

# CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN TORNO A LA LAGUNA LAS BARRANCAS, PARTIDO DE LEZAMA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Gil, Joaquín<sup>1\*,2\*\*</sup>; Rodríguez Capitulo, Leandro<sup>1\*,2\*\*</sup>; Fucks, Enrique <sup>1\*,3\*\*\*</sup>; Muntz, Daniel <sup>1\*,3\*\*\*</sup>; Kruse, Eduardo <sup>1\*,2\*\*,3\*\*\*</sup>.

\*Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE- FCNyM- UNLP). Calle 1 N° 344 (1900), La Plata, Argentina. joaquin.gil@fcnym.unlp.edu.ar.

\*\*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) La Plata. Calle 8 N° 1467 (1900), La Plata, Argentina.

\*\*\*\*Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). Calle 526 e/ 10 y 11 (1900), La Plata, Argentina.

## Resumen

El sistema fluvio-lacustre de las encadenadas ubicado en la zona deprimida del Salado, Provincia de Buenos Aires, se caracteriza por una extensa llanura de bajas pendientes, lagunas interconectadas, suelos arcillosos y agua subterránea con altos contenidos salinos a escasa profundidad. El estudio se centra en caracterizar hidrodinámicamente el flujo de agua subterránea y su relación con el agua superficial en la laguna Las Barrancas, provincia de Buenos Aires. Se analizó material bibliográfico, modelos digitales de elevación (MDE) y cartas topográficas, junto con mediciones de campo y análisis de precipitaciones. Los resultados indicaron que la laguna y el acuífero freático están estrechamente conectados, mostrando fluctuaciones significativas en respuesta a eventos de precipitación. Se observó una recarga efectiva del acuífero después de un periodo prolongado de sequía, evidenciando la importancia de los excesos hídricos infiltrados. Este tipo de estudios subrayan la dinámica compleja entre agua superficial y subterránea en ambientes de llanura, mostrando una relación dinámica influenciada por las precipitaciones.

**Palabras Claves:** Llanura, Pampa Deprimida, acuífero freático, laguna, ámbito rural.

## Abstract

The fluvio-lacustrine system of the Encadenadas located in the depressed area of the Salado River, Buenos Aires Province, is characterized by an extensive plain with gentle slopes, interconnected lagoons, clayey soils, and shallow groundwater with high saline content. The study focuses on hydrodynamically characterizing groundwater flow and its relationship with surface water in Laguna Las Barrancas, Buenos Aires Province. Bibliographic material, digital elevation models (DEM), and topographic maps were analyzed, along with field measurements and precipitation analysis. Results indicated a close connection between the lagoon and the phreatic aquifer, with significant fluctuations in response to precipitation events. Effective aquifer recharge was observed after a prolonged period of drought, highlighting the importance of infiltrated water excesses. Such studies underscore the complex dynamics between surface and groundwater in plain environments, revealing a dynamic relationship influenced by precipitation.

**Keywords:** Depressed Pampa, phreatic aquifer, lagoon, rural area.

## INTRODUCCIÓN

La zona deprimida del Salado representa una extensa llanura en la Provincia de Buenos Aires, en la cual, a pesar de su aparente uniformidad, es posible diferenciar distintos sectores con características particulares (Kruse et al., 2011). Uno de ellos corresponde al sistema fluvio-lacustre de lagunas Encadenadas de Chascomús, (denominadas del norte a sur: Vitel, Chascomús, Adela, Del Burro, Chis-Chis, La Tablilla y Las Barrancas) (Figura 1a). Las bajas pendientes topográficas regionales tienen una fuerte incidencia en el ciclo hidrológico que se manifiesta a partir de un escurrimiento superficial mínimo en favor de una mayor infiltración y/o evapotranspiración (Kruse et al., 2007). Dentro de esta planicie existen geoformas menores que dan origen a funcionamientos hidrológicos particulares. Pequeños desniveles o cambios geológicos adquieren importancia suficiente como para producir modificaciones locales en las condiciones hidrodinámicas (Kruse et al., 2011). Los suelos son arcillosos y el agua subterránea generalmente presenta contenidos salinos elevados (2-10 g/l). Es por su característica litológica que los excedentes hídricos están mucho más limitados para infiltrarse, debido a la baja permeabilidad de los sedimentos superficiales, y además por la escasa profundidad a que se emplaza la superficie freática, que con frecuencia aflora (Auge 2022).

