

## GRADIENTE DE SALINIDAD EN MARISMAS COMO UN INDICADOR DE LA DESCARGA SUBTERRÁNEA: CASO DE ESTUDIO EN EL EXTREMO SUR DEL HUMEDAL DE BAHÍA SAMBOROMBÓN

GALLIARI, MARÍA J.<sup>1</sup>; TANJAL, CAROLINA V.<sup>2</sup>; CAROL, ELEONORA S.<sup>1,2</sup> Y RICHIANO, SEBASTIÁN M.<sup>1,2</sup>

1- Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.  
jugalliari@hotmail.com

2- Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP).  
ctanj@ig.museo.unlp.edu.ar, richiano@ig.museo.unlp.edu.ar, eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

**Resumen.** *En el extremo sur del humedal de Bahía Samborombón se desarrollan pequeñas lagunas costeras con ambientes de marismas salinas en sus márgenes asociadas a la espiga del cordón de médanos costeros. El objetivo del trabajo fue analizar la influencia que ejerce la descarga de agua subterránea desde las dunas en la salinidad del agua subterránea y superficial que sustenta la vegetación. Para ello se realizó una red de monitoreo de agua subterránea somera en la marisma y de agua superficial en el canal con conexión al mar, laguna y cuerpos secundarios asociados, así como también en el mar. En campo se midió el pH y conductividad eléctrica del agua y se extrajeron muestras para la determinación de cloruros. Los resultados obtenidos muestran que el flujo subterráneo es desde las dunas (recarga) hacia la laguna y canales de marea (descarga). Los gradientes de salinidad observados indican que la marisma recibe tanto aportes de agua marina durante las pleamares como de la descarga subterránea desde el sector de dunas. Considerando al cloruro como un ion conservativo en el agua, su concentración permite evaluar el rol que la descarga de agua subterránea dulce tiene en las características ambientales de la marisma.*

**Palabras Claves:** Agua subterránea, Laguna costera, Marisma, Hidrogeoquímica.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las marismas son uno de los ambientes geohidrológicos más variables tanto espacial como temporalmente [1]. En ellas existe una estrecha vinculación entre los movimientos y almacenamientos de agua y la distribución, estructura y funcionamiento de los ecosistemas [2, 3, 4]. Es así que el estudio de la interrelación entre el agua superficial y subterránea adquiere especial relevancia al momento de evaluar las condiciones ambientales dentro de las marismas, aspecto fundamental para su análisis ecohidrológico. La salinidad del agua, junto con el contenido de cloruros es una de las principales variables que determinan las características ambientales de las marismas [5]. Considerando a un indicador como una variable que resume o simplifica información relevante y hace que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, siendo además, un parámetro sencillo y fácil de medir [6], la salinidad y el contenido de cloruros en el agua pueden considerarse como buenos indicadores ambientales.

El humedal de Bahía Samborombón se desarrolla en la planicie costera del estuario exterior del Río de la Plata. En el extremo sur de la bahía, y asociadas a la espiga del cordón de médanos costeros, se desarrollan pequeñas lagunas costeras con ambientes de marismas salinas en sus márgenes (Fig. 1). El objetivo del trabajo fue analizar la influencia que ejerce la descarga de agua subterránea desde las dunas en la salinidad del agua subterránea y superficial que sustenta la vegetación en una de las marismas de laguna costera de dicho humedal.

