

# El rol de la evapotranspiración en la geohidrología del humedal de la Planicie Costera de Ajó (provincia de Buenos Aires)

*Eleonora Carol<sup>1</sup>, Eduardo Kruse<sup>1</sup>, Federica Braga<sup>2</sup> y Luigi Tosi<sup>2</sup>*

<sup>1</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).

<sup>2</sup> Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia. Italy.

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

---

## RESUMEN

La planicie costera de Ajó en la Provincia de Buenos Aires conforma un humedal cuyas características hidrológicas se diferencian según se trate de sectores de marisma influenciados por los flujos mareales o que se encuentren fuera del ciclo mareal. El objetivo del trabajo es evaluar el rol de la evapotranspiración en el funcionamiento geohidrológico del sector del humedal que se sitúa fuera del ciclo mareal. Para tal fin se analizaron imágenes satelitales Landsat visible-infrarrojo cercano (VNIR), datos de precipitaciones, de temperatura y de niveles y química (iones mayoritarios e isótopos) del agua superficial y subterránea entre septiembre de 2005 y marzo de 2006, abarcando un período húmedo y uno seco. Los resultados muestran que en la transición del período húmedo al seco se produce una disminución del área inundada, un descenso de los niveles freáticos y un aumento en la salinidad y contenido iónico del agua superficial y subterránea. Los balances hídricos y el contenido en cloruros e isótopos muestran la relevancia de la evapotranspiración que se encuentra evidenciada en la dinámica y calidad del agua del humedal.

Palabras clave: balance hídrico, balance de cloruros, isótopos ambientales, evapotranspiración, humedal.

---

## ABSTRACT

The wetland of the Ajó coastal plain in the Province of Buenos Aires shows different hydrological characteristics depending on whether the sector is influenced by the tidal flow or not. The aim of this work is to assess the role of evapotranspiration in the geohydrological behaviour of the sector of the wetland which remains out of the tidal cycle. Landsat visible and infrared (VNIR) satellite images, rainfall, temperature, chemical data (major ions and isotopes) and water level of surface and groundwater were analysed. The study includes a wet and a dry period between September 2005 and March 2006. A decrease in the flooded area, a deepening of the water table and an increase in the salinity of the surface water and groundwater were observed in the transition of the wet period to the dry period. The water budgets and the chloride and isotope contents indicate the relevance of evapotranspiration, which is demonstrated by the hydrodynamic and hydrochemical conditions of the wetland.

Palabras clave: water budget, chloride balance, environmental isotopes, evapotranspiration, wetland.

