REGIÓN ARROCERA DE ENTRE RÍOS

María Santi<sup>3</sup>

Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos.  
Córdoba xxx. (3100) Paraná. Entre Ríos  
Tel/FAX: 0343 - 4207911  
Email: msanti@ciudad.com.ar

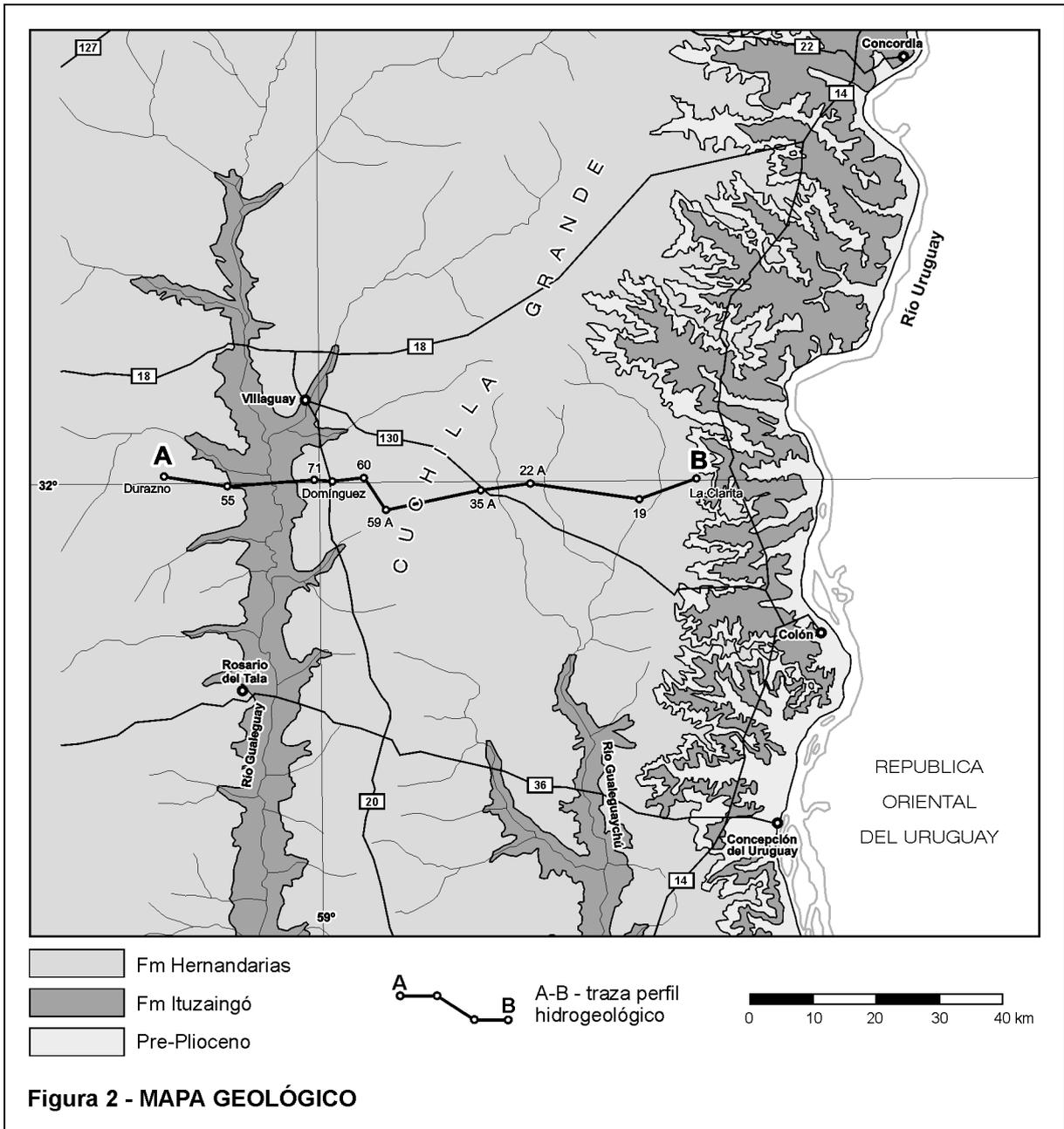
## INTRODUCCIÓN

El ámbito estudiado se ubica en el sector central oriental de la Provincia de Entre Ríos, extendiéndose entre 31° 20' y 32° 40' de latitud S y entre los ríos Uruguay por el E y Gualeguay por el O, ocupando los departamentos Concordia, Villaguay, Uruguay, Gualeguaychú, Tala y Colón, cubriendo unos 14.000 km<sup>2</sup>, Figura 1.

## GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Las unidades más explotadas se desarrollan en los 150 m superiores del perfil, y están contenidas en las formaciones Hernandarias e Ituzaingó. La primera, del Pleistoceno, se emplaza por debajo de la cubierta edáfica, contiene al acuífero freático y se emplea para abasto humano en la zona rural y para el ganado. Por su composición arcillosa, es de muy baja productividad y actúa como semiconfinante del acuífero subyacente, contenido en las arenas fluvio-deltaicas de la Formación Ituzaingó (Plio-Pleistoceno). De este último acuífero se extrae el agua que se emplea para regar con caudales entre 100 y 500 m<sup>3</sup>/h por pozo, con un promedio de 200 m<sup>3</sup>/h (56 l/s). El Acuífero Ituzaingó (AI) se extiende ininterrumpidamente en todo el ámbito estudiado, disponiéndose desde unos 50 m de profundidad (techo) hasta aflorar en la margen del Río Uruguay y cauces de los ríos Gualeguay y Gualeguaychú. El mapa geológico (fig. 2) es una adaptación, con finalidad hidrogeológica, del elaborado por Bertolini (1995). Las variaciones del espesor del AI son desconocidas, dado que sólo la perforación Villa Elisa lo atraviesa totalmente con un