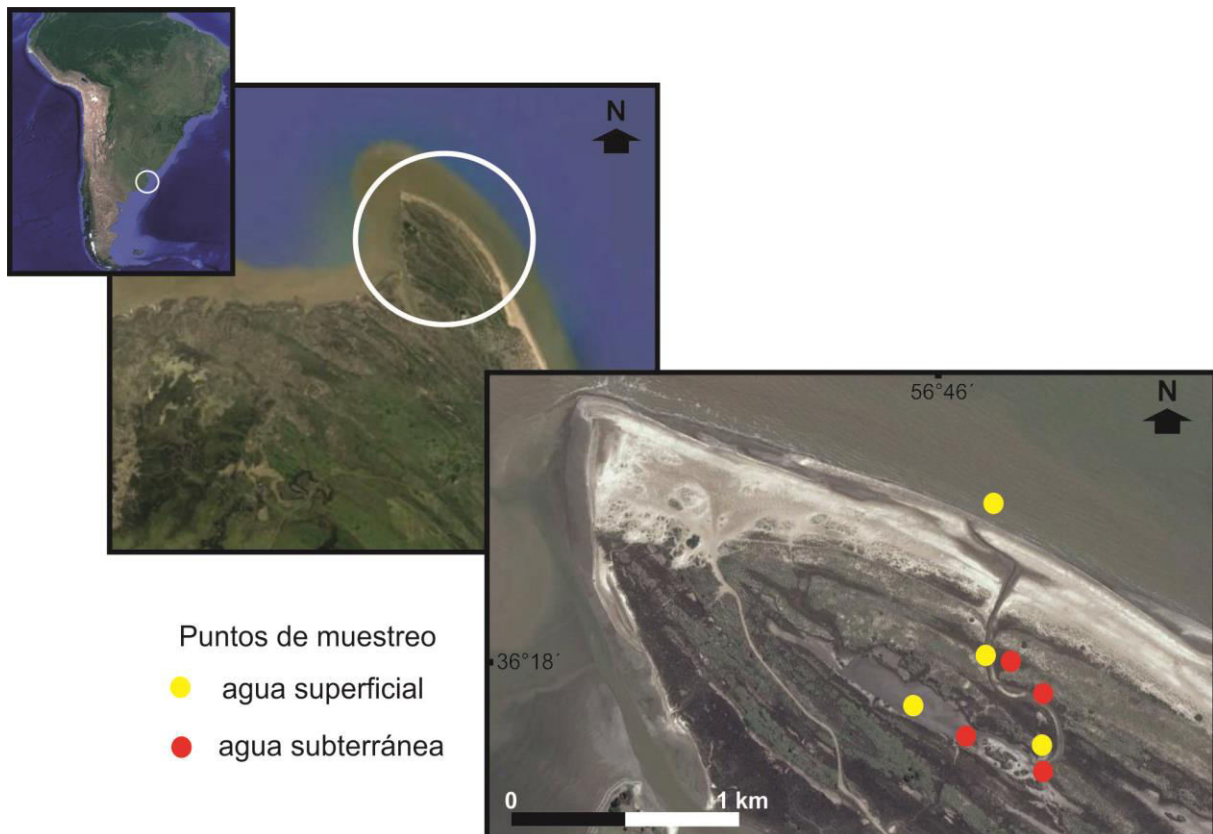


Figura 1: Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se generó una red de monitoreo de agua subterránea somera en la marisma y de agua superficial en el canal con conexión al mar, laguna y cuerpos secundarios asociados, así como también en el mar (Fig.1). En campo se midió el pH y conductividad eléctrica del agua (indicadora de salinidad) con un equipo portátil. Los muestreos de agua superficial se efectuaron mediante la toma de muestras con botellas directamente del canal de marea, mar y laguna, mientras que las muestras de agua subterránea se obtuvieron a partir de freáticos mediante el uso de bailers. En las muestras extraídas se determinó el contenido de cloruros por medio del método volumétrico estandarizado [7]. Los resultados se obtuvieron por

triplicado presentándose en el trabajo el valor medio obtenido. Además, se utilizó el software PHREEQC [8] para determinar los porcentajes de mezcla y evaporación.

