

## **EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL DELTA DEL RIO PARANA. ARGENTINA**

**Díaz, E.I.; Boschetti, N.G.; Quintero, C. E.; Duarte, O. C. y G.E. Carñel**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos**  
**Ruta Provincial 11 km 10.5. (3101) Oro Verde. Argentina.**  
**Tel/Fax: +54-343-4975083 Email: [ediaz@fca.uner.edu.ar](mailto:ediaz@fca.uner.edu.ar)**

### **RESUMEN**

En la gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos; en especial en los sistemas costeros; adquiere relevancia la calidad de las aguas subterráneas que está relacionada con los problemas de salinización de los suelos en las zonas de descarga, la afectación de las actividades productivas, el abastecimiento de agua potable y consumo de la ganadería.

El área de estudio lo constituye la transición del Río Paraná al Río de la Plata a través de una extensión de 320 km desarrollando un delta de una superficie de 17.000 km<sup>2</sup>, que actúa como área de descarga de aguas subterráneas regionales caracterizadas por aguas de elevada a muy alta salinidad.

El mayor impacto ambiental se produce en los procesos de salinización y sodificación de los suelos, lo que da lugar a limitaciones productivas en la imposibilidad de implantación y desarrollo de cultivos extensivos y la producción ganadera a partir de vegetación natural como también de pasturas implantadas.

El objetivo ha sido el de caracterizar el impacto de las aguas subterráneas en el sistema ambiental-productivo del Delta del Río Paraná, su vinculación con las áreas de recarga-descarga y sus efectos en la variación en vertical de la salinidad en los suelos de los ambientes lacustres interiores a las islas del sistema deltaico.

Se ha realizado la recopilación de antecedentes y determinaciones a campo de características físico químicas de los suelos en áreas seleccionadas, la caracterización de las aguas subterráneas en perforaciones y aguas superficiales en lagunas interiores. Las aguas subterráneas son cloruradas-sulfatadas sódicas y los suelos de los ambientes de descarga se clasifican como salino-sódicos.

Se concluye que el impacto de las descargas de las aguas subterráneas en los suelos de las lagunas y bajos interiores de las islas es la mayor limitante productiva, la que se manifiestan con mayor magnitud en condiciones hídricas de bajas precipitaciones locales y un mínimo húmedo regional en condiciones de estiaje en el Río Paraná.

*Palabras claves:* Delta, Río Paraná, aguas subterráneas, salinidad, suelos,

### **INTRODUCCIÓN**

En los sistemas costeros, el asumir simplificaciones de que los flujos se comportan bidimensionalmente, puede llevar a obtener conclusiones que no representen el real funcionamiento del sistema natural. En el caso particular de los procesos de salinización de los suelos en zonas de descarga, en ambientes de alta evaporación y que pueden llegar a estar afectados por inundaciones prolongadas como las del Río Paraná, la variación temporo-espacial alcanza mayor magnitud.

El delta del Paraná actúa como área de descarga de aguas subterráneas locales y regionales, con componentes tridimensionales afectados por las condiciones de borde que imponen lateralmente las áreas de recarga, los Ríos Paraná aguas arriba y del Plata aguas abajo, y las lagunas interiores de las islas que actúan como condiciones de borde de descarga localizada. La superposición de estos efectos, actúan sobre la calidad de las aguas y pueden llegar a producir limitaciones en la productividad del sistema.

La región considerada se encuentra localizada entre las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fe, asociada al sistema hidráulico de los ríos Paraná y Uruguay y está controlada aguas abajo por el Río de la Plata que actúa como zona de descarga regional de los recursos superficiales y subterráneos (Díaz *et al.*, 2012).

El Delta se desarrolla en dos ambientes geomorfológicos claramente definidos, que responden al predominio del proceso fluvial o eólico, que son los principales responsables del modelado. Vinculados a la dinámica fluvial son las fajas aluviales del río Gualeguay, del arroyo Ñancay y de cursos menores, el delta del río Gualeguay, la planicie deltaica (Delta actual), los cordones litorales marinos y los litorales estuáricos, la antigua albufera y planicies de marea. Mientras que vinculadas a la acción eólica dominante son la planicie loésica y las dunas (Cavallotto *et al.*, 1999).