---

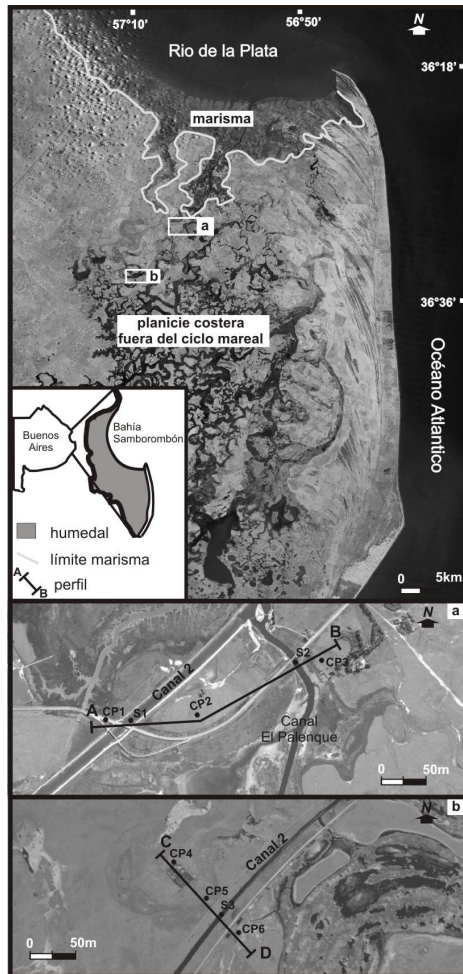
## Introducción

Los humedales son ambientes hidrológicamente sensibles, razón por la cual es vital comprender en ellos las distintas componentes del ciclo del agua. La evapotranspiración, es en los humedales, uno de los componentes más importantes del ciclo hidrológico y representa el consumo de agua de la vegetación, y la evaporación de los espejos de agua y suelos sin vegetación. Su estimación es necesaria para el entendimiento de los procesos hidrológicos y la gestión del agua.

La variabilidad y complejidad hidrológica de los distintos tipos de humedales determinan que no exista un enfoque único y que sea el más apropiado para estimar la evapotranspiración en estos ambientes (Drexler et al., 2004). Por esta razón, es que el estudio a partir de distintas metodologías tales como soluciones empíricas, procesamiento de imágenes satelitales, análisis basados en el tipo de vegetación y sustrato, variaciones de niveles de agua, etc. (p.e. Chen et al., 2002, Acreman et al., 2003, Dabrowska-Zielinska et al., 2010) permiten una mejor

comprensión de las numerosas variables que condicionan a la evapotranspiración en humedales.

El humedal de la planicie costera de Ajó (Violante et al., 2001) se ubica en el litoral de la Bahía de Samborombón como una franja de aproximadamente 500 m de ancho en el sector norte de la bahía y que alcanza en el sector sur su mayor expresión con un ancho de 50 km (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. (a) y (b) Detalle del área de perfiles y puntos de medición.

Dentro del humedal se reconocen dos sectores, uno de carácter intermareal y otro

actualmente sin conexión con el flujo marea. El primero se desarrolla sobre la costa donde predomina el ambiente de marisma y la dinámica hidrológica está directamente relacionada con los flujos mareales procedentes del estuario del Río de la Plata (Carol et al., 2011, Carol et al., 2012). El otro sector comprende las áreas más continentales donde la planicie costera está actualmente fuera del ciclo marea y los antiguos canales de marea forman cañadas y lagunas en donde descarga localmente el agua subterránea somera y se acumulan los excedentes de las precipitaciones (Carol, 2008). El objetivo del trabajo es evaluar el rol de la evapotranspiración en el funcionamiento geohidrológico del sector del humedal que se sitúa fuera del ciclo marea de acuerdo a las variaciones en la hidrodinámica e hidroquímica del agua superficial y subterránea y su verificación a partir de balances hidrológicos.

## Metodología

Con la base del mapa isofreático de la región (Carol, 2008) se realizaron mediciones de niveles de agua superficial (S) y subterránea somera (CP) en dos perfiles que interceptan perpendicularmente al flujo subterráneo y los principales canales. El primer perfil se ubica en la zona adyacente a la marisma mientras que el segundo en la parte central de la planicie costera (Fig. 1). Los puntos de medición de agua subterránea corresponden a freatímetros construidos a 3 m de profundidad y encamisados con caño y filtro de PVC y prefiltro de grava silícea bien seleccionada. En todos los puntos de medición se extrajeron muestras de agua para la determinación del contenido de iones mayoritarios. Los datos corresponden a muestreos realizados en septiembre de 2005 y marzo de 2006. En el segundo muestreo también se determinaron isótopos ambientales  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ .

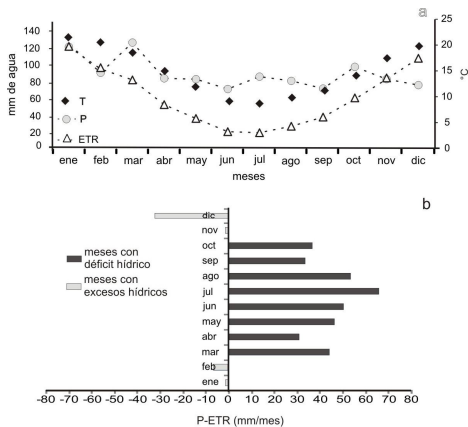
Imágenes satelitales Landsat Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR) comprendidas entre agosto de 2005 y mayo de 2006 se utilizaron para valorar los cambios en las áreas cubiertas por agua (canales, cañadas, etc.) y Landsat Térmico Infrarrojo (TIR) para estimar las variaciones en la temperatura de superficie. La estimación del rol de la evapotranspiración se efectuó a partir del factor de evaporación en agua por cloruros y datos isotópicos de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ . Los cálculos de evaporación basados en datos químicos se efectuaron con el software NETPATH (Plummer et al., 1991).

Los datos de precipitaciones y temperatura de General Lavalle permitieron verificar las

observaciones realizadas en base a evidencias hidrodinámicas y hidroquímicas acerca del rol de la evapotranspiración en el humedal. Valores anuales (1909 – 2012) y mensuales (2005 – 2006) se utilizaron para la caracterización climática y para la estimación de la evapotranspiración a partir de balances hídricos.

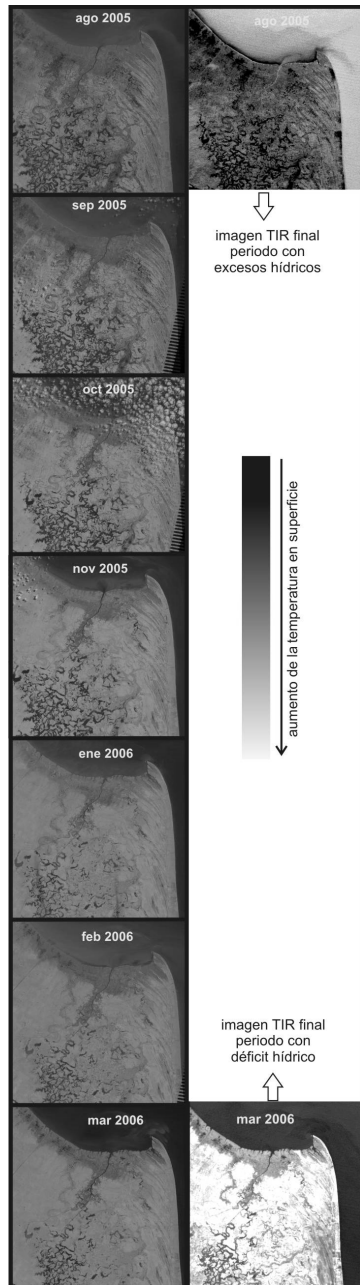
## Resultados

El clima es templado húmedo con precipitaciones medias anuales de 970 mm, existiendo una alternancia de periodos secos y húmedos. Los balances hídricos mensuales calculados por el método de Thornthwaite a partir de los datos de precipitaciones y temperaturas medias históricas muestran que la evapotranspiración real es de 759 mm / año, registrándose excesos principalmente en los meses de invierno (entre marzo y octubre) y déficit en los del verano (de noviembre a febrero) (Fig. 2).



**Figura 2.** (a) Gráfico de precipitaciones (P), evapotranspiración real (ETR) y temperaturas medias (T) mensuales, (b) gráfico de barras indicando los meses con déficit y excesos hídricos.

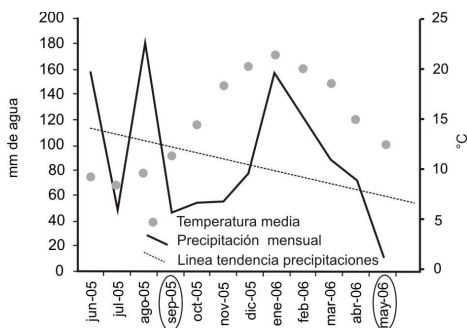
El desarrollo de lagunas y cañadas está regulado principalmente por las precipitaciones y la evaporación, esta última favorecida por la gran extensión y escasa profundidad de los cuerpos de agua. En las imágenes satelitales puede apreciarse que a finales de los meses con excesos hídricos (agosto a octubre de 2005) en el humedal predomina la acumulación de agua en superficie (Fig. 3).