El clima en esta región es templado-húmedo con una marcada estacionalidad térmica. La temperatura media anual es de 15,1°C y las precipitaciones medias anuales rondan los 1.000 mm concentradas en los meses de verano. Las máximas temperaturas ocurren en enero con una temperatura promedio de 21,9 °C y las mínimas se registran en el mes de julio, con una media de 8,1°C. La región no puede ser considerada climáticamente uniforme (Diovisalvi et al., 2015) ya que existe una disminución de temperatura hacia el Sur.

En términos regionales la cuenca del río Salado presenta una pendiente regional muy baja menor al 0,007%. Su geomorfología de llanura presenta sistemas fluviales, bajos, lagunas y elevaciones menores de acumulación eólica. El origen de las lagunas Encadenadas de Chascomús se encuentra estrechamente vinculado a geoformas positivas de acumulación eólica denominadas lunnets. Ambas geoformas, lagunas y lunnets, se vinculan a procesos erosivos y sedimentarios ocurridos durante el Pleistoceno-Holoceno (Fucks et al., 2015 y Pommares et al., 2021). Durante este periodo de mayor aridez, estos sectores bajos fueron deflacionados profundizándose, y posteriormente los sedimentos erosionados fueron depositados en los márgenes de estos bajos, dando como resultado geoformas positivas de acumulación eólica. Actualmente el clima templado húmedo propicia que los bajos de mayor dimensión, además de ser colmatados por sedimentos, se encuentren ocupados por agua conformando las actuales lagunas; y los depósitos eólicos se encuentren estabilizados cubiertos por la vegetación pampeana y cultivos agrícolas.

En áreas cercanas a arroyos, los suelos muestran buen drenaje y perfiles sin rasgos de hidromorfismo. Por el contrario, en zonas sin cursos de agua, se observan encharcamientos y perfiles de suelo con alto grado de hidromorfismo. En las partes altas, los suelos son profundos, neutros, bien estructurados y predominantemente de texturas francas, siendo los suelos más representativos Argialboles típicos o Hapludoles árgicos. En las partes bajas, los suelos son gleysados con una capa freática permanente a más de 2 m de profundidad, siendo comunes los perfiles alcalinos desde la superficie o desde los 30 cm, correspondientes a Natracualfes o Natracuoles típicos. Estos suelos bajos son receptores de escurrimientos y su perfil alcalino con la capa freática cercana durante todo el año define la vegetación característica de la región (INTA, 1982).

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización hidrodinámica del flujo de agua subterránea y analizar la relación agua superficial-subterránea en el entorno de la laguna Las Barrancas.

## Área de estudio

La laguna Las Barrancas se sitúa en un ambiente de llanura dentro de la Pampa Deprimida, en la Provincia de Buenos Aires. La misma constituye el último cuerpo lagunar del sistema de lagunas Encadenadas de Chascomús y descarga sus aguas sobre el río Salado a través del arroyo La Horqueta (Figura 1a). El nivel de agua de esta laguna se ubica entre los 5 y 6 m s.n.m., abarca unas 900 hectáreas y posee una profundidad media de 1,6 metros (Dangavs, 2009).

En particular para la zona de estudio se destaca la presencia de una geoforma positiva, denominada lunette, en el margen este de la laguna Las Barrancas, alcanzando alturas de 23 m s.n.m., y presentando una barranca de más 18 metros de desnivel, rasgo distintivo el cual da nombre a la laguna marginal. (Figura 1b). En el sector oeste del mapa presenta suaves lomadas con alturas que rondan los 17 m s.n.m., y en el sector este estas son más conspicuas, predominado geoformas de bajos con menores pendientes de alturas medias inferiores a los 10 m s.n.m.