Los freáticos se efectuaron con barreno manual y fueron entubados con caños de PVC de 2 pulgadas, con filtro continuo y prefiltro de grava silíceo. Durante la realización de los mismos se extrajeron muestras de sedimentos para analizar la granulometría, efectuándose también relevamientos de perfiles sedimentológicos, información que permitió evaluar la permeabilidad de los sedimentos, variable que condiciona no sólo la infiltración del flujo mareal sino que también la descarga subterránea.

### 3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian que existen diferencias entre valores de pH, conductividad eléctrica del agua y contenido de cloruros de las muestras de agua superficial y subterránea (Tabla 1). Asimismo, en el agua subterránea se registran variaciones en los distintos sectores de la marisma. Cabe aclarar que los muestreos se efectuaron en diciembre de 2016 en bajamar dentro del periodo de déficit hídrico (evapotranspiración mayor a la precipitación).

El agua de mar que ingresa por el canal de marea e inunda la laguna costera tiene valores de pH de 7,63 con una conductividad eléctrica de 37.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y contenidos de cloruros de 15.639 mg/L. Por su parte, el agua superficial tanto del canal como del cuerpo lagunar secundario y principal presenta pH levemente más alcalinos y mayores conductividades eléctricas y contenido de cloruros. Este aumento se debe a procesos de evaporación, que si consideramos al cloruro como ion conservativo, los valores de evaporación respecto del agua de mar estimados son de 17% en el canal de marea, 21% en la laguna secundaria y un 22% en la laguna principal.

Con respecto al agua subterránea se observa variabilidad en los distintos sectores muestreados respecto de la conductividad eléctrica del agua y contenido de cloruros. Estas variaciones se asocian a la descarga subterránea que existe en algunos sectores de la marisma, principalmente en aquellos próximos a las dunas. Por ejemplo, en el freático ubicado en la marisma entre el canal de marea y las dunas la conductividad eléctrica del agua es de 8470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con contenidos de cloruro de 3.068 mg/L. Si consideramos una mezcla teórica entre el agua de mar y el agua dulce de las dunas, se puede estimar que dicha composición corresponde a 81% de aporte de descarga subterránea desde las dunas y 19% de agua de mar que infiltra durante la pleamar. En el freático ubicado en la marisma en el límite con las dunas, la descarga subterránea adquiere mayor importancia como condicionante de la química del agua alcanzando valores de 87%.

Una característica distinta se registra en los freáticos ubicados dentro de la laguna, sobre barras de arena. En ellos se observa que la mayor influencia es la infiltración del agua de mar (95%), lo que da a lugar a que los valores de conductividad eléctrica y contenido de cloruros sean similares a los del agua superficial de la laguna.

Muestras	pH	Conductividad μS/cm	Cl (mg/L)
Agua subterránea dunas	7,2	500	30
Mar	7,63	37.500	15.639
Canal de marea	8,34	47.500	19.042
Laguna secundaria.	8,60	53.100	19.836
Laguna principal	8,58	57.100	20.653
Freatímetro próximo a canal	8,29	12.006	3.068
Freatímetro próximo a duna	8,20	8.470	2.047
Freatímetro barra de laguna 1	7,69	46.300	19.450
Freatímetro barra de laguna 2	7,60	38.100	14.958

Tabla 1: valores de pH, conductividad eléctrica del agua y cloruros

La descarga de agua dulce subterránea desde las dunas hacia la marisma se ve favorecida por la alta permeabilidad que presentan los sedimentos tanto de las dunas como lo de la zona de marisma (Fig. 2). Desde el punto de vista sedimentológico, los depósitos de la marisma relacionados a la laguna costera y al canal de mareas se componen mayoritariamente de arenas finas a medianas, de estructura masiva. Intercalados con las arenas aparecen niveles de conchillas de 2 a 5 cm de espesor. Considerando el material biogénico asociado se pueden reconocer dos orígenes, uno marino que se encuentra en los niveles inferiores de los perfiles y uno continental que se desarrolla en los últimos 30 cm junto con procesos edáficos y vegetación. Texturalmente, las arenas están predominadas por 60% de tamaño entre 0,125 mm y 0,25 mm y varían en su tamaño de grano desde 2 mm hasta 0.062 mm. Por otro lado los niveles de conchilla poseen una matriz arenosa con tamaño de grano entre 0,5 y 0,25 mm, y los fragmentos de valvas de bivalvos (predominantes) poseen hasta 10 mm de longitud.

