

DOI: 10.24850/j-tyca-13-05-02

Artículos

**Estudio topo-batimétrico e hidrológico del sistema
hídrico "Laguna La Picasa", Argentina**

**Topo-bathymetric and hydrological study of the water
system "Lagoon La Picasa", Argentina**

Gabriela Alejandra Ponce¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6980-4945>

Sebastián Grande²

Alejo Juan Sebastián Testa-Tacchino³

Andrés Rodríguez⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4110-6464>

¹Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, alejandraponce47@hotmail.com

²Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, sebasgrande@gmail.com



³Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, alejo_testa@unc.edu.ar

⁴Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, andres.rodriguez@unc.edu.ar

Autora para correspondencia: Gabriela Alejandra Ponce, alejandraponce47@hotmail.com

Resumen

El conocimiento de la estructura del balance hídrico de lagunas, cuencas superficiales y subterráneas es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar su control y redistribución.

La cuenca Laguna La Picasa es una cuenca endorreica interjurisdiccional entre las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, en la República Argentina, que ha sufrido en los últimos tiempos inundaciones recurrentes causadas por crecimientos del nivel de la laguna, y que afectaron a la infraestructura, el transporte y la actividad agrícola.

En el presente trabajo se planteó un enfoque a escala lagunar. Para el estudio topo-batimétrico se definió un modelo digital de elevación (MDE) de la laguna mediante recopilación de antecedentes, trabajos de campo y procesamiento de datos, y en el estudio hidrológico se desarrolló un modelo de balance hídrico 0D. Con base en estos dos modelos se analizaron y cuantificaron los excesos pluviales que impactaron en la laguna para su evacuación con un sistema de gravedad, de bombeo o combinado.

El objetivo principal fue definir un modelo de balance hídrico 0D que represente a la laguna La Picasa y luego utilizarlo como una herramienta para evaluar futuras situaciones hidrológicas que ocurran.

Palabras clave: laguna La Picasa, cuenca interjurisdiccional, balance hídrico, ambientes lagunares, topobatimetría, modelo digital de elevación, modelo hídrico.

Abstract

Knowledge of the water balance of lagoons, surface, and underground basins is essential not only to use water resources more rationally in space and time but also to improve their control and redistribution.

The La Picasa lagoon basin is an inter-jurisdictional endorheic basin in the Argentine Republic at the intersection of Córdoba, Santa Fe, and Buenos Aires provinces. This basin has recently gone through recurrent



floods caused by an increase in the level of the lagoon, which has affected infrastructure, transport, and agricultural activity.

In the present work, a lagoon-scale approach is proposed. For the topo-bathymetric study, the lagoon's Digital Elevation Model (DEM) was defined using data collection, fieldwork, and data processing. In contrast, a 0D water balance model was developed in the hydrological study. Based on these two models, the rainfall excesses that impacted the lagoon were analyzed and quantified for evacuation through gravity discharge, a pumping system, or a combination of both systems.

The main objective was to define a 0D water balance model that represents the La Picasa lagoon and then uses it as a tool to evaluate future hydrological situations that may occur.

Keywords: La Picasa lagoon, inter-jurisdictional basin, water balance, lagoon environments, topo-bathymetry, digital elevation model, water model.

Recibido 18/11/2020

Aceptado 04/07/2021



Introducción

El balance hídrico se considera como uno de los objetivos primordiales para la hidrología, ya que es un medio para solucionar importantes problemas en periodos de excesos o sequías. A partir de su estudio es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre, ayudando además en la predicción de consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de ríos, lagunas y cuencas subterráneas (Sokolov & Chapman, 1981).

Por lo general se intenta representar el funcionamiento de un sistema mediante modelos hidrológicos distribuidos o semidistribuidos. Sin embargo, Viessman y Lewis (citados por Rodríguez *et al.*, 2006) sugieren que un modelo de balance hídrico debería ser el primer enfoque en el análisis de cualquier cuenca.

En la actualidad existen análisis de balances hídricos aplicados a cuerpos lagunares y bañados en la provincia de Córdoba, donde destaca el trabajo de Plencovich *et al.* (2005) y Curletto (2014), aplicado a la laguna Mar Chiquita, y el trabajo realizado por el Instituto Nacional de Agua (INA) (INA, 2018) aplicado en la laguna La Picasa.

En este trabajo se estudió la laguna La Picasa, que se encuentra al sur de la provincia de Santa Fe, y pertenece a una cuenca endorreica que

abarca también las provincias de Buenos Aires y Córdoba, en la República Argentina. Es una cuenca endorreica de área igual a 5 346 km², donde el 51 % de la misma se ubica en la provincia de Córdoba, 9 % en la provincia de Buenos Aires y 39 % en la provincia de Santa Fe. La región analizada se caracteriza por tener una actividad agrícola ganadera de alta producción; se encuentra en una región considerada como la zona más productiva del país en cuanto a agricultura, tambo y ganadería. Durante las últimas décadas, la laguna ha ido sufriendo cambios en su nivel y oscilaciones en su caudal de agua debido a diversas causas, en las que ha influido la magnitud de las precipitaciones, la topografía del terreno y la velocidad de escurrimiento de las aguas.

El agua sale del sistema por evaporación y por dos sistemas de bombeo: estaciones de bombeo Sur y Norte, cuyos caudales confluyen finalmente en el río Salado. En la actualidad, los bombeos funcionan con un rendimiento del 3 al 4 % aproximadamente.

Durante el periodo 1973-2019 la zona en estudio estuvo sujeta a un periodo húmedo, con precipitaciones medias anuales por encima del valor medio histórico: 900 mm/año (Universidad Nacional del Litoral, 1999). Como consecuencia de esto, el nivel de la laguna ha ido aumentando paulatinamente generando diferentes consecuencias, entre las cuales se destaca el corte de importantes vías de comunicación, como la Ruta Nacional No. 7 y el FFCC que une Buenos Aires con las provincias de la Región de Cuyo, además de anegamientos en cascos urbanos, cortes de

caminos provinciales y la pérdida por anegamiento de importantes áreas productivas.

El estudio de la laguna es de suma importancia, pues es el receptor final de los excedentes hídricos de una cuenca interjurisdiccional cuya gestión integral es llevada a cabo por las provincias intervinientes. Esto implica que el desarrollo de conocimiento acerca de su funcionamiento es relevante.

