

Influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea en un ambiente lagunar del oeste bonaerense

Rosario Acosta^{1,2}, Eleonora Carol^{1,2}, M del Pilar Alvarez³, Edoardo Melendi^{1,2}, Paula Leal^{1,2}

Resumen Las lagunas someras bonaerenses se alojan en bajos cuyo origen se debe a procesos eólicos, fluviales y/o tectónicos, que actúan en conjunto o por separado. Particularmente, el oeste de la provincia de Buenos Aires constituye una planicie poligenética. Hacia el norte de esta unidad geomorfológica, hay sedimentos loessicos cubiertos por mantos y médanos arenosos, conformando un relieve en general ondulado. En esta región las lagunas tienen extensiones variables y son principalmente de carácter salino a hipersalino. En ellos el funcionamiento hidrológico está íntimamente relacionado con las condiciones climáticas y con la descarga de agua subterránea. El objetivo del trabajo es analizar la influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea en un ambiente lagunar del oeste bonaerense. Para ello se confeccionaron balances hídricos seriados diarios para los años 2022 y 2023, con el fin de evaluar la situación hídrica durante los días previos a los relevamientos de campo. Además, se tomaron muestras de agua superficial de la laguna y subterránea freática en puntos adyacentes a la misma, en febrero 2022 y septiembre 2023. In situ se midieron la CE, el pH y la profundidad del nivel freático. En laboratorio se determinó el contenido iónico mayoritario, y luego se analizaron los datos químicos mediante diagramas de Stiff. El análisis climático revela que en febrero la mayor abundancia de precipitaciones generan excedentes hídricos, mientras que para septiembre estos son nulos. Esto se refleja en una menor extensión de la laguna y mayor CE y concentración iónica para el mes de septiembre con respecto al mes de febrero, pero manteniendo las facies químicas Na – Cl. Los resultados muestran la influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea del ambiente lagunar estudiado. Estos resultados pueden ser extrapolados a ambientes lagunares similares dentro de la unidad geomorfológica, dando un carácter regional a las interpretaciones realizadas.

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Buenos Aires existen numerosas lagunas someras, que constituyen las formas de paisaje más conspicuas de la región (Dangavs, 2005; Pereyra, 2018). Estas lagunas cumplen funciones ambientales claves, dado que constituyen ecosistemas que albergan una gran biodiversidad, sumado a que actúan como mitigadoras del calentamiento global y como reguladoras de excesos y deficiencias hídricas (Dangavs, 2005; Geraldi et al., 2011).

El origen de los bajos que albergan a estas lagunas se debe al accionar de procesos eólicos, fluviales y/o tectónicos, que actúan en conjunto o por separado (Dangavs, 2005; Pereyra, 2018). Particularmente el oeste de la provincia de Buenos Aires constituye una planicie poligenética (Fig. 1a). La misma se encuentra conformada por sedimentos loessicos con potentes niveles de tosca (Pereyra, 2018). Hacia el norte de esta unidad geomorfológica, los sedimentos loessicos están cubiertos por mantos y médanos arenosos (Folguera & Zárate, 2009; Lorenzo et al., 2013) conformando un relieve en general ondulado (Pereyra, 2018). En esta región, los cuerpos lagunares tienen extensiones variables y son principalmente de carácter salino a hipersalino (Acosta et al., 2022, 2023). En ellos el funcionamiento hidrológico está íntimamente relacionado con las condiciones climáticas y con la descarga de agua subterránea (Dangavs, 2005; Contreras et al., 2021). Dentro de este contexto geomorfológico e hidrológico, se propone como objetivo del trabajo analizar la influencia climática

¹Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina. Email: racosta@cig.museo.unlp.edu.ar

²Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), CONICET – UNLP, La Plata, Argentina.

³Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC), CCT – CONICET CENPAT, Puerto Madryn, Argentina.

sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea en un ambiente lagunar del oeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el objetivo de trabajo, se analizaron los datos de precipitación y temperatura para los años 2022 y 2023. Los datos utilizados corresponden a la estación Casbas EEA C. Naredo (36.86°S, 62.44°O), perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Es importante destacar que, si bien dicha estación no se encuentra dentro del área de estudio, está próxima a la misma y posee datos completos y confiables para el periodo estudiado, no encontrando ninguna otra estación de estas características dentro del área en cuestión. Con los datos de la estación mencionada, se confeccionaron balances hídricos seriados diarios mediante el método de [Thornthwaite & Mather \(1957\)](#) para los años 2022 y 2023, con el fin de evaluar la situación hídrica durante los días previos a los relevamientos de campo.

Además, se diseñó una red de monitoreo de agua superficial y subterránea teniendo en cuenta la accesibilidad a los distintos sitios la cual fue relevada en verano (febrero 2022) y en invierno (septiembre 2023). La red está compuesta por puntos de muestreo de agua superficial en distintos sectores de la laguna y de agua subterránea freática adyacentes a la laguna. Los freatómetros para la toma de muestras de agua subterránea se realizaron con barreno manual y captan el agua subterránea somera. In situ se midió la conductividad eléctrica (CE) y el pH con un equipo multiparamétrico portátil (Lutron® WA-2017SD), y se midió la profundidad del nivel freático. En laboratorio se realizó la determinación del contenido de iones mayoritarios según métodos estandarizados ([American Public Health Association, 1998](#)). Carbonato (CO_3^{-2}), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) fueron determinados por titulación. Sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama y sulfato (SO_4^{-2}) y nitrato (NO_3^-) por espectrofotometría UV-Visible. Los datos químicos fueron analizados con el software Diagrammes ([Simler, 2009](#)), a través de diagramas de Stiff ([Stiff, 1951](#)).

RESULTADOS

Para el año 2022 las precipitaciones anuales fueron de 551 mm, mientras que la evapotranspiración real (ETR) anual fue de 473 mm. No obstante, la ETR supera a las precipitaciones en varios meses del año. Las precipitaciones se concentran principalmente en los meses de primavera-verano, acompañados a su vez de los mayores valores de ETR. Una configuración diferente se da para el año 2023 donde las precipitaciones anuales fueron de 607 mm, y se distribuyen a lo largo de casi todo el año. La ETR alcanzó un valor de 562 mm, y se comporta de manera similar al 2022, siendo mayor para los meses de verano, donde la temperatura es mayor.

A su vez, el balance hídrico seriado diario (Fig. 1b) releva que en el muestreo correspondiente a febrero 2022 las precipitaciones diarias fueron frecuentes y abundantes y, combinado con las bajas evapotranspiraciones reales diarias ocasionaron excedentes hídricos en los días previos al relevamiento de campo. Por otro lado, para el muestreo realizado en septiembre 2023, las precipitaciones registradas fueron muy bajas, tanto para ese mes como para agosto, haciendo que los excedentes hídricos sean nulos.

Las muestras de agua superficial de la laguna presentan para febrero CE entre 17.8 y 21.6 mS/cm, mientras que para septiembre son más elevados, con valores entre 37.7 a 39.2 mS/cm, correspondiendo en todos los casos a agua de tipo salina. Por su parte, el pH varió entre 9.6 y 11.8 en febrero, y entre 9.43 y 9.48 en septiembre. Los diagramas Stiff muestran que las facies hidroquímicas de todas las muestras para ambos períodos analizados es Na – Cl (Fig. 1c y d). No obstante, puede observarse una variación temporal en las concentraciones iónicas. Respecto a los iones dominantes, en febrero los valores oscilan entre 150.6 y 194.7 meq/L para el Cl^- y entre 182.6 y 321.8

meq/L para el Na^+ , mientras que en septiembre los valores registrados varían entre 347.61 y 429.59 meq/L, y 413.22 y 578.51 meq/L para Cl^- y Na^+ respectivamente. Por otro lado, las concentraciones de los aniones mayoritarios muestran que $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{NO}_3^-$, y los cationes $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$ para ambos periodos estudiados.

