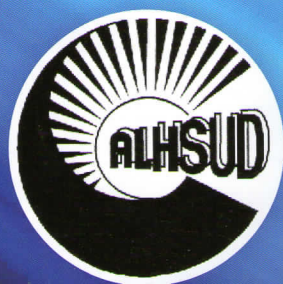


Volumen 8 - junio / 2012

ISSN: 1676-0999



# Revista Latino-Americana de Hidrogeología

Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo  
Associação Latino-Americana de Hidrologia Subterraneã para o Desenvolvimento

## EL PROGRAMA DE GEOHIDROLOGÍA COMPARADA EN LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO URUGUAY (ARGENTINA-URUGUAY)

Hernández, Mario A.<sup>1</sup>, Montañó, Jorge J.<sup>2</sup>, González, Nilda<sup>1</sup>, Collazo, Paula<sup>2</sup>  
Trovatto, María M.<sup>1</sup>, Hernández, Lisandro<sup>1</sup>, Álvarez, M. del Pilar<sup>1</sup>, Montañó, Mauricio<sup>2</sup>

**Resumen:** Se presenta un programa de investigación basado en un convenio suscripto entre las facultades de Ciencias Naturales UNLP (Argentina) y de Ciencias UDELAR (Uruguay), para el estudio geohidrológico integral de la cuenca inferior del río Uruguay, compartida entre ambos países. El área involucrada es de aproximadamente 8500 km<sup>2</sup>, elongada según el río entre las ciudades de Colón-Paysandú y Carmelo. Se lleva a cabo bajo el paradigma de la geohidrología comparada, a partir de que la recarga del sistema es la misma en el territorio de las dos márgenes, el comportamiento del río es ganador, las características hidroquímicas subterráneas son semejantes, pero la geología y conformación física del sistema acuífero difieren, al igual que la aplicación agrícola del agua subterránea. El programa plantea la resolución de un balance hídrico basado en información procedente de estaciones de registro uruguayas y argentinas, relevamiento geológico y geohidrológico, muestreo, elaboraciones hidrodinámicas e hidroquímicas y evaluación de las disponibilidades hídricas, para formular un modelo de comportamiento que permita sobre la base de las comparaciones, reproducir los mecanismos actuantes en los subsistemas acuíferos. Se incluye la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos en la comarca. Especial importancia se otorga a la cultura de uso del agua para riego, ya que mientras en Argentina existe una tradición en arroz, trigo y soja basado en el recurso hídrico subterráneo, en Uruguay recién se están desarrollando estas prácticas y requiere para su expansión sustentable la evaluación cuali-cuantitativa y propuesta de manejo eficaz, basada en la experiencia y el conocimiento sistémico.

Palabras clave: Geohidrología, río Uruguay, cuenca inferior, programación.

**Abstract:** This paper presents a research program based on the agreement signed between Facultad de Ciencias Naturales, UNLP (Argentina) and Facultad de Ciencias, UDELAR (Uruguay), for a comprehensive geohydrological study of the lower basin of Uruguay river shared by both countries. The studied area is a strip of about 8500 km<sup>2</sup> alongside the river between de cities of Colón-Paysandú and Carmelo. The research is conducted under the paradigm of compared geohydrology, whereby the system recharge is similar in the territory of both banks, the behaviour of

<sup>1</sup>Facultad de Cs. Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 60 y 122 (1900) La Plata, Argentina. mario\_h@sinectis.com.ar

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias. Universidad de la República. Iguá 4225 (11400), Montevideo, Uruguay. montanox@movinet.com.uy

the river is gaining, the underground hydrochemical characteristics are similar, but the geology and physical arrangement of the aquifer system are different, as well as the agricultural application of groundwater. The program presents the resolution of a water balance based on information from Uruguayan and Argentinian recording stations, geological and geohydrological survey, sampling, hydrodynamic and hydrochemical elaborations and evaluation of water, in order to formulate a behaviour model which allows the mechanisms acting in the aquifer subsystems to be reproduced based on the comparisons. The determination of the regional aquifer vulnerability is included. Special attention is given to the culture of irrigation water use, because Argentina has a tradition in rice, wheat and soybean cultivation based on groundwater, but these practices are only in the beginnings in Uruguay and the expansion requires the quali-quantitative evaluation and the proposal of an efficient management based on experience and systemic knowledge.