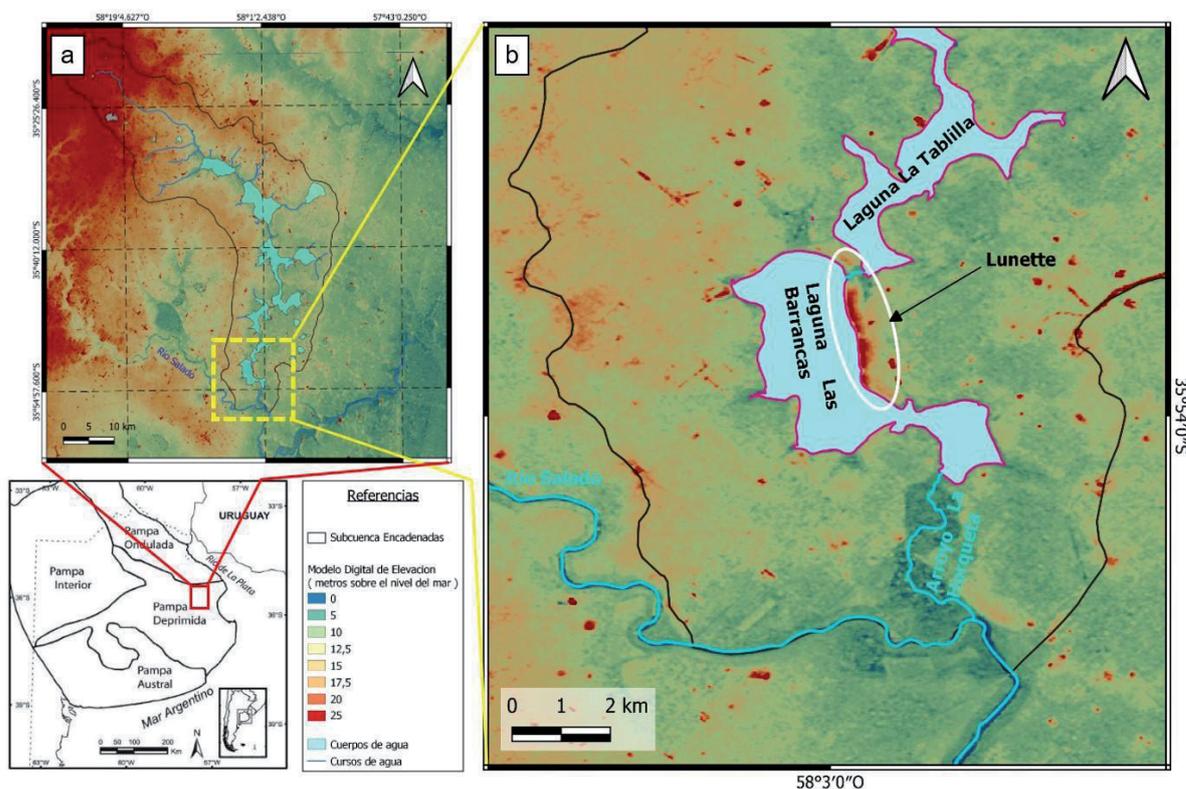


Figura 1a. Modelo digital de elevación en torno a la subcuenca de las lagunas Encadenadas de Chascomús y en recuadro amarillo se indica el área de estudio. Figura 1b. Área de estudio en torno a la Laguna Las Barrancas, en su margen derecha se indica ubicación de la geoforma positiva conspicua, y se indican los cursos fluviales y cuerpos lacustres vinculados a esta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades realizadas incluyeron tareas de gabinete y campo. En las primeras se trabajó en la caracterización climática, geomorfológica, hidrológica superficial y subterránea.

Para comprender la hidrodinámica superficial y subterránea de esta región se analizaron las cartas topográficas escala 1:50.000 Puente el Venado y Manuel J. Cobo (3557-31-4 y 3557-32-3) levantados por el IGM (Instituto Geográfico Militar). Además, se analizaron los Modelos Digitales de Elevación (MDE) para el área de estudio, con resolución espacial de 30m SRTM (con mejoras aplicadas por el IGN - Instituto Geográfico Nacional-) y el MDE TanDEM-X de resolución espacial de 12m obtenido a través de IGN y la Agencia Espacial Alemana. Estos productos fueron integrados junto con los datos de nivel, en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) de uso libre, software QGIS 2.16, para integrar y analizar la información de la zona.