El trabajo comprendió inicialmente la definición de un modelo digital de elevación (MDE) que luego fue usado como base para el desarrollo del modelo hídrico de balance de masa (0D) aplicado al cuerpo de agua. Este modelo se orientó a mostrar las variables hidrológicas intervinientes, sin tener en cuenta la influencia de la escorrentía e infiltración subterránea. Se diferenciaron variables puramente atmosféricas (precipitación y evaporación) y variables intervenidas por el hombre (ingreso de caudales por canales y egreso por bombeo). La ventana de tiempo que se analizó fue de cinco años (2012-2017), con un paso de tiempo mensual.

Área de estudio



El área de estudio comprende la superficie delimitada por la laguna La Picasa, sus canales de ingreso y sus sistemas de bombeo; abarcando las localidades de Laboulaye, Melo, Rosales y Villa Rossi en la provincia de Córdoba, así como las localidades de Rufino, Aarón Castellanos, Amenábar, Lazzarino y Diego de Alvear en la provincia de Santa Fe (Figura 1).

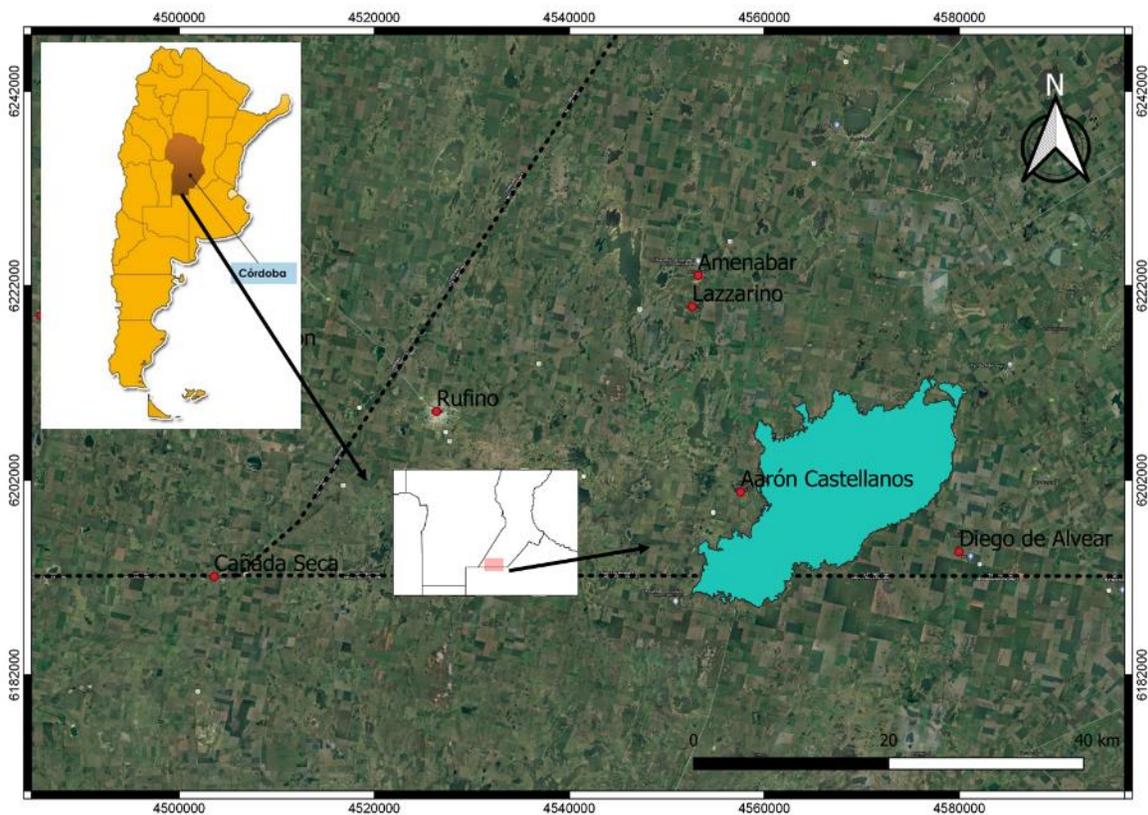


Figura 1. Zona de estudio, laguna La Picasa.

La laguna se ubica en terreno que le corresponde a la provincia de Santa Fe, Argentina, entre las coordenadas $34^{\circ} 22.69'$ - $62^{\circ} 21.8'$ (558525.38 6195727.899 UTM-20) y $34^{\circ} 15.74'$ - $62^{\circ} 9.36'$ (577696.967 6208440.766 UTM-20). Se ubica en un bloque hundido de 20 kilómetros de longitud este-oeste y 10 kilómetros de ancho norte-sur. Bajo condiciones hidrológicas ordinarias ocupa algo más de la mitad del mismo, pero en las últimas décadas se ha desbordado y ocupado más del doble (Iriondo, 2010).

Los niveles de agua y los caudales de ingreso a la laguna se controlan mediante dos estaciones de bombeo: una ubicada al sur (EB Sur) y otra al norte (EB Norte), y un canal de derivación desde el Reservorio N° 7 hacia la cuenca del río Salado en la provincia de Buenos Aires (Figura 2). Por debajo de la cota 105.80 m IGM (Instituto Geográfico Militar), la única vía de descarga significativa de la laguna es la evaporación.