Key words: Geohydrology, Uruguay river, low basin, planning.

## INTRODUCCIÓN

La hidrología comparada constituye una excelente herramienta para el mejor conocimiento de los sistemas hidrológicos y, como propone Falkenmark (1989), resulta de estudiar las peculiaridades de los procesos hidrológicos como consecuencia de la influencia del clima, de las características de la superficie terrestre y su subsuelo, con énfasis en el entendimiento de las interacciones entre la hidrología y los ecosistemas (actualmente campo de la disciplina ecohidrológica), determinando el alcance de las predicciones que puedan ser transferidas de una región a otra.

Una buena parte de las contribuciones en tal sentido están dirigidas a la hidrología superficial, y a las comparaciones entre regiones muy diferentes o interregionales (Kovacs, 1989). No existen demasiadas referencias en cambio a la hidrología subterránea, ni a las asimetrías entre componentes de los sistemas hidrológicos en una misma comarca.

Tal el caso del sector inferior de la cuenca del río Uruguay (Argentina-Uruguay), mostrado en la Figura 1, que si bien ofrece un cierto nivel de conocimiento hidrogeológico

en cada uno de los países (Fili et al., 1994; Montañó Xavier et al., 2006; Santi et al., 2007; Mársico, 2007) carece hasta el momento de un estudio integral.

Resulta entonces particularmente interesante analizar que, tratándose de un curso fluvial compartido con un mismo comportamiento ganador o efluente respecto al régimen subterráneo, con recarga a partir de excedentes hídricos de similar cuantía, características hidroquímicas relativamente parecidas y actividades usuarias también semejantes aunque con dispar desarrollo, el marco físico fundamentalmente la geología y su correlato hidrológico es en principio bastante diferente. Se creyó importante entonces proponer una investigación basada en la geohidrología comparada, que pueda atender también a los aspectos ambientales como elementos básicos para una posible propuesta integradora.

La comarca en la cual se propone llevar a cabo la investigación incluye ambas márgenes de la cuenca del río Uruguay en su sector terminal, abarcando el ámbito de la Sub-provincia Cretácica Sedimentaria de la República Oriental del Uruguay (Montañó Xavier et al., 2006) y su equivalente

geográfico argentino, desde las ciudades de Concordia (Argentina) - Salto (Uruguay) hasta la desembocadura en el río de la Plata.

## **OBJETIVOS**

El objetivo liminar de este trabajo no va más allá de dar a conocer a la comunidad hidrogeológica una programación basada en el paradigma de la hidrología comparada, enfocada desde la fase terrestre subterránea del ciclo hidrológico, en el sector inferior de la cuenca del río Uruguay compartido por ambos países (Figura 1).

Dicha programación fue la base para el reciente convenio suscripto por las Facultades de Ciencias de la Universidad de la República (Uruguay) y la de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina (Hernández y Montaña Xavier, 2009), que además de aspirar al conocimiento sistémico de la geohidrología regional, aporte a la componente agropecuaria del desarrollo socioeconómico.

Objetivos concurrentes son el de presentar una metodología que pueda resultar de utilidad en los casos de sistemas que, en un mismo ámbito ofrezcan asimetrías localizadas, apuntar a la mejora en la calidad de vida de la población involucrada, con perspectivas de desarrollo basadas en el uso del agua en el marco de la integración regional, y favorecer la formación de recursos humanos en ambos países sobre la irremplazable base del conocimiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología empleada para esta contribución es en realidad la relación de la utilizada en la formulación del Programa UNLP - UDELAR, que se soporta en la información antecedente existente en los dos países, parte de la cual fue producida por los propios autores en diferentes oportunidades.

Párrafos más adelante está expuesta la programación de la investigación, incluyendo los métodos o técnicas que a nivel conceptual se habrán de emplear. Merece sin embargo

destacarse la aplicación desde un comienzo de un sistema de información geográfica (SIG), utilizando el código ArcGis que como es conocido representa una herramienta de múltiple y versátil utilidad en la temática atinente a los recursos naturales en general y a la ecohidrología en particular. La cartografía básica digital así como los mapas temáticos se construyeron sobre la plataforma de un SIG que permitió compatibilizar los datum locales, debido a los diferentes sistemas que ambos países adoptan, y no ofreció dificultad alguna para manejar información a diferentes escalas.

