

DINÁMICA HÍDRICA Y BALANCE HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL EMBALSE LAGO DEL FUERTE, TANDIL

WATER DYNAMICS AND HYDROLOGICAL BALANCE IN THE LAGO DEL FUERTE RESERVOIR BASIN, TANDIL

Marisol Roxana Cifuentes^{(1)(2)(*)}, Corina Iris Rodríguez⁽¹⁾⁽²⁾, Víctor Alejandro Ruíz de Galarreta⁽¹⁾ y
Néstor Adrián Gabellone⁽²⁾⁽³⁾

⁽¹⁾ Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Buenos Aires, Argentina.

⁽³⁾ Instituto de Limnología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

^(*) e_mail: cifuentes@fch.unicen.edu.ar

RESUMEN

El conocimiento sobre la cantidad, calidad y dinámica de los recursos hídricos es uno de los puntos cruciales para tender hacia su gestión integrada. El objetivo fue caracterizar la dinámica hídrica de la cuenca del embalse Lago del Fuerte, de la ciudad de Tandil, y efectuar un balance hidrológico del cuerpo de agua con el propósito de generar información de base para la toma de decisiones y futuras investigaciones. El lago ha presentado problemas de eutrofización. Se encuentra emplazado en una cuenca serrana, la cual ha experimentado en los últimos años cambios en los usos del suelo. La metodología combinó la utilización de información antecedente, mediciones en campo y estimaciones de parámetros hidrológicos. Se evaluó la dinámica hídrica superficial y subterránea de la cuenca y se determinó el balance hidrológico del lago. El principal ingreso de agua al lago fue superficial, mediante los arroyos afluentes, mientras que en menor medida ingresó agua subterráneamente y por precipitación directa. El mayor egreso se dio por la salida del embalse y una proporción menor por evaporación. Los volúmenes de entrada y salida fueron similares, a pesar del exceso hídrico del período, con una variación de almacenaje despreciable, debido al tipo de descarga de la presa.

Palabras clave: Cuenca serrana, Embalse, Recursos hídricos, Gestión ambiental.

ABSTRACT

The knowledge about the quantity, quality and dynamics of water resources is one of the key points to move towards their integrated management. The aim of this work was to characterize the water dynamics of the Lago del Fuerte reservoir basin, in the city of Tandil, and carry out a hydrological balance of the water body in order to generate basic information for decision-making and for future researches. The lake has presented eutrophication problems. It is located in a hilly watershed, which has undergone land use changes in recent years. The methodology combined the use of previous information, field measurements and hydrological parameters estimations. The surface and groundwater dynamics of the basin were evaluated, and the hydrological balance of the lake was determined. The main water income was superficial, through tributary streams, while to a lesser extent water entered by groundwater and by direct precipitation. Most of the water exited through the dam and a smaller proportion through evaporation. The inlet volumes were similar to the outlet volumes, despite the excess water for the period, with negligible storage variation, due to the type of discharge from the dam.

Keywords: Hilly watershed, Reservoir, Water resources, Environmental management.

INTRODUCCIÓN

La presión constante y creciente sobre los recursos hídricos, producto de las actividades antrópicas, ha planteado en las últimas décadas la necesidad de tender hacia una gestión integrada, donde el conocimiento sobre su calidad, cantidad y dinámica se tornan en elementos fundamentales (GWP, 2009).

La gestión del agua no es exclusivamente un problema de carácter técnico, sino de política social, donde el conocimiento científico juega un papel clave (Aguilera Klink, 1999). Dicha gestión requiere información confiable, accesible y actualizada sobre el estado de los recursos hídricos y de los ecosistemas relacionados (Custodio, 2011; GWP, 2009).

El conocimiento de la cantidad de agua que circula y se almacena a través de las entradas y salidas de una cuenca o un cuerpo de agua, así como sus variaciones de almacenamiento en un tiempo determinado, son elementos clave para entender su funcionamiento. Sin embargo, muchos sitios carecen de esta información dada la dificultad de realizar mediciones periódicas de los diferentes componentes del ciclo hidrológico (Piman y Babel, 2013).

Si bien la aplicación de balances hídricos es una tarea compleja, constituye una herramienta que permite evaluar de manera cuantitativa el recurso, contribuyendo en la toma de decisiones y su gestión (Sokolov y Chapman, 1981).

El embalse Lago del Fuerte es uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad de Tandil. Particularmente la zona aledaña al lago, que posee gran belleza paisajística, ha experimentado en los últimos años un importante incremento poblacional, fundamentalmente debido al crecimiento del uso del suelo residencial y la instalación de emprendimientos turístico-recreativos (Rodríguez, 2014). Dichas tendencias de cambio en los usos del suelo pueden, por un lado, alterar la dinámica de los recursos hídricos de la cuenca de aporte del lago y del embalse en sí mismo, y, por otra parte, contribuir al desarrollo e incremento de conflictos en el uso del agua y del territorio, como los analizados por Guerrero et al. (2015).