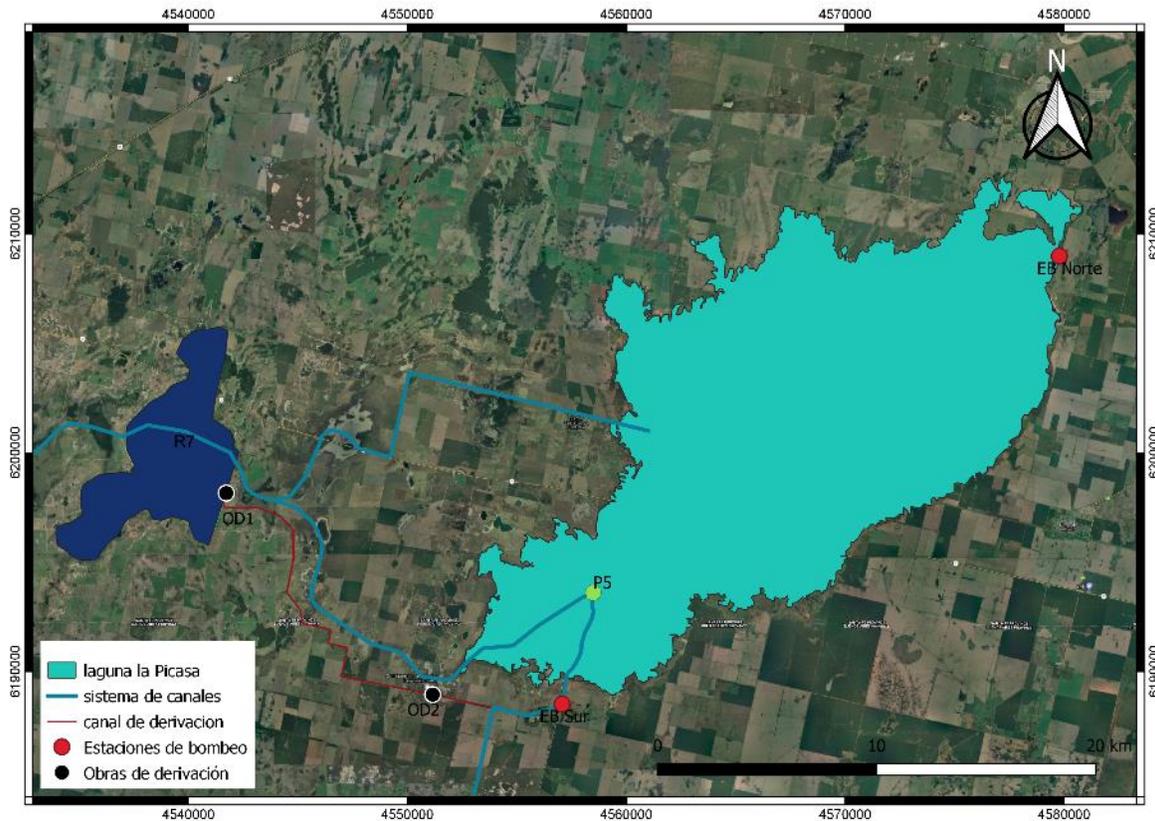


Figura 2. Laguna La Picara, canal derivador y estaciones de bombeo.

Los puntos de control para el análisis de caudales de ingreso fueron la obra de regulación del Reservoirio 7-OR7 (último reservorio antes de descargar en la laguna) y dos alcantarillas (A45-A35) ubicadas luego de la OR7. Se analizaron los caudales aforados y se consideraron el mayor de los valores.

La estación de bombeo sur deriva el caudal bombeado a otras lagunas en la provincia de Buenos Aires a través de canalizaciones y

sistemas lagunares, mientras que la estación de bombeo norte deriva las aguas bombeadas hacia el norte en la provincia de Santa Fe. Ambas estaciones están compuestas de cinco bombas de 1 m³/s de capacidad y 6 m de altura de carga, lo que permite evacuar un caudal máximo de 5 m³/s.

El canal derivador comienza en el interior de la laguna de regulación 7 y conduce los escurrimientos hacia la cuenca del río Salado, en la provincia de Buenos Aires. Además, existe una segunda obra de derivación (OD2), cuyo objeto es realizar un segundo control del caudal.

Materiales y métodos

Levantamiento batimétrico y modelo digital de elevación

El modelo digital de elevación es una representación numérica de la superficie topográfica de la tierra, que puede ser procesada para reproducir digitalmente sus propiedades geométricas y relaciones



espaciales, dividiendo el territorio en celdas de un determinado tamaño que se agrupan en forma de grilla ordenada.

El MDE de la laguna La Picasa se definió con base en la batimetría obtenida de tareas de campaña para cotas inferiores a los 98.5 msnm; la batimetría antecedente del INA (levantamiento batimétrico, marzo 2007) para cotas superiores a los 98.55 msnm; las imágenes de satélites vinculadas con lecturas de escala, y la curva de nivel correspondiente a la cota de agua que se obtuvo en tareas de campo. El sistema de coordenadas de trabajo utilizado fue UTM 20 Sur con DATUM WGS-84.

La batimetría obtenida de las tareas de campaña se definió comparando las cotas de fondo conseguidas con los distintos instrumentos. Las mediciones en campo se realizaron en dos campañas durante los meses de abril y mayo de 2018. Se utilizó Ecosonda SOUTH SDE-28S, sistema de posicionamiento geográfico con extensión en tiempo real (GPS-RTX) y dos perfiladores de corriente acústica Doppler (por sus siglas en inglés, ADCP) M9 desarrollados por la firma YSI/Sontek, provistos por la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba y por la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Santa Fe (Figura 3). Los datos crudos se depuraron filtrando valores atípicos.



Figura 3. Instrumental. Izquierda: equipo GPS y ecosonda sumergida; derecha: ADCP Sontek M9.

Las mediciones con ecosonda incluyeron alturas elipsoidales, profundidades de agua y cota de fondo; mientras que las mediciones con ADCP-M9 incluyeron altitudes del GPS propio del instrumento, profundidades de agua y cota de fondo. Las alturas elipsoidales se transformaron en alturas ortométricas, referidas al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016, mediante la herramienta web "GEOIDE-Ar16". Dicha herramienta se basa en el marco de referencia geodésico nacional POSGAR07. Esta transformación se lleva adelante debido a que todas las coordenadas y alturas que se miden sobre la superficie terrestre con respecto al nivel del mar están referidas a un modelo matemático que se adapta a la forma de la Tierra denominado *geoide*.

Las fluctuaciones registradas por el oleaje (altitudes del GPS propio del ADCP M9) se consideran que fueron eliminadas durante el levantamiento batimétrico debido a la extensión de la laguna y porque la información recopilada en formato matricial con pixeles de 50 x 50 m fue el promedio de los puntos que se incluyen en él. Se llevó adelante el análisis de la estadística descriptiva, donde se observó que los desvíos estaban en el orden de los 5 y 6 centímetros, y en el caso más desfavorable se observó un rango de 60 centímetros, siendo éste la diferencia entre el valor máximo y mínimo relevado en toda la campaña (Tabla 1).