A través de la metodología de Thornthwaite-Mather (1957), se elaboró un balance hídrico a nivel del suelo para el año 2023, donde se calcularon la evapotranspiración real, los excesos hídricos y su distribución interanual. Se utilizaron datos de precipitaciones y temperaturas mensuales de la Estación Meteorológica Dolores Aero (36o 19' de latitud sur, 57o 42' de longitud oeste, altitud 10 m s.n.m.-metros sobre el nivel del mar-). Para la realización de dichos cálculos se consideró un valor de capacidad de campo de 150 mm para la zona de estudio (Dangavs y Dallasalda, 1977).

Se actualizaron los datos hidrometeorológicos registrados en la Estación Meteorológica para el módulo 1994-2023, y fueron empleados en el cálculo de los balances hídricos seriados para la obtención de los excesos hídricos del periodo 2020-2023.

En las tareas de campo se incluyen 4 campañas de medición de niveles durante el año 2023 (Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre) sobre una red de monitoreo de 30 pozos al acuífero freático Pampeano. La mayoría de las perforaciones relevadas pertenecen a pobladores rurales de la región, siendo estos pozos utilizados para el abastecimiento doméstico, riego o para el llenado de bebidas para el ganado. Los datos obtenidos de profundidad de nivel de agua fueron referidos al plano de referencia del nivel medio del mar, calculando las alturas hidráulicas expresadas en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m). Para una mayor precisión los pozos fueron acotados y vinculados con un GPS diferencial modelo Pentax G7. Este instrumental toma datos puntuales GNSS (sistema global de navegación por satélite) utilizando la metodología de medición en tiempo real de tipo NTRIP (toma de datos vía internet). La estación terrena utilizada es DORE, perteneciente a la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC) ubicada en la localidad de Dolores, a 38km del área de estudio, y se utilizó el Sistema de Referencia POSGAR-07 faja 6.

Además, durante el primer semestre de 2023, se colocaron 2 sensores automáticos de medición continua de nivel en 2 perforaciones, una dentro de la laguna (5,25 m s.n.m.) y otro sobre una lomada marginal a esta (11,76 m s.n.m.), a 55 m del borde de la laguna. Cada uno de los pozos mencionados contiene un sensor de presión (Diver) que registra de forma continua la temperatura y altura hidráulica en intervalos de 2 horas.

## RESULTADOS

### Caracterización hidrodinámica

Las diferencias topográficas favorecen la existencia de flujos locales, los cuales se manifiestan en los filetes de flujo de forma curva y radial hacia el eje de la laguna. Respecto al flujo hidrodinámico regional, se verifica que el mismo resulta similar al escurrimiento superficial, de dirección norte-sur y hacia el eje central de la laguna, es decir hacia la desembocadura del arroyo La Horqueta en el río Salado. En la zona analizada el nivel freático se encuentra entre 1 y 7 m.b.b.p. -metros bajo boca de pozo-, y en alturas respecto al nivel del mar van de los 4 a los 9 m s.n.m, y la altura de la laguna Las Barranca oscila entre los 5 y los 6 m s.n.m.

Analizado el mapa equipotencial del acuífero freático, se reconoce una zona de recarga en el sector noroeste del mapa, en torno a la divisoria de la subcuenca. En esta zona los gradientes hídricos presentan valores entre  $6.6 \times 10^{-04}$  y  $1.3 \times 10^{-03}$ . En el sector norte y medio del mapa los filetes de flujo van hacia la laguna, indicando que el acuífero freático resulta influente respecto a esta, descargando sus aguas en el cuerpo de agua superficial. En el sector suroeste el flujo subterráneo presenta una dirección predominante sur-sureste hacia el río Salado, y en el sector sureste el flujo subterráneo se manifiesta en dirección suroeste hacia la desembocadura del arroyo La Horqueta. Los valores de gradientes hídricos en estos sectores se encuentran entre  $4.7 \times 10^{-04}$  y  $7.3 \times 10^{-04}$ . En el sector noreste del mapa las pendientes topográficas son muy bajas lo cual también se refleja en el flujo subterráneo del acuífero libre, el cual presenta gradientes hídricos en el orden los  $2.7 \times 10^{-04}$ .