**Figura 3.** Imágenes Landsat entre agosto de 2005 y marzo de 2006. Las imágenes en escalas de grises corresponden al término infrarrojo (TIR).

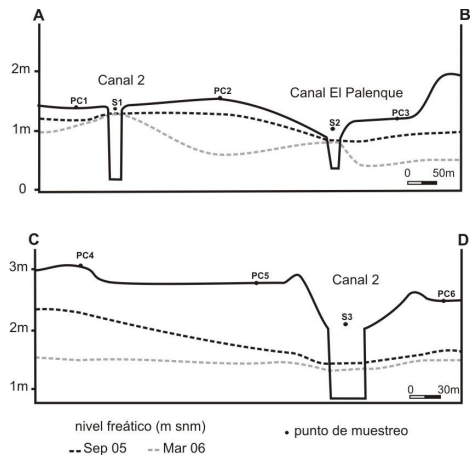
En la parte central y sur de las imágenes se observan numerosas formas sinuosas de coloración negra que representan a los antiguos canales de marea en donde se acumula en superficie el agua de lluvia. Precipitaciones de 157 mm y 183 mm registradas en los meses de junio y agosto, asociadas a la baja evapotranspiración (Fig. 4) y la baja a media permeabilidad de los sedimentos de la planicie costera favorecen la formación de cañadas y lagunas en las depresiones de los antiguos canales de marea.

Entre agosto de 2005 y marzo de 2006, un aumento en la temperatura superficial se evidencia en las imágenes Landsat TIR (Fig. 3). En agosto de 2005 las imágenes presentan un predominio de tonalidades negras y gris oscuras (indicativas de bajas temperaturas), mientras que tonalidades gris claro a blanquecinas (indicativas de mayor temperatura) dominan en marzo de 2006. En este periodo las precipitaciones tienden a disminuir y la temperatura ambiente es superior a 15 °C durante los meses con déficit (Fig. 4). Estas características determinan que desde el inicio al final del periodo con déficit hídrico (de noviembre a marzo) ocurra una notoria disminución del área cubierta por el agua registrando en marzo de 2006 solo algunos antiguos canales de marea con agua en superficie en el sector sudoeste (Fig. 3). La relevancia de la evaporación por sobre la precipitación en la dinámica del agua superficial del humedal durante los meses con déficit se evidencia en el mes de enero de 2006 donde a pesar de que las precipitaciones hayan alcanzado los 140 mm (Fig. 4) no se registra un incremento en las áreas inundadas (Fig. 3).



**Figura 4.** Precipitaciones y temperaturas mensuales para el periodo analizado.

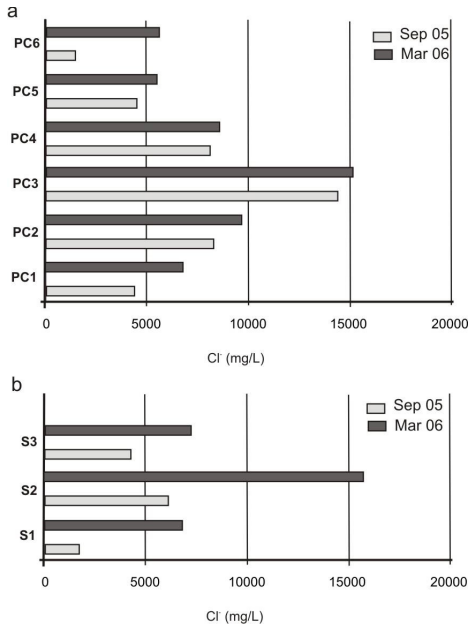
Una profundización en los niveles freáticos y un aumento en el contenido iónico del agua subterránea se registran entre septiembre de 2005 y mayo de 2006. En los dos perfiles hidrogeológicos se observa que en septiembre de 2005 los niveles freáticos se encuentran próximo a la superficie del terreno (puntos indicados con PC) y se profundizan durante la primavera y verano, registrándose en marzo de 2006, un descenso entre 30 y 70 cm (Fig. 5). Esta profundización en los niveles modifica la relación agua superficial – agua subterránea. Para septiembre de 2005 en el perfil A-B el agua subterránea descarga en los canales, mientras que en marzo de 2006 esta relación se invierte. En el perfil C-D si bien tanto en septiembre de 2005 como en marzo de 2006 existe una descarga del flujo subterráneo en el canal, el gradiente hídrico disminuye notoriamente en marzo de 2006 (Fig. 5). Cabe destacar que el descenso en los niveles de agua de los canales es pequeño debido a que su descarga es regulada por compuertas de forma tal de maximizar la acumulación de agua en los mismos.