El área se encuentra topográficamente por debajo de cota de 5 m (SIGHER, 2000), por lo que las crecidas de medianas recurrencias afectan al sistema productivo, que se basa fundamentalmente en la ganadería extensiva y en menor medida en la producción forestal en áreas protegidas contra inundaciones, ocupando una superficie de 118.000 ha. El uso Agrícola en la región es muy limitado debido a las inundaciones periódicas y las características de los suelos, que en algunos casos presentan problemas de salinidad y/o alcalinidad. El abastecimiento de agua para el abrevado de animales no presenta inconvenientes, debido a que el mismo se abastece de aguas superficiales de los cursos interiores o de las lagunas ubicadas en las áreas interiores de las islas protegidas por los albardones. En lo que respecta el abastecimiento de agua potable, el sistema presenta severas limitaciones debido al elevado contenido salino en algunos casos, o a los elevados riesgos de contaminación por actividad antrópica.

El delta subaéreo está representado por bajos con agua permanente y temporaria, desarrollados en cotas inferiores a 2,5 m y delimitados por albardones. Esta área emergida corresponde al denominado por Iriondo (1980) delta inferior. La evolución regional ha sido

descrita por Cavallotto *et al.* (1999) que señalan que se encuentra separado de la llanura pampeana por los procesos marinos durante el Holoceno.

## **OBJETIVOS**

Caracterizar el impacto de las aguas subterráneas en el sistema ambiental-productivo del Delta del Río Paraná, su vinculación con las áreas de descarga y los efectos en la variación vertical de la salinidad de las aguas subterráneas.

## **METODOLOGÍA**

Se recopiló y analizó la información disponible de organismos oficiales de provisión de agua potable, incluyendo datos analíticos de determinaciones de aniones y cationes principales, pH y conductividad eléctrica de las aguas de perforaciones en las zonas de recarga, conducción y descarga. Además se tomaron 28 muestras de agua, que fueron analizadas para determinar la conductividad eléctrica. Las situaciones estudiadas fueron las correspondientes aguas superficiales y subterráneas poco profundas y profundas de lagunas y bajos interiores del área del Delta de Paraná; del acuífero libre de los albardones y de aguas superficiales del río Paraná y sus afluentes. Mientras que los valores de salinidad de las perforaciones de las áreas de transferencia, fueron tomadas de la bibliografía: Castellanos (1938), Dirección General de Minería Nación (1940) y de la perforación de Timbúes provincia de Santa Fe (Comunicación personal). En la Figura 1 se presentan las áreas de muestreo y las perforaciones relevadas.

## **RESULTADOS**

### **Hidrogeología del Área de Estudio.**

La secuencia estratigráfica del área ha sido caracterizada en la Provincia de Santa Fe por Fili y Tujchneider (1977), en la Provincia de Buenos Aires por Auge *et al.* (1984), en Entre Ríos por Iriondo (1980) y por Amato y Silva Busso (2005).

El modelo hidrogeológico se presenta en el Tabla 1. La Formación Pampeano corresponde a depósitos de limos medianos a finos y arcillas con intercalaciones calcáreas. Corresponden a sedimentos transportados por el viento desde la cordillera que cubrió las Arenas Puelches. En el Delta, prácticamente ha sido eliminado por la erosión fluvial.



Figura 1. Áreas de muestreo y perforaciones relevadas.

Las Formaciones Ituzaingó y Puelches están compuestas por arenas silíceas de grano fino a mediano y hasta gravas, de color amarillento ocráceo; rojizo y blanquecino. Los granos presentan muy buena redondez y esfericidad y alto grado de selección. Se puntualiza la importancia del óxido férrico que constituye parte de la matriz de los sedimentos. Es de origen fluvial atribuido al río Paraná. Esta formación se expone a la superficie en diversos puntos de la provincia de Entre Ríos.

La Formación Paraná está constituida por niveles de arcillas, arcillas arenosas, arenas y calcáreos fosilíferos. Las arcillas basales son muy plásticas. Superpuestas a las anteriores, se destacan arenas arcillosas con bancos ostreros cubiertos por bancos de arena silícea (Silva Busso, 1999). La cubierta de esta formación se compone de importantes bancos calcáreos arenosos compactos. Aflora a lo largo de la margen izquierda del Río Paraná en la Provincia de Entre Ríos. El

contenido salino varía desde 2.000 mg/l al sur de la ciudad de Paraná y alcanza en la cercanía del Delta del Río Paraná y del Río de la Plata, valores variables de 2.000 a 20.000 mg/l.

La unidad hidrogeológica que subyace es la denominada Formación Olivos, que posee agua de elevada mineralización con más de 5.000 mg/l de sales totales.

