

**RIESGO A LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DEL DELTA DEL PARANA. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. REPUBLICA ARGENTINA.**

José BARBAGALLO (\*) y Elisabet RONZONI (\*\*)

**RESUMEN**

En el presente trabajo se referencian las características geohidrológicas generales del Delta del Paraná diferenciándose a las secciones que conforman el modelo hidroestratigráfico propuesto, el que considera al señalado por otros investigadores.

Asimismo, se determina el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas estimando el peligro potencial de la carga contaminante que es o pudiera ser introducida al medio debido a las actividades antrópicas preponderantes y evaluando la vulnerabilidad de los acuíferos según el esquema propuesto por Foster (1987).

Finalmente, se observa la variabilidad del riesgo de contaminación de las fuentes subterráneas en dependencia de las actividades desarrolladas en cada sector.

(\*) (\*\*) Licenciado en Geología

(\*) Consejo Federal de Inversiones (\*\*) CONICET

Calle 3 n° 683 (1900) La Plata Dpto de Ciencias Geológicas, F.C.E. y N., Universidad  
República Argentina de Buenos Aires, Pabellón II, Ciudad Universitaria,  
Tel. y Fax: 54 (021) 45759/244199 (1428) Capital Federal. República Argentina.

**INTRODUCCION**

La zona de trabajo abarca el Delta del Paraná (3200 Km<sup>2</sup>) encontrándose ubicado en el noreste de la provincia de Buenos Aires y extremo sur de la provincia de Entre Ríos, entre los 33° 40' y 34° 29' de latitud sur y 58° 20' y 59° 40' de longitud oeste.

Los límites del área están dados por: a) al norte, tramos de los ríos Paraná Inferior, Paraná Guazú y Paraná Bravo y, en toda su longitud, el río Gutiérrez; b) al este, el Río de la Plata; c) al sur, el río Baradero, un tramo del río Paraná de las Palmas y el río Luján y d) al oeste, la localidad de San Pedro, en el sector donde nace el río Baradero.

El Delta del Paraná es clasificado como constructivo y, en dependencia de su diseño morfológico, lobulado. En el Río de la Plata, cuenca receptora de los numerosos cursos de la región, coexisten las geoformas, estuario y delta.

El régimen hidrológico que rige los cursos de esta área es naturalmente complejo debido a la acción de las mareas y de los vientos. Estos últimos, cuando proceden del sudeste, llegan a invertir el sentido de escurrimiento de las aguas. Así, si las crecidas y los estiajes debidos a las lluvias en la Alta Cuenca presentan ciclos medios estacionales característicos y desfasados pueden asumir valores extremos en períodos no habituales. No obstante, las principales crecientes en el Delta del Paraná se producen generalmente en los meses de marzo y abril.

En esta región impera un clima que, según la clasificación de Thornthwaite y Mather, es húmedo, con nulo a pequeño déficit de agua, mesotermal y una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 %. La temperatura media anual oscila entre los 16 y 17 °C siendo las máximas y mínimas medias mensuales de 29,9 °C en enero y 5,9 °C en junio, respectivamente. La precipitación media anual es del orden de los 1115 milímetros con valores máximos en enero (144 mm) y mínimos en mayo (49 mm). La humedad relativa ambiente es abundante todo el año con valores medios mensuales del 70 al 85 %.

La densidad poblacional es baja debiéndose ajustar las actividades económicas a un medio que, por sus características naturales particulares, es muy hostil al asentamiento humano. Se destacan la actividad forestal, los aserraderos, la fruticultura, la floricultura, el cultivo de mimbre, formio, hortalizas y plantas ornamentales, la actividad arenera y turística. Esta última tiene una incidencia fundamental en la distribución espacial de la población existiendo mayores concentraciones en las proximidades a la Estación Tigre y disminuyendo gradualmente hacia el oeste.

**CONDICIONES GEOHIDROLOGICAS GENERALES**

Regionalmente, el Delta del Paraná se localiza en un ambiente negativo o deprimido caracterizado por un mal drenaje superficial y una predominancia de la descarga frente a la recarga de las aguas subterráneas.

El modelo hidroestratigráfico está constituido, de abajo hacia arriba, por el Basamento Hidrogeológico, la Sección Hipoparaniana, la Sección Paraniense, y finalmente la Sección Epiparaniana.

### Basamento Hidrogeológico

Está constituido por el Basamento Cristalino y los Basaltos de Serra Geral. El agua acumulada forma cuerpos aislados comunicados o no y su volumen está en relación directa con el grado de abertura de las fisuras, su tamaño y la existencia de intercomunicación entre las mismas, como así también de la extensión y ubicación del área de infiltración.