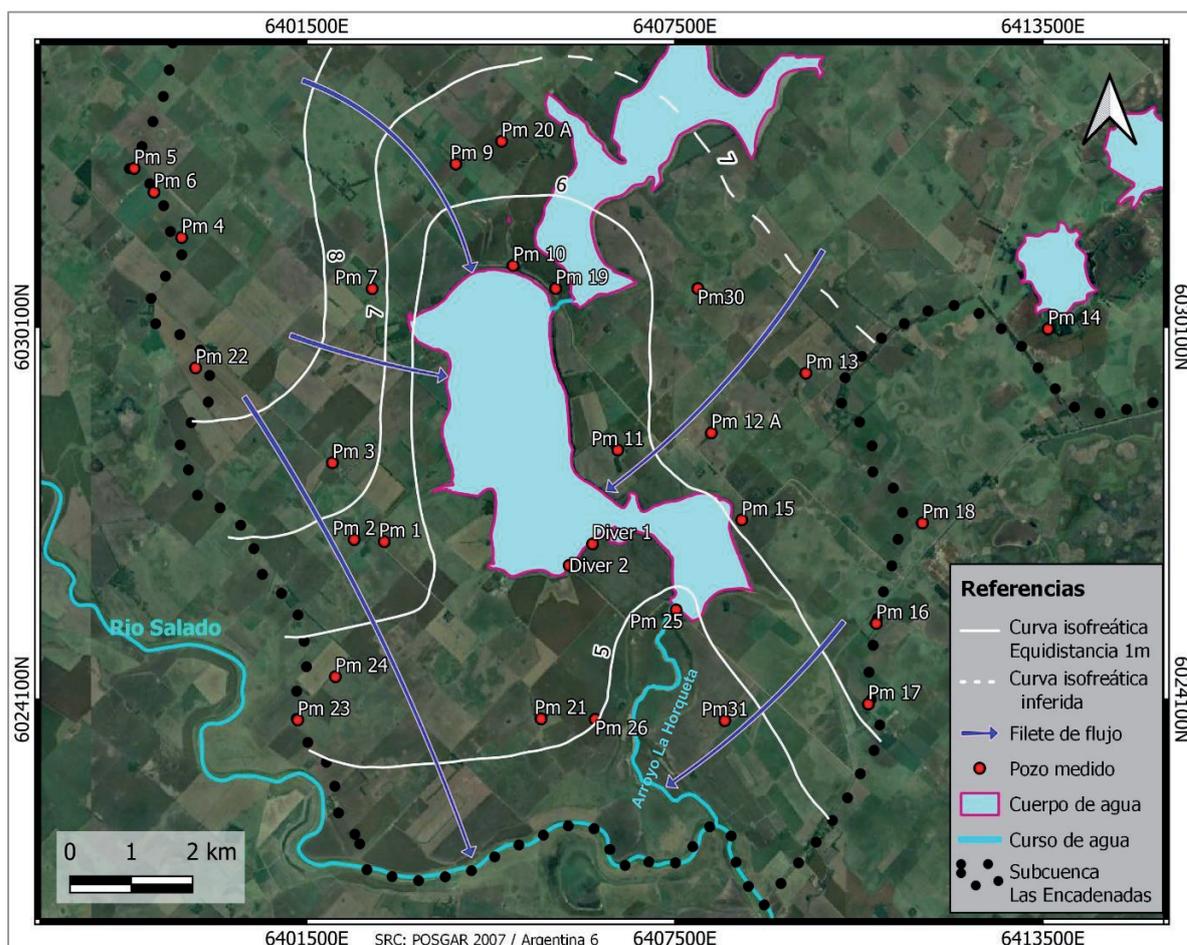


Figura 2. Mapa isofreático junio 2023 y red de flujo del área de estudio. Ubicación de pozos monitoreados y sensores de nivel continuo (Diver 1 y Diver 2).

## Hidrometeorología

Las precipitaciones medias anuales para el módulo 1994-2023 fueron de 975 mm, y los valores estimados por el balance hídrico modular de ese periodo de 758 mm para la evapotranspiración real y potencial, y 249 mm para los excesos hídricos.