Tabla 1. Media, desvío, coeficiente de variación máximo, mínimo y rango de las series analizadas.

	Campaña 1 - 18/04/2018	Campaña 1 - 19/04/2018	Campaña 2 - 8/05/2018
Media	104.47	104.49	104.75
Desvío	0.05	0.06	0.06
COV	0.0005	0.0006	0.0005
Máximo	104.67	104.82	105.09
Mínimo	104.23	104.22	104.54
Rango	0.44	0.60	0.55

El nivel de agua (*Surface Water Level, SWL*) para cada campaña se obtuvo del promedio de las alturas ortométricas; las cotas de fondo de la laguna se obtuvieron con base en el nivel de agua SWL, alturas ortométricas, profundidades del agua y fluctuaciones debidas al oleaje. Se compararon los resultados de las cotas de fondo obtenidas con distintos instrumentos y luego se eligieron como base de comparación los resultados de uno de ellos.

Modelo de balance hídrico 0D: balance de masa

El estudio del balance hídrico 0D se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad, donde la cantidad de agua que circula por el ciclo hidrológico se relaciona entre sí, y donde debe existir un equilibrio entre entradas y salidas. Se establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo la diferencia entre la entrada y salida estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

Las entradas de agua hacen referencia a la precipitación en forma de lluvia y aguas superficiales; mientras que las salidas incluyen evaporación y escorrentías superficiales. La evaporación se definió en términos de

evapotranspiración potencial, a partir del método de Thornthwaite (Figura 4). Los procesos de infiltración y flujo subterráneo se asumieron como variables no significativas respecto al resto de variables intervinientes, por lo cual no se contemplaron en el balance.

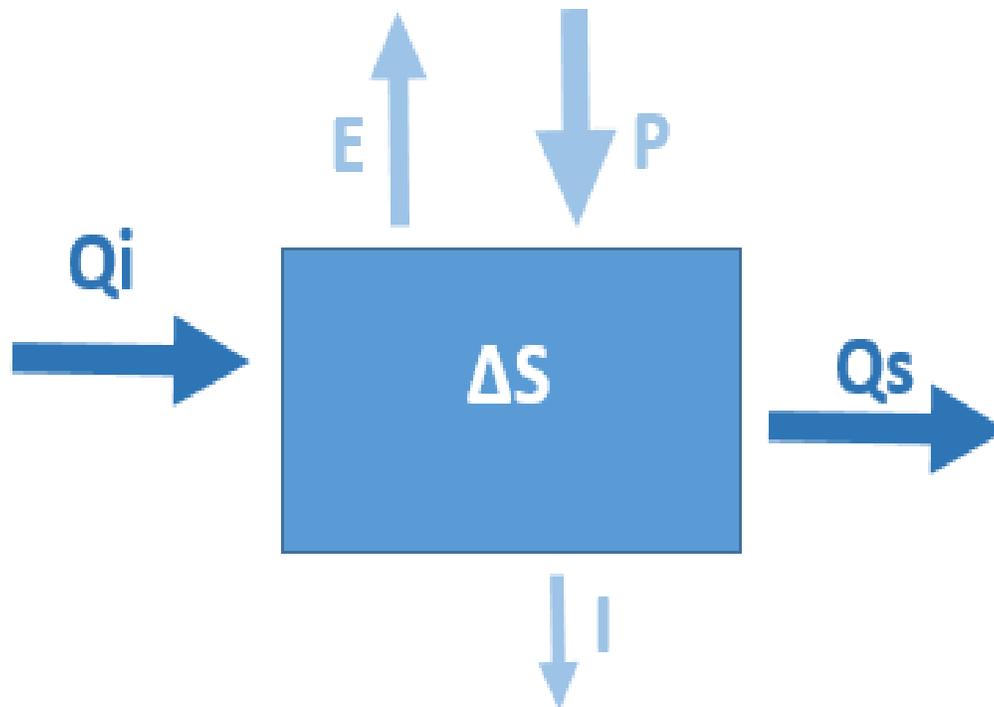


Figura 4. Esquema general de balance de masa.

La ecuación del balance hídrico, en su forma más general, se representa por la siguiente ecuación:

$$\Delta V / \Delta T = (Q_i - Q_s) + AL(P - E) \quad (1)$$

Donde ΔV es la variación de volumen de la laguna (L); ΔT , el intervalo de tiempo; Q_i , los caudales de entrada aportados por los tributarios del sistema y Q_s los caudales de salida; AL , el área de la laguna; P , la precipitación media areal sobre la laguna, y E es evaporación.

En términos de volumen se representa:

$$\Delta S = Q_i \cdot \Delta t + AL \cdot (P - E) - Q_s \cdot \Delta t \quad (2)$$

Donde ΔS : almacenamiento.

Por lo tanto, el modelo consistió en un balance entre agua que entra y agua que sale del sistema por unidad de tiempo, desarrollado a partir de una combinación de variables **naturales** (entrada de agua por precipitaciones y salida de agua por evapotranspiración potencial-ETP) y **antrópicas** (entrada de agua por canales y salida de agua mediante estaciones de bombeo y canales de derivación). A su vez, dichas variables se encontraron sujetas a errores de medida o estimación que se tuvieron en cuenta mediante un coeficiente de ajuste (μ).

El coeficiente de ajuste, que se aplica a la diferencia de los volúmenes ingresados por canales y los bombeados, se obtuvo buscando el menor error entre los volúmenes estimados y medidos:

$$V_{est} = A(P - Ev) + Coef(V_i - V_b) \quad (3)$$

Donde V_{est} es el volumen estimado; A , el área de la laguna variable con el nivel; P , la precipitación; Ev , la evaporación; V_i , el volumen de ingreso por canales; V_b , el volumen bombeado, y $Coef$ es el coeficiente de ajuste por incertidumbres.

La variable precipitación se obtuvo del inventario de estaciones, donde se analizó cantidad y calidad de datos, y aquellas que se encontraban más próximas a la laguna. A su vez, se aplicó el método de polígono de Thiessen para determinar la precipitación media.

La variable evapotranspiración se definió con base en el método de Thornthwaite (Aparicio-Mijares, 1989), ETP observadas y mapas de isolíneas de ETP propuestos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Rubí-Bianchi & Cravero-Silvia, 2010).

