

# Análisis de la variación de espesor de agua dulce en cordones de conchillas del humedal de Bahía Samborombón, Argentina

*Alejandro Roig<sup>1</sup>, Eleonora Carol<sup>2</sup>, Eduardo Kruse<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> - Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata 47 y

1

<sup>2</sup>-Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 64 n°3 La Plata, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Mail de contacto: eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

---

## RESUMEN

El sector central y norte del humedal de la Bahía de Samborombón se caracteriza por la presencia de lentes de agua dulce alojadas en cordones de conchilla. En este trabajo se simulan las variaciones en el espesor de agua dulce como consecuencia de cambios en el régimen de lluvias (recarga), en la conductividad hidráulica y en el ancho de los cordones. En función las características hidrogeológicas de los cordones y de la planicie costera adyacente se estimó el espesor teórico de agua dulce a partir de la simulación matemática con un modelo analítico utilizando los valores medios y extremos de dichas variables. Los resultados obtenidos permiten plantear distintas situaciones para los espesores de agua dulce. La simulación matemática efectuada, en asociación con las experiencias cualitativas de campo, representa una herramienta útil para el diseño de las perforaciones y para la preservación de las reservas de agua subterránea.

Palabras clave: modelación matemática, agua subterránea, humedal, Bahía Samborombón.

---

## ABSTRACT

The central and northern sectors of the Samborombón Bay wetland are characterized by the presence of freshwater lenses housed in shell ridges. In this paper we simulate the variations in thickness of these lenses due to changes in rainfall (recharge), in hydraulic conductivity and in the width of the shell ridges. On the basis of the hydrogeological characteristics of the shell ridges and the adjacent coastal plain, the theoretical thickness of the freshwater was estimated from mathematical simulation with an analytical model using the average and extreme values of these variables. The results obtained make it possible to consider different situations affecting freshwater thickness. The mathematical simulation conducted, in association with the qualitative experiences collected in the field, represents a useful tool for the design of drilling operations and the preservation of groundwater reserves.

Keywords: mathematical modeling, groundwater, wetland.

---

## Introducción

La Bahía de Samborombón está formada por una extensa planicie costera a la que se asocian cordones de conchilla (Fig. 1), depositados durante el Holoceno como consecuencia de los sucesivos desplazamientos de la línea de costa debidos a las oscilaciones del nivel del mar (Violante et al., 2001). Los cordones de conchilla son geoformas de relieve positivas que se ubican paralelas a la línea de costa en la parte central y norte de la bahía. Están compuestos por restos sueltos de conchillas marinas, concreciones de carbonatos y arenas que alternan en sectores con capas de arcillas. La alta permeabilidad de las conchillas favorece la recarga autóctona directa a partir de

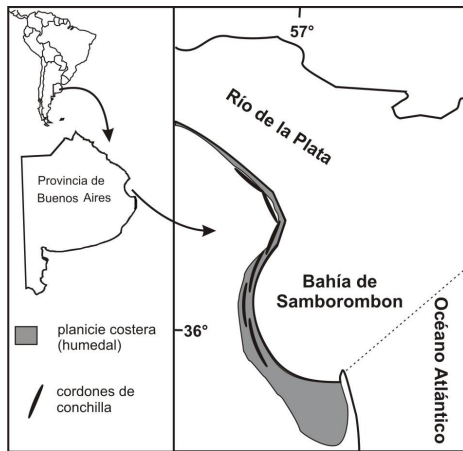
la infiltración de la lluvia. Dichos cordones forman lentes de agua dulce sobre el acuífero salino, alojado en la planicie costera, hacia la cual descargan su flujo subterráneo (Carol et al., 2012). Las lentes son la única fuente de agua dulce de la región con la cual se abastecen los habitantes a partir de perforaciones someras.

Hidrogeológicamente las lentes de agua dulce en los cordones de conchilla son homologables a las que se desarrollan en islas oceánicas elongadas compuestas por material de alta permeabilidad (Carol et al. 2010). Mientras que, en los cordones de conchilla las lentes están suspendidas sobre el agua salina de la planicie costera, en las islas oceánicas lo hacen sobre el agua marina que subyace el acuífero (Fig. 2). Esta homologación permite

utilizar en estos cordones las ecuaciones de flujo subterráneo unidimensionales definidas por Fetter (1972) para islas oceánicas elongadas.

El objetivo del trabajo es simular las variaciones en el espesor de agua dulce de las lentes producto de cambios en el régimen de lluvias (recarga) y la conductividad hidráulica y ancho de los cordones de conchilla.

