



2020, Volumen 5, Número 2: 500-509

Dossier

“Geoquímica y perspectiva ambiental de sistemas exógenos”

Editores invitados: Eleonora Carol & Carolina Tanjal

Geohidrología de un sector de la marisma de Bahía San Blas

Lucas Misseri¹, Francisco A. Cellone^{2,3}, Pablo J. Bouza¹, María del Pilar Álvarez¹
& Eleonora Carol^{2,3}

¹Instituto Patagónico para el Estudio de Ecosistemas Continentales, Argentina. lmisseri@cenpat-conicet-gob.ar; bouza@cenpat-conicet.gob.ar; alvarez@cenpat.edu.ar

²Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. fcellone@fcnym.unlp.edu.ar; eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina



Geohidrología de un sector de la marisma de Bahía San Blas

Lucas Misseri¹, Francisco A. Cellone^{2,3}, Pablo J. Bouza¹, María del Pilar Álvarez¹ & Eleonora Carol^{2,3}

¹Instituto Patagónico para el Estudio de Ecosistemas Continentales, Argentina. lmisseri@cenpat-conicet.gob.ar; bouza@cenpat-conicet.gob.ar; alvarez@cenpat.edu.ar

²Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. fcellone@fcnym.unlp.edu.ar; eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

RESUMEN. La marisma del arroyo Jabalí forma parte de la Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Bahía San Blas y se encuentra ubicada al sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo del trabajo es analizar los principales procesos geohidrológicos que regulan la química del agua superficial y subterránea de este humedal y su relación con las características geomorfológicas y pedológicas. Para ello se realizó una caracterización geomorfológica en base a la cual se diseñó una red de monitoreo del agua superficial y subterránea. Se construyeron 14 freáticos a lo largo de 3 transectas perpendiculares al arroyo y se recolectaron muestras de agua en las que se analizó *in situ* el pH y la conductividad eléctrica y se determinó en laboratorio el contenido de iones mayoritarios. Los datos fueron analizados mediante gráficos de relaciones iónicas y diagramas de clasificación de aguas. A su vez en cada sector estudiado se efectuaron calicatas para la descripción de los perfiles del suelo y características texturales de los sedimentos superficiales. Los resultados obtenidos muestran que tanto la química del agua del canal Jabalí como la subterránea de la marisma son predominantemente cloruradas sódicas, existiendo un enriquecimiento en el contenido iónico asociado a una mayor distancia con respecto a la boca del canal y una posición topográfica más elevada. El principal proceso que condiciona la química del agua subterránea es la disolución de especies minerales formadas en la superficie de los suelos por evaporación del agua de mar y la posterior incorporación en el acuífero por infiltración. Estos procesos se ven favorecidos por el clima semiárido, la menor recurrencia de inundación por posición topográfica elevada, y por la textura fina de los suelos. A su vez, la oxidación de sulfuros pedogenéticos y la consecuente acidificación del medio son propuestos como otros mecanismos que condicionan la química del agua.

Palabras clave: *Humedal costero, Geomorfología litoral, Hidrogeoquímica*

ABSTRACT. Geohydrology of a sector of the Bahía San Blas marsh. The marsh of the Jabalí stream lies within the Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Bahía San Blas and is located in the southeast of Buenos Aires province, Argentina. The aim of the work is to analyze the main geohydrological processes that regulate the chemistry of groundwater and surface waters in this wetland, and the link of these chemical characteristics to local geomorphological and pedological features. For this purpose, a geomorphological characterization was performed and used as basis for establishing a surface and groundwater monitoring network. Fourteen phreatimeters were built along 3 transects perpendicular to the stream; the water samples collected were analyzed *in situ* for pH, electrical conductivity, temperature and dissolved oxygen, while major ion contents were determined in the laboratory. The data were analyzed through diagrams of ionic relationships and water classification diagrams. In each sector, soil pits were dug for the description of soil profiles and textural characteristics of the surface sediments. Results show that the chemistry of both the water from the Jabalí channel and the marsh groundwater are predominantly sodium chlorinated, with an enrichment of ionic content associated to greater distance to the mouth of the channel and more elevated topographic position. The main processes that condition groundwater chemistry are the dissolution of mineral species such as halite, gypsum and carbonates that occur as surface crusts on the soil, resulting from the total or partial evaporation of seawater and their subsequent incorporation into the aquifer through infiltration. These processes are facilitated by the semi-arid climate, the lower recurrence of flooding due to the high topographic position, and the fine texture of the soils. In turn, the oxidation of paedogenetic sulphides and the consequent acidification of the medium are proposed as additional mechanisms that condition water chemistry