Existen trabajos antecedentes que estudiaron algunos aspectos puntuales y zonas parciales de la cuenca (CINEA, 2009; Miranda del Fresno y Ulberich, 2010 y 2011; Rodríguez, 2014), así como el cuerpo de agua que evidenciaron problemas de eutrofización y

presencia de cianobacterias (IHLLA 1995, 2005a y b; Albornoz et al., 2009; Cifuentes, 2012 y 2020).

Teniendo en cuenta la escasez de antecedentes hidrológicos de la cuenca de aporte del Lago del Fuerte, este trabajo tuvo por objetivo realizar una caracterización de la dinámica hídrica de la cuenca y efectuar un balance hidrológico del embalse. La información generada será útil como base para otras investigaciones y para establecer lineamientos para la gestión integrada del agua en la cuenca.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de aporte del Lago del Fuerte se encuentra localizada al sur de la ciudad de Tandil (Figura 1). Tiene una superficie de 19.94 km² y está conformada por dos subcuencas correspondientes a los arroyos San Gabriel (ASG) y La Cascada (ALC).

Ambos arroyos desembocan en el Lago del Fuerte, un embalse artificial de 19 hectáreas originado por la construcción de una presa con el objetivo de regular las inundaciones que afectaban a la ciudad de Tandil. La presa, denominada Dique del Fuerte, se construyó entre 1957 y 1962. Fue fundada sobre el basamento cristalino, constituyéndose en el cierre de la cuenca tanto a nivel superficial como subterráneo con el objetivo de regular las crecidas de los mencionados arroyos, disipando la energía del agua superficial y retardando su salida (Ruiz de Galarreta et al., 2010). A partir del pie de la presa, el curso de agua se denomina arroyo Del Fuerte que atraviesa la ciudad mediante un entubamiento y es uno de los afluentes del arroyo Languelyú.

La cuenca del Lago del Fuerte presenta una forma oblonga según el Índice de Gravelius (Kc: 1.51) mientras que de acuerdo al Factor de Horton (IF: 0.77) tiende hacia una forma más redondeada, lo que llevaría a una situación intermedia de peligrosidad ante eventos de crecida (Cifuentes, 2020). La misma, posee un drenaje definido e integrado y el sentido de escurrimiento es hacia el NE, acorde a la pendiente regional (Ruiz de Galarreta et al., 2010). Sus altitudes oscilan entre los 197 y 486 msnm, con un desnivel de 289 m y una pendiente media de 5.41%. Presenta un estadio avanzado en su evolución hidrográfica y alcanza un orden máximo de 4 siguiendo el método de jerarquización de Strahler (1964). La densidad del drenaje (1.24 km.km⁻²) es de baja a moderada (Fuentes Junco, 2004), con un tiempo de concentración de 45 minutos (Cifuentes, 2020).

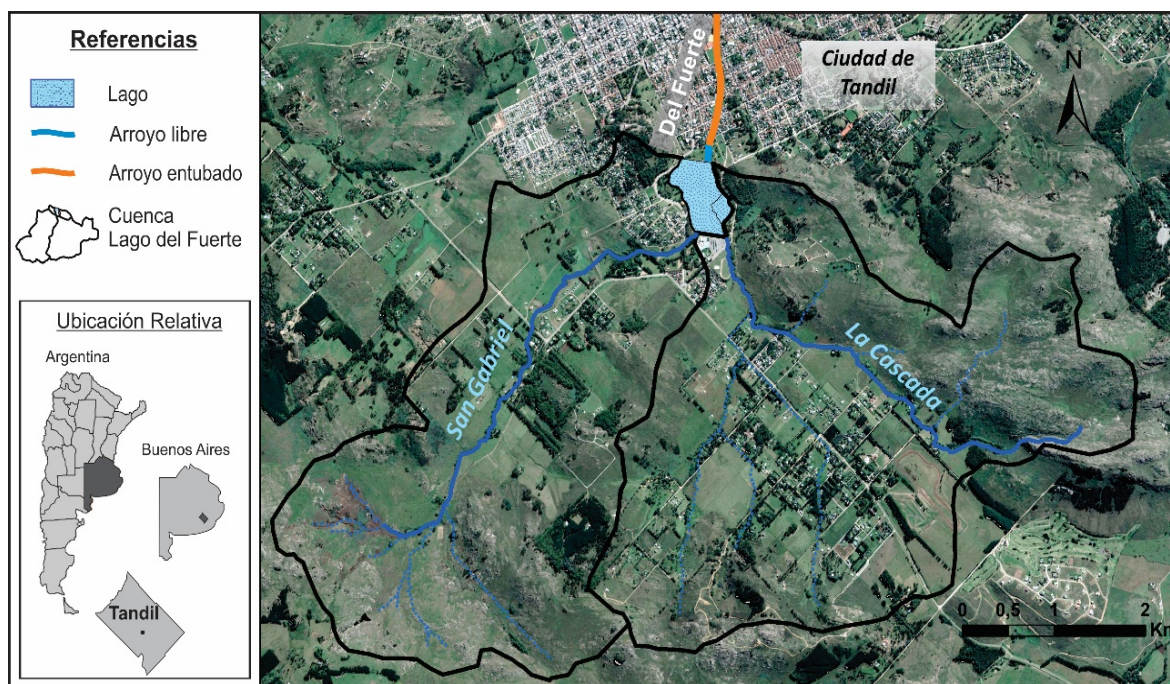


Figura 1. Área de estudio. Cuenca del Lago del Fuerte.