Con dicho código se guardó la información geográfica en los formatos de modelo vectorial y raster. Se utilizó el formato de ESRI Grid para la representación del modelo de elevación digital del terreno (DEM), con celdas de 30m x 30m. La elaboración preliminar de antecedentes para la formulación del programa permitió percibir, en función de la cartografía básica y el SIG utilizable, los sectores parciales donde procurar información adicional para mantener una densidad lo más homogénea posible, seleccionar la leyenda y escalas parciales más adecuadas.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN**

El ámbito de investigación mostrado en la Figura 1 se extiende por margen derecha desde la divisoria de la cuenca del Uruguay con la del Gualaguay, entre Concordia-Salto por el norte hasta la desembocadura en el río de la Plata (Punta Gorda), y como límite oriental, un meridiano convencional que incluye la mayor parte de la subprovincia Cretácica (Bossi y Navarro, 1991; Montaña Xavier et al., 2006).

Se halla bajo un clima sub-húmedo, desde sub-tropical en el norte a templado húmedo hacia el Sur, con una media pluviométrica superior a los 1100 mm/año. El régimen pluvial es netamente atlántico, influenciado por el anticiclón del Atlántico Sur (Santa Catharina), con lluvias predominantes en la estación estival. La temperatura media anual se ubica entre los 19 °C y 23 °C, disminuyendo de norte a sur.

El relieve es ondulado con serranías bajas, como las cuchillas Grande (Argentina), de Haedo, Navarro, Belén y San Salvador (Uruguay), destacándose la planicie aluvial del río Uruguay y tributarios, y la zona más baja y plana aledaña al delta y río de la Plata. Afluyen al río Uruguay por margen derecha muy pocos álveos (ríos Mocoretá y Gualaguaychú, arroyos, Pedernal y Urquiza), mayor cantidad por margen izquierda: Arapey, Dayman, Queguay, Negro, San Salvador, Ao. de las Vacas, Chapicuy, Vazquez, San Francisco, del Sauce, Bellaco y otros, todos ellos con buen número de afluentes en un patrón dendrítico. Los suelos son mayormente Vertisoles y Alfisoles, con Inceptisoles y Entisoles en las planicies del río Uruguay y tributarios.

La geología e hidrogeología difieren en los términos superiores entre ambas márgenes (Figura 2). En la izquierda aparecen dos unidades claramente diferenciables superpuestas al acuífero profundo Guaraní (Formación Tacuarembó del Triásico-Jurásico) según Montaña Xavier et al. (2006): una inferior conformada por basaltos cretácicos de la Formación Arapey (hasta 1200 m de potencia), con características de acuífero fisurado hasta los 60-80 m de profundidad y rendimientos de 5 a 15 m<sup>3</sup>/h. La superior, por los acuíferos cretácicos en medio poroso de la Formación Guichón (areniscas conglomerádicas a pelíticas) y de la Formación Mercedes (arenas finas y medias, areniscas medias a gruesas y conglomerádicas, calcáreas, con intercalaciones de limos acuitardos). Ambas Formaciones pueden estar superpuestas o faltar alguna, comportándose según la posición como acuíferos libres, semiconfinados o confinados (Montaña Xavier et al., 2006)

En la margen derecha la geología e hidrogeología cambian a partir del techo de los basaltos (Formación Serra Geral), sobre los cuales se apoyan arcillas acuicludas miocenas de la Formación Paraná, seguidas de las Formaciones Ituzaingó (arenas del

Plio-pleistoceno) y Hernandarias (arenas y limo-arcillas pleistocenas), la primera alojando un acuífero semiconfinado, el principal de la región (Auge y Santy, 2003, Auge et al., 2004). Esta unidad es muy productiva, con caudales de 100 m<sup>3</sup>/h a 500 m<sup>3</sup>/h y valores de trasmisividad del orden de 2500 m<sup>2</sup>/d, muy utilizada para riego de arroz. Se discute su identidad con la Formación Salto Chico (Gentile y Rimoldi, 1979). La Formación Hernandarias a su vez, contiene un acuífero freático muy pobre y de limitado aprovechamiento, comportándose fundamentalmente como techo acuitardo de la anterior.