Key words: *Coastal wetland, Coastal geomorphology, Hydrogeochemistry*

RESUMO. Geo-hidrologia de um setor de marisma da Bahía San Blas. A marisma do arroio Jabalí faz parte da Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Bahía San Blas, e está localizada a sudeste da província de Buenos Aires, Argentina. O objetivo do trabalho é analisar os principais processos geo-hidrológicos que regulam a química das águas superficiais e subterrâneas deste terreno úmido e sua relação com as características geomorfológicas e pedológicas. Para isso, foi realizada uma caracterização geomorfológica com base na qual foi projetada uma rede de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas. Foram construídos 14 freáticos ao longo de três transectos perpendiculares ao arroio, e foram coletadas amostras de água nas quais foram analisados *in situ* o pH e a condutividade elétrica, e foi determinado em laboratório o conteúdo dos íons majoritários. Os dados foram analisados por meio de gráficos de relações iônicas e diagramas de classificação de águas. Por sua vez, em cada setor estudado foram escavados poços para descrever os perfis do solo e as características texturais dos sedimentos superficiais. Os resultados obtidos mostram que tanto a química da água do canal Jabalí quanto a subterrânea da marisma contém predominantemente cloretos de sódio, havendo um enriquecimento no conteúdo iônico associado a uma maior distância da boca do canal e uma posição topográfica mais elevada. O principal processo que determina a química das águas subterrâneas é a dissolução de espécies minerais formadas na superfície dos solos por evaporação da água do mar e subsequente incorporação no aquífero por infiltração. Estes processos são favorecidos pelo clima semiárido, pela menor recorrência de inundações devido à posição topográfica elevada, e pela textura fina dos solos. Por sua vez, a oxidação de sulfetos pedogenéticos e a consequente acidificação do meio são propostas como outros mecanismos que condicionam a química da água.

Palavras-chave: *Terreno úmido costeiro, Geomorfologia costeira, Hidrogeoquímica*

Introducción

Las marismas constituyen uno de los principales humedales costeros que se desarrollan en áreas litorales de latitudes medias a bajas (Chapman, 1960). Estos humedales son en particular áreas muy sensibles a los cambios hidrológicos, ya sean de origen natural, asociados a las variaciones del nivel del mar por efecto del cambio

climático durante el Holoceno, o a aquellos debidos a la acción antrópica (Brinson & Malvarez, 2002, Carol *et al.*, 2017).

Los patrones y variaciones en el flujo del agua subterránea en los ambientes de marismas están controlados por las fluctuaciones de las mareas, el balance hídrico local (precipitaciones – evapotranspiración), la descarga de agua subterránea desde sectores más elevados, así como también por las características geológicas y geomorfológicas (Wilson & Morris, 2012). La posición topográfica condiciona el alcance de los flujos mareales, por lo cual los sectores más bajos de las marismas son inundados recurrentemente, mientras que los más elevados sólo son alcanzados por las mareas de sicigia y pleamares extraordinarias (Brinson, 1989). Por otro lado, la textura de los suelos condiciona la hidrodinámica y la interacción entre los flujos de agua mareales y los subterráneos (Carol *et al.*, 2009). Dicha interacción juega un rol clave en la regulación de procesos geoquímicos y en la definición de las características ambientales de estos humedales (Carol *et al.*, 2013).

El humedal del arroyo Jabalí forma parte de la Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Bahía San Blas, ubicada al sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 1). Desde el punto de vista climático, corresponde a un clima BWk, semiárido, con precipitaciones del orden de los 300 mm, con veranos calurosos e inviernos fríos y una temperatura media anual inferior a los 18°C (Fucks *et al.*, 2012). El “arroyo Jabalí” es en realidad un canal de marea, por lo que en este trabajo se lo denominará “canal Jabalí”. Dicho canal está limitado al oeste por cordones litorales (Fucks *et al.*, 2012), depositados durante el Pleistoceno, a los que se asocian antiguas llanuras intermareales, y al este por cordones litorales Holocenos sobre los que se desarrollan dunas y mantos eólicos (Fig. 1). Este canal, se conecta en su extremo norte al canal San Blas y hacia el sector sur intercepta otro canal de marea, llamado comúnmente “arroyo Walker” (Fig. 1). El régimen de mareas presenta un rango medio de 1,62 m (Servicio de Hidrografía Naval, 2019), aunque esta amplitud puede ser mayor producto de los fuertes vientos, variando a causa de esto entre un régimen micromareal-mesomareal. Asociados a los canales de marea, se reconocen ambientes de marisma, que presentan una clara zonificación vegetal representada por *Spartina alterniflora* en el sector más bajo y por *Limonium brasiliense*, *Sarcocornia perennis* y, en ocasiones, *Spartina densiflora* en el sector más elevado (Isacch *et al.*, 2006).

El objetivo del trabajo es analizar los principales procesos geohidroloógicos que regulan la química del agua superficial y subterránea del área de marisma vinculada al canal Jabalí y su relación con las características geomorfológicas y pedológicas del humedal.