**Figura 5.** Perfiles topográficos indicando la posición del los niveles de agua. La ubicación de la traza del perfil se indica en la figura 1.

En lo referente a la química del agua, dentro del humedal predomina el agua subterránea de tipo clorurada sódica. En todos los puntos de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas se registra un aumento en la concentración de cloruros entre septiembre de 2005 y marzo de 2006 (Fig. 6). Los factores de evaporación estimados a partir del modelado

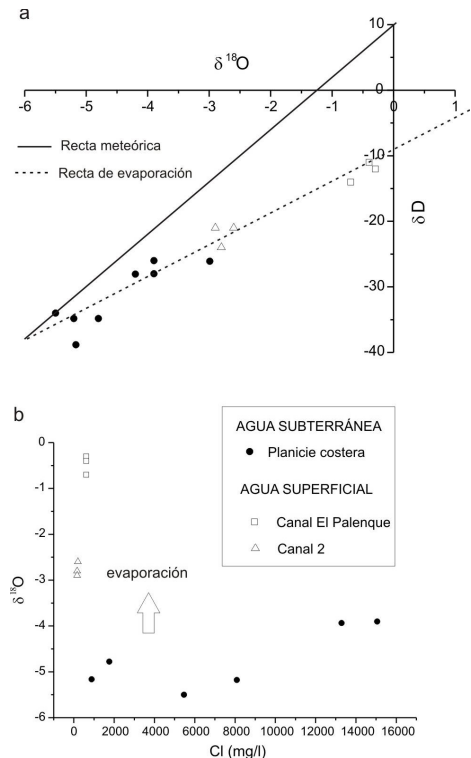
hidrogeoquímico varían entre (1,05 y 1,54) en el agua subterránea y entre (1,7 y 2,6) en el agua superficial.



**Figura 6.** Gráficos de barras mostrando la variación en el contenido en cloruros de las muestras de agua entre fines del periodo húmedo (septiembre de 2005) y fines del seco (marzo de 2006).

El contenido en isótopos ambientales muestra también que el proceso de evaporación condiciona la química tanto del agua superficial como subterránea. En el gráfico de  $\delta^{18}\text{O}$  en función de  $\delta^2\text{H}$  se observa que las muestras se desvían de la recta meteórica local  $\delta^2\text{H}\text{‰} = 8 \delta^{18}\text{O}\text{‰} + 14$  (Dapeña y Panarello 2004) y se ubican en torno a una recta de evaporación  $\delta^2\text{H}\text{‰} = -4.89 \delta^{18}\text{O}\text{‰} - 9.47$  (Fig. 7a). La pendiente de la recta de evaporación se sitúa dentro del rango esperado en zonas con humedad atmosférica cercana al 75% (Gonfiantini, 1986), como es el caso del humedal estudiado. Los contenidos isotópicos al igual que los factores de evaporación muestran que la evaporación es mayor en el agua superficial que en el agua subterránea. Esta característica también se observa en el gráfico de  $\delta^{18}\text{O}$  en función de la concentración de cloruros (Fig. 7b). Dentro de las muestras de agua superficial, las del canal El Palenque son las que mayor evaporación evidencia. Esto se

debe a que dicho canal drena la mayor parte de las cañadas y lagunas poco profundas del humedal, mientras que el canal 2 drena agua de arroyos ubicados al sudoeste del humedal donde la superficie expuesta a evaporación es mucho menor.