registro de 85 m. El AI tiene agua de excelente calidad para los usos corrientes, con un promedio de Residuo Seco de 500 mg/L y una reserva estimada conservativamente en 112.000 hm<sup>3</sup>, en los 14.000 km<sup>2</sup> investigados. Sus parámetros hidráulicos medios son transmisividad 2.500 m<sup>2</sup>/d, permeabilidad 60 m/d, almacenamiento  $5 \cdot 10^{-4}$ , porosidad efectiva 20%, transmisividad vertical del acuitardo  $5 \cdot 10^{-4} \text{ d}^{-1}$  (Auge y Santi, 2003).

Por debajo de una secuencia basáltica cretácica, desde unos 800 a 1.000 m de profundidad, se desarrolla el Acuífero Guaraní, contenido en areniscas eolo-fluviales del Triásico – Jurásico, que ocupa alrededor de 1.200.000 km<sup>2</sup>, en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (Fili et al, 1998), constituyendo la reserva de agua subterránea dulce (40.000 a 50.000 km<sup>3</sup>) más importante del planeta (Auge, 2001). El Acuífero Guaraní se capta mediante perforaciones profundas, del orden de 1.000 m, y se lo emplea para balneoterapia en Concordia, Villa Elisa y Colón.



## CLIMA

Para la caracterización climática se emplearon los registros de la estación Concepción del Uruguay (1968/00), ubicada en el vértice SE del ámbito estudiado. La precipitación media anual para los 33 años fue 1.143 mm; el mes con mayor pluviosidad marzo (132 mm) y el de menor agosto (45 mm). Entre octubre y abril (810 mm) se produce el 71% de la lluvia media anual. Existe una buena correlación entre las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales, debido a que la lluvia local depende en gran medida de la evapotranspiración. La temperatura media anual es de 17,6 °C, con enero como mes más cálido (24,4 °C) y junio como más frío (11,1 °C). El clima varía entre cálido y templado, y seco – húmedo y húmedo.