La topografía del ámbito serrano en cabeceras, próximas a los límites de cuenca, determina mayores gradientes y un rápido escurrimiento superficial. En general el flujo del agua subterránea mantiene la dirección de la pendiente topográfica y circulación del flujo superficial. Aguas abajo hacia al embalse, el acuífero libre aporta agua a los cursos superficiales, en donde los arroyos presentan un régimen permanente.

METODOLOGÍA

La investigación presenta un abordaje en dos escalas:

a) Por un lado, se llevó a cabo la caracterización de la dinámica hídrica de la cuenca del embalse Lago del Fuerte. Para tal fin se realizó un análisis de las precipitaciones, un balance hídrico modular y seriado y un análisis de la hidrología superficial y subterránea.

b) Por otro lado, se determinó el balance hidrológico del lago, el cual como fue mencionado, constituye el cierre de la cuenca bajo estudio.

El período de la investigación fue de un año, comprendido entre el mes de febrero de 2015 y el mes de enero de 2016 inclusive.

Balance hídrico modular y seriado

A fin de determinar el ingreso de agua en la cuenca y valorar los excesos y déficits se efectuó el análisis de las precipitaciones acaecidas durante el período de estudio las cuales se compararon con los valores medios regionales. Para esto se desarrolló un balance hídrico modular para el período 1900-2016, según la metodología de Thornthwaite y Mather (1957).

A su vez, siguiendo la misma metodología se realizó el balance hídrico en forma seriada mensual para el período febrero de 2015 a enero de 2016. Se lo efectuó cotejando mes a mes los valores de precipitación (datos obtenidos de la Estación Tandil Aero del Servicio Meteorológico Nacional) versus la evapotranspiración potencial, considerando en cada momento la capacidad de almacenaje de agua del suelo. Ésta se determinó de acuerdo a las asociaciones de suelo presentes en el área de estudio, en base a la información del INTA (1989). Se calculó la superficie que ocupa cada asociación y se le otorgó un valor de almacenaje siguiendo las sugerencias establecidas por Thornthwaite y Mather (1957) de acuerdo al tipo de suelo, espesor y vegetación predominante. Luego se efectuó una ponderación de la capacidad de almacenaje en función de la superficie ocupada para obtener un valor promedio que rondó los 100 mm. El mismo es acorde a las características del área, debido a una

mayor presencia de afloramientos rocosos y menor desarrollo de la capa del suelo propio de la zona de cabecera de la cuenca del arroyo Langueyú, comparado con trabajos antecedentes que aplican un almacenaje de 150 mm para la zona de piedemonte y llanura (Ruiz de Galarreta et al., 2010; Barranquero et al., 2011; Barranquero, 2015).

Una vez completado el ciclo anual, se determinaron los déficits hídricos, los excesos y la evapotranspiración real del período de análisis.

Hidrología superficial

En el arroyo San Gabriel (ASG) las mediciones de aforo de caudal se efectuaron en una zona donde el mismo atraviesa una tubería de alcantarillado (Figura 2) aplicando la fórmula de Manning (Chow et al., 1994). Se midió la altura del agua en la tubería y se aplicaron las ecuaciones (1) y (2) cuyos datos restantes fueron previamente registrados en campo:

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (2)$$

donde Q es el caudal de agua ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), A es el área de la sección del flujo de agua (m^2), V es la velocidad de flujo ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), n es el Coeficiente de rugosidad, R es el radio hidráulico (m) y S es la pendiente de la tubería ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$).



Figura 2. Sitio de medición de caudal del Arroyo San Gabriel.

También se aplicaron otras técnicas de medición para cotejar los resultados. Entre ellas se realizaron: el cálculo volumétrico (ecuación 3), ante situaciones de bajo caudal y la estimación con flotadores (ecuación 1), debido a la presencia de obstrucciones en el entubamiento, así como ante el ingreso de elevado caudal.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

donde Q es el caudal de agua ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), V es volumen (L o m^3) y t es el tiempo (seg).

A su vez se estableció el coeficiente de Esgurrimiento Superficial (Coef ES). Este consiste en considerar cuánto de la precipitación caída en el área de estudio en un tiempo particular se convierte en escurrimiento superficial. Para tal fin se compararon datos de precipitación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) estación Tandil Aero, con mediciones de caudal en la subcuenca del arroyo San Gabriel.