### Sección Hipoparaniana

Sala (1975) diferencia en ella tres Subsecciones donde la inferior y media se corresponde con la inferior de Hernández *et al.* (1975), mientras que en la superior ambos autores coinciden. En general, pueden considerarse a las porciones arenosas con condiciones acuíferas, y a las arcillosas fundamentalmente acuícladas.

Hernández *et al.* (op. cit.) mencionan que los miembros productivos de la Subsección superior poseen, regionalmente, un sentido de escurrimiento principal de oeste a este con una recarga alóctona indirecta desde los sectores periféricos a las Sierras Pampeanas sin descartar la posibilidad de una recarga autóctona indirecta por filtración vertical. La gradación de las cargas piezométricas, que van de +144 m en el NO de Buenos Aires a 0 m en el Río de la Plata, desearían toda posibilidad de un carácter connato de las aguas alojadas en dichos niveles.

En el área deltaica se encuentra solamente la Subsección superior que corresponde a la Formación Olivos del Mioceno inferior. La descarga estaría localizada hacia el sistema fluvial Paraná - de la Plata y, en parte, hacia el Atlántico (Bahía de Samborombón) con concentraciones de sales de 6 a 60 g/l y aguas cloruradas a clorurado-sulfatadas.

### Sección Paraniense

Está constituida por los sedimentos de la Formación Paraná que en el Delta (coincidente con el borde de cuenca) disminuye su potencia e incrementa las condiciones acuíferas. La recarga de la sección puede producirse en forma alóctona desde el sector noroeste y la zona periserrana, con una descarga hacia el sistema fluvial Paraná - de la Plata y litoral atlántico.

El sentido del flujo subterráneo del agua es generalmente de oeste a este, siendo la carga hidráulica de la Sección Paraniense con respecto a la Sección Hipoparaniana negativa, mientras que con la Sección Epiparaniana positiva.

La hidroquímica es variable e irregular con tenores salinos que, generalmente, varían de 10 a 30 g/l (máximos de 100 g/l y mínimos de 2,5 g/l) y son cloruradas a clorurado-sulfatadas.

En la localidad de Campana se han efectuado perforaciones que manifiestan la existencia de niveles productivos portadores de aguas poco salinas (González Arzac, com. verbal) con niveles productivos que manifiestan valores de transmisibilidad del orden de los 1000 m<sup>2</sup>/día.

### Sección Epiparaniana

El modelo hidroestratigráfico culmina con la Sección Epiparaniana que puede dividirse en dos unidades, separadas por capas filtrantes:

a-) Puelche, Formación Puelche. Es un acuífero semiconfinado constituido por arenas puras, medianas a finas e intercalaciones de gravilla.

b-) Epipuelche, Formación Puerto Olivos, Formación Río Santiago y Formación Playa Honda. Es un acuífero freático con uno o más niveles semiconfinados (Formación Puerto Olivos) constituidos principalmente por limos arenosos con abundante contenido de vidrio volcánico e intercalaciones calcáreas y arcillosas. En diversos sectores, estos niveles acuíferos se encuentran cubiertos por limos arcillosos y limos arenosos (Formaciones Río Santiago y Playa Honda) con comportamientos acuitados y/o acuíclados.

Debido a la interrelación hidráulica existente entre ambos niveles puede considerarse a la sección como un depósito sin solución de continuidad, que ha dado origen a un acuífero multiunitario y polifacético, donde el acuífero freático es el elemento activo.

a-) El Acuífero Puelche se encuentra asentado sobre la Formación Paraná de características impermeables; en cambio, su techo puede ser impermeable o bien con una tendencia a la permeabilidad vertical, por lo cual, es posible la existencia de interacciones locales con los acuíferos superiores.

Para el sector que se extiende entre Lima y Atucha (Central Nuclear) existe un gradiente hidráulico de 1 m/km; la porosidad y la permeabilidad efectiva varían de 15 a 20 % y de 10 a 100 m/día, respectivamente. Así, al considerar las características generales y los niveles del acuífero, se puede suponer que no hay interacción directa o recarga con el río.

Los parámetros hidráulicos obtenidos mediante ensayos de bombeo, arrojan valorizaciones de: 25 m/d de permeabilidad, 600 m<sup>2</sup>/d de transmisibilidad, 0.2 de porosidad efectiva y 5x10<sup>-4</sup> de coeficiente de almacenamiento.

b-) La morfología de la superficie freática de la capa epipuelche posiblemente refleje la piezometría de los niveles productivos inferiores de carácter pasivo. El sector comprendido entre Lima y Atucha (Central Nuclear) posee un gradiente hidráulico de 1 m/km, una porosidad variable de 20 a 25 % y una permeabilidad de 0.5 a 5 m/día (dependiendo del horizonte que se considere).