Como ya se anticipará y puede advertirse de la precedente descripción general, el medio físico configura la principal asimetría en la región y uno de los puntos más interesantes de la investigación a emprender.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA PROGRAMACIÓN**

El Programa instrumentado por el convenio UNLP - UDELAR prevé el desarrollo secuente de los siguientes ítems: localización, revisión crítica y transferencia de la información antecedente y tratamiento preliminar.

### **Hidrometeorología**

Selección de estaciones y tratamiento estadístico y gráfico de la información. Elaboración de datos pluviométricos y termométricos. Estimación de la evapotranspiración real y potencial. Balance hídrico. Excesos hídricos y localización interanual.

### **Hidrología superficial**

Análisis de características fluviométricas del río Uruguay. Módulo, caudales de crecida y de estiaje. Relación con el régimen subterráneo. Estimación de caudales de transferencia por diferencias de caudales en secciones contiguas. Aspectos utilitarios.

### **Geomorfología y Geología**

Identificación de geformas principales a ambos márgenes del río. Historia geomorfológica. Identificación de unidades hidromorfológicas, relación con el sistema acuífero. Geología de superficie y subsuelo en territorio uruguayo y argentino. Unidades geológicas aflorantes. Litología y relaciones espaciales. Geología del subsuelo. Estratigrafía. Tectónica. Historia geológica.

### **Hidrogeología**

Transformación de unidades geológicas en hidrolíticas. Discretización de acuíferos (en medio poroso y fisurado), acuitados, acuíclados y acuífugos. Caracterización física del/los sistema/s geohidrológico/s con énfasis en las diferencias hidrolíticas entre sendas márgenes.

### **Hidrodinámica subterránea**

Reconstrucción equipotencial de los principales acuíferos o sistemas acuíferos. Identificación de zonas de recarga, circulación y descarga. Medición de gradientes hídricos. Parámetros geohidrológicos. Estimación de las velocidades de flujo y relación con las aguas superficiales. Transferencia vertical de agua. Análisis comparativo del funcionamiento hidrodinámico en las dos márgenes, similitudes y diferencias.

### **Hidroquímica subterránea**

Caracterización general. Tipificación por el comportamiento iónico. Representación gráfica, familias iónicas. Cartografía hidroquímica. Comparación hidrogeoquímica entre los sistemas a ambos lados del río Uruguay. Elementos minoritarios y oligoelementos. Génesis y dispersión. Comparación. Aptitud para diferentes usos: abastecimiento humano, riego, industrial, recreativo.

### **Aspectos socioeconómicos**

Rasgos principales y relación con las actividades usuarias del agua. Costo del m<sup>3</sup> del agua subterránea en las comarcas

involucradas. Conflictos entre usos. Comparación del panorama socioeconómico entre los territorios.

### **Modelo conceptual geohidrológico de la cuenca inferior del río Uruguay**

Relación del comportamiento entre las dos orillas. Analogías y diferencias. Bases para una modelación matemática. Condiciones de borde e insumos.

### **Propuesta para el desarrollo integral**

Con aprovechamiento sustentable de aguas subterráneas, basado en la información reunida en el proyecto y sus conclusiones y la aplicación coordinada en los países involucrados.

### **ENTORNO SOCIOECONÓMICO**

La población de la comarca orilla los 630,000 habitantes, de los cuales 390,000 moran en la margen argentina, siendo las ciudades más importantes Concordia, Salto, Gualguaychú, Concepción del Uruguay, Paysandú, Colón, Mercedes y Fray Bentos. La actividad económica más importante es la agricultura (cultivos de arroz, soja, trigo, maíz, cítricos y silvicultura), seguida de la ganadería en los sectores bovino y avícola, con ovinos en menor escala. El sector secundario, en crecimiento, está representado por la agroindustria, elaboraciones derivadas de la madera e industria cárnica, existiendo una cada vez mayor participación del turismo (INDEC, 2005; Instituto Nacional de Estadísticas, 2009).

