

DOI: 10.24850/j-tyca-13-05-01

Artículos

## **Efectos de los embalses artificiales sobre la evapotranspiración y la avifauna**

### **Effects of artificial reservoirs on evapotranspiration and bird's fauna**

Daniela Girolimetto<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7608-3143>

Pablo Perepelizin<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7866-6601>

Elisabet Walker<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4287-4828>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Turismo y Urbanismo, Villa de Merlo, San Luis, Argentina, [girolimettod@gmail.com](mailto:girolimettod@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Turismo y Urbanismo, Villa de Merlo, San Luis, Argentina, [pvpere@hotmail.com](mailto:pvpere@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Santa Fe Capital, Santa Fe, Argentina / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, [walkerelisabet@yahoo.com.ar](mailto:walkerelisabet@yahoo.com.ar)



Autora para correspondencia: Daniela Girolimetto,  
girolimettod@gmail.com

## Resumen

San Luis es una provincia Argentina cuyo clima semiárido propició la construcción de embalses en todo su territorio, generando preocupación por los efectos ambientales e hidrológicos a escala local y regional que pudieran provocar. En este sentido, la evapotranspiración (ET) —principal salida de agua de cualquier ecosistema— constituye una parte importante del problema del balance hidrológico. A su vez, las comunidades de aves responden a la presencia de nuevos espejos de agua, donde la humedad representa una de las variables más relevantes y determinantes en la composición de la vegetación y disponibilidad de alimento. Es por ello que en este trabajo se relacionó la ET como un subrogante de la humedad, con la riqueza y abundancia de aves. Así, a partir de datos remotamente censados de ET, se determinó la dinámica espacio-temporal de dicha variable antes y después de la construcción de los embalses, obteniéndose umbrales espaciales de impacto sobre la misma. Además, se estudió la composición y abundancia de aves asociadas con los espejos de agua, y se correlacionó dicha información con la dinámica de la ET y la vegetación. Los resultados indican un incremento en los valores medios de ET hasta los 500 m de la margen de los embalses. Nuevos espejos de agua y mayores valores de ET, junto con hábitats heterogéneos con disturbios moderados, se corresponden con altos valores de diversidad de

aves. Los embalses con fines turísticos se relacionan con nuevas urbanizaciones y aves generalistas.

**Palabras clave:** embalses artificiales, sensores remotos, evapotranspiración, avifauna, vegetación.

### Abstract

San Luis is an Argentine province whose semi-arid climate led to the construction of artificial water bodies throughout its territory, generating concern about the environmental and hydrological effects, on a local and regional scale, that these reservoirs could cause. In this sense, evapotranspiration (ET), the main water loss in any ecosystem, represents an important part of the water balance. Likewise, bird communities respond to the presence of new water mirrors, where the humidity represents one of the most relevant variables determining the vegetation composition and food availability. For this reason, ET was related to bird richness and abundance in this study, using ET as a surrogate of humidity. Thus, based on remotely sensed ET data, the time-space dynamics of the ET were determined before and after the construction of the reservoirs, obtaining space thresholds of their impact. In addition, the bird's composition, and abundance were related to water mirrors here and correlated with the ET and vegetation dynamics. Results indicate an increase in the ET means values up to 500 m from the reservoir's banks. New water mirrors, higher ET values, and

heterogeneous habitats with moderate disturbance correlate to high bird diversity. Reservoirs used for touristic purposes are related to new urbanizations and generalist birds.

**Keywords:** Artificial reservoirs, remote sensing, evapotranspiration, bird's fauna, vegetation.

Recibido: 27/12/2020

Aceptado: 02/07/2021

## Introducción

Los embalses artificiales son construidos con diferentes fines, como la generación de energía eléctrica, provisión de agua potable y de riego, regulación de crecidas, y también como atractivo turístico. A su vez, los embalses se consideran la principal herramienta en el control y manejo del recurso hídrico, cumpliendo un rol fundamental en zonas áridas o semiáridas, donde actúan como un paliativo ante la falta de agua para consumo humano. Sin embargo, la literatura científica y los debates

internacionales ponen en constante cuestionamiento la efectividad de los embalses en el manejo sostenible del agua y la pertinente construcción de nuevos proyectos de infraestructura hidráulica (Insuasty-Rodriguez, 2016; Stanley & Doyle, 2003).

A su vez, existe preocupación por los efectos ambientales de importancia local y regional que los embalses artificiales provocan al generarse nuevos ecosistemas y modificarse otros (Chani & Echevarría, 2000). Específicamente, cuando se construye un cuerpo de agua artificial en un lugar donde antes no existía, las variables del ciclo hidrológico y el balance hídrico cambian, produciéndose modificaciones en la climatología local en primera instancia y regional con posterioridad (Vörösmarty & Sahagian, 2000). Esta problemática adquiere mayor importancia en zonas áridas y semiáridas, donde la ET se ve incrementada cuando se suman embalses artificiales que propician la evaporación, convirtiéndose en la componente con mayor impacto en el ciclo hidrológico (Vásquez-Méndez, Ventura-Ramos, & Acosta-Gallegos, 2011).

A pesar de su importancia, la medición de la ET no es tarea sencilla debido a la cantidad de variables involucradas en su estimación que, en general, no están disponibles o son escasas (Vásquez-Méndez *et al.*, 2011). No obstante, la tecnología satelital permite cuantificar el flujo de energía radiante que proviene de las diferentes superficies, proporcionando información que permite caracterizar las funciones y propiedades de los diferentes ecosistemas en general (Girolimetto & Venturini, 2014). Así, los sensores remotos ofrecen información sobre las

condiciones de la superficie de la tierra a escalas espaciales y temporales impensadas para redes de monitoreo locales, favoreciendo la celeridad en la obtención de las variables estudiadas (Buendía-Rodríguez, Terrazas-Domínguez, & Vargas-Pérez, 2002). De esta manera, la comunidad científica ha desarrollado diversas metodologías que permiten estimar las variaciones espacio-temporales de la ET a partir de datos remotamente censados (