La aplicación de modelos matemáticos sencillos que permitan evaluar la morfología de las lentes de agua dulce y pronosticar su variación en función de cambios en las condiciones climáticas es conveniente al momento de planificar diseños de explotación y preservar la calidad del recurso hídrico dulce en la región.



**Figura 1.** Ubicación del humedal de la Bahía de Samborombón.

### Metodología

Se realizaron simulaciones matemáticas a partir de un modelo analítico para estimar el espesor teórico de agua dulce en los cordones de conchilla considerando valores medios y extremos de la recarga subterránea, y de la conductividad hidráulica y ancho de los cordones.

### Modelo numérico

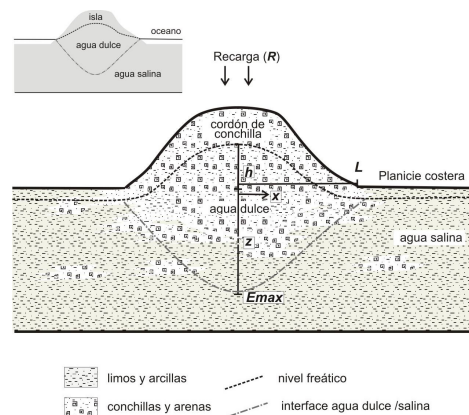
La estimación del espesor teórico de agua dulce en las lentes de los cordones se efectuó a partir del modelo analítico definido por Fetter (1972) para estado transitorio y aplicado por Chesnaux y Allen (2008) para islas oceánicas elongadas (ecuaciones 1, 2 y 3).

$$h_{(x)} = \sqrt{\frac{R(x^2 - L^2)}{K(1 - \alpha)}} \quad (1)$$

$$z_{(x)} = -\alpha \sqrt{\frac{R(x^2 - L^2)}{K(1 - \alpha)}} \quad (2)$$

$$E_{max} = L \left[ \sqrt{\frac{R}{K}} \sqrt{1 + \alpha} \right] \quad (3)$$

Siendo  $h$  la altura del nivel freático,  $z$  la profundidad de la interface,  $E_{max}$  el espesor máximo de la lente de agua dulce,  $L$  el ancho del cordón,  $R$  la recarga,  $K$  la conductividad hidráulica y  $\alpha$  la diferencia entre la densidad del agua salina y dulce (Fig. 2). Y en donde, en el contexto de las suposiciones de Dupuit (1863) las superficies equipotenciales son verticales, la velocidad es uniforme sobre la profundidad y la interfaz entre el agua dulce y el agua salada se toma como un límite impermeable para el agua dulce.



**Figura 2.** Esquema de un corte transversal de un cordón de conchilla indicando las variables consideradas en el modelo. En el extremo superior izquierdo se muestra un esquema resumido para islas oceánicas.

### Determinación de Parámetros

Se determinaron las características hidrogeológicas de los cordones de conchilla y de la planicie costera adyacente de acuerdo al

análisis de información antecedente, la interpretación de imágenes satelitales, las cartas topográficas y relevamientos de campo.

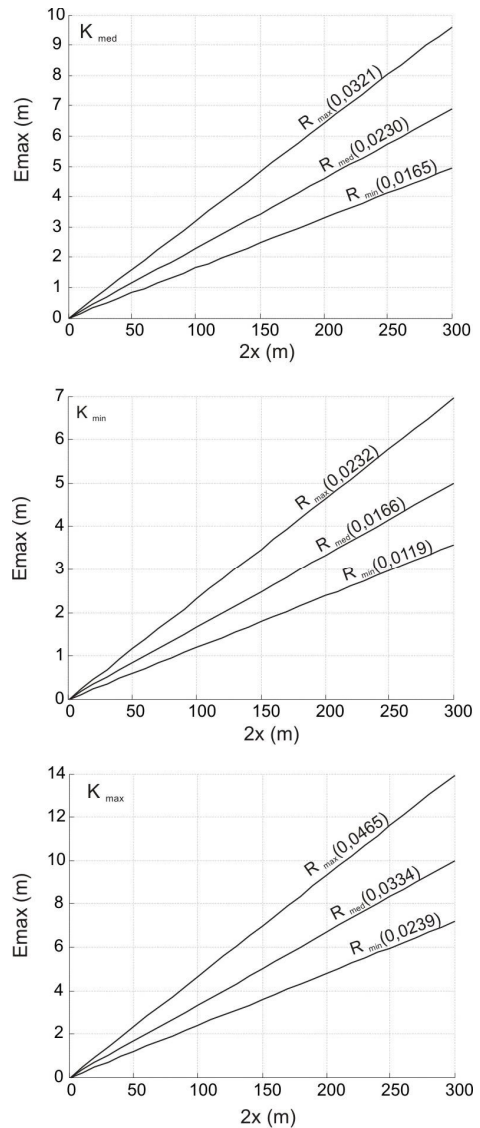
La recarga subterránea determinada a partir de balances hídricos con datos del periodo 1990-2006 (Deluchi et al. 2006, Carol et al. 2010) tiene un valor medio de 0,45 m/año, registrando valores extremos de 0,25 m/año para el año más seco (1996) y 0,80 m/año para el año más húmedo (1993). La conductividad hidráulica determinada por ensayos de bombeo (Sala et al. 1978, Carol et al. 2010) varía entre  $5,7 \cdot 10^{-4}$  m/s (en los cordones donde las arenas y conchillas están en parte cementadas) y  $2,3 \cdot 10^{-3}$  m/s (en los cordones de mayor granulometría), siendo el valor medio de  $1,2 \cdot 10^{-3}$  m/s.