El Coef ES fue de 0.075 (7.5%) y se cotejó con el valor antecedente de la cuenca alta del arroyo Tandileofú (0.068) (Ruiz de Galarreta, 2006) la cual se encuentra lindera a la cuenca de estudio y presenta similitudes en sus características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas.

En el arroyo La Cascada (ALC) debido a su bajo y en ocasiones nulo escurrimiento, las mediciones de aforo presentaron mayores dificultades a través de las diferentes técnicas. Sólo se pudieron obtener resultados en momentos de elevado caudal. Para corroborar las mediciones de campo y suplir la ausencia de mediciones en el ALC se consideró el coeficiente de Esgurrimiento Superficial obtenido en la subcuenca del ASG, debido a que ambas presentan características similares.

En el embalse, la altura media y la capacidad de almacenamiento del mismo se obtuvo a partir de la digitalización de la batimetría antecedente realizada en el 2001 por la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la Provincia de Buenos Aires. Una vez digitalizada, la misma fue georeferenciada lo que permitió mediante el programa ArcGis (v 10.6) construir polígonos de las diferentes alturas batimétricas y así calcular el área de los mismos. Luego se multiplicó el área de cada polígono por la altura media obteniendo volúmenes

parciales que por sumatoria arrojaron el volumen total del embalse. A su vez, ante la ausencia de una escala hidrométrica, se seleccionó un sitio fijo donde medir las variaciones del nivel del pelo de agua del lago, que se utilizaron para determinar el almacenamiento superficial.

La nivelación de la cota del pelo de agua se llevó a cabo mediante un nivel óptico automático marca South modelo NL-C32, partiendo de la cota topográfica de una ménsula (Rodríguez et al., 2008), ubicada a escasos metros del lugar de medición de la variación de altura.

Para obtener el caudal de salida del embalse se aplicó la ecuación (4) correspondiente a la fórmula para vertederos (Chow et al., 1994). Esta consiste en la siguiente expresión:

$$Q = \varepsilon_1 C . b . h^{3/2} \quad (4)$$

donde Q es el caudal de agua ($m^3.s^{-1}$), b es el ancho del vertido (m), h es altura del agua en el vertedero (m) y $\varepsilon_1 C$ es el Coeficiente de descarga. Para el cálculo de este último término, se inspeccionaron los vertederos, la cantidad y las dimensiones que presentaba cada uno. A partir de ello, se identificaron 2 tipos de vertederos de acuerdo al ancho de 1 y 0.60 m (Figura 3).



Figura 3. Sitio de medición del caudal en los vertederos a la salida del Embalse.

Se calculó el Coeficiente de descarga respectivo para cada ancho para lo cual se midieron sus caudales volumétricamente, la altura del agua en cada vertedero y el ancho. Se obtuvieron los Coeficientes de 2.22 y 1.25 respectivamente, a partir del despeje de la ecuación (4). El caudal total de salida se obtuvo por sumatoria de los caudales parciales de los vertederos.

Los registros de los arroyos, el embalse y la salida de los vertederos se efectuaron a lo largo del período de estudio en momentos de variaciones de las condiciones hidrológicas.

Hidrología subterránea

Para caracterizar la dinámica hídrica subterránea se contó con información antecedente sobre el área de estudio (Ruiz de Galarreta et al., 2010; Barranquero, 2015) y en especial sobre la subcuenca del ALC (CINEA, 2009; Rodríguez et al., 2013; Rodríguez, 2014).

A fin de verificar y actualizar la información hidrogeológica, se seleccionaron sitios distribuidos de modo convergente en el sector del embalse, y se realizaron mediciones del nivel estático en dos momentos: antes de iniciar el período de estudio y durante el mismo, sobre perforaciones que fueron utilizadas en los antecedentes mencionados.

Cada perforación fue georreferenciada mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Para nivelar la boca de pozo de las diferentes perforaciones se realizaron mediciones planialtimétricas con un nivel óptico marca South modelo NL-C32 teniendo en cuenta un punto de cota conocida constituida por una ménsula ubicada dentro de la Isla del Lago del Fuerte (194.5 msnm) a partir de la cual se efectuó el correspondiente transporte de cota.

A partir de la nivelación de cada punto y las mediciones de los niveles freáticos se pudo relacionar la cota del agua subterránea y la cota del pelo de agua en el arroyo y se dibujaron perfiles para corroborar la relación entre el agua superficial y subterránea en la subcuenca del ALC.

Balance Hidrológico del Lago del Fuerte

Se efectuó el balance hidrológico anual del lago en el período ya mencionado de acuerdo a la ecuación (5). Se consideró un régimen no permanente, de manera que la diferencia entre los ingresos y egresos de agua en el lago resulta como una variación de almacenaje.

$$(Pd + Q_{sup} + Q_{sub}) - (EV + Q_s) = \pm \Delta Alm \quad (5)$$

Los ingresos de agua incluyeron: precipitación directa (Pd) sobre el lago, caudal superficial (Q_{sup})

ingresante por los dos arroyos que aportan al lago, y caudal subterráneo (Q_{sub}). Los egresos incluyen: evaporación directa (EV) y caudal superficial de salida (Q_s). El resultado equivale a la variación del almacenaje en el lago (ΔAlm). Todos los términos de la ecuación se expresaron en forma de volumen para el período anual de la investigación.