Por su parte, el agua subterránea registra CE de entre 14.8 y 27.4 mS/cm para febrero y 9.33 y 24.9 mS/cm para septiembre, correspondiendo estos valores a aguas salobres a salinas. Asimismo, el pH varía entre 7.9 y 8.8 y 7.6 y 8.3 para febrero y septiembre respectivamente. En cuanto a las facies químicas, al igual que el agua superficial, estas son Na – Cl y la dominancia de los iones en el agua subterránea sigue la misma configuración que para el agua superficial para los dos muestreos (Fig. 1c y d). Así es como los iones dominantes son el Cl^- y el Na^+ (entre 130.25 y 262.05 meq/L, y entre 217.48 y 378.42 meq/L respectivamente para febrero, y 118.05 a 243.32 meq/L para el Cl^- y 143.54 a 278.38 meq/L para el Na^+ en septiembre). A su vez, presenta valores intermedios de SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, y bajos de NO_3^- para los aniones, mientras que los cationes presentan contenidos intermedios de Mg^{+2} y valores bajos Ca^{+2} y K^+ . Los diagramas Stiff para el agua subterránea muestran que, al igual que para el agua superficial, todas las facies hidroquímicas son Na – Cl. No obstante, puede observarse una variación tanto espacial como temporal en las concentraciones iónicas.

Por otro lado, la medición de niveles de agua subterránea muestra que los mismos se encuentran en posiciones más elevadas en las áreas adyacentes a las lagunas, observándose una disminución hacia el área del cuerpo lagunar. Esto evidencia que las lagunas constituyen zonas de descarga de agua subterránea desde los ambientes adyacentes a las mismas. Si bien los niveles medidos en septiembre son más profundos que en febrero, la dirección del flujo se mantiene.