El ancho de los cordones de conchilla varía entre 50 y 600 m, siendo la cota promedio de 7,5 m snm.

La densidad del agua dulce es de  $1,000 \text{ g/cm}^3$ , mientras que salina de la planicie costera varía en función de la recarga siendo de  $1,021 \text{ g/cm}^3$  cuando la recarga es máxima, de  $1,023 \text{ g/cm}^3$  cuando es media y de  $1,025 \text{ g/cm}^3$  cuando es mínima.

## Resultados

El espesor de la lente de agua dulce en función del ancho del cordón muestra una relación lineal. El valor de la pendiente de la recta indica el incremento del espesor de la lente por cada m que aumenta el ancho del cordón. Para los valores de K medio en condiciones de recarga media se observa que por cada 10 m de ensanchamiento de los cordones el espesor de la lente aumenta 2,30 m. Este aumento en el espesor es de 1,65 m cuando la recarga es mínima y de 3,21 m cuando es máxima (Fig. 3). En los cordones de menor conductividad hidráulica, esta relación entre el aumento del ancho cada 10 m y el espesor de la lente de agua dulce disminuye a 1,19 m cuando la recarga es mínima, 1,66 m para valores de recarga media y 2,32 m cuando la recarga es máxima (Fig. 3). Por su parte, cuando la conductividad hidráulica de los cordones conchiles es máxima aumenta la pendiente de la recta en el gráfico de espesor de la lente en función del ancho del cordón. En estas condiciones de K máxima por cada 10 m que aumenta el ancho del cordón el espesor de la lente de agua dulce aumenta 2,39 m cuando la recarga es mínima, 3,34 m para valores de recarga media y 4,65 m cuando la recarga es máxima (Fig. 3).



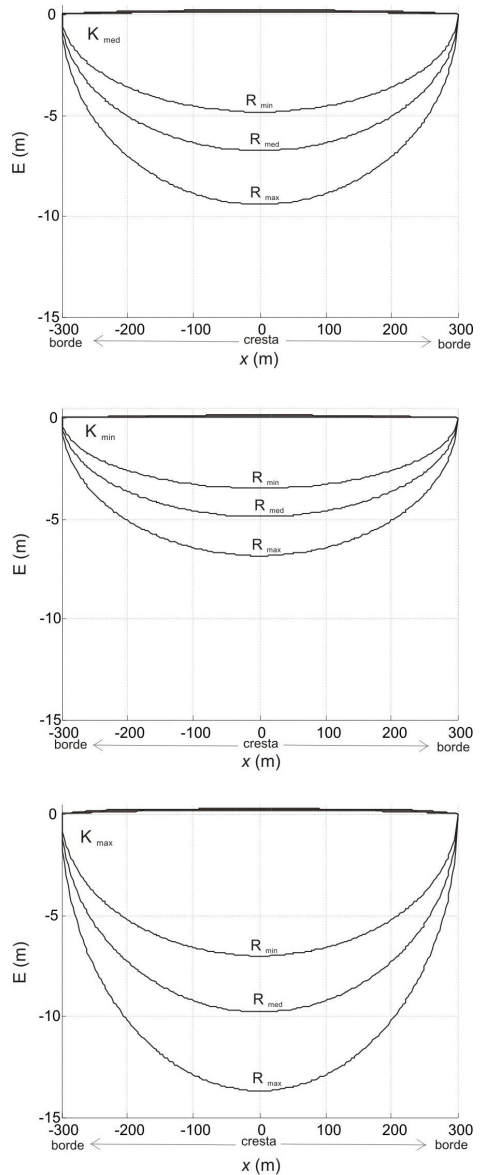
**Figura 3.** Estimación de la variación del espesor máximo ( $E_{max}$ ) de las lentes de agua dulce en función del ancho del cordón de conchilla para valores de conductividades hidráulicas medias ( $K_{med}$ ), mínimas ( $K_{min}$ ) y máximas ( $K_{max}$ ), y para valores de recarga media ( $R_{med}$ ), mínima ( $R_{min}$ ) y máxima ( $R_{max}$ ). Entre paréntesis se indica el valor de las pendientes de las rectas.