LITOLOGIA	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS		COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO	GEOLOGIA	
				UNIDAD	PERIODO
limos arcillosos y arenosos y arcillas.	SECCION	SECCION	ACUITARDO/ACUICLUDO	FINO SANTAGO / PLAYA HONDA FATALAYA	HOLOCENO PLEISTOCENO SUPERIOR
		EPIPARANIANA	ACUIFERO FREATICO	FORMACION PLEISTO OLIOS	PLEISTOCENO SUPERIOR Y MEDIO
arenas cuarzosas finas y medianas; pardo amarillentas Minoritariamente gravillas.	SECCION	SECCION	ACUIFERO SEMICONFINADO	FORMACION PUELICHE	PLEISTOCENO PLIOCENO
		PARANIANA	ACUIFERO SEMICONFINADO	FORMACION PARANA	MIOCENO SUPERIOR Y MEDIO
arcilla gris verdosa a azulada con yeso y anhidrita.	SECCION	SECCION	ACUICLUDO A ACUITARDO con importantes niveles acuíferos	FORMACION OLIVOS	MIOCENO INFERIOR
areniscas arcillosas de color gris verdoso a azulado.		HIPOPARANIANA	ACUIFERO CONFINADO	BASALTOS SERRA GERAL	CRETACICO INFERIOR
arcillas rojizas.	SECCION	SECCION	ACUICLUDO	BASAMENTO CRISTALINO	PRECAMBRICO
areniscas de igual coloración con intercalaciones arcillosas.		HIPOPARANIANA	ACUIFUGO		
basaltos.	BASAMENTO HIDROGEOLOGICO				
metamorfitas					

En el área del Delta la carga hidráulica de los niveles inferiores con respecto al acuífero freático es positiva, mientras que el río Paraná de las Palmas posee un carácter efluente respecto a la capa freática, salvo, en crecidas prolongadas, donde el río puede aportar al acuífero.

Hernández *et al.* (op. cit.) designan a esta Sección como "el vehículo de recarga hacia los acuíferos profundos". Para que el agua llegue a la Sección Paraniana deben existir condiciones hidráulicas favorables y que esta última posea en su techo una secuencia arenosa. La calidad de las aguas libres y semiconfinadas, debido al régimen de recarga autóctona por precipitaciones, son similares.

Las perforaciones realizadas en Tigre y San Fernando indican una mala condición química de estas aguas subterráneas: el grado mediano a alto de la mineralización contenida las señalan como salobres o saladas (2000-2500 mg/l) y con elevados tenores en hierro y manganeso.

Los caudales específicos en todas las perforaciones varían entre 4.7 y 16 m<sup>3</sup>/hm y el caudal máximo de extracción puntual en las perforaciones urbanas e industriales es de 200 m<sup>3</sup>/hora.

### RIESGO DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas está definida por la interacción de dos factores fundamentales: a) la carga contaminante que es o pudiera ser introducida al subsuelo como resultado de la actividad antrópica; y b) la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación debido a las características fisicoquímicas naturales del sustrato.

Dicha determinación define la probabilidad de que las aguas subterráneas se contaminen con concentraciones que superen los límites máximos permisibles para la salud humana.

#### Potencialidad de la Carga Contaminante

Para realizar una evaluación de la carga contaminante es necesario efectuar una división entre lo generado propiamente en el Delta del Paraná y la posibilidad de un aporte desde zonas aledañas, ya que, la dinámica del sistema hace imprescindible su consideración.

Las actividades desarrolladas en el Delta permiten distinguir dos fuentes difusas de contaminación que consisten en el saneamiento "in situ" y la actividad forestal, y dos puntuales generadas por las industrias y la contaminación de los cursos de agua superficiales.

El saneamiento "in situ" utilizado por la población rural determina un bajo peligro potencial debido a su baja densidad, menos de 100 habitantes por hectárea. El clima húmedo con abundantes precipitaciones y la nula utilización de agua subterránea incrementan el inconveniente de la carga. El sector sudeste del delta presenta una importante actividad turística con balnearios y recreos con saneamiento "in situ" generando un moderado a elevado peligro potencial.

Esta situación se manifiesta en el incremento de la salinidad (nitratos, cloruros, sulfatos), de la carga orgánica, de los nutrientes y de las bacterias coliformes.



## Vulnerabilidad de los Acuíferos

La vulnerabilidad del acuífero es una función de la dificultad a la penetración de elementos contaminantes a la zona saturada y de la capacidad de atenuación de la zona no saturada del acuífero a partir de las reacciones fisicoquímicas con dichos compuestos nocivos.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos de la zona del Delta se ha utilizado el esquema propuesto por Foster (1987) que involucra la indexación de tres parámetros de fácil obtención que son: 1) la profundidad del nivel freático o del techo del acuífero confinado o semiconfinado, 2) el tipo de ocurrencia del agua subterránea y 3) las características litológicas de la zona no saturada.