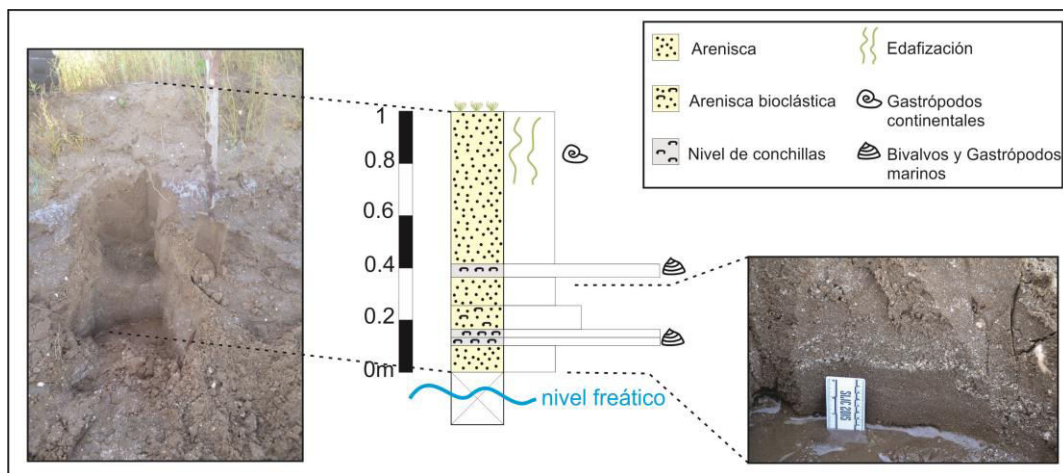


Figura 2: Perfil sedimentológico del área de marisma entre las dunas y el canal de marea.

#### 4. DISCUSIÓN

Los gradientes de salinidad y cloruros observados muestran que la marisma recibe aportes de agua marina que ingresa por el canal en las pleamares y de la descarga subterránea desde el sector de dunas. El flujo mareal ingresa por el canal de conexión con el mar durante la pleamar, principalmente en las pleamares de sicigia, observándose que en algunos periodos de cuadratura el ingreso de la pleamar es más restringido. Cuando la marea no ingresa y no existen aportes del agua de lluvia a la laguna, el agua de la misma tiende a evaporarse, proceso que se evidencia en los valores de conductividad eléctrica del agua y cloruros superiores a los del agua de mar. El clima templado húmedo de la región, con precipitaciones cercanas a 1000 mm anuales [9, 10] favorece la presencia de excesos hídricos, los cuales infiltran en las dunas favorecidos por la alta permeabilidad de los sedimentos predominantemente arenosos. El agua subterránea que recarga a las dunas tiene un flujo subterráneo hacia la laguna y canales de marea donde se produce la descarga del agua subterránea. La marisma que se desarrolla en los bordes de la laguna costera y del canal de marea recibe esta descarga de agua dulce desde las dunas. La salinidad y contenido de cloruros en el agua subterránea de la marisma es el resultado de la mezcla entre el agua salina del mar que infiltra cuando la marisma es inundada por la pleamar y el agua dulce procedente de la descarga subterránea. En consecuencia las salinidades y contenidos de cloruros tienden a tener valores más bajos que los del agua de mar. Considerando al cloruro como un ion conservativo en el agua, su concentración permite evaluar cuál es la proporción de agua dulce que ingresa a la marisma producto de la descarga subterránea. Los resultados obtenidos en el muestreo efectuado evidencia que en la marisma que limita con el sector de dunas los porcentajes de descarga subterránea son altos (entre 81 y 87 % del agua es descarga subterránea). Por su parte, en la marisma ubicada en las barras arenosas dentro de la laguna la descarga subterránea es muy baja (inferior al 10%).