La represa hidroeléctrica binacional de Salto Grande (Concordia-Salto) es la principal fuente energética de la región, además del gasoducto que desde Argentina provee gas natural a Uruguay. Por su íntima relación con el tema, debe resaltarse el uso de agua subterránea para riego principalmente en Argentina, como factor de desarrollo socioeconómico (Auge y Santi, 2003; Auge et al., 2004; Díaz et al., 2007).

Es prioritario económicamente para el Uruguay el empleo de aguas subterráneas atendiendo a la experiencia que especialmente en Entre Ríos, Argentina se posee, no solamente para incrementar la producción de cereales y oleaginosas, sino como resguardo ante eventos de sequías prolongadas como las acaecidas en 2008 y 2009.

## CONCLUSIONES

Se plantea la posibilidad de aplicar los paradigmas de la hidrología comparada, en un caso singular, cual es el de las asimetrías en una misma cuenca compartida por dos países y que presenta muchas similitudes en el funcionamiento geohidrológico.

Involucra el sector inferior de la cuenca del río Uruguay, en un área de 8500 km<sup>2</sup> que abarca el este de la Provincia de Entre Ríos (Argentina) y el dominio de la sub-provincia cretácica del Uruguay, en una franja que se extiende desde Colón-Paysandú hasta la desembocadura en el río de la Plata.

El conocimiento del sistema con sus particularidades, ayudará a la mejor aplicación del agua subterránea y protección de los acuíferos, a partir del conocimiento de su vulnerabilidad en ambas márgenes.

El producto pretendido es el modelo conceptual geohidrológico de la comarca teniendo en cuenta las analogías y diferencias, como base para una propuesta de manejo sustentable y desarrollo integral coordinada por los países.

## REFERENCIAS

Auge, M. y Santi, M., 2003. Riego con agua subterránea en la región arroceras de Entre Ríos-Argentina. *Rev. Ing. Sanit. y Ambiental (AIDIS)*, Buenos Aires, 71:64 -71, 2003.

Auge, M., Santi, M. y Sánchez, C., 2004. Flujo y explotación de un acuífero semiconfinado como indicadores de su recarga. Entre Ríos - Argentina. En XXXIII IAH Congress - 7º Congreso ALHSUD, Abstracts, 36. Zacatecas,

México.

- Bossi, J. y Navarro, R., 1991. Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones. UDELAR, 967 pp. Montevideo.
- Díaz, E., Duarte, O., Romero, E. y Valenti, R., 2007. Las aguas subterráneas de la Formación Salto Chico. Hidroquímica y aptitud en la producción agropecuaria. en: III Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Grupo Argentino AIH-UNER, Actas 125-131. Paraná.
- Falkenmark, M., 1989. Comparative hydrology - a new concept En: Falkenmark, M. y T. Chapman (eds) Comparative Hydrogeology. 10-42 UNESCO. París.
- Fili, M. F., Tujchneider, O, Pérez, M. y Paris M., 1994. Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. UNMDP - CFI, 299-313. Mar del Plata.
- Gentile, C. y Rimoldi, H., 1979. Mesopotamia. En: Academia Nacional de Ciencias Geología Regional Argentina. Tomo I 185-223. Córdoba.
- Hernández, M. A. y Montañó Xavier, J., 2009. Programa de investigación hidrogeológica en la cuenca inferior del río Uruguay. Convenio Fac. de Cs. UDELAR - Fac. de Cs. Naturales y Museo UNLP. Montevideo (inédito).
- INDEC, 2005. Censo Económico Nacional 2004/2005. Resultados provisionales. INDEC. Buenos Aires. <http://www.indec.mecon.ar/>.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2009. Uruguay en cifras. <http://www.ine.gub.uy>.
- Kovacs, G., 1989. Techniques for inter-regional comparasion. En Falkenmark, M. y Chapman, T. (eds). Comparative Hydrogeology 131-145 UNESCO. París.
- Mársico, D., 2007. Aportes al conocimiento geohidrológico del borde oriental de la cuenca chacoparanaense de la Provincia de Entre Ríos. en: Taller

de Acuíferos Transfronterizos. Grupo Argentino AIH-UNER 13-30. Paraná.

Montaño Xavier, J., Gagliardi, S. y Montaño, M., 2006. Recursos hídricos subterráneos del Uruguay. Boletín Geológico y Minero. 117-1: p. 201-222, Madrid.