## GEOMORFOLOGÍA e HIDROGRAFÍA

La región estudiada es una llanura suavemente ondulada en la que se destacan dos formas negativas (ríos Uruguay y Gualeguay) y una positiva que actúa como divisoria de aguas superficiales y subterráneas (Cuchilla Grande) (figura 2). Las pendientes topográficas varían entre  $2 \cdot 10^{-3}$  y  $2 \cdot 10^{-5}$ . También existe un notorio control de las formas topográficas negativas sobre el comportamiento hidrodinámico, pues los cauces y sus llanuras aluviales asociadas, constituyen los ámbitos de descarga preferencial del agua subterránea, tanto para el acuífero freático como para el semiconfinado, fundamentalmente por flujo vertical ascendente hacia el primero; también se produce descarga directa en los cauces y sus márgenes, donde afloran las arenas de la Formación Ituzaingó. Este comportamiento, con recarga en las divisorias topográficas y descarga subterránea en los ámbitos deprimidos, es característico de los ambientes con exceso en el balance hídrico (húmedos).

Respecto a la escorrentía, sólo se dispone de mediciones de caudal en una estación de aforo en el Río Gualeguaychú y otra en el Arroyo Yuquerí Grande, con el agravante de que el lapso registrado abarca solamente 4 años (1993/96). Adoptando los resultados de ambas estaciones, pero sin perder de vista las limitaciones expresadas, se puede asumir preliminarmente un índice de escorrentía orden del 15% de la lluvia.

## BALANCE HÍDRICO

Para el balance hídrico a nivel edáfico se siguió la metodología ideada por Thornthwaite y Mather (1957), dado que ha brindado resultados aceptables en regiones húmedas como la estudiada. Se adoptó una capacidad de campo de 250 mm, pues es la que aparece como más representativa a nivel regional. El INTA obtuvo, considerando los registros mensuales de C. del Uruguay (1968/00):  $P = 37.721$  mm (100%)  $Evtr = 27.159$  mm (72%)  $Ex = 10.562$  mm (28%). El exceso (Ex), alcanza una media anual de 320 mm, que se transforman en 4.480 hm<sup>3</sup> en los 14.000 km<sup>2</sup> de la región estudiada y que deben repartirse entre escorrentía e infiltración.

Para el desarrollo del balance hídrico global o generalizado, que apunta a resolver la ecuación del ciclo hidrológico en condiciones de equilibrio en las reservas (entradas = salidas), se tomaron los valores de las variables obtenidas en C. del Uruguay. La ecuación fundamental del ciclo hidrológico puede desarrollarse de la siguiente forma:

$$P - Evtr = Es + I = Ex$$

**P:** precipitación **Evtr:** evapotranspiración real **Es:** escorrentía **I:** infiltración **Ex:** exceso

En definitiva, considerando la totalidad del ámbito estudiado, el balance hídrico global se resuelve de la siguiente forma (tabla 1).