Por último, la topografía de la marisma juega también un rol importante en la salinidad del agua subterránea [5, 11] y en la distribución de las especies vegetales de la misma [3]. En los sectores más elevados la recurrencia del flujo mareal es menor y el periodo expuesto a evaporación es mayor, pudiendo acá formarse precipitados salinos en la superficie de los sedimentos. Desde el punto de vista del agua subterránea están más próximos a las zonas de recarga y el nivel freático está a mayor profundidad, no obstante siempre se encuentra a menos de 50 cm de profundidad. En la figura 3 se resumen los procesos hidrológicos expuestos.

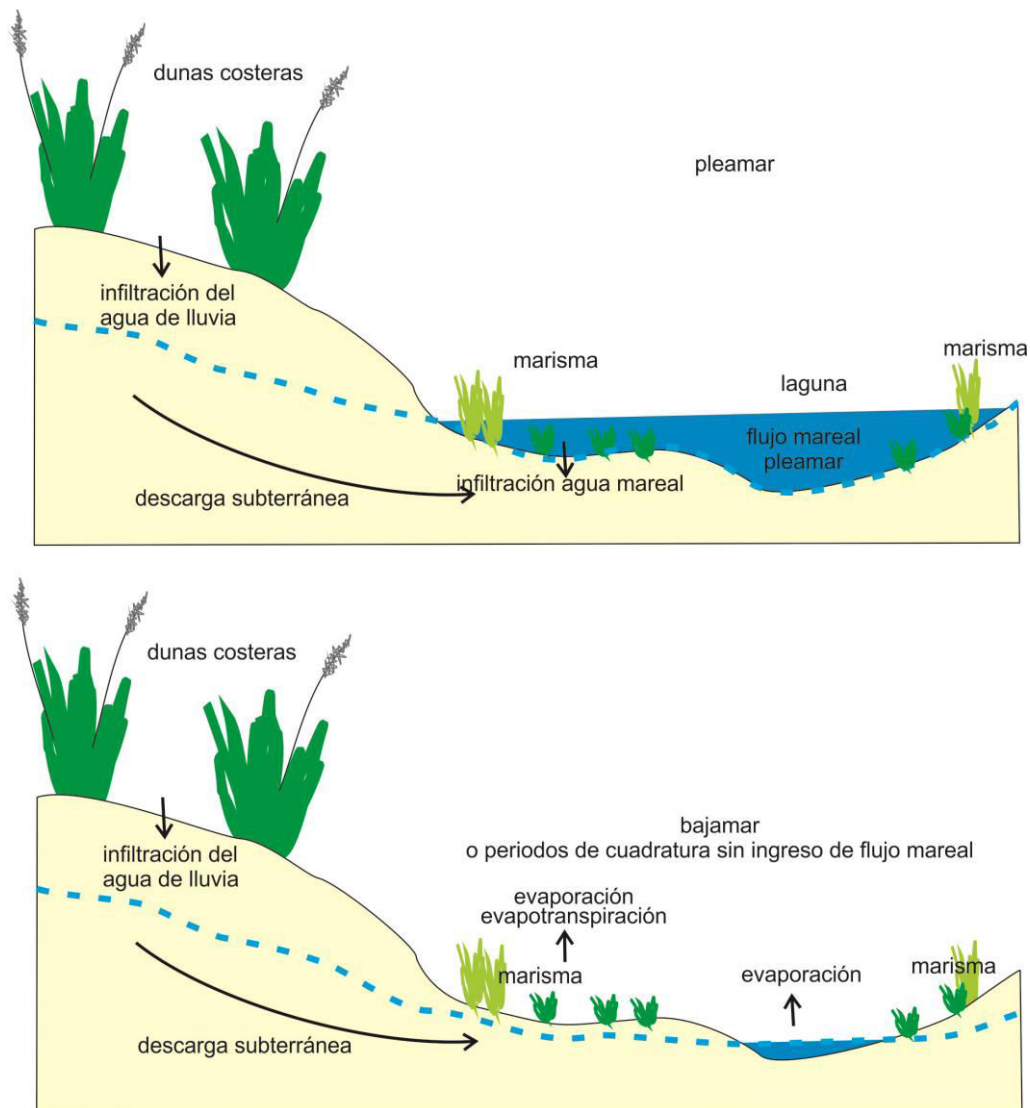


Figura 3: Esquema resumiendo los procesos que condicionan la salinidad del agua en la marisma.

## 5. CONCLUSIONES

La conductividad eléctrica del agua y el contenido de cloruros son parámetros de fácil medición que permiten definir al gradiente de salinidad como un indicador del rol de la descarga subterránea en las características ambientales de la marisma. A su vez, permiten establecer otros procesos tales como porcentajes de evaporación en los cuerpos lagunares y porcentajes de mezclas de agua producto del aporte hídrico desde distintas fuentes.

El estudio del gradiente de salinidad adquiere especial importancia en humedales costeros ya que la salinidad es una de los principales condicionantes ambientales en la distribución de la vegetación en este tipo de ambiente. Por esta razón si bien los resultados obtenidos en este

trabajo son preliminares contribuyen al conocimiento de los procesos hidrológicos que condicionan el desarrollo de ecosistemas en marismas.

## REFERENCIAS

- [1] Anderson, J. T., Davis, C. A., 2013. *Wetland techniques*. Springer.
- [2] Allen, J. R. L., Pye, K., 1992. *Coastal saltmarshes: their nature and importance*. Salt Marshes, Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance. Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.