Las precipitaciones para el año 2023 fueron de 1034,4 mm y con la realización del balance hídrico del año 2023 se pudo estimar una evapotranspiración real y potencial de 783,1 mm y excesos hídricos anuales de 251,3 mm. Estos últimos se encuentran distribuidos en los meses de mayo a diciembre, a excepción de octubre, siendo mayormente concentrados en los meses de noviembre y diciembre con valores de 74,9 y 106,4 mm respectivamente. La distribución interanual de las precipitaciones tampoco resulta homogénea, existiendo 4 meses con más de 100 mm de precipitaciones (marzo 130 mm, mayo 197 mm, noviembre con 181 mm y diciembre con 212 mm) y el resto de los meses con precipitaciones que promedian los 39 mm mensuales (Figura 3a).

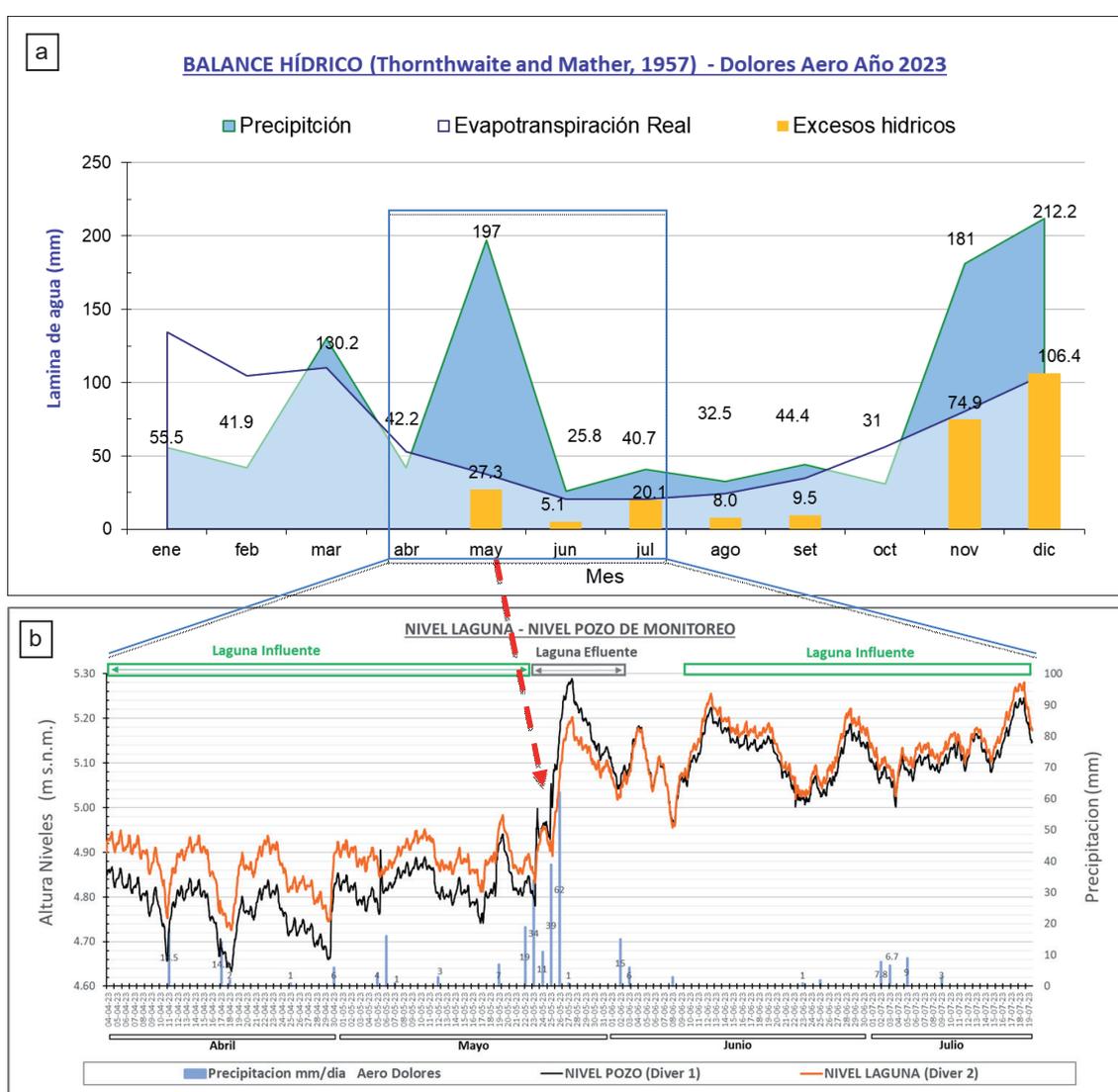


Figura 3a. Balance Hídrico anual año 2023 realizado con datos de precipitación y temperatura mensual de la estación meteorológica Dolores Aero. Figura 3b. Gráfico de evolución temporal de los niveles freáticos medidos en los pozos y la altura de la laguna, respecto a las precipitaciones diarias.

Al analizar los balances hídricos seriados de los años 2020, 2021, 2022 y 2023, se verifica una evolución hidrometeorológica mensual con variaciones significativas para el año 2022, siendo este último uno de los periodos de mayor sequía registrados para los últimos 100 años en la región. Para el año 2022 las precipitaciones anuales acumuladas fueron de 750 mm mientras que la evapotranspiración real de 761,7 mm. Los balances hídricos seriados reflejaron un periodo de 19 meses en los que no se registran excesos hídricos, de diciembre de 2021 a abril de 2023. Este déficit hídrico, vinculado con el periodo prolongado de sequía, se ve reflejado en los descensos de niveles freáticos y la altura de la laguna,

En la Figura 3b se muestra la evolución temporal que integra los datos de niveles freáticos de una perforación ubicada a 50 m de la laguna (Diver 1), datos de nivel de la laguna (Diver 2) y la precipitación acumulada diaria para el período 04/04/2023 al 20/07/2023. A partir de la interpretación de este gráfico se pudo definir la relación de flujo existente entre el acuífero libre y la laguna, y su evolución en función del tiempo.