Santi, M., Bianchi, G. y Rezzónico, G., 2007. Agua subterránea en la región Sudeste de la Provincia de Entre Ríos. en: V

Congreso Argentino de Hidrogeología, Grupo Argentino AIH-UNER. Actas, 307-318. Paraná.

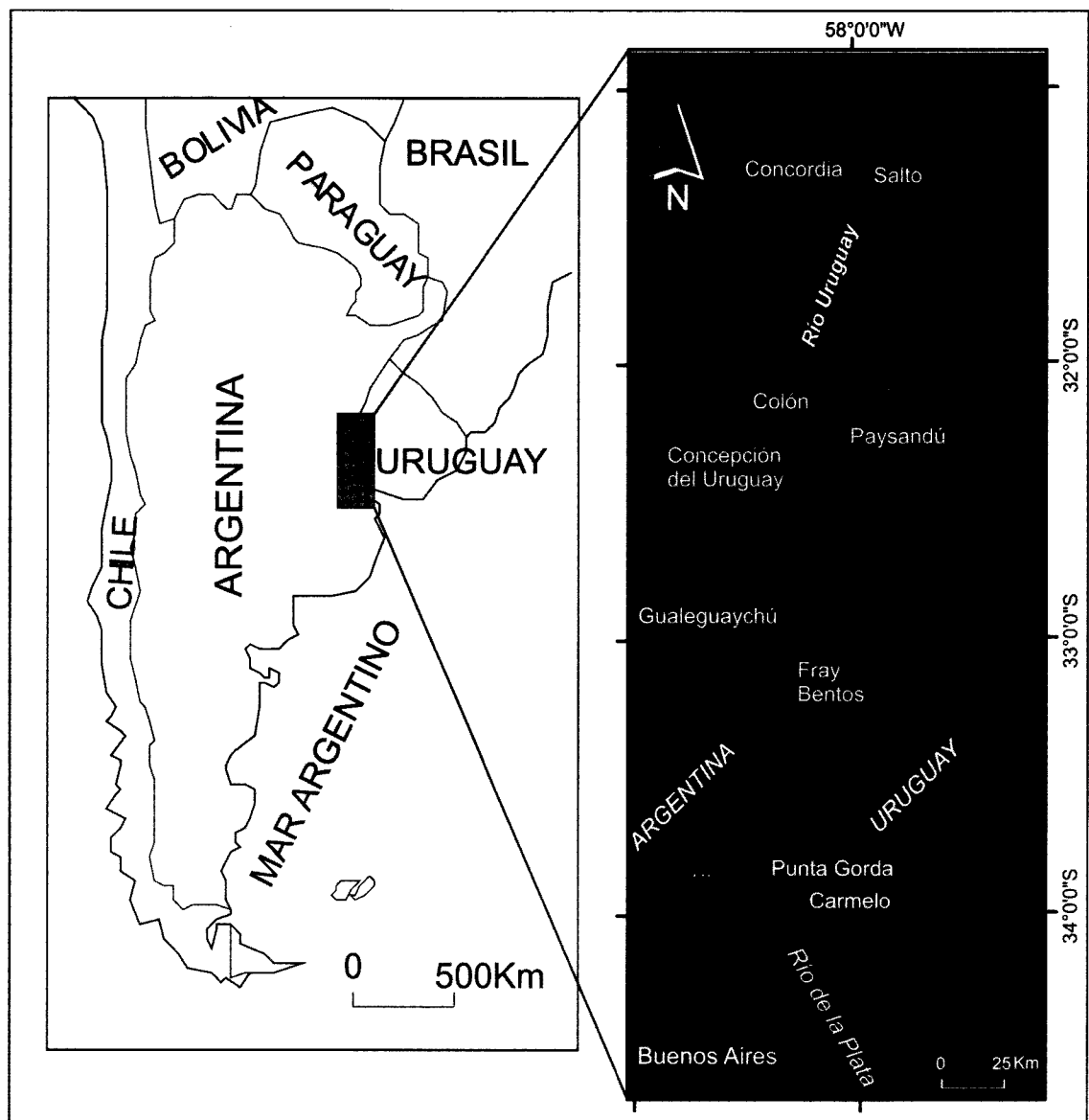


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en sector inferior de la cuenca del río Uruguay.