- [3] Marani, M., Silvestri, S., Belluco, E., Ursino, N., Comerlati, A., Tosatto, O., Putti, M., 2006. Spatial organization and ecohydrological interactions in oxygen- limited vegetation ecosystems. *Water Resources Research*, 42(6). doi:10.1029/2005WR004582.
- [4] Moffett, K. B., Gorelick, S. M., 2016. Relating saltmarsh pore water geochemistry patterns to vegetation zones and hydrologic influences, *Water Resour. Res.*, 52, 1729–1745, doi:10.1002/2015WR017406.
- [5] Silvestri, S., Defina, A., Marani, M., 2005. Tidal regime, salinity and saltmarsh plant zonation. *Estuar.Coast.Shelf Sci.*62, 119–130.
- [6] Cendrero, A., Frances, E., Latrubesse, E., Predo, E., Fabbri, A., Panizza, M., Cantu, M. P., Hurtado, M., Gimenez, J. E., Martinez, O., Cabral, M., Tecchi, R. A., Hamity, V., Ferman, J. L., Quintana, C., Ceccioni, A., Recatalá, L., Bayer, M., Aquino, S., 2002. Projeto Relesa-Elanem: uma nova proposta metodológica de índices e indicadores para avaliação da qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, (3), 33-47.
- [7] APHA (American Public Health Association), 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20<sup>th</sup> ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- [8] Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. *User's guide to PHREEQC (Version 2)*. A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: US Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259
- [9] 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. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Asunción, Paraguay.
- [10] Carol, E., Álvarez, M. P., Borzi, G., 2016. Assessment of factors enabling halite formation in a marsh in a humid temperate climate (Ajó marsh, Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 106, 323 – 328.
- [11] Carol, E., Álvarez, M. P., 2016. Processes regulating groundwater chloride content in marshes under different environmental conditions: a comparative case study in Peninsula Valdés and Samborombón Bay, Argentina. *Continental Shelf Research* 115, 33–43.