En todos los casos, el espesor de la lente de agua dulce en función del ancho del cordón presenta una pendiente de la recta que tiene para condiciones de recarga máxima un valor cercano al doble respecto a las condiciones de recarga mínima.

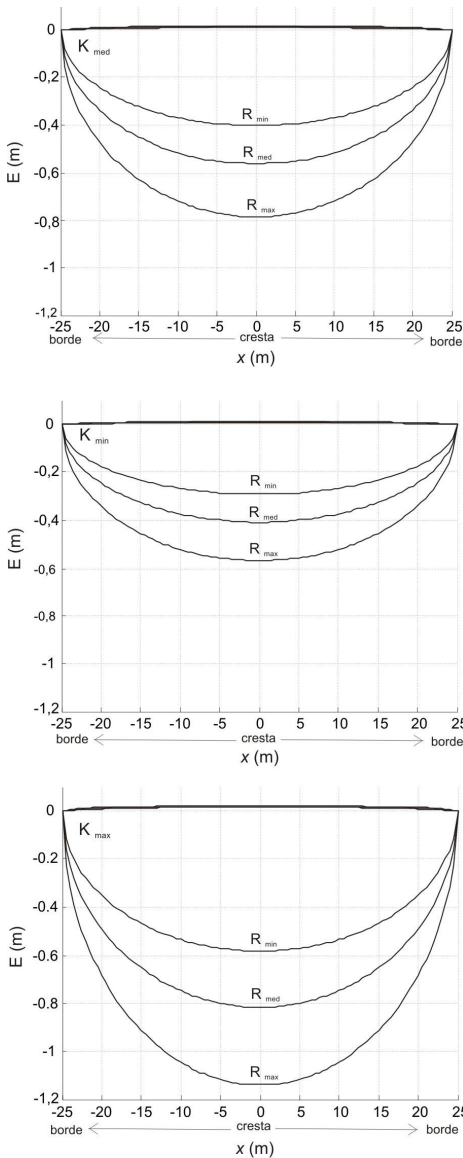
Se simuló la variación del espesor de la lente de agua dulce, eligiendo como casos de estudios los cordones más anchos del área (600 m de ancho) y cordones angostos (de 50 m de ancho) para las distintas condiciones extremas de las variables, en una sección transversal a la mayor elongación del cordón de conchilla (Fig. 4 y 5).

De la comparación de los gráficos para  $K$  media, mínima y máxima en cordones de 600 m de ancho (Fig. 4) se observa que aquellos de baja permeabilidad son los que desde el centro hacia el borde del cordón presentan menor variación en el espesor de la lente de agua dulce (Fig. 4). En la cresta del cordón el espesor de la lente varía de 6,5 m en condiciones de máxima recarga a 3,5 m con recarga mínima, mientras que a 200 m de la cresta hacia el borde varía de 5,1 m a 2,8 m respectivamente. Por su parte, las mayores variaciones del espesor de la lente en la sección transversal se observan en los cordones de mayor permeabilidad. En la cresta del cordón el espesor de la lente varía de 13,8 m en condiciones de máxima recarga a 6,7 m con recarga mínima, mientras que a 200 m de la cresta hacia el borde varía de 10,2 m a 4,9 m respectivamente.

Las simulaciones para cordones de 50 m (Fig. 5) de ancho muestran un comportamiento comparable con las de 600 m en relación al acuñamiento de la lente hacia los bordes. Esto muestra que la conductividad hidráulica de los sedimentos y la recarga son los factores que condicionan la forma de las lentes y no el ancho de los cordones. Por su parte, la característica más notoria en los cordones de 50 m de ancho es que en todos los casos las lentes de agua dulce tienen espesores inferiores a 1,5 m. Esto determina que el volumen de agua dulce posible de acumular en este tipo de cordones sea escaso y muy dificultosa su explotación.