**Figura 7.** (a) Relación entre el contenido de isótopos ambientales ( $\delta^2\text{H}$  en función de  $\delta^{18}\text{O}$ ) y (b) relación entre  $\delta^{18}\text{O}$  y la concentración de cloruros.

## Conclusiones

Las evidencias hidrodinámicas e hidroquímicas indican que la evapotranspiración tiene un rol importante dentro del funcionamiento hidrológico del humedal que se encuentra fuera del ciclo mareal. Estas evidencias quedan verificadas a partir de los balances hidrológicos los cuales indican que anualmente un 75% del agua de lluvia es evapotranspirada y que existen entre marzo y octubre excesos hídricos y entre noviembre y febrero déficits hídricos.

El desarrollo de cañadas y lagunas, la relación agua superficial – agua subterránea, el gradiente hidrológico y la química del agua superficial y subterránea somera están regulados en gran medida por la evapotranspiración.

Los resultados obtenidos permiten caracterizar los efectos de la evapotranspiración sobre las variables hidrológicas del humedal, cuyo entendimiento es vital para la gestión y manejo sustentable de los recursos hídricos de este tipo de ambientes.

## Agradacimientos

Este trabajo fue desarrollado en el ámbito del Acuerdo de Cooperación Científica entre el CONICET (Argentina) y el CNR (Italia), dentro del proyecto "Interacción agua dulce – agua salada en regiones costeras de alto interés económico y ambiental: caracterización hidrogeológica actual y previsión de los efectos del cambio climático global".

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del U.S. Geological Survey's, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.

## Referencias

- Acreman M.C., Harding R.J., Lloyd C.R., McNeil D.D. 2003. Evaporation characteristics of wetlands: experience from a wet grassland and a reedbed using eddy correlation measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7: 11–21.
- Carol E. 2008. Procesos hidrológicos en el sector sur de Bahía de Samborombón. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. 235 p.
- Carol, E., Dragani, W., Kruse, E., Pousa, J. 2012. Surface water and groundwater characteristics in the wetlands of the Ajó River (Argentina). *Continental Shelf Research*. 49: 25-33.
- Carol, E., Kruse, E., Pousa, J. 2011. Influence of the geologic and geomorphologic characteristics and of crab burrows on the interrelation between surface water and groundwater in an estuarine coastal wetland. *Journal of Hydrology*, 403: 234 – 241.
- Chen, J., Kan, C., Tan, C, Shih, S.F. 2002. Use of spectral information for wetland evapotranspiration assessment. *Agricultural Water Management*, 55, 239–248
- Dabrowska-Zielinska, K., Budzynska, M., Kowalik, W., Turlej, K. 2010. Soil moisture

and evapotranspiration of wetlands vegetation habitats retrieved from satellite images. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 5929-5955.

- Dapeña, C., Panarello, H., 2004. Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología* 4, 17–25.
- Drexler, J. Z., Snyder, R. L., Spano, D. Paw U, K. T. 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological Processes*, 18: 2071–2101. doi: 10.1002/hyp.1462
- Gonfiantini, R., 1986. Environmental isotopes in lake studies. En: Fritz, P., Fontes, J.C. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Elsevier, pp. 113– 168.
- Plummer L.N., Prestemon E.C., Parkhurst D.L. 1991. An interactive code (NETPATH) for modelling NET geochemical reactions along a flow PATH. US Geol Surv Water Resour Invest 4078.
- 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.