En el caso de la precipitación directa y la evaporación del lago, obtenidas en forma de lámina, ambas fueron convertidas a volumen teniendo en cuenta la superficie del cuerpo de agua.

Se consideró que el flujo subterráneo aporta a los arroyos afluentes del embalse y al embalse en sí mismo, ya que es prácticamente nula la salida subterránea desde la presa debido a que la misma constituye el cierre de la cuenca a nivel superficial y subterráneo.

Para el caudal superficial ingresante, dadas las dificultades presentadas en los aforos con algunas de las técnicas previamente mencionadas, se optó por utilizar el Coeficiente de Escurrimiento calculado para el área y se aplicó la ecuación (6), donde Q_{sup} es el caudal superficial ($m^3.año^{-1}$), P es la precipitación ($m.año^{-1}$), A es la superficie de la cuenca (m^2) y Coef ES es el coeficiente de escurrimiento (adimensional).

$$Q_{sup} = P \cdot A \cdot \text{Coef ES} \quad (6)$$

El aporte del caudal subterráneo ($m^3.año^{-1}$) se determinó a partir de la resolución de la ecuación (5) y despeje del resto de los términos.

Para la evaporación de la superficie de agua libre se aplicó la ecuación de Priestley y Taylor (1972). Las ecuaciones complementarias necesarias se tomaron de Carmona et al. (2019). Se utilizaron datos brindados por el Instituto de Hidrología de Llanura “Dr. Eduardo Usunoff” (IHLLA), que cuenta con una estación de Balance de Energía ubicada en el Campus Universitario Tandil, la cual se encuentra cercana al área de estudio.

El caudal de salida superficial ($m^3.año^{-1}$), se calculó como un promedio de los aforos verificados según la ecuación (4).

Para la variación del almacenaje en el embalse ($m^3.año^{-1}$), se midieron las diferencias de nivel del pelo de agua del lago al iniciar y finalizar el

balance y se lo multiplicó por la superficie del cuerpo de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance hídrico modular

Del balance hídrico modular (1900-2016) (Figura 4) se obtuvo que la precipitación media anual del período fue de 849 mm, la evapotranspiración potencial de 729 mm y la real de 703 mm. El período más lluvioso se concentró entre octubre y marzo, y el menos lluvioso entre junio y agosto. Los excesos (146 mm) se producen en gran parte del año, exceptuando el período estival, donde se registró un déficit poco significativo (26 mm).

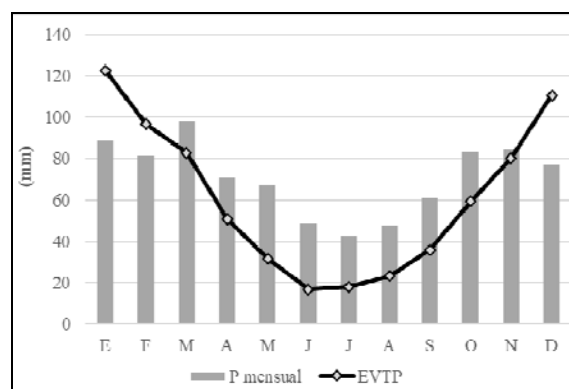


Figura 4. Balance hídrico 1900-2016 (P: precipitaciones, EVTP: Evapotranspiración potencial).

Balance hídrico seriado

Durante el período de estudio, la precipitación anual fue de 994 mm, superando la media modular en 145 mm. Los excesos se dieron desde abril hasta agosto y en octubre y noviembre, acumulando un valor de 346 mm, pero a su vez se registraron importantes déficits en febrero, marzo, septiembre y diciembre de 2015 (90 mm) que superaron el valor promedio.

La Figura 5 compara las precipitaciones medias mensuales del período 1900-2016 con las precipitaciones mensuales y la evapotranspiración potencial para el lapso anual de la investigación.

Se observó la ocurrencia de lluvias durante todo el período de estudio destacándose algunos meses en los que las precipitaciones superaron ampliamente los valores medios mensuales como fue el caso de abril, agosto y noviembre de 2015 y enero de 2016.

A su vez ocurrieron situaciones opuestas en las que las precipitaciones fueron menores en relación a las medias mensuales como sucedió en marzo, septiembre y diciembre de 2015.