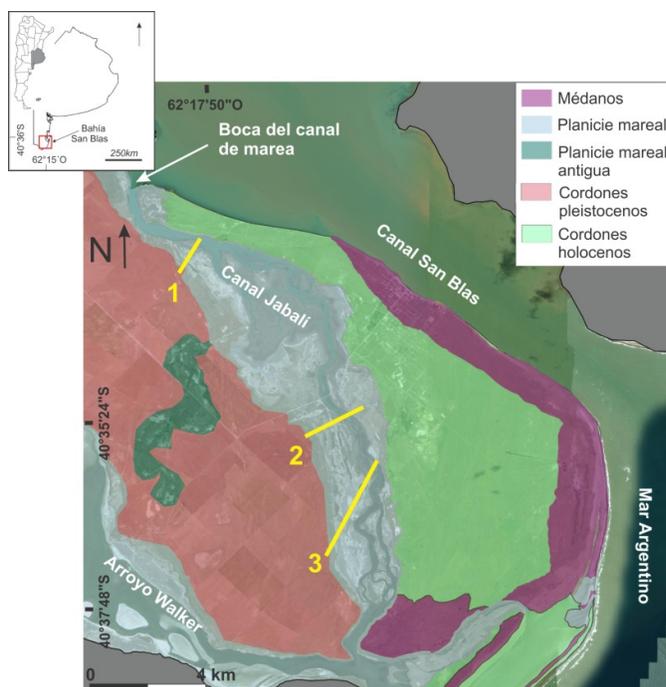


Figura 1. Ubicación del área de estudio, mapa geomorfológico y ubicación de las transectas de muestreo (indicadas en líneas amarillas).

Materiales y métodos

La geomorfología del área se definió en base a la interpretación de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, modelos de elevación digital ASTER GDEM (resolución de 41 metros) y relevamientos de campo. Una vez definidas las unidades geomorfológicas, se diseñó la red de monitoreo que comprende puntos de muestreos de agua superficial y subterránea y la realización de calicatas para la descripción de suelos en tres transectas perpendiculares al canal Jabalí ubicadas desde la desembocadura hasta el sector más alejado y abarcando las distintas unidades geomorfológicas reconocidas. Las muestras superficiales de agua de mar se tomaron directamente del canal Jabalí y las de agua subterránea de pozos someros realizados para este estudio. En total se realizaron 14 freáticos, los que se construyeron con barreno manual a una profundidad cercana a 2 m. Los pozos fueron entubados con caños de PVC de 63 mm de diámetro con filtro ranurado y prefiltro de grava. Cada punto de muestreo fue nivelado con GPS diferencial para reconstruir la topografía y calcular la altura del nivel freático. En cada punto de muestreo se midió *in situ* con un equipo multiparamétrico el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura y el oxígeno disuelto del agua. Además, se determinó en los laboratorios del Instituto Patagónico para el Estudio de Ecosistemas Continentales (IPEEC-CENPAT) y del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), la concentración de iones mayoritarios (CO_3^{-2} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+), siguiendo la metodología estandarizada APHA (1998). Los datos obtenidos fueron procesados con el software Diagrammes (Simler, 2009).

En cada sector estudiado se efectuaron también calicatas para la descripción de los perfiles del suelo (Schoeneberger *et al.*, 2012). El color se determinó con la carta de colores Munsell®. La morfología de los rasgos redoximórficos fue descripta según Vepraskas *et al.* (1994). La textura fue estimada al tacto (Ritchey *et al.*, 2015).

Resultados

La planicie intermareal sobre la que se desarrolla el humedal está compuesta por unidades geomorfológicas menores dentro de las cuales se diferencian cordones de playa gravosos, barras arenosas y planicies fangosas (Fig. 2). Los cordones de grava se reconocieron en la margen este de la boca del canal Jabalí mientras que los depósitos de arena tienen una expresión más notoria en el sector medio y distal a la boca del canal. Por su parte, los depósitos de planicie fangosa tienen una distribución más regional y fueron claramente reconocidos en el sector más alejado de la boca como, por ejemplo, el sector oeste de la transecta 3 (Fig. 1).

La marisma se diferencia a partir de su posición topográfica y la vegetación en dos unidades fisiográficas: una marisma alta donde domina *Spartina densiflora* y otras especies y una marisma baja donde, si hay vegetación, domina *Spartina alterniflora* (Fig. 2).



Figura 2. Posiciones fisiográficas de la marisma asociadas a la planicie de marea del canal Jabalí.

Los suelos asociados a la marisma presentan poco desarrollo, por lo que son clasificados a nivel de Orden como Entisoles (Fig. 3). En la marisma alta, predominaron los colores que van desde castaño grisáceo muy oscuro hasta gris castaño claro (matiz 10YR con luminosidad e intensidad de 3/2 a 6/2, respectivamente) y los rasgos redoximórficos como moteados pardo-rojizos y negros, a veces asociados a raíces (rizoconcreciones), evidenciando zonas de concentraciones redox. En cambio, en la marisma baja las coloraciones gris olivá oscuro a gris claro (matiz 5Y 3/2 a 2,5Y 7/2) fueron más comunes, siendo características del proceso de gleyzación, es decir, zonas de empobrecimiento redox con luminosidad ≥ 4 e intensidad ≤ 2 . En los perfiles de los pozos MSB-5 y MSB-20 (transecta 1), MSB-10 y MSB-12 (transecta 2), y MSB-30 y MSB-29 (transecta 3), se observaron precipitados salinos en superficie (horizontes Az; Fig. 3). En todas las muestras también se evidenció la presencia de carbonatos mediante reacción con ácido clorhídrico.