El análisis de variables naturales muestra pequeñas diferencias (precipitaciones y evapotranspiración) (Figura 5a); mientras que el análisis de variables antrópicas brinda diferencias significativas, siendo los caudales de ingresos superiores, a veces superando 10 veces los

caudales de bombeo (Figura 5b). Por lo tanto, fue de gran importancia conocer los caudales de ingreso y de salida.

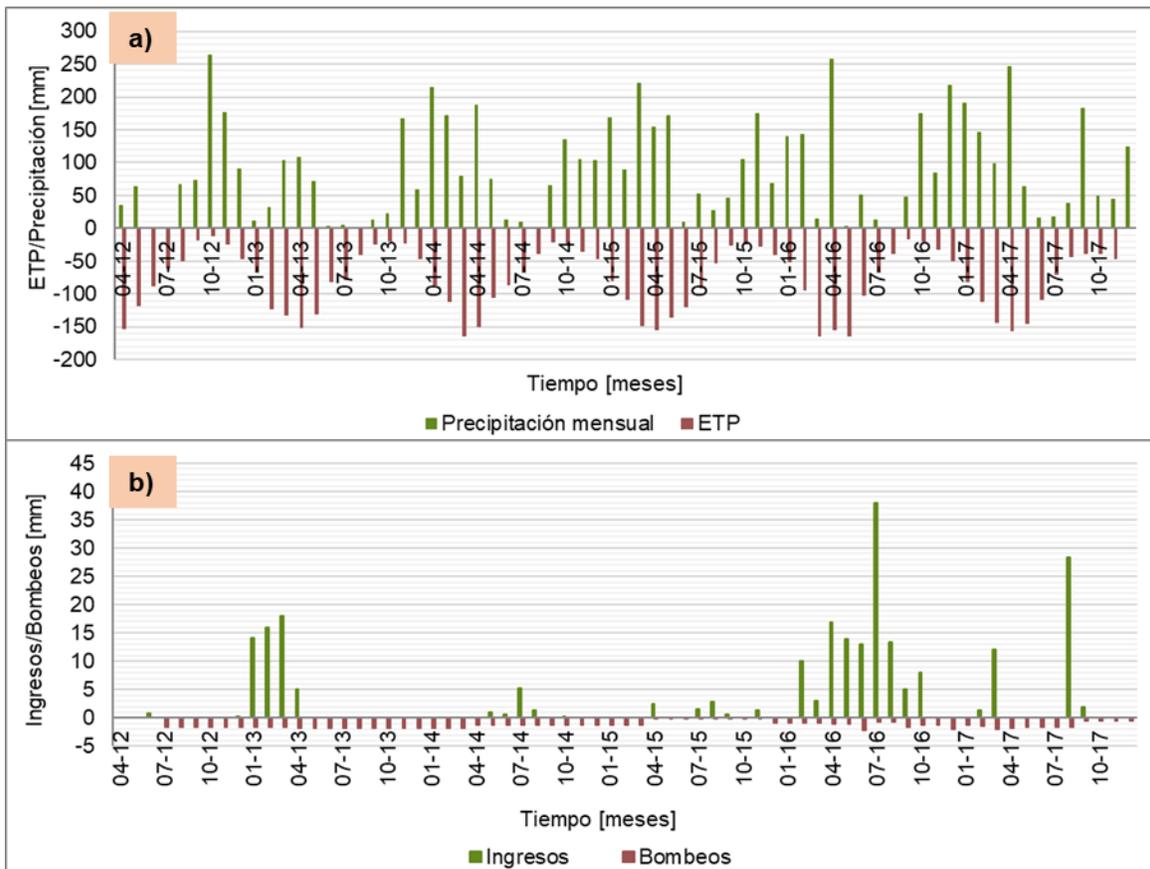


Figura 5. a) Comparación en mm de variables naturales: precipitación y ETP; b) comparación en mm de variables antrópicas: caudales de ingreso y caudales erogados.

El análisis en conjunto de variables naturales y antrópicas dio como resultado un incremento del volumen almacenado en la laguna (ingresos: 59 %, egresos: 41 %), que se tradujo en un aumento del nivel del agua (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**).

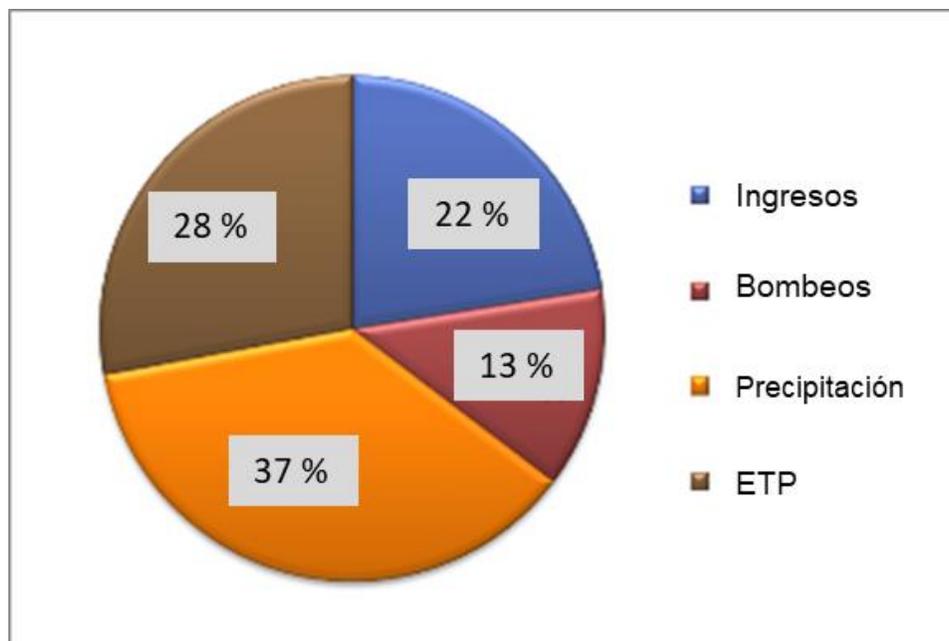


Figura 6. Porcentaje de aporte de cada variable al balance hídrico.

El modelo se calibró mediante la optimización del parámetro nivel de agua comparando los valores obtenidos del modelo con la base de datos suministrada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (2017) y Villauría (2003).