**Tabla 1**

### BALANCE HÍDRICO GLOBAL

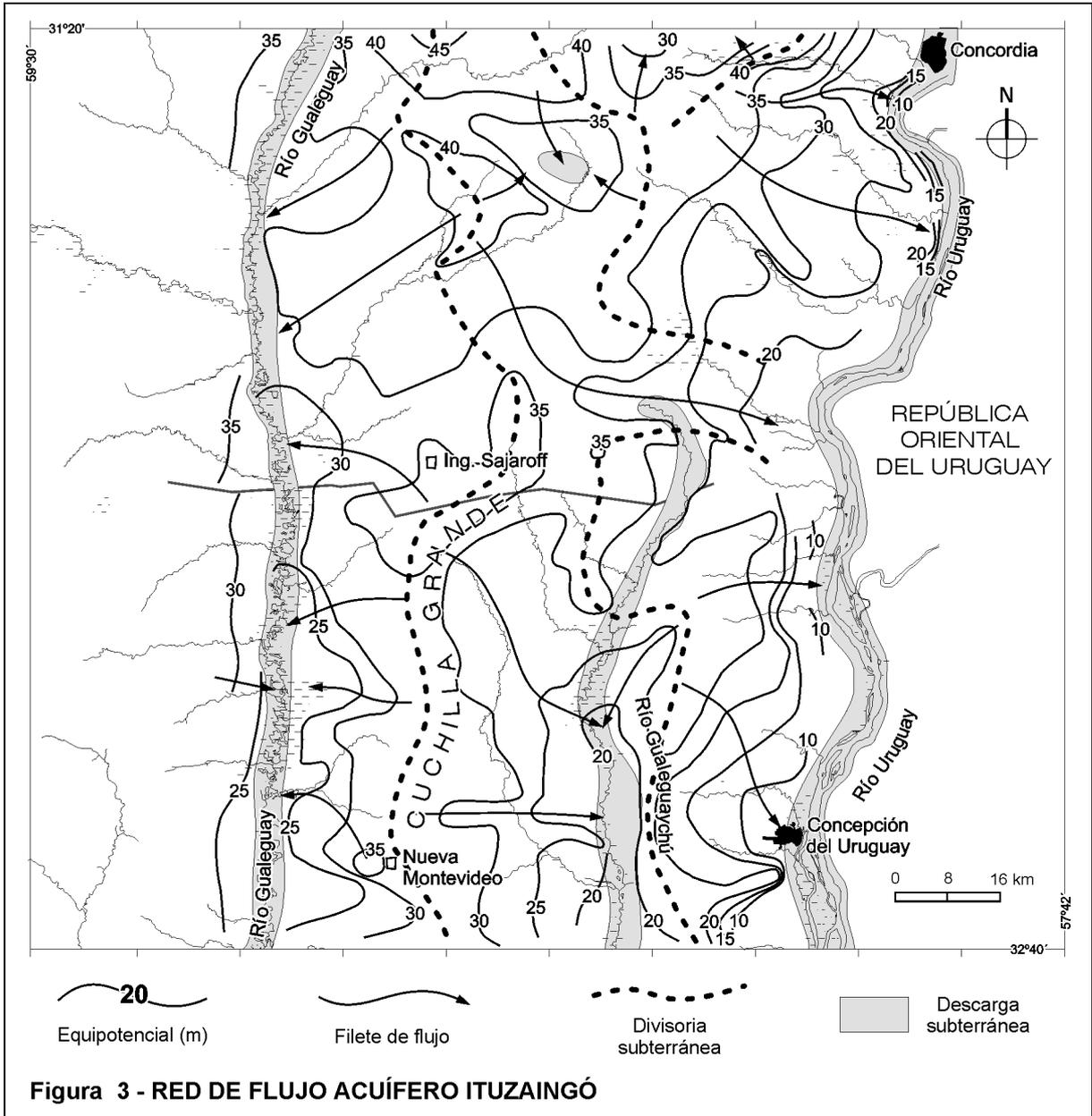
	%	mm/a	hm <sup>3</sup> /a
P	100	1.143	16.002
Evtr	72	823	11.522
Ex	28	320	4.480

Dado que del exceso (28%) aproximadamente un 15% se transforma en escorrentía (171 mm/a), el 13% restante debería corresponder a infiltración (149 mm/a).

## AGUA SUBTERRÁNEA

### Dinámica

El Acuífero Ituzaingó se recarga y descarga localmente. La recarga se produce por filtración vertical descendente a través de la Formación Hernandarias que se le sobrepone y actúa como acuitardo. Existen tres divisorias de aguas subterráneas principales, de orientación meridiana, que indican sitios de recarga preferencial, coincidentes con divisorias superficiales (figura 3). Los ámbitos de descarga subterránea más importantes son los ríos Uruguay, Gualeguay y Gualeguaychú. Analizando la red de flujo del AI (figura 3) y,