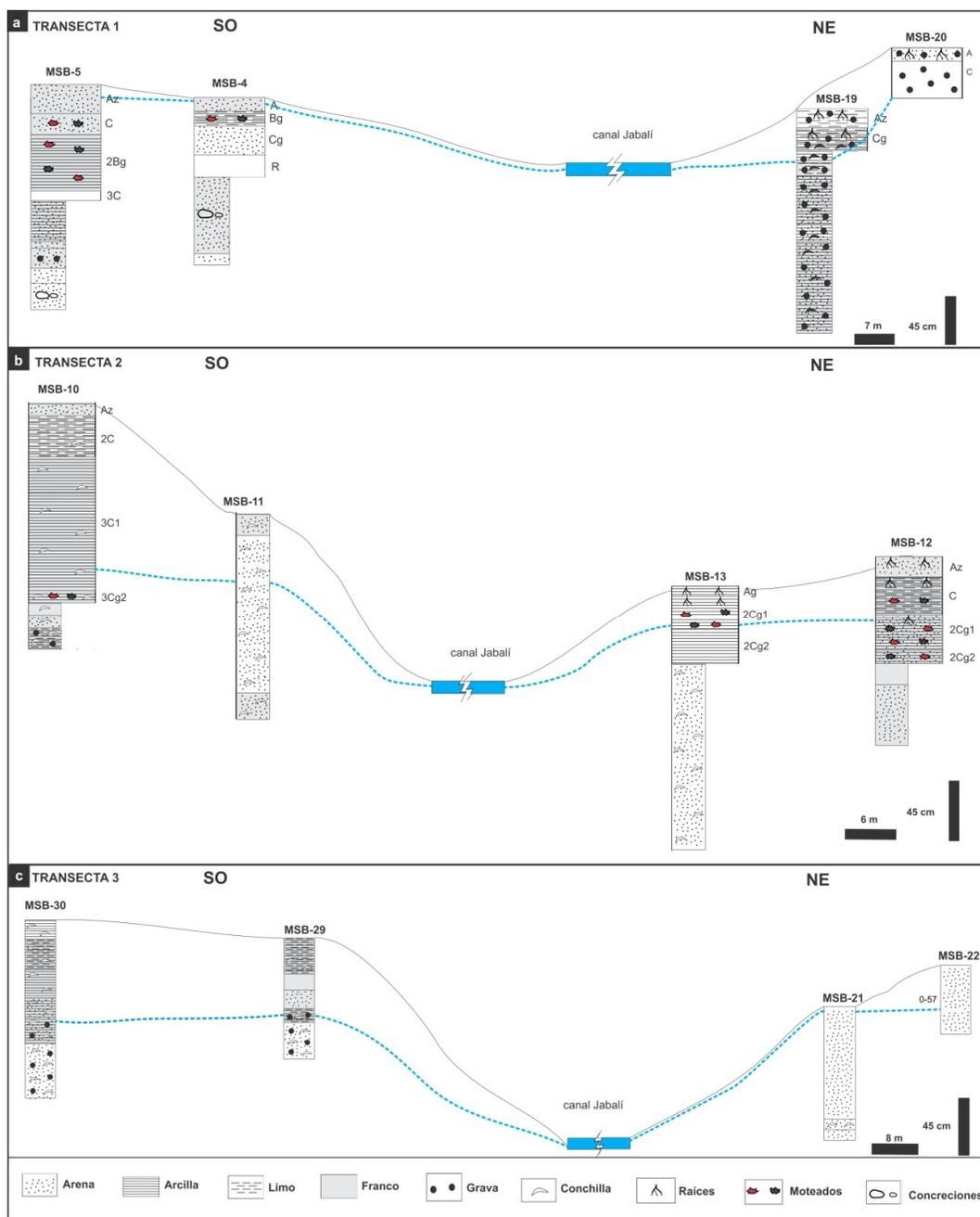


Figura 3. Esquemas de los perfiles de cada transecta con calicatas (tramos más anchos) y perforaciones (tramos más angostos).

En cuanto a la textura de los suelos, se encuentran diferencias en los perfiles dentro y entre las transectas. En las proximidades de la boca del canal (transecta 1, Fig. 3a) los perfiles de suelos en la margen oeste, asociados tanto a ambientes de marismas baja como alta, poseen una textura franco arenosa a arcillosa. Mientras que, en los perfiles en la margen este, si bien son depósitos de gravas, en la marisma baja la textura de la matriz (fracción de tierra fina) es arcillosa y en la marisma alta es arenosa. En la transecta 2 (Fig. 3b) los suelos de la marisma alta presentan una clase textural franco arenosa, la cual al oeste del canal aumenta en contenido de arcilla y conchilla. No obstante, en la marisma baja domina la textura arenosa con conchilla, presentando horizontes superficiales más arcillosos en la margen este. Por último, la transecta 3 (Fig. 3c) muestra abundancia de sedimentos franco limosos y franco limo-arcillosos hacia el oeste, en cambio, en el margen opuesto los perfiles son exclusivamente arenosos.