**Figura 4.** Estimación de la variación del espesor de las lentes de agua dulce en un cordón de 600 m de ancho para valores de conductividades hidráulicas medias ( $K_{med}$ ), mínimas ( $K_{min}$ ) y máximas ( $K_{max}$ ), y para valores de recarga media ( $R_{med}$ ), mínima ( $R_{min}$ ) y máxima ( $R_{max}$ ).



**Figura 5.** Estimación de la variación del espesor de las lentes de agua dulce en un cordón de 50 m de ancho para valores de conductividades hidráulicas medias ( $K_{med}$ ), mínimas ( $K_{min}$ ) y máximas ( $K_{max}$ ), y para valores de recarga media ( $R_{med}$ ), mínima ( $R_{min}$ ) y máxima ( $R_{max}$ ).

## Discusión y conclusiones

El desarrollo población dentro del humedal se restringe a pequeños asentamientos donde habitan cerca de 40 personas o a cascos de estancias aislados. En estos sitios el abastecimiento de agua dulce se realiza a partir de perforaciones de agua en los cordones de conchilla, en donde los perforistas deciden la profundidad del pozo en función de su experiencia y de la posición del nivel freático en el momento de realizar la perforación. En muchos casos en los años de escasas precipitaciones los pozos se salinizan y deben hacerse nuevas perforaciones. Como el espesor de la lente disminuye se corre un mayor riesgo de sobrepasar la interfase al perforar y extraer agua salina. Por ejemplo los años 1996 y 2008 fueron años muy secos en donde la mayoría de las estancias tuvo que realizar nuevas perforaciones por problemas de salinización de los molinos existentes. Gran parte de los propietarios de los campos indican que parte de los nuevos pozos extraían igualmente agua salina y que solo pudieron utilizarse para abastecimiento humano cuando el régimen de lluvias se normalizó.

Las simulaciones realizadas a partir de cálculos sencillos que contemplan las variaciones extremas en las condiciones de recarga y permeabilidad constituyen una herramienta útil para planificar la profundidad de las perforaciones. Esto también permite aprovechar el mayor espesor de la lente y evitar la salinización del pozo. En función de información de fácil obtención, tal como lo es el ancho del cordón, la distancia de la perforación respecto de la cresta del cordón y las características litológicas es posible diseñar la perforación contemplando las condiciones mínimas y máximas de recarga, a fin de evitar los problemas anteriormente mencionados. Cabe aclarar que como la interface es una franja de salinidad variable, las geometrías resultantes (y los recursos de agua dulce) pueden ser menores que las estimadas, y además los procesos de upconing pueden limitar la explotación, debido a las pequeñas dimensiones que tienen las lentes.

En relación al desarrollo poblacional, nótese también que las simulaciones muestran que en los cordones angostos, se desarrollan lentes de agua dulce de escaso espesor. Esto determina que estas geoformas constituyan una reserva de escasa importancia al momento de evaluarlas como fuentes de abastecimiento. No obstante, tienen un rol significativo en la preservación ambiental, dado que suministran

agua de baja salinidad a las especies vegetales autóctonas que albergan los cordones de conchilla, como lo es el bosque nativo de *Celtis tala*.

## Referencias

- Carol, E., Kruse, E., Roig, A. 2010. Groundwater travel time in the freshwater lenses of Samborombón Bay, Argentina. *Hydrological Sciences Journal*, 55: 754 – 762.
- Carol, E., Kruse, E. 2012. Hydrochemical characterization of the water resources in the coastal environments of the outer Río de la Plata estuary, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 37: 113 - 121.
- Chesnaux, R., Allen, D. M. 2008. Groundwater travel times for unconfined island aquifers bounded by freshwater or seawater. *Hydrogeology Journal*, 16: 437–445.
- Deluchi, M., Forte Lay, J., Kruse, E., Laurencena, P., Carol, E., Rojo, A. 2006. Balance hidrológico en un sector de la costa oriental de la Provincia de Buenos Aires. En: *VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*.
- Dupuit J. 1863. Étude théorique et pratique sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains Perméables. 2<sup>nd</sup> ed. Dunod, Paris.
- Fetter CW Jr. 1972. Position of the saline water interface beneath oceanic islands. *Water Resources Research* 8:1307–1315.
- Sala, J., González, N., Hernández, M. 1978. Efectos de una barrera hidráulica natural en las aguas subterráneas del litoral de la Bahía de Samborombón. *Obra del Centenario del Museo de La Plata* IV, 153–166.
- Violante, R., Parker, G., Cavallotto, J. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía de Samborombón y la laguna de Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56: 51 -66.