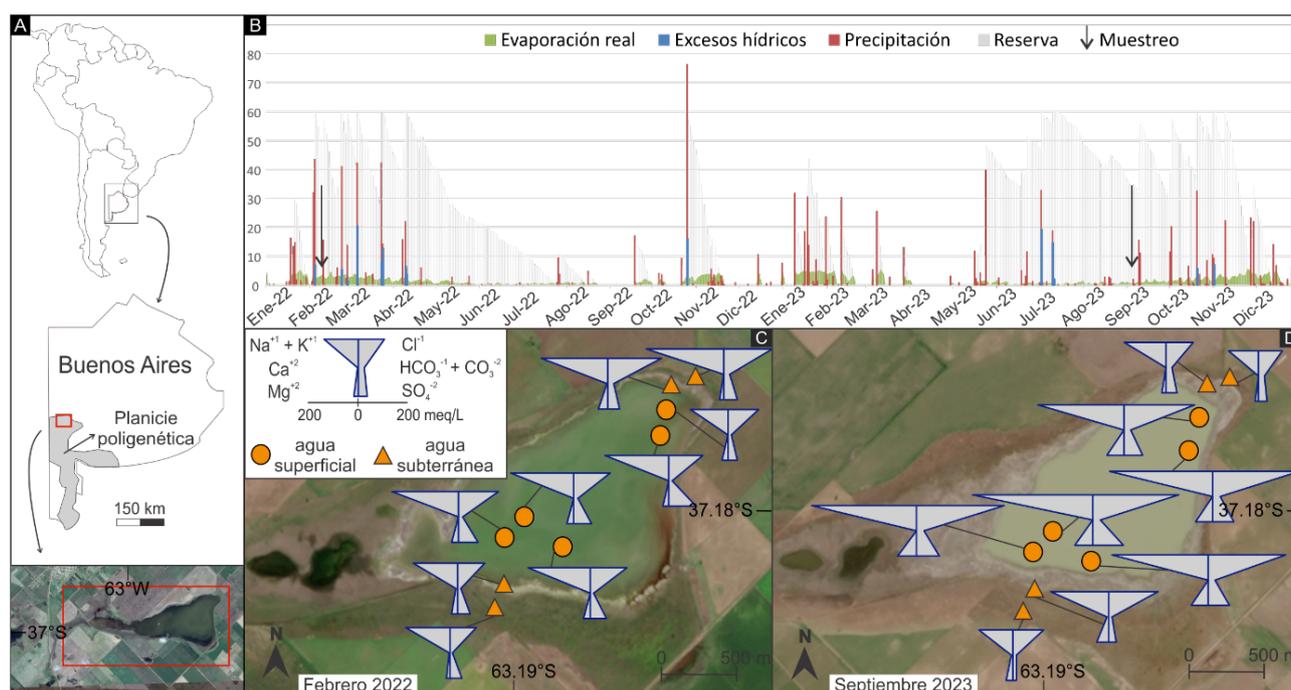


Figura 1. a) Ubicación de la planicie poligenética (en gris) y del área de estudio (en rojo). b) Balance hídrico seriado diario 2022–2023. c) Diagramas de Stiff para el muestreo de Febrero 2022 y d) de Septiembre 2023.

CONCLUSIONES

La afinidad en la señal hidroquímica con dominancia de facies Na – Cl y la posición de los niveles freáticos en las adyacencias a la laguna indican la existencia de aportes del agua subterránea al sistema lagunar. El mayor contenido iónico del agua superficial con respecto al agua subterránea en un contexto climático subhúmedo se asociaría a procesos de concentración de sales por evaporación

del agua en superficie.

Por otro lado, el análisis climático revela que para el mes de febrero del 2022 la mayor abundancia de precipitaciones generan excedentes hídricos, mientras que en el mes de septiembre del 2023 no se registran prácticamente precipitaciones siendo en consecuencia nulos los excedentes hídricos. Esta condición se ve reflejada en la extensión del cuerpo lagunar y en la química del agua, en donde tanto la extensión de la laguna es menor y la CE y la concentración iónica son mayores para el mes de septiembre respecto al mes de febrero.

Los resultados obtenidos muestran la influencia climática sobre la variabilidad hidroquímica temporal del agua superficial y subterránea del ambiente lagunar estudiado. Dado que lagunas similares se desarrollan de manera conspicua en toda la unidad geomorfológica, los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a ambientes lagunares similares dando un carácter más regional a las interpretaciones realizadas.

REFERENCIAS

- Acosta, R., Carol, E., Borzi, G., Cellone, F., & Alvarez, M. P.** (2022). Hidroquímica de humedales lagunares hipersalinos del oeste de Buenos Aires, Argentina. *17° Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra E-ICES 17. Libro de actas E-ICES 17*, 17–22.
- Acosta, R., Carol, E., Borzi, G., Cellone, F., & Alvarez, M. P.** (2023). Factors and processes controlling hydrochemistry and evaporitic deposits in hypersaline wetland-shallow lake systems. *Hydrological Processes*, 37(11), e15031. <https://doi.org/10.1002/hyp.15031>
- American Public Health Association** (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Contreras, F. I., Mavo-Mastretta, G. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M.** (2021). Spatio-temporal variability monitoring of the floods in the center-west of the Buenos Aires province (Argentina) using remote sensing techniques. the role of sand dunes. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47, 337–354.
- Dangavs, N. V.** (2005). Los ambientes acuáticos de la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, 219–236.
- Folguera, A. & Zárate, M.** (2009). La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64(4), 692–712.
- Geraldi, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E.** (2011). El rol de las lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Ciencia Hoy*, 21(123), 9–14.
- Lorenzo, F. R., Mehl, A. E., & Zárate, M. A.** (2013). Sedimentología y estratigrafía de depósitos del mioceno tardío de los valles transversales de la provincia de La Pampa, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 20(2), 67–84.
- Pereyra, F. X.** (2018). *Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires*. Número 9 en Serie Contribuciones Técnicas – Ordenamiento territorial. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
- Simler, R.** (2009). *Diagrammes: Logiciel d'hydrochimie multilangage en distribution libre*. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. Versión 6.59.
- Stiff, H. A.** (1951). The interpretation of chemical water analysis by means of pattern. *Journal of Petrol Technol*, 3(10), 15–17.
- Thorntwaite, C. W. & Mather, J. R.** (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*, volumen 10, 185–311. Publication in Climatology.