En función de este esquema, el índice de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático es moderado a alto (0.45 a 0.55) o moderado a bajo (0.30) en los sectores donde el mismo se halla cubierto por sedimentos limo arcillosos. En cuanto a los acuíferos semiconfinados localizados en el Epipelche y en el Pelche (los más explotados en el noreste de la provincia de Buenos Aires), presentan bajos índices de vulnerabilidad (0.12 a 0.18), que disminuyen en profundidad.

SECCION	OCURENCIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDAD	INDICE DE VULNERABILIDAD
EPIPARANIANA (Unidad Epipelche)	FREATICO (1.0 - 0.6)	Limo Arenoso-Arenas (0.5 - 0.6)	< 5 metros (0.9)	ALTO A MODERADO (0.55 - 0.30)
EPIPARANIANA (Unidad Epipelche)	SEMICONFINADO (0.4)	Limo Arenoso-Arenas (0.5 - 0.6)	5 - 20 metros (0.7)	BAJO (0.14 - 0.17)
EPIPARANIANA (Unidad Pelche)	SEMICONFINADO (0.4)	Arenas y Gravas (0.6 - 0.7)	20 - 100 metros (0.5)	BAJO (0.12 - 0.18)
PARANIANA	CONFINADO (0.2)	Arenas (0.6)	> 100 metros (0.3)	MUY BAJO (0.03)
HIOPARANIANA	CONFINADO (0.2)	Arenas (0.6)	> 100 metros (0.3)	MUY BAJO (0.03)

Finalmente, tomando en cuenta la carga contaminante y el índice de vulnerabilidad se observa que el acuífero freático presenta en el sector oriental un alto a moderado riesgo a la contaminación, mientras que en los niveles inferiores es relativamente bajo a muy bajo.

El acuífero freático posee una gran importancia hidrogeológica pues se encuentra directamente vinculado con los procesos superficiales y atmosféricos del ciclo hidrológico por lo cual, cualquier variación de los mismos lo afecta rápidamente. Asimismo, relaciona a las secciones inferiores y es donde se siente la incidencia antrópica, particularmente en áreas de alta densidad demográfica e industrializadas localizadas en el sector continental del Delta y en el sector oriental con una importante actividad turística y forestal.

Los niveles acuíferos semiconfinados, con bajos gradientes hidráulicos y velocidades de escurrimiento, importante infiltración vertical como sistema de recarga y permanente carga contaminante en el nivel superior, pueden manifestar contaminación con el tiempo.

Un factor a tener en cuenta, que no es el caso actual del Delta, es la explotación de los niveles acuíferos generando una variación de las cargas hidráulicas pasando de un carácter influente a efluente con el consiguiente ingreso de aguas superficiales local y parcialmente contaminadas. En el sector continental, al sudeste de Tigre, la explotación intensiva originó importantes conos de depresión, inversión del gradiente hidráulico e invasión de aguas contaminadas.

## CONCLUSIONES

El área relevada manifiesta en el sector deltaico propiamente dicho un riesgo a la contaminación del acuífero freático moderado a alto en la zona sudeste principalmente por el saneamiento in situ, y en el sector noreste moderado a bajo por la intensa actividad forestal.

En el resto de la comarca el riesgo es bajo a muy bajo debido a la poca densidad poblacional y a la escasa actividad económica, salvo algunas parcelas forestadas.

Las restantes fuentes subterráneas evidencian actualmente, en toda el área estudiada, un bajo a muy bajo riesgo a la contaminación que se podría incrementar en el tiempo.

El sector continental periférico al Delta, desde la localidad de Tigre hasta San Pedro, manifiesta un elevado riesgo a la contaminación producto de la importante actividad industrial (química, papelera y naval) y al saneamiento "in situ".

Las aguas superficiales del interior deltaico y cursos afluentes presentan una importante degradación de las condiciones fisicoquímicas como consecuencia de toda la actividad desarrollada en el área. La explotación de las fuentes subterráneas ocasionaría en el tiempo la inversión de los gradientes hidráulicos con el ingreso al sistema de aguas superficiales contaminadas como se observa en las localidades ubicadas al sudeste del Tigre.

## BIBLIOGRAFIA

- FOSTER, S. Y R. HIRATA, 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS. 81p. Lima. Perú.
- HERNANDEZ, H., M. FILI, M. AUGE Y J. CECI, 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. Actas del VI Congreso Geológico Argentino, p: 477-500. Bahía Blanca, República Argentina.
- PARKER, G., 1990. Estratigrafía del Río de la Plata. Rev. Asoc. Geol. Arg. XLV (3-4) p: 193-204. Buenos Aires, República Argentina.
- SALA, J., 1975. Recursos Hídricos. (Especial mención de las aguas subterráneas). Relatorio. VI Congreso Geológico Argentino, p: 169-193. Bahía Blanca. República Argentina.