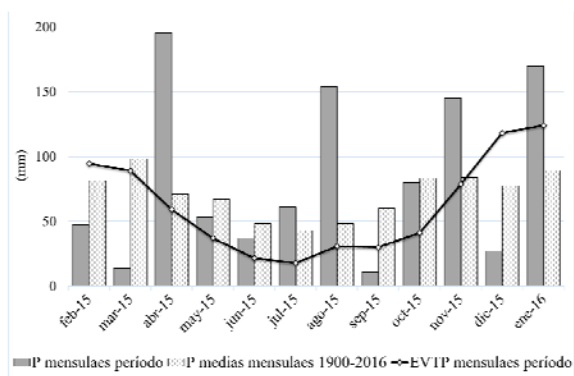


Figura 5. Precipitaciones mensuales históricas y del período de estudio versus evapotranspiración potencial mensual del período.

A partir de la comparación de los meses observados, las precipitaciones para el período de estudio marcaron un incremento en relación a los valores medios. A su vez, la distribución anual fue distinta a la media modular (Figura 5) lo que impactó en los excesos y déficit. Así mismo, se observa una situación de excesos que supera ampliamente la media modular.

Hidrología superficial

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de los caudales obtenidos del arroyo San Gabriel y a la salida del embalse, así como las alturas del pelo de agua del embalse durante el período. Sin embargo, cabe mencionar que en las diferentes mediciones se evidenció la existencia de variaciones al comparar la cota del pelo de agua con el caudal de salida, lo que estaría asociado, como se pudo corroborar en campo, a la influencia de la acción del viento, la cual aumenta o disminuye el caudal de salida de acuerdo a su dirección.

Por otra parte, los picos de caudal máximo, tanto en el ASG como en la salida del embalse y las mayores alturas del pelo de agua, se corresponden con momentos de abundantes precipitaciones en días previos a la fecha de medición, períodos de exceso hídrico como sucede en invierno, y a las particularidades de la cuenca de rápida concentración

de las aguas. Por el contrario, los momentos de mínimo caudal y menor nivel del lago se corresponden con la época estival sumada a varios días sin precipitaciones con marcado déficit hídrico.

Tabla 1. Síntesis de los registros de aforos en el arroyo San Gabriel (ASG), a la salida del embalse y cota del pelo de agua del embalse.

Sitios	N	Mínimo	Máximo	Media
Cota del pelo de agua (msnm)	16	194	194.15	194.07
Caudal ASG ($m^3 \cdot s^{-1}$)	16	0.001	0.133	0.032
Caudal salida ($m^3 \cdot s^{-1}$)	16	0.001	0.561	0.081

N= Cantidad de mediciones.

Si bien ambos arroyos que aportan al lago cuentan con similitudes en algunos aspectos (geología, máximos y mínimos de caudal, parámetros morfométricos), el ASG presentó un régimen perenne que permitió efectuar aforos durante el período de la investigación, mientras que el ALC sólo exhibió escurrimiento fluvial y la posibilidad de aforar ante eventos de precipitaciones abundantes y cercanas a la fecha de medición.

Hidrología subterránea

A partir de la determinación de las profundidades del nivel freático se pudo observar que el mismo es somero, con valores que oscilan entre 1.7 y 7.3 metros.

En cuanto a los niveles estáticos calculados, se verificó que los mayores valores se encuentran hacia el Sur de la cuenca de aporte, coincidiendo con la zona de cabecera y mayor altitud topográfica, y disminuyen hacia las cercanías del lago. Esto corrobora que el flujo subterráneo tiene sentido Sur-Norte, aportándole agua a los arroyos y fluyendo hacia el lago.

A su vez, a través de las nivelaciones y mediciones planialtimétricas pudo observarse en los perfiles, las diferencias del terreno y del nivel freático desde el pozo hasta el pelo de agua del ALC en el sitio 1 y sitio 2 (Figura 6, abajo y arriba respectivamente). Se evidencia en dichos perfiles la relación entre las aguas superficiales y subterráneas indicando el aporte del acuífero freático hacia el arroyo ALC.