El agua en el canal Jabalí registra valores de conductividad eléctrica (CE) entre 49,5 y 71,6 mS/cm y pH medios de 8,1. Todas las muestras de agua en el canal Jabalí son de tipo cloruradas sódicas (Fig. 4) con un contenido de cloruro entre 18072 y 29381 mg/L y de Sodio entre 9300 y 14750 mg/L, registrándose las mayores concentraciones en estos iones en la muestra más alejada a la boca del canal (MSB 30 sup).

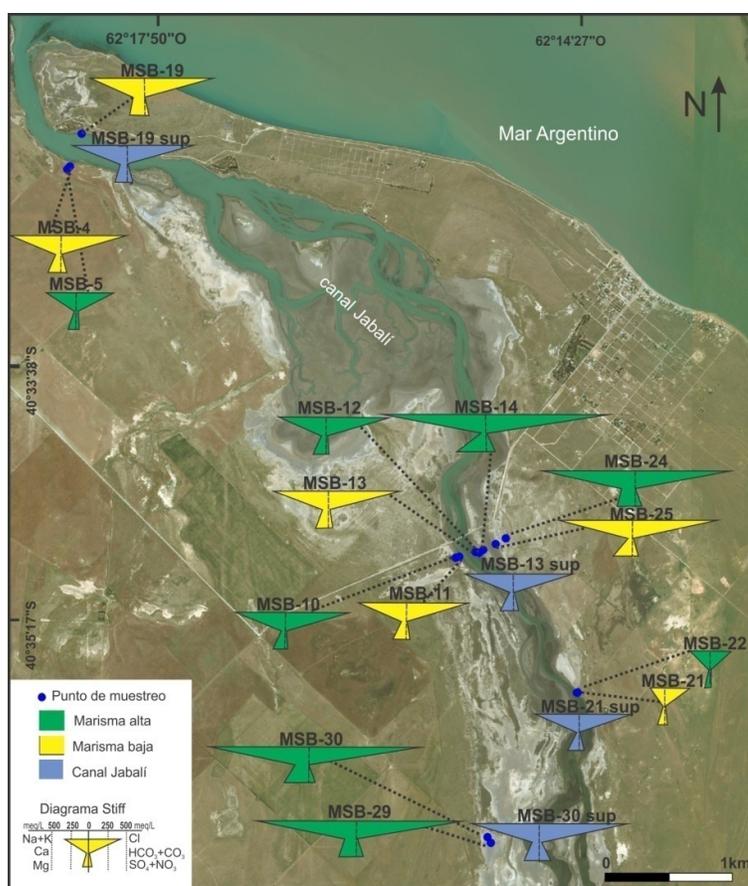


Figura 4. Composiciones iónicas de las muestras de agua superficial y subterránea mediante los diagramas de Stiff.

Por su parte, la CE en el agua subterránea en la marisma registra importantes variaciones con valores entre 26,8 y 98,3 mS/cm, correspondiendo las mayores salinidades a las muestras del sector de marisma alta. En relación con el pH no se observan variaciones importantes siendo ligeramente inferior al del agua de mar con un valor medio de 7,5. Al igual que para el agua del canal, la clasificación iónica de todas las muestras de agua subterránea es de tipo clorurada sódica. Los contenidos de Cl⁻ varían entre 8594 y 41.001 mg/L, con un valor medio de 23.111 mg/L para la marisma baja y de 28.306 mg/L para la marisma alta. En cuanto al Sodio, la concentración varía entre 3200 y 22.000 mg/L registrando un valor medio de 11.885 mg/L para la marisma baja y de 15.100 mg/L para la marisma alta.