Resultados y discusión

Modelo digital de elevación

Los resultados del MDE de la laguna La Picasa comprendieron dos etapas. Primero se definió el MDE con base en las tareas de campañas para cotas inferiores a 98.5 msnm, la batimetría existente del INA, relevada en marzo de 2007 para cotas superiores a 98.5 msnm e imágenes satelitales. Luego se definió un MDE considerando sólo la batimetría desarrollada por INA en el mes de marzo de 2007 para cotas inferiores de 98.5 msnm. Al encontrarse solapamientos entre ambos MDE, se corrigió mediante una resta algebraica entre los valores de pixeles de la siguiente manera:

$$MDE_{resta} = MDE_{INA} - MDE_{UNC} \quad (4)$$

Siendo MDE_{resta} el resultado de las restas entre los MDE obtenidos a través de la interpolación lineal de los puntos relevados por el INA

(*MDEINA*) y los relevados por el equipo de la Universidad Nacional de Córdoba (*MDEUNC*).

Las diferencias obtenidas se tomaron de la zona más profunda de la laguna para cotas inferiores a los 98.5 msnm, donde a su vez se han llevado adelante las tareas de campaña. En la Tabla 2 se observa que los valores medios de las diferencias son de 30 cm, con un desvío de 55 cm; valores que resultan aceptables, considerando que se obtuvo una profundidad máxima en la laguna de 6.65 m y una profundidad media de 1.48 m.

Tabla 2. Valores estadísticos de las diferencias.

Valores (m)	
Mínimo	-1.05
Máximo	2.03
Media	0.30
Desvío	0.55

Finalmente, mediante el método de Kriging (Williams, 1998) se interpolaron los puntos conseguidos en las tareas de campañas, y los puntos batimétricos levantados por el INA en marzo de 2007. En la Figura 7 se muestran las curvas de niveles obtenidas en la zona de detalle

llevadas a cabo mediante tareas de campaña, y el modelo digital de elevación que representa a la laguna La Picasa.

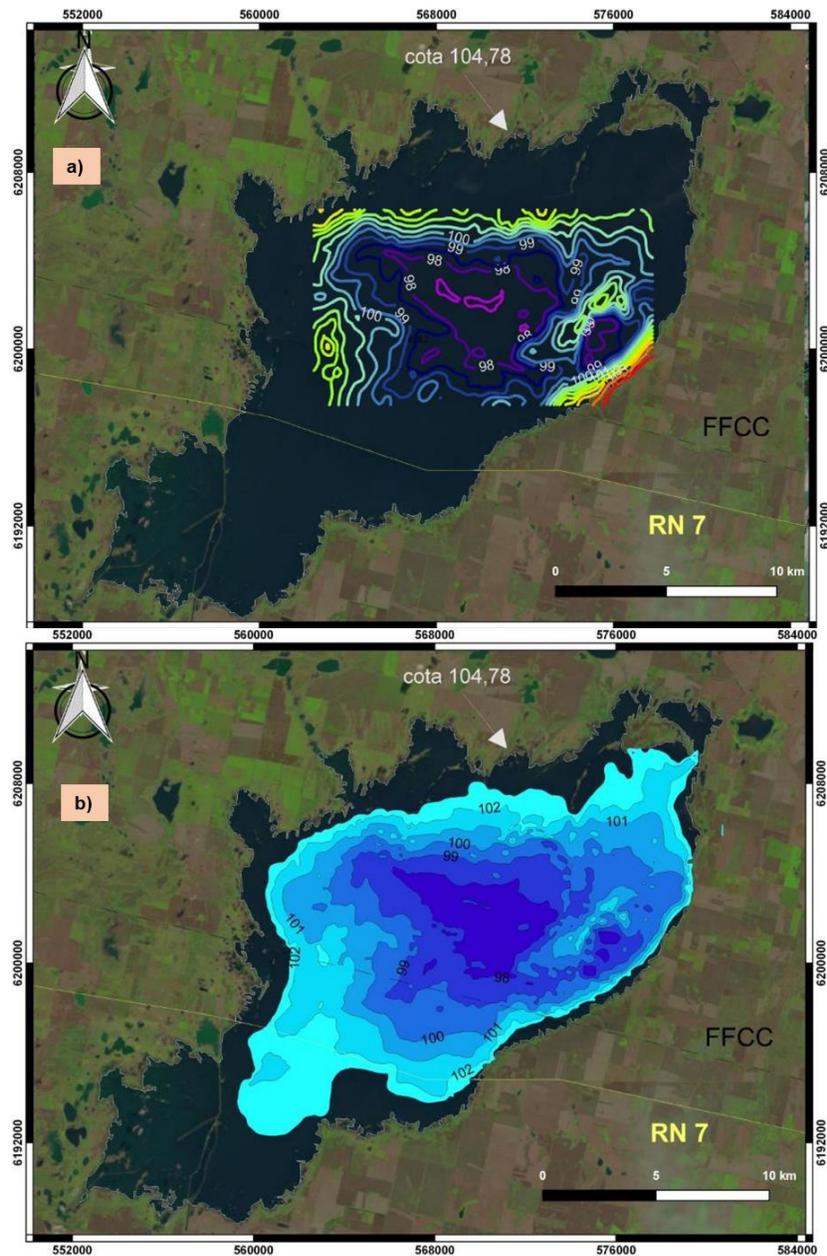


Figura 7. a) Curvas de nivel de la zona relevada en las campañas; b) MDE de la laguna La Picasa.

Curvas cota-área-volumen

Las curvas cota (H)-área (A)-volumen (V) se definieron con base en los resultados de la topobatimetría. Estas curvas describen la capacidad de recepción de la laguna ante eventuales escenarios de aportes que pudieran suceder. Las curvas H-A-V y sus respectivas líneas de tendencia se observan en la Tabla 3 y Figura 8.

Tabla 3. Curva H-A-V para laguna La Picasa.