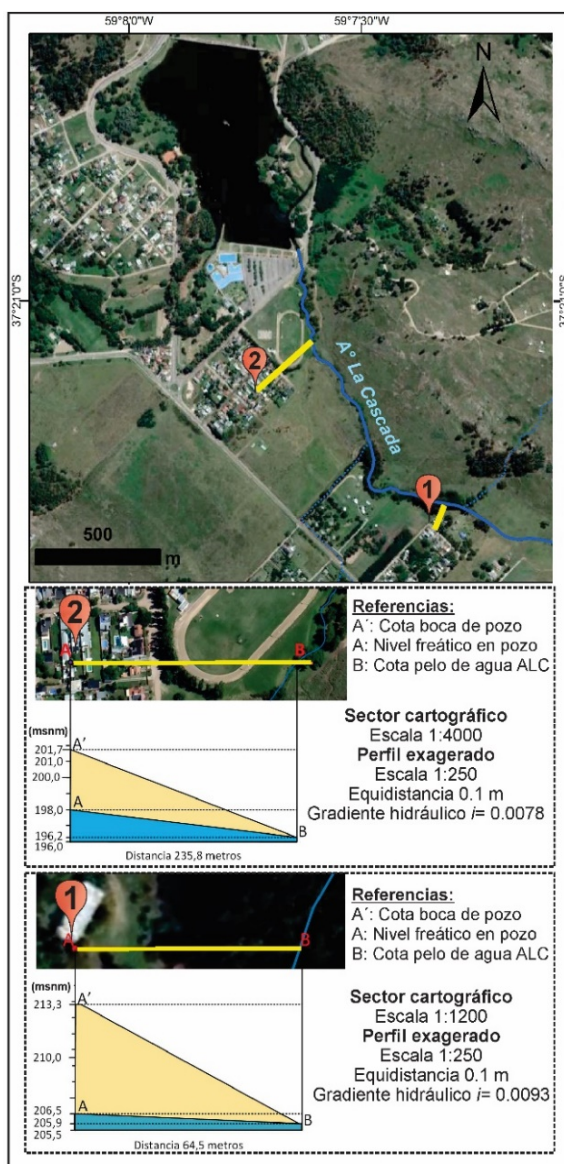


Figura 6. Mediciones planialtimétricas y relación entre las aguas superficiales y subterráneas (abajo pozo 1 y arriba pozo 2)

Balance Hidrológico

En la Tabla 2 se presenta la cuantificación de cada uno de los términos de la ecuación (5), correspondiente al balance hidrológico del Lago del Fuerte, en donde todos los términos constituyen datos calculados, excepto el caudal subterráneo que fue inferido por el despeje de la ecuación.

Se obtuvo que el caudal superficial aportado por los dos arroyos (ASG y ALC) constituye el 77% de los ingresos, mientras que la precipitación directa sobre el lago ronda el 10%. El ingreso restante (13%)

representa el aporte subterráneo al embalse. Por los vertederos egresa el 91% del volumen de agua, mientras que por evaporación se pierde un 9%. El almacenaje de agua en el embalse descendió apenas 1 cm, por lo que la variación se consideró prácticamente despreciable.

Tabla 2. Ingresos y egresos del balance del Lago del Fuerte.

INGRESOS	
Precipitación directa	188860 m ³ .año ⁻¹
Caudal superficial (ASG+ALC)	1486528 m ³ .año ⁻¹
Caudal subterráneo	261059 m ³ .año ⁻¹
EGRESOS	
Evaporación	172330 m ³ .año ⁻¹
Caudal de salida	1766016 m ³ .año ⁻¹
±Δ Variación Almacenaje (-1 cm) - 1900 m³.año⁻¹	

Debido a la inexistencia de antecedentes en el área de estudio con el nivel de detalle de la presente investigación, no se ha podido realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió caracterizar y comprender la dinámica hídrica de la cuenca bajo estudio y resolver el balance hidrológico del cuerpo de agua.

A partir del mismo se pudieron conocer las magnitudes de los ingresos y egresos e identificar su relevancia.

El aporte de caudal superficial constituyó el principal ingreso de agua al lago, mientras que por la presa del embalse egresó la mayor proporción.

El período de estudio fue más húmedo que un año promedio, con precipitaciones que superaron la media anual modular. Sin embargo, los excesos registrados no se vieron reflejados en el volumen del embalse el cual se mantuvo constante con incrementos transitorios debido al tipo de descarga por rebalse, pero sí impactarían en una mayor tasa de renovación del lago.

Los aportes del presente trabajo constituyen una base para el desarrollo de futuras investigaciones más específicas sobre la cuenca y sobre el cuerpo de agua, como aquellas vinculadas a la dinámica de nutrientes y el estado trófico del lago.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Marcelo Varni por su apoyo en la faz hidráulica y al Dr. Raúl Rivas, por el aporte de información para el cálculo de la evaporación a partir de los datos obtenidos de la estación de balance de energía del Instituto de Hidrología de Llanura “Dr. Eduardo Usunoff” (IHLLA), ubicada en el Campus Universitario Tandil.