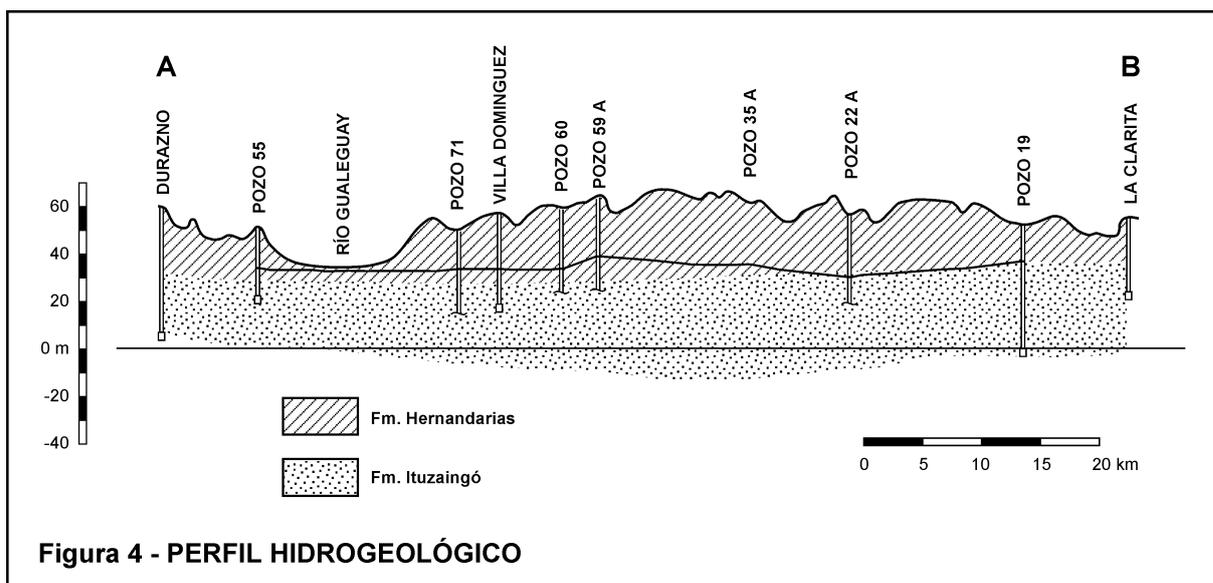


considerando la transmisividad media, los gradientes hidráulicos y las secciones de pasaje, se tiene que hacia el Río Uruguay la descarga subterránea fue de 168 hm<sup>3</sup>/año, hacia el Río Gualeguay de 99 hm<sup>3</sup>/a y hacia el Gualeguaychú de 56 hm<sup>3</sup>/a (2000/01). Por lo tanto la descarga natural total fue del orden de 325 hm<sup>3</sup>/a, con velocidades efectivas extremas de flujo de 14 y 37 cm/día (Auge et al, 2004) (tabla 2).

**Tabla 2**  
**DESCARGA NATURAL ACUÍFERO ITUZAINGÓ**

RÍO URUGUAY						
Zona	Longitud km	Grad. hidr. medio	Caudal		Velocidad	
			m3/d	hm3/a	m/d	m/a
Sector S	98	1,2.10-3	294.000	107	0,37	135
Sector N	107	6,2.10-4	165.850	61	0,19	69
RÍO GUALEGUAY						
Sector S	70	8,3.10-4	145.250	53	0,26	95
Sector N	112	4,5.10-4	126.000	46	0,14	51
RÍO GUALEGUAYCHÚ						
	86	7,1.10-4	152.650	56	0,22	80
TOTAL						
			883.750	323		

La figura 4 es el perfil hidrogeológico Durazno-La Clarita. En el mismo se aprecia la distribución de las formaciones Hernandarias e Ituzaingó y la posición del nivel piezométrico del A1. Existe una divisoria subterránea (pozo 59 A), coincidente con la divisoria superficial de la Cuchilla Grande y a partir de allí, el flujo se orienta hacia el E (Río Uruguay) y hacia el O (Río Gualeguay).