H (m)	A (km ²)	V (hm ³)
97.50	0.60	0.04
98.00	14.78	5.09
98.50	28.21	17.28
99.00	46.01	38.24
99.50	61.24	67.04
100.00	80.11	108.16

H (m)	A (km ²)	V (hm ³)
100.50	98.99	155.70
101.00	119.34	212.95
101.50	135.47	277.84
102.00	156.38	352.30
102.50	183.39	439.73
103.00	203.23	539.78
103.50	217.29	646.25
104.00	244.91	764.44
104.50	278.52	897.52
104.78	299.73	978.18

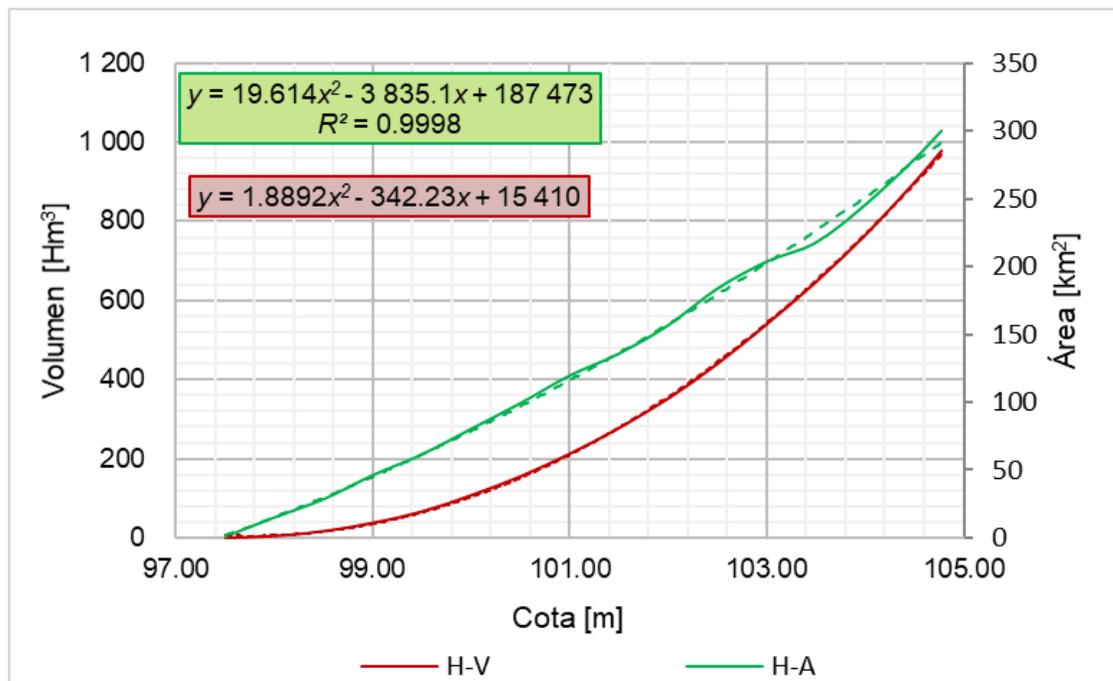


Figura 8. Curva H-A-V para la laguna La Picasa.

Modelo de balance hídrico 0D

Los resultados del balance hídrico para los niveles de agua se observan en la Figura 9, donde se comparan los niveles obtenidos del modelo de balance 0D con los niveles medidos en la laguna. Se observa una subestimación en los niveles obtenidos del modelo con diferencia máxima

de 1.15 m ocurrida en el mes de agosto de 2017. Además, se aprecia un importante incremento en su nivel a partir de julio de 2015, que se encuentra relacionado con un incremento en los escurrimientos superficiales y precipitaciones. También se observan los resultados del balance hídrico para los volúmenes almacenados en la laguna, donde se compararon los volúmenes obtenidos con base en las curvas H-V y volúmenes obtenidos del modelo de balance 0D.