A la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires de Tandil, por la documentación sobre la construcción del Embalse, especialmente la batimetría del cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- Aguilera Klink, F. (1999). Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales. Boletín CF+S N° 8. Madrid. Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n8/afagu1.html>.
- Albornoz, H., Gonzalez Castelain, J., Cifuentes M. y Rodríguez, L. (2009). Estado trófico y monitoreo de variables limnológicas en un lago artificial (Lago Del Fuerte, Tandil, Prov. De Buenos Aires). *Biología Acuática*, 26, 1-6.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, V. A. y Ocampo D. (2011). Evaluación del comportamiento hidrodinámico y cuantificación de la recarga en la cuenca del arroyo Languyú, partido de Tandil. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 27, 63-72.
- Barranquero, R. (2015). Análisis y evaluación del sistema hidrogeológico ambiental en la cuenca del arroyo Languyú, Tandil, Buenos Aires (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Carmona, F., Rivas, R., Faramiñán, A. M. G., Mancino, C., Bayala, M. y Perez, W. (2019). Evaporation process study through in situ and remote sensing data at Tres Quebradas Salt flat. *Revista de Teledetección*, 54, 1-14. doi: <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12264>.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Ediciones McGraw-Hill.
- Cifuentes, M. R. (2012). Algas cianofitas y aptitud recreativa del Lago del Fuerte (Partido de Tandil) (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Cifuentes, M. R. (2020). Estudio ecohidrológico del embalse eutrófico Lago del Fuerte (Tandil, provincia de Buenos Aires) (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- CINEA (Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales) (2009). Estudio Hidrogeológico en la zona aledaña a la Avenida Don Bosco de la ciudad de Tandil. Convenio Municipalidad de Tandil-UNICEN. Tandil.
- Custodio, E. (2011). Planificación y gestión del agua subterránea: aspectos generales y retos. En: García, R. y Rocha Fasola, V. (Compiladores). *Actas del VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología subterránea*. (pp. 1-16). Salta, Argentina.
- Fuentes Junco, J. J. A. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Instituto Nacional de Ecología (INE). Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. Recuperado de: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Global Water Partnership - Gwp (2009). Manual para la gestión integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Londres. Recuperado de: http://www.gwptoolbox.org/images/stories/Docs/handbook%20inbo_gwp_spanish.pdf.
- Guerrero, E. M., Wagner, L. S., Rodríguez, C. I. y Sosa, B. (2015). Acciones colectivas y recursos naturales en conflicto. Historia ambiental de luchas urbanas por agua y sierras en Tandil, Argentina. *Revista Luna Azul*, 41: 274-295.
- IHLLA (Instituto de Hidrología de Llanuras) (1995). Diagnóstico limnológico, sanitario, ictológico y estado ambiental del Lago del Fuerte, ciudad de Tandil. Informe final a la Municipalidad de Tandil.
- IHLLA (Instituto de Hidrología de Llanuras) (2005a). Estudio de la calidad del agua del Lago del Fuerte, Tandil. Diagnóstico. Informe N° 3 a la Municipalidad de Tandil.
- IHLLA (Instituto de Hidrología de Llanuras) (2005b). Monitoreo de Toxinas algales (microcistinas). Lago del Fuerte, Tandil. Informe Final a la Municipalidad de Tandil.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (1989). Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000. INTA. Buenos Aires.
- Miranda Del Fresno, M. C. y Ulberich, A. (2010). Problemas ambientales derivados del crecimiento urbano en el sector serrano S-SE de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires.

- [CD-ROM]. Actas del VI Congreso Nacional Ambiental. San Juan.
- Miranda Del Fresno, M. C. y Ulberich, A. (2011). Técnicas fotocartográficas, una herramienta para la detección de impactos y problemas ambientales. *Revista de Teledetección* 36: 84-97. Asociación Española de Teledetección. Recuperado de: http://www.aet.org.es/revistas/revista36/Numero36_08.pdf.
- Piman, T. y Babel, M. S. (2013). Prediction of rainfall-runoff in an ungauged basin: case study in the mountainous region of Northern Thailand. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(2), 285-296. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000573](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000573).
- Priestley, C. H. B. y Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2).
- Rodríguez, C. I. (2014). Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil. Pautas para su gestión sustentable (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Rodríguez, C. I., Miranda Del Fresno, M. C., Miguel, R. E., Ulberich, A. C. y Ruiz de Galarreta, V. A. (2013). Cambios de uso del suelo e impactos sobre el agua subterránea en un barrio al sur de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *Revista AUGM Domus*. Vol. 5, 75-90. Asociación de Universidades Grupo Montevideo. La Plata.
- Rodríguez, E., Rosa, S. y Salinas, B. (2008). Levantamiento topo-batimétrico de la zona del Lago del Fuerte (Tandil) para apoyo de obras de saneamiento. UNLP. Recuperado de: <http://200.5.74.242/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHca39.dir/doc.pdf>.
- Ruiz de Galarreta, V. A. (2006). Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, Provincia de Buenos Aires (tesis doctoral). Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Ruiz de Galarreta, V. A., Banda Noriega, R., Barranquero, R., Díaz, A. A., Rodríguez, C. I. y Miguel, R. E. (2010). Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*. 121 (4), 343-356.
- Sokolov, A. y Chapman, T. (1981). Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de investigación y métodos. Instituto de Hidrología de España & UNESCO. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Section 4-II of *Handbooks of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Co, New York, USA.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology, Publication N° 10: 185-311*. Centertown.

Tipo de Publicación: NOTA TECNICA.

Trabajo recibido el 12/11/2021 y aprobado para su publicación el 16/03/2022.

COMO CITAR

Cifuentes, M. R.; Rodríguez, C. I.; Ruíz de Galarreta, V. A. y Gabellone, N. A. (2022). Dinámica hídrica y balance hidrológico en la cuenca del embalse Lago del Fuerte, Tandil. *Cuadernos del CURIHAM*, 28, 15-24. doi: <https://doi.org/10.35305/curiham.v28i.178>

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)