Tabla 1. Esquema Hidrogeológico conceptual

<b>Espesor</b>	<b>Formación</b>	<b>Edad</b>	<b>Litología</b>	<b>Comportamiento Hidrogeológico</b>	<b>Uso</b>
0-10	La Plata	Holocena	Conchillas formando cordones	Acuífero libre discontinuo. Salinidad (1-5 g/l)	Rural y ganadero.
0-25	Querandí	Holocena	Arcillas y arenas muy finas, marinas	Acuitardo a problem. Acuífero salinidad (5-10 g/l)	No Apto
0-5	Lujan	Holocena	Limos arcillo-arenosos, fluviales	Acuitardo a problem. Acuífero salinidad (2-10 g/l)	No Apto
0-120	Pampeano	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos c/tosca, eolo-fluviales.	Acuífero libre. en prof. Pasa a semiconfinado. Moderada prod. Salin. 0.5-2 g/l	Urbano, rural, riego complementario, ganadero e industrial.
10-50	Arenas Puelches	Plio-Pleistocena	Arenas sueltas, finas y medianas, fluviales.	Acuífero semiconfinado de media a alta prod. (30-150 m <sup>3</sup> /h) Salinidad < 2 g/l	Urbano, rural, riego intensivo y complementario, ganadero e industrial.
50-200	Paraná	Miocena Superior	Arcillas y arenas c/fósiles marinos	Acuífero en la secc. Sup. Salin. > 5 g/l. Exepc. 3 g/l. Acuífero de alta producción en la secc inf.	Industrial restringido
100-300	Olivos	Miocena Inferior	Areniscas y arcillitas c/yeso y anhídrids, eolo-fluviales	Acuífero confinado de baja productividad. Salinidad > 10 g/l	No Apto
	Basamento Cristalino	Proterozoica	Geises, milonitas, granitos	Acuífugo, medio discontinuo Base impermeable sección hidrogeológica	

Los sitios de estudio de las áreas de transferencia de agua regional hacia la zona de descarga comprenden la perforación de la localidad de Fisherton cercana a la ciudad de Rosario, que alcanzó la profundidad de 263,8 m y fue descrita por Castellanos (1938). Este sitio constituye el borde occidental del área de estudio, siendo además un área de tránsito hacia la descarga regional. En la Tabla 2 se presentan las profundidades y características de los distintos estratos descritos por

Catellanos (1938), que fueron adaptados a la nomenclatura estratigráfica moderna. Cabe aclarar que la cota del terreno natural en esa localidad es de 22 m del I.G.M.

Tabla 2. Descripción de la Perforación en Fisherton (Castellanos 1938)

<b>PROFUNDIDAD (metros)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
0.0 - 22.0	Loess y limos arcillosos con niveles de tosca.
22.0 - 47.0	Arena (Fm. Puelches).
47.0 - 47.5	Arcilla (Techo Fm. Paraná).
47.5 - 53.5	Arenas superiores Fm. Paraná.
53.5 - 78.0	Arcilla azul (Base Fm. Paraná).
78.0 -118.5	Arcilla parda c/calcareo (Techo Fm. Olivos.)

Otro sitio considerado en este estudio fue la perforación en Gualeguay (Entre Ríos) realizada por la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología en el año 1914. La descripción indica que hasta los 157 metros de profundidad se presenta una columna predominantemente arenosa "arenas de cuarzo blanca con rodados de sílice", "arenas gruesas amarillentas", etc donde se registran 6 niveles acuíferos coincidentes con las capas arenosas y con caudales importantes (60.000 l/hora). Este tramo de la perforación puede asignárselo al acuífero Ituzaingó-Paraná con aguas de mediana salinidad. A partir de los 294 m y hasta los 356 m se cortan arenas, areniscas y conglomerados con caudales de 4.000 litros/hora, que se comportan como un acuífero intermedio. La descripción indica alto contenido de sales, con aguas cloruradas sódicas. Éste nivel constituiría el acuífero regional profundo de transferencia desde las áreas de recarga a las de descarga en la zona del Delta del Río Paraná. También se incluyó la perforación de la localidad de Ramírez, del departamento Nogoyá, Provincia de Entre Ríos, que fue realizada en el año 1945 por la Dirección Nacional de Minas y Geología, con el fin de proveer de agua potable a ésta ciudad. La misma alcanzó la profundidad de 755 m que es donde se encuentra el techo de los basaltos. Entre los 61 y 109 m de profundidad cortó las arenas del acuífero Ituzaingó -Paraná. Entre los 200 y 237 m se presenta un nivel de arenas acuíferas. El ensayo de bombeo arrojó caudales de 1000 litros/h de agua que son descriptas como "salobres". Esta perforación correspondería al mismo sistema hidrogeológico que la de la localidad de Gualeguay.