La precipitación acumulada para el período entre 04/04/2023 al 20/07/2023 es de 286,5 mm, siendo la mínima diaria registrada de 1 mm y la máxima de 62 mm. Durante la segunda mitad del mes de mayo se concentraron las mayores precipitaciones, acumulándose 165 mm durante los días 22 a 26. Tanto el nivel freático como la altura de la laguna responden de forma inmediata frente a eventos pluviométricos significativos, explicando la mayoría de las fluctuaciones registradas por los sensores.

Para el periodo analizado se reconocen variaciones en la relación superficial-agua subterránea de la laguna (Figura 3b).

Para el período que va del 4 de abril al 23 de mayo, la laguna se comporta como influente o perdedora, identificándose la altura de la misma de 3 a 6 centímetros por encima del nivel freático. Las oscilaciones mínimas y máximas registradas en ambos sensores para este periodo fueron de 4,63 msnm y 4,98 msnm

Durante los días 22 al 26 de mayo se acumularon un total de 164 mm de precipitación, las cuales incidieron directamente sobre los niveles hidráulicos analizados. A partir del día 25 de mayo se observa un inmediato ascenso de ambos niveles y un cambio en el comportamiento agua superficial-agua subterránea. El nivel freático se encuentra por encima del nivel de la laguna, es decir, la laguna comienza a comportarse como ganadora o efluente. Este comportamiento se mantiene hasta el 2 de junio, existiendo durante este periodo diferencias de entre 9 a 1 centímetros.

Posteriormente existe un periodo de 7 días (del 3 al 10 de junio), donde ambos niveles se encuentran a la misma altura hidráulica. A partir del 11 de junio y hasta el 20 de julio la laguna se comporta nuevamente como influente o perdedora, presentando diferencias mínimas entre ambos niveles. Durante este periodo, y luego de las precipitaciones intensas acumuladas a fines de mayo, los valores de ambos niveles permanecen más altos respecto a los registrados en el mes de abril, oscilando entre los 5 msnm y los 5,38 msnm.