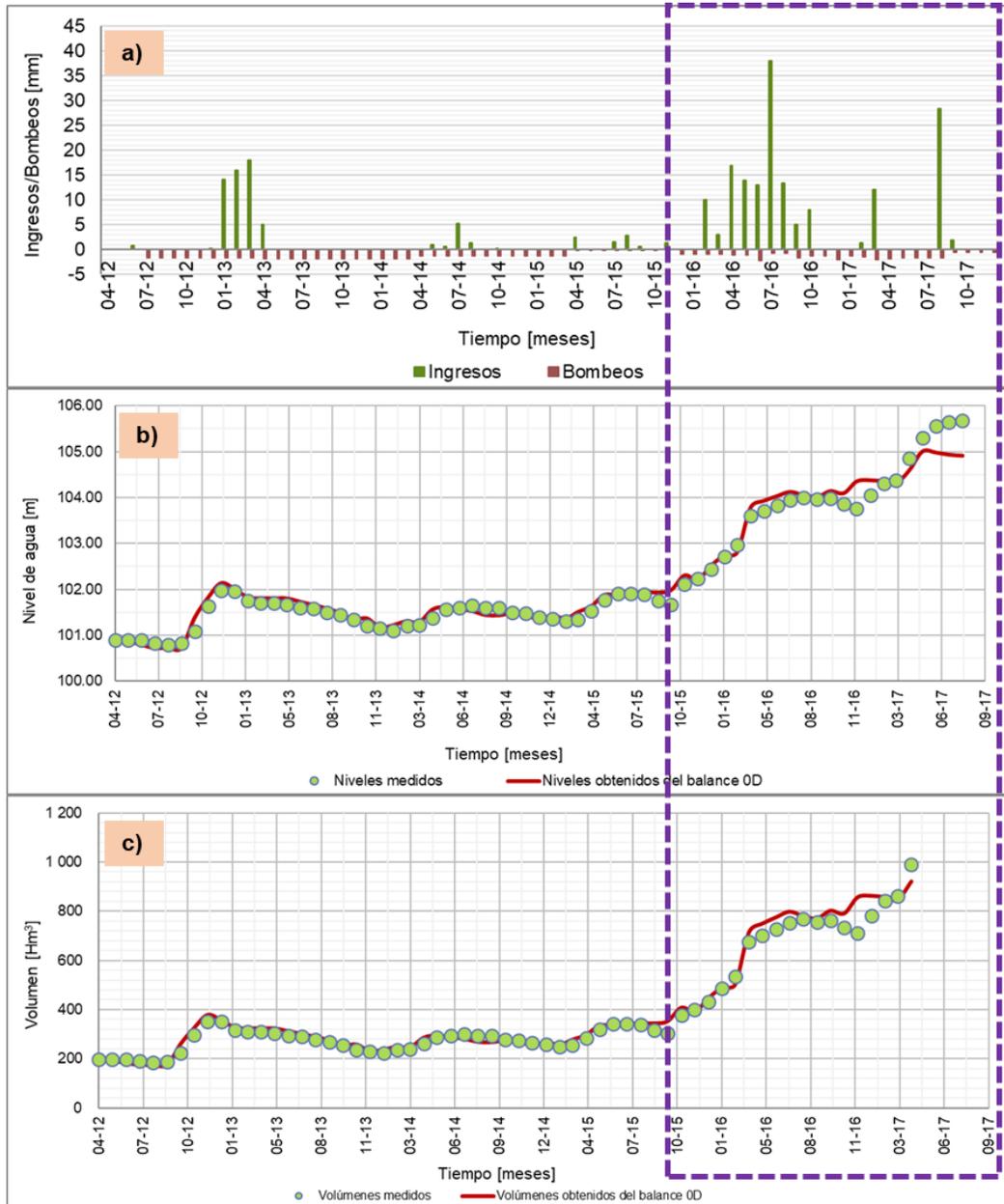


Figura 9. a) Caudales de ingreso y de bombeo medidos sobre la laguna La Picasa; b) comparación entre niveles medidos y estimados para los

distintos escenarios de bombeo – laguna La Picasa; c) comparación entre volúmenes medidos y estimados para los distintos escenarios de bombeo – laguna La Picasa.

El coeficiente de ajuste calculado contempla las incertidumbres de los datos recopilados de aforo (tanto caudales de ingreso como caudales de bombeo), obteniéndose un valor igual a 1.024. La aplicación de este coeficiente permite mostrar un modelo de balance 0D representativo de la situación en la que se encontró la laguna durante el periodo 2012-2017. Además, permite luego poder aplicarlo y validarlo frente a otras situaciones hidrológicas que se presenten.

Conclusiones

Los resultados del balance hídrico 0D se consideran válidos debido a que se observó una diferencia máxima entre niveles medidos y estimados de 1.15 m, que corresponde a un error inferior al 1 %, siendo el nivel medido igual a 105.68 m y el nivel estimado igual a 104.53 m. Por lo tanto, se considera al modelo representativo del periodo de análisis 2012-2017, pues considera al mismo tiempo la aplicación de un coeficiente de ajuste

que tiene en cuenta las incertidumbres generadas en los caudales de aforo.

Sin embargo, es necesario analizar cada uno de los componentes, distinguiendo aquellos que tienen un peso de incidencia más importante o con mayor incertidumbre, como los caudales de entrada y salida. Las variables atmosféricas lograron el equilibrio natural; mientras que los caudales que ingresan juegan un rol determinante en los cambios de nivel de la laguna, que tratan de ser regulados mediante las maniobras de bombeo.

El modelo de balance hídrico aplicado en el cuerpo de la laguna conforma una herramienta útil para la predicción y prospectiva de situaciones hidrológicas que puedan evolucionar en torno a ambientes lagunares, a partir de una visión 0D local. La modelación se efectuó con poca cantidad de datos hidrométricos de aforos y niveles de agua en el sistema, concibiendo inicialmente un balance mensual con resultados con un grado de certeza aceptable para el periodo planteado.

Para lograr resultados más precisos es necesario contar con estaciones emplazadas en el sistema de la laguna, a fin de obtener variables atmosféricas representativas, sobre todo de evaporación; además de tener aforos de caudales continuos en canales, pues el principal problema que surge es la incertidumbre en los caudales tanto de ingreso como de egreso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al APRHI y la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba por la financiación de los proyectos correspondientes, y a la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Santa Fe por la colaboración durante los trabajos de campo.

Referencias

- Aparicio-Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, DF, México: Editorial Limusa, S.A.
- Curletto, L. M. (2014). *Análisis de los datos hidrometeorológicos aplicados al balance hidrológico de los bañados del río Dulce y la laguna Mar Chiquita* (práctica supervisada de Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba, Argentina.
- INA, Instituto Nacional del Agua. (2018). *Plan director para la gestión integrada y sustentable de los recursos hídricos de la Cuenca "Laguna La Picasa". Informe final preliminar*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional del Agua.
- Iriondo, M. (2010). *Geología del Cuaternario en Argentina*. Corrientes, Argentina: Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino-Ediciones Moglia.

- Plencovich, G., Hillman, G., Pagot, M., Pozzi, C., Rodríguez, A., & Caamaño, G. (mayo, 2005). *Actualización del Modelado del Sistema Laguna de Mar Chiquita-Bañados del Río Dulce*. Córdoba. Argentina. XX Congreso Nacional de Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur llevado a cabo en Mendoza. Argentina.
- Rodríguez, A., Pagot, M. R., Hillman, G. D., Pozzi, C. E., Plencovich, G. E., Nelli Camaño, G., & Bucher, E. H. (2006). Modelo de simulación hidrológica. En: Bucher, E. H. (ed.). *Bañados del Río Dulce y laguna de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina)*. Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias.
- Rubí-Bianchi, A., & Cravero-Silvia, A. C. (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro regional Salta Jujuy, estación experimental agropecuaria Salta, programa nacional ecorregiones, proyectos INTA PNECO 1301, Salta, Argentina.
- Sokolov, A. A., & Chapman, T. G. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico*. Instituto de Hidrología de España, UNESCO, Madrid, España.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos. (2017). *Monitoreo de caudales. Obras internas Cuenca Laguna La Picasa*. Córdoba, Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos.
- Universidad Nacional del Litoral. (1999). *Informe final. Estudio de diagnóstico área de aportes a la laguna La Picasa (provincia de Santa*

Fe). Santa Fe, Argentina: Convenio Dirección Provincial de Obras Hidráulicas-Universidad Nacional del Litoral.

Villauría, G. (2003). *Monitoreo sistemático de las cuencas laguna La Picasa, el Chañar, mar Chiquita y arroyo Del Medio. Aforos campaña 08/07/2003 al 11/07/2003*. Santa Fe, Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos,

Williams, C. K. I. (1998). *Prediction with Gaussian Processes: From linear regression to linear prediction and beyond*. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.84.1226&rep=rep1&type=pdf>