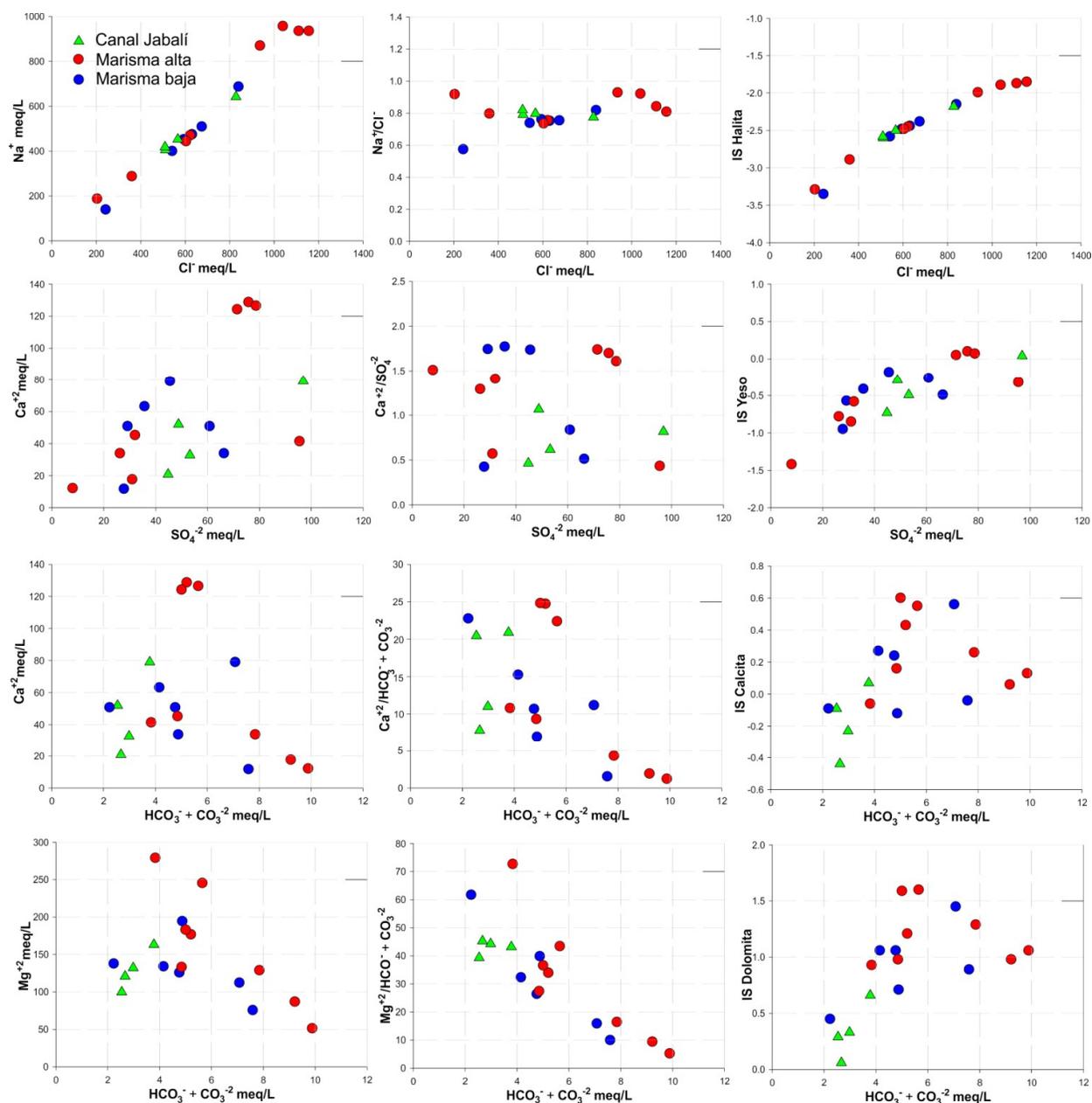


Figura 5. Relaciones iónicas e índices de saturación (IS).

El análisis de las relaciones iónicas muestra que existe una fuerte correlación entre Na^+ y Cl^- , siendo la relación Na^+/Cl^- de 0,8 en las muestras del canal Jabalí y la marisma baja (a excepción de una muestra de la marisma baja con 0,6), observándose en las muestras de la marisma alta valores más elevados cercanos a 1, presentando todas las muestras valores sub saturados en el índice de saturación en halita (Figs. 5a, b y c). El Ca^{2+} tiende a aumentar conforme aumenta el SO_4^{2-} , sin embargo, no se observa una tendencia clara en la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$, registrándose en las muestras valores de índice de saturación en yeso sub saturados a excepción de dos muestras de la marisma alta y una del canal Jabalí, todas ellas ubicadas en el tramo más alejado a la boca del canal (Figs. 5d, e, f). Por su parte, las relaciones entre Ca^{2+} y $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ no registran tendencias entre los distintos grupos de muestras analizadas caracterizándose por presentar las muestras del canal Jabalí y gran parte de las de la marisma baja valores sub saturados en calcita. Por su parte, las muestras de la marisma alta están mayormente sobre saturadas en calcita, así como también la muestra de agua del canal

Jabalí más alejada a la boca (Figs. 5g, h, i). Las relaciones entre Mg^{2+} y $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ tampoco registran tendencias entre los distintos grupos de muestras analizadas, registrándose que la relación $Mg^{2+}/CO_3^{2-} + HCO_3^-$ tiende a decrecer a medida que aumentan las concentraciones $CO_3^{2-} + HCO_3^-$, apreciándose además que todas las muestras están sobre saturadas respecto de dolomita (Figs. 5j, k, l).