El análisis conjunto de las figuras 3a y 3b permite identificar la relación entre los niveles registrados y los excesos hídricos mensuales. Al observar la distribución de las precipitaciones diarias (Figura 3b), concentradas a finales del mes de mayo, se evidencia el momento en que es efectiva la recarga del acuífero libre. Dicha recarga, está dada por una porción significativa de los excesos hídricos calculados en el balance hídrico (Figura 3a) y evidencia un efectivo proceso de infiltración.

La distribución de estos excedentes hídricos se verifica a partir del ascenso de ambos niveles, siendo mayor el de acuífero libre lo cual indica que los excesos hídricos infiltrados son mayores que los acumulados en la laguna. La existencia de excesos hídricos en los meses posteriores (junio y julio), permiten mantener ambos niveles en promedio 30 centímetros por encima de los niveles medios registrados en abril, y las diferencias entre ambos niveles mínimas

Esta situación denota un cambio del sistema hidrológico ya que, en los 19 meses anteriores no existieron excesos hídricos; siendo las escasas precipitaciones sucedidas totalmente evapotranspiradas o alojadas en la superficie temporalmente. Luego del comienzo más húmedo y la aparición de excesos hídricos, los niveles muestran una tendencia ascendente.

## CONCLUSIONES

Del análisis de los datos de niveles freáticos medidos en los censos realizados en el año 2023, se verifica que el acuífero freático se encuentra estrechamente vinculado con la laguna Las Barracas. El flujo hidrodinámico regional es similar al escurrimiento superficial, de dirección norte-sur y hacia el eje central de la laguna de forma efluente.

El análisis conjunto de los excesos hídricos con los niveles registrados por los sensores automáticos permite reconocer que, luego del periodo de sequía registrado para el año 2022, en mayo de 2023 comienza un ascenso en el nivel del agua subterránea el cual se relaciona con la ocurrencia de los excesos estimados.

Se observa una clara relación dinámica entre los niveles de la laguna Las Barracas y el acuífero freático, la cual se encuentra fuertemente influenciada por los eventos de precipitación. Las fluctuaciones en los niveles de agua demostraron cómo los excesos hídricos infiltrados repercuten de manera directa en la recarga del acuífero, en la estabilidad de los niveles de agua superficial y en la relación agua superficial-agua subterránea de la laguna.

## REFERENCIAS

**Auge, M. P.** (2022). *Ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires*. In XI Congreso Argentino de Hidrogeología (Bahía Blanca, 25 al 28 de octubre de 2022).

**Dangavs, N. V.** (2009). *Los paleoambientes cuaternarios del arroyo La Horqueta, Chascomús, provincia de Buenos Aires*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64(2), 249-262.

**Diovisalvi, N., Bohn, V. Y., Piccolo, M. C., Perillo, G. M., Baigún, C., & Zagarese, H. E.** (2015). *Shallow lakes from the Central Plains of Argentina: an overview and worldwide comparative analysis of their basic limnological features*. Hydrobiologia, 752, 5-20.

**Fucks, E., Pisano, F., Huarte, R., Di Lello, C.V., Mari, F. y Carbonari, J.** (2015). *Stratigraphy of the fluvial deposits of the Salado river basin, Buenos Aires Province: Lithology, chronology and paleoclimate*. Journal of South American Earth Sciences, 60: 129-139.

**INTA**, 1982. *Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3557-25. Chascomús.*

**Kruse, E. E., Laurencena, P. C., Rojo, A., Deluchi, M. H., & Carol, E. S.** (2007). *Variaciones hidrodinámicas e hidroquímicas del agua freática en el Canal 16, Provincia de Buenos Aires*. Actas XXI Congreso Nacional de Agua, Tucumán, Argentina.

**Kruse, E. E., Carol, E. S., Deluchi, M. H., Laurencena, P. C., & Rojo, A.** (2011). *Control geológico-geomorfológico en la hidroquímica subterránea de un sector de la zona deprimida del Salado, provincia de Buenos Aires*. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 27. Buenos Aires.

**Pommarés, N. N., Fucks, E. E., Pisano, M. F., Luengo, M. S., Ramos, N. A., & Di Lello, C. V.** (2021). *Late Pleistocene-Holocene paleoenvironments in the middle basin of the Salado river, province of Buenos Aires, Argentina*. Journal of South American Earth Sciences, 105, 103001.