En la localidad de Timbúes (provincia de Santa Fe) se dispone de datos de la perforación de mayor profundidad que alcanza al techo de los basaltos de la formación Serra Geral y ha permitido evaluar en profundidad los cambios de la conductividad eléctrica de los distintos acuíferos (Tabla 3). Durante la ejecución de la perforación se monitoreó la evolución de la conductividad eléctrica del lodo de perforación de manera de determinar la presencia de tramos acuíferos portadores de agua, de diferentes contenidos salinos. La Tabla 3 muestra los valores registrados entre las profundidades de 319 y 762 metros. No se han considerado los tramos correspondientes a las formaciones Pampeano y Puelches, que presentan conductividades comprendidas entre 600 y 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Del registro surge que el tramo analizado en detalle desde los 319 metros presenta aguas de elevado contenido salino, con conductividades eléctricas que alcanzan valores de 40.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , las que se clasifican como cloruradas sódicas-sulfatadas, que corresponderían al mismo sistema de las perforaciones profundas de la Provincia de Entre Ríos.

Tabla 3. Conductividad Eléctrica del lodo de Perforación Timbúes.

<b>Fecha</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Conductividad Eléctrica (<math>-\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
17/11	319	14.000
18/11	390	5.400
19/11	433	7.000
19/11	452	25.000
20/11	464	7.400
20/11	505	8.200
21/11	510	8.700
21/11	542	30.000
21/11	557	8.200
23/11	574	9.300
23/11	578	8.500
24/11	603	7.200
24/11	651	9.200
25/11	713	10.000
25/11	748	40.000
25/11	762	10.300

El sistema en estudio es la transición del Río Paraná al Río de la Plata y tiene componentes tridimensionales afectados por las condiciones de borde que imponen lateralmente las áreas de recarga, los Ríos Paraná aguas arriba y del Plata aguas abajo y las lagunas interiores de las islas, que actúan como condiciones de borde de descarga localizada. Puede considerarse integrado por tres grandes grupos hidrogeológicos: área de recarga, área de conducción y área de descarga. El área de

descarga es la zona propiamente del Delta, que está caracterizada por tres ambientes. Uno corresponde al agua subterránea poco profunda en la zona de albardones, vinculado con la infiltración producto de las precipitaciones locales y el vínculo con el Río Paraná. Otro ambiente es el de descarga local coincidente con los interiores de las islas (depresiones pantanosas) que están separadas por los albardones, de los niveles normales del Río Paraná y sus afluentes, los cuales excepcionalmente pueden inundarse por crecidas del río de mediana a larga duración y finalmente, el flujo regional profundo que descarga en los bajos interiores de las islas. De la información disponible de las perforaciones de áreas de descarga subterránea surge que las aguas son cloruradas-sulfatadas sódicas. Este flujo regional profundo por su elevada salinidad afecta las condiciones productivas de las pasturas naturales y la producción forestal del área. La Tabla 4 muestra una síntesis de los datos analíticos de conductividades eléctricas de aguas subterráneas en los ambientes hidrogeológicos descriptos de las áreas de descarga en el Delta del Río Paraná.

Tabla 4. Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas y superficiales del Sistema Delta.

<b>Ambiente Hidrogeológico</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Conductividad Eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Número de muestras</b>
Agua Superficial (río)	Río Paraná	Superficial	100 a 180	4
Agua Superficial (arroyos)	Arroyos Interiores del Delta	Superficial	320 a 870	4
Agua Subterránea poco profunda	Albardón conducción	Subterránea 0.3 a 2.7 m de Profundidad	700 a 3.700	9
Agua Subterránea poco profunda	Descarga Local	Subterránea > 2.7 m de Profundidad	9.800 a 19.000	3
Agua Subterránea profunda	Flujo Regional Profundo	Subterránea De 2 a 40 m de profundidad	13.000 a 17.500	2
Agua Sub. intermedia	Recarga Entre Ríos	Ituzaingó Paraná	980-22.500 18.600-15.224	>100 144
Agua Subterránea Intermedia	Recarga Santa Fe	Pampeano Puelches Paraná	400-600 1.500-3.000 5.000-15.000	> 100 > 100 > 100
Agua Subterránea Intermedia	Recarga Bs. Aires	Pampeano Puelches Paraná	400-800 1.200-2.000 3.000-6.000	> 100 > 100 > 100
Agua Subterránea Profunda	Transferencia Regional	Subterránea > 150 m	2.000 a 120.000	6



Como puede observarse, las aguas superficiales, tanto las del Río Paraná como la de sus afluentes, tienen conductividades muy bajas. Mientras que en el caso de los ríos y arroyos interiores presentan contenidos medios, explicados quizás porque la descarga regional en dichos cursos tienen baja velocidad relativa de escurrimiento y los cursos tienen menor capacidad de dilución. Los albardones presentan valores admisibles para el consumo humano y animal, con un aumento gradual en profundidad que está vinculado con flujos locales y en algunos casos, con flujos regionales de profundidades mayores y de elevada salinidad. Cabe remarcar que no existen condicionantes hidrogeológicos, como serían niveles de baja permeabilidad, que impidiesen el flujo vertical en zonas localizadas. En las lagunas interiores de las islas, las conductividades son altas a muy altas relacionadas al flujo regional y a los efectos de la evapotranspiración que concentra las sales.