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que tanto la química del agua del canal Jabalí como la subterránea de la marisma es predominantemente clorurada sódica, característica dada porque el humedal, al no tener aportes fluviales, solamente recibe los procedentes del flujo mareal. Los flujos mareales que ingresan por la boca del canal con un régimen micro–meso mareal se propagan hacia el sur registrando en la boca y tramo medio contenidos salinos similares, los cuales tienden a aumentar en los sectores más distales. Estos flujos mareales inundan periódicamente a la marisma baja, presentando esta zona de la marisma agua subterránea muy similar a la del canal Jabalí, tal como se observa en las relaciones iónicas, principalmente en la Na^+/Cl^- , donde tanto en la marisma baja como en el canal los valores son cercanos a 0,8, típicos del agua de mar (Marimuthu *et al.*, 2005). Por su parte, la marisma alta sólo es inundada en pleamares de sicigia o extraordinarias registrándose en ella los mayores contenidos salinos. Estas mayores salinidades se asociarían a la disolución de sales precipitadas en la superficie de los suelos (horizontes Az), las cuales se forman por evaporación parcial o total del agua de mar, proceso muy frecuente en ambientes naturales de este tipo en las regiones semiáridas y áridas (Boettinger & Richardson, 2001, Herrero & Castañeda, 2015; Alvarez *et al.*, 2016). En relación a esto, la textura de los suelos juega un papel de relevancia, ya que, en aquellos sectores de marisma alta con dominancia en superficie de suelos con texturas finas, el agua mareal no infiltra fácilmente acumulándose en superficie. El clima semiárido a árido que caracteriza el área de estudio favorece la evaporación del agua mareal dando lugar a la formación de sales evaporíticas tales como yeso y halita. Nótese que en relación al yeso las muestras de agua del canal y de la marisma alta con suelos arcillo limosos, en los sectores más alejados a la boca del canal, registraron valores sobre saturados lo que indicaría que esta sal podría formarse. Sin embargo, la disolución e incorporación al agua subterránea de los iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} no es un proceso que quede claramente evidenciado en la relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} , razón por la cual es de esperar que estos iones intervengan en otros procesos geoquímicos tal como se explicará posteriormente. Respecto a la halita, si bien todas las muestras registraron valores sub saturados, la tendencia a valores cercanos a 1 en la relación Na^+/Cl^- estaría indicando procesos de disolución de este mineral (Cellone *et al.*, 2019). En este sentido, el aumento del contenido salino, tanto transversal al canal desde la marisma baja a la alta, como a lo largo del canal en el agua superficial, estarían indicando procesos de evaporación del agua y precipitación de sales que se re disuelven e incorporan tanto al agua superficial del canal como a la subterránea de la marisma con la siguiente inundación mareal. Dado que en la parte más distal el agua de mar cubre esta zona con una película poco profunda con un periodo de inundación menor, es de esperarse que la evaporación y precipitación de sales esté favorecida.

La precipitación de carbonatos constituye también otro proceso que condicionaría la química del agua y diferenciaría a las muestras de agua subterránea de las del canal Jabalí. Las muestras de agua subterránea muestran contenidos de $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ levemente mayores a los de las muestras del canal y valores sobre saturados en calcita y dolomita. Estos minerales de baja solubilidad se formarían por saturación, producto de evaporación, conduciendo a la formación de los carbonatos determinados en los suelos de la marisma mediante reacción de ácido clorhídrico. Si bien estos minerales también pueden formarse por aumento del pH (valores por encima de 8,3), es notorio observar que el agua subterránea de la marisma presentó pH medio de 7,5 levemente inferiores a los del agua del canal Jabalí que promediaron en 8,0. Esta disminución en el pH del agua subterránea podría atribuirse a oxidación de sulfuros (tales como piritita) en las muestras de mayor concentración de SO_4^{2-} , así como a descomposición de materia orgánica acumulada en los suelos de la marisma (Logan &

Nicholson, 1998; Bouza *et al.*, 2019). Dada la escasa materia orgánica y condiciones redox registradas en algunos suelos y la oscilación del nivel freático que caracteriza a la marisma es de esperar que la oxidación de pirita sea, de los dos procesos anteriormente descriptos, el principal responsable del descenso del pH.

Conclusiones

El estudio realizado permitió caracterizar por primera vez la hidroquímica del agua subterránea y superficial del humedal de Bahía San Blas como así también los mecanismos que la controlan, teniendo en cuenta los factores geomorfológicos y pedológicos intervinientes.

Tanto el agua superficial como subterránea en el humedal son principalmente de tipo cloruradas sódicas, existiendo un enriquecimiento en el contenido iónico asociado a una mayor distancia con respecto a la boca del canal y una posición topográfica más elevada. Los principales procesos que condicionan la química del agua subterránea los constituyen la disolución de especies minerales como halita, yeso y carbonatos presentes en forma de precipitados en la superficie de los suelos, producto de la evaporación total o parcial del agua de mar y la posterior incorporación en el acuífero por infiltración. Estos procesos se ven favorecidos por el clima semiárido, la menor recurrencia de inundación por posición topográfica elevada, y por la textura fina de los suelos. A su vez, la oxidación de sulfuros pedogenéticos y la consecuente acidificación del medio son propuestos como los mecanismos que determinan menores valores de pH en el agua subterránea con respecto al agua del canal Jabalí.