## MARGEN IZQUIERDA

## MARGEN DERECHA

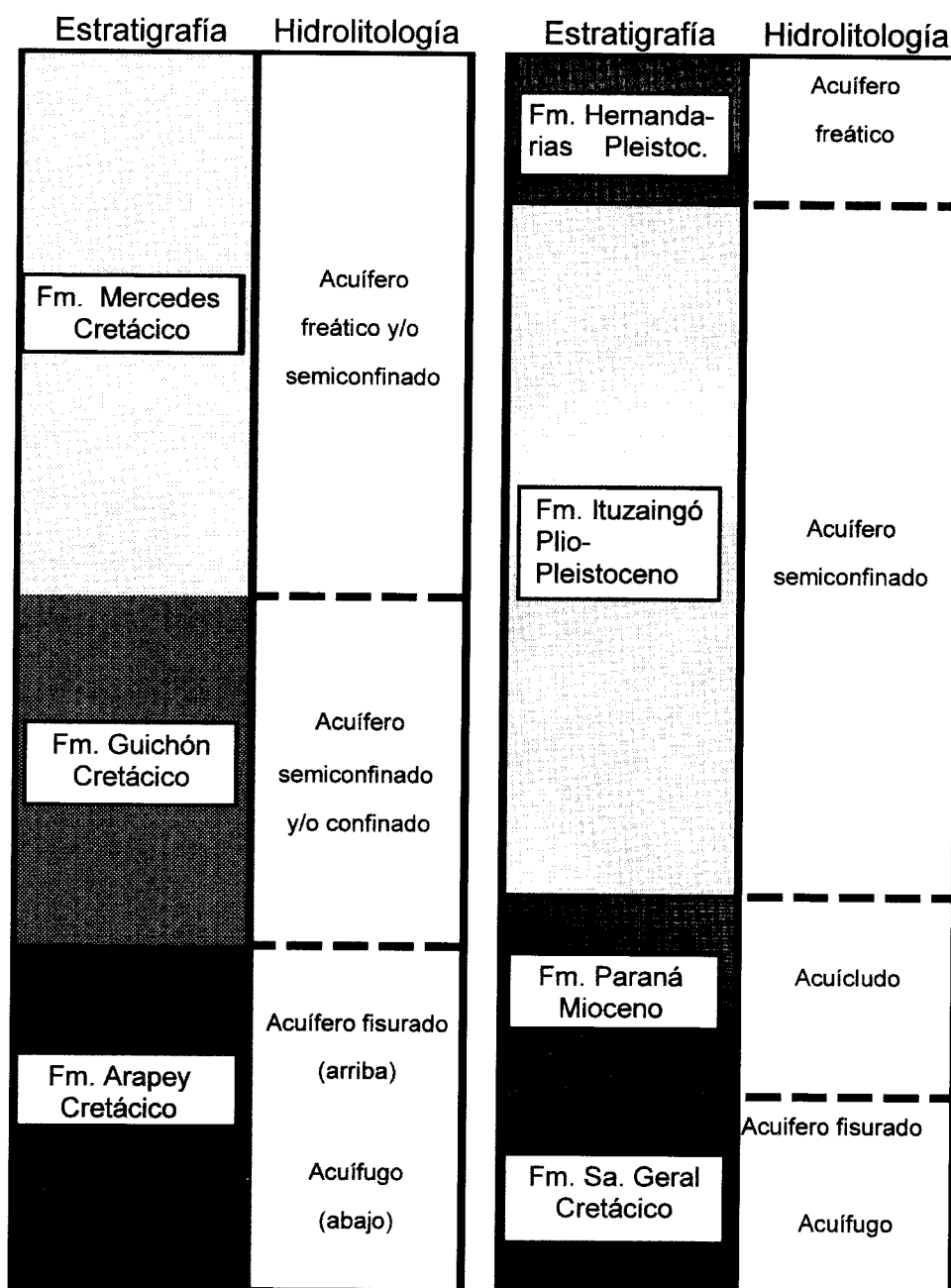


Figura 2. Estratigrafía e hidrolitología del sector inferior de la cuenca del río Uruguay.