En la campaña 2000/01 el volumen bombeado para regar fue de unos 575 hm<sup>3</sup>, por lo que la suma de las descargas natural y artificial ascendió a unos 900 hm<sup>3</sup>/a. Dado la condición de confinamiento parcial que presenta el Acuífero Ituzaingó, la magnitud de la descarga debe ser aproximadamente igual a la de la recarga, pues el espesor saturado no varió y por ende el cambio en el volumen almacenado es despreciable. Esta apreciación fue corroborada por el cálculo en la variación de agua almacenada, basado en registros piezométricos realizados en épocas con y sin riego. En el lapso considerado (2000/01) predomina el ascenso hidráulico (81 pozos), con un valor medio de +0,68 m, pero también se presentan valores negativos (18 pozos), con una media de -0,52 m. Considerando ambos vectores, la variación de agua almacenada en los 14.000 km<sup>2</sup> estudiados, fue de +3 hm<sup>3</sup>. De acuerdo a la ecuación de continuidad, las entradas a todo sistema subterráneo (recarga), deben ser equivalentes a las salidas (descarga), con la adición o sustracción de la

variación del volumen almacenado. Esta variación representa sólo el 0,33% de la recarga, por lo que puede despreciarse (Auge et al, 2004).

## Química

Respecto a la composición química aniónica, en el agua del AI domina netamente el  $\text{CO}_3\text{H}$  con un promedio de 6,4 meq/l, sobre el Cl (0,5 meq/l), el  $\text{SO}_4$  (0,4 meq/l) y el  $\text{NO}_3$  (0,3 meq/l). Entre los cationes el reparto es: Na (4,3 meq/l), Ca (2,3 meq/l), Mg (0,8 meq/l) y K (0,05 meq/l). Los promedios se calcularon sobre 229 muestras analizadas. En la figura 5 se representa la composición química media del agua subterránea, de acuerdo al método desarrollado por Piper (1944). En definitiva se puede calificar al agua subterránea del ámbito estudiado, como bicarbonatada sódica dominante y cálcica subordinada.

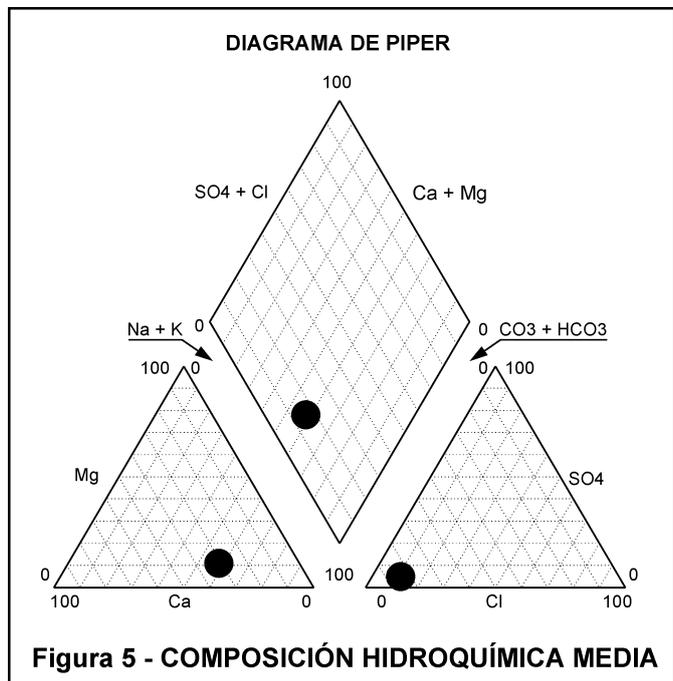


Figura 5 - COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA MEDIA

## Uso

El AI es apto para consumo humano prácticamente en la totalidad del ámbito investigado. En este aspecto sólo el  $\text{NO}_3$ , pero en pocos pozos (20 sobre 229), limita la potabilidad, tanto en zonas rurales como urbanas, pero la contaminación es de tipo puntual y por ende afecta a un volumen muy reducido de agua subterránea. En relación al residuo seco (RS), que aparece como limitante de la potabilidad prácticamente en todas las normas argentinas y extranjeras, la del Código Alimentario Argentino establece un límite para la potabilidad de 1.500 mg/l. El residuo seco máximo de las muestras obtenidas fue 1.900 mg/l, el mínimo 21 mg/l y el promedio 428 mg/l; arealmente existe un notorio predominio de concentraciones inferiores a 500 mg/l (figura 6). De lo expuesto se desprende la potabilidad respecto al RS. El AI también es de excelente calidad para regar, dado que el 76% de las muestras analizadas son del tipo C2R1 (riesgo de salinización medio y de sodificación bajo) y el 7% del tipo C1R1 (riesgos de salinización y sodificación bajos); por lo tanto, sólo el 17% de las 229 muestras presentaron un índice superior a C2R1 (figura 7). Además, no hay evidencias de salinización ni de sodificación del suelo, en una región donde se riega desde hace más de 50 años. La aptitud se extiende a los usos industrial y ganadero.

## Reserva

La reserva efectiva del AI en los 14.000  $\text{km}^2$  investigados, se estima conservativamente en 112.000  $\text{hm}^3$ , asumiendo un espesor medio saturado de 40 m y una porosidad efectiva del 20%. Prácticamente la totalidad de dicho volumen es apto para los usos corrientes.



## CONCLUSIONES

El Acuífero Ituzaingó constituye el recurso hídrico más importante de la región central oriental de Entre Ríos, tanto por su reserva (112.000 hm<sup>3</sup>), como por su productividad (100 a 500 m<sup>3</sup>/h por pozo) y por su calidad química, que lo hacen apto para los usos corrientes (riego, consumo humano, ganadero e industrial).

El AI se extiende en todo el ámbito estudiado (14.000 km<sup>2</sup>) y se emplaza desde la superficie, afloramientos en los cauces y márgenes de los ríos más importantes, hasta unos 50 m de profundidad (techo), con un espesor de 85 m, valor indicativo pues fue registrado en una sola perforación (Villa Elisa).

El AI está semiconfinado por su techo, debido a que se le sobrepone la secuencia arcillosa de la Formación Hernandarias y se recarga y descarga localmente, desde y hacia esta última, mediante el proceso de filtración vertical

descendente y ascendente. La recarga es del orden de 900 hm<sup>3</sup>/a, magnitud que no debe superarse con la explotación a fin de no afectar la Reserva, manteniendo el equilibrio entre entradas y salidas. Con dicho caudal se pueden regar 100.000 hectáreas, mediante el bombeo de unos 2.500 pozos.

## REFERENCIAS

- Auge M. 2001.** Acuífero Guaraní. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) # 57: 53-58 y # 58: 56-60. Buenos Aires.
- Auge M. y Santi M. 2002.** Disponibilidad de agua subterránea para la producción arrocerá de la Provincia de Entre Ríos. Prov. ER – CFI. Inéd: 1-53, 11 mapas, 30 tablas, 63 figuras. Buenos Aires.
- Auge M. y Santi M. 2003.** Riego con agua subterránea en la región arrocerá de Entre Ríos – Argentina. Rev. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (AIDIS) ISSN 0328-2937 # 71: 64-71. Buenos Aires.
- Auge M., Santi M. y Sánchez C. 2004.** Flujo y explotación de un acuífero semiconfinado como indicadores de su recarga. Entre Ríos – Argentina. XXXIII International Hydrogeology Congress. Proceedings. Zacatecas, México.
- Bertolini J. 1995.** Mapa Geológico de la Provincia de Entre Ríos (1:500.000). Secretaría de Minería de la Nación – Provincia de Entre Ríos.
- Fili M., Rosa Filho E., Auge M., Montañó J. y Tujchneider O. 1998.** El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Inst. Tecnol. Geomin. de España. Vol. 109 # 4: 73-78. Madrid.
- Knoche W. y Borzacov V. 1947.** Provincias climáticas de la Argentina. En Geografía de la República Argentina. (GAEA). T VI: 140-174. Buenos Aires.
- Piper A. 1944.** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 25: 914-923.
- Thorntwaite C. y Mather J. 1957.** Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climate Drexel Inst. of Techn. # 10: 185-311.