Estos resultados constituyen el primer paso para comprender los mecanismos geohidrológicos que regulan las características ambientales en el humedal del arroyo Jabalí como así también brindan lineamientos para futuros estudios en el área. Asimismo, aportan información para la generación de planes de manejo que garanticen su desarrollo sostenible frente a modificaciones naturales asociadas al cambio climático o aquellas derivadas de la influencia antrópica.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, M.P., Carol, E., Hernández, M.A. & Bouza, P. (2016) "Groundwater dynamic, temperature and salinity response to the tide in Patagonian marshes: Observations on a coastal wetland in San José Gulf, Argentina", *Journal of South American Earth Sciences* 62, pp. 1-11.
- APHA (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 20th ed., Washington American Public Health Association.
- Boettinger, J.L. & Richardson, J.L. (2001) "Saline and Wet Soils of Wetlands in Dry Climates". En: Richardson, J.L. & Vepraskas, M.J. (Eds). *Wetland Soils. Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification*. Lewis Publishers, Washington, D.C., pp 398-390.
- Bouza, P.J., Ríos, I., Idaszkin, Y.L. & Bortolus, A. (2019) "Patagonian salt marsh soils and oxidizable pedogenic pyrite: solid phases controlling aluminum and iron contents in acidic soil solutions", *Environmental Earth Sciences* 78(1), p. 2.
- Brinson, M.M. (1989) "Fringe wetlands in Albemarle and Pamlico sounds: landscape position, fringe swamp structure, and response to rising sea level", *Project No. 8814*, Albemarle Pamlico Estuarine Study, Raleigh.
- Brinson, M.M. & Malvárez, A.I. (2002) "Temperate freshwater wetlands: types status, and threats", *Environ. Conserv.* 29, pp. 115-133.
- Carol, E.S., Kruse, E.E., Pousa, J.L. & Roig, A.R. (2009) "Determination of heterogeneities in the hydraulic properties of a phreatic aquifer from tidal level fluctuations: a case in Argentina", *Hydrogeology Journal* 17(7), p. 1727.
- Carol, E., Mas Pla, J. & Kruse, E. (2013) "Interaction between continental and estuarine waters in the wetlands of the northern coastal plain of Samborombón Bay, Argentina", *Appl. Geochem.* Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.006>.
- Carol, E., Bragab, F., Donnicib, S., Kruse, E. & Tosi, L. (2017) "The hydrologic landscape of the Ajó coastal plain, Argentina: An assessment of human-induced changes", *Antropocene* 18, pp. 1-14.
- Cellone, F., Carol, E. & Tosi, L. (2019) "Groundwater geochemistry in coastal wetlands: A case study in the Parque Costero del Sur biosphere reserve, Argentina", *Catena* 182, pp. 1-9.
- Chapman, V.J. (1960) *Salt marshes and salt deserts of the world*, Leonard Hill, London.

- Fucks, E., Charó, M. & Pisano, F. (2012) "Aspectos estratigráficos y geomorfológicos del sector oriental patagónico bonaerense", *Revista de la Sociedad Geológica de España* 25(1-2), pp. 29-44.
- Herrero, J. & Castañeda, C. (2015) "Temporal changes in soil salinity at four saline wetlands in NE Spain", *Catena* 133, pp. 145-156.
- Isacch, J.P., Costa, C.S.B., Rodríguez-Gallego, L., Conde, D.; Escapa, M., Gagliardini, D.A. & Iribarne, O.O. (2006) "Distribution of Salt marsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the southwest Atlantic coast", *Journal of Biogeography* 33, pp. 888-900.
- Logan, W. & Nicholson, R. (1998) "Origin of dissolved groundwater sulphate in coastal plain sediments of the Rio de la Plata, Eastern Argentina", *Aquatic-Geochemistry* 3, pp. 305-328.
- Marimuthu, S., Reynolds, D.A. & La Salle, C.L.G. (2005) "A field study of hydraulic, geochemical and stable isotope relationships in a coastal wetlands system", *Journal of Hydrology* 315(1-4), pp. 93-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.041>.
- Ritchey, E.L., McGrath, J.M. & Gehring, D. (2015) "Determining Soil Texture by Feel", *Agriculture and Natural Resources Publications*, p. 139. Disponible en: https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/139.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A. & Benham, E.C. (2012) *Soil Survey Staff. Field Book for Describing and Sampling Soils*, Versión 3.0, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Servicio de Hidrografía Naval (2019) *Datos abiertos – Tablas de marea*. Disponible en: http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/Tmareas/Form_Tmareas.asp (Visitado 9 de diciembre 2019).
- Simler, R. (2009) *Diagrammes: Logiciel d'hydrochimie multilangage en distribution libre* (Versión 6.59), Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.
- Vepraskas, M.J., Wildings, L.P. & Dress, L.R. (1994) "Aquic conditions for soil taxonomy: concepts, soil morphology and micromorphology". En: Ringrose-Voace, Humphreys, G.S. (eds.) *Soil micromorphology: studies in management and genesis, development in soil science* 22, Elsevier, Amsterdam, pp. 117-131.
- Wilson, A.M. & Morris, J.T. (2012) "The influence of tidal forcing on groundwater flow and nutrient exchange in a salt marsh dominated estuary", *Biogeochemistry* 108(1-3), pp. 27-38. Disponible en: <https://doi:10.1007/s105330109570y>.