Finalmente el agua subterránea del flujo de conducción incrementa su salinidad en profundidad, explicada por las características de las formaciones geológicas correspondientes a las zonas estuáricas de ingesión marina del holoceno (Cavalotto *et al* (2004); Iriundo (1980, 2004).

## **CONCLUSIONES**

Las aguas subterráneas en el área de descarga son cloruradas-sulfatadas sódicas, con altas concentraciones que aumentan en profundidad.

Éstas hidráulicamente se comportan como un proceso tipo “pistón”, es decir, que en los momentos de elevada evaporación, el agua se mueve en el sentido vertical ascendente, mientras que en situaciones de elevadas precipitaciones o ingresos de aguas superficiales por inundaciones a las lagunas interiores de las islas, el proceso se invierte y el agua ingresa al perfil del suelo por los fenómenos de infiltración provocando una marcada disminución del contenido salino resultado del lavado.

En los albardones, para niveles hidrométricos elevados y por condiciones locales topográficas, se producen infiltraciones o transferencia desde los cursos de agua que diluyen los contenidos salinos de las aguas subterráneas de los primeros metros y aumentan en profundidad, con lo cual la misma resulta apta para el consumo humano.

La variación vertical de la salinidad de las aguas subterráneas está explicada por fenómenos regionales y locales. El regional es responsable de la salinidad en profundidad, mientras que el flujo local incide en los contenidos salinos de las aguas subterráneas poco profundas.

También existen los flujos laterales, que en función de su área de recarga y formación hidrogeológica de conducción, caracterizan la transición entre ambas situaciones.

Se prevé continuar con la toma de muestras de agua y determinaciones isotópicas que permitan confirmar el modelo hidrogeológico propuesto.

## **BIBLIOGRAFIA**

Auge, M. (1984). Regiones Hidrogeológicas. República Argentina y Provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Edición Electrónica en la WEB.

Amato, S y Silva Busso, A. (2005). "Análisis de Interrelación Geológica-Hidrogeológica en el área del Delta del Río Paraná, Provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, República Argentina". 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 697-705, La Plata.

Castellanos, A. (1938) "El subsuelo de Rosario". Separata de Anales de la Sociedad Científica Argentina, T. 127, Nº 1, 1939, pp. 3-13. Extracto de una conferencia en la Sociedad Científica Argentina, sección Santa Fe, pronunciada en la Facultad de química industrial y agrícola el 8 de Octubre de 1938

Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Parker, G. (1999). "Historia evolutiva del Río de La Plata durante el Holoceno". 14º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 508-511, Salta.

Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Parker, G. (2004). Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). Quaternary International 114: 155-165.

Díaz, E. ; Boschetti, N.; Quintero, C. ; Duarte, O. y Romero, E. (2012). "Los flujos subterráneos regionales y su influencia en la hidrogeología del delta del Río Paraná. Argentina". XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. 19 al 22 de Agosto de 2012. Cartagena de Indias. Colombia. Memorias del Congreso página 152. Extenso en CD.

Dirección de Hidráulica de Entre Ríos (2000) "SIGHER". Disponible en [www.hidraulica.gob.ar](http://www.hidraulica.gob.ar). Visita 15 de diciembre de 2010.

Dirección General de Minería Nación (1940). Registro de perforaciones ejecutadas por la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Período 1914-1945.

Filí, M.F. y O.C. Tujchneider, (1977). Características ge hidrológicas regionales del subsuelo de la provincia de Santa Fe (Argentina). Rev. Asoc. Ciencias Nat. Litoral n° 8: 105-113, Santa Fe.

Iriondo, M., (1980). El Cuaternario de Entre Ríos. Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral 11:125-141. Santo Tomé.

Iriondo, M.M. (2004) "The litoral complex al the Parana mouth". Quaternary International. 143-154.

Silva Busso, A. (1999). Contribución al conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero termal de la Cuenca Chacoparanaense Oriental Argentina. Tesis Doctoral. UBA. 1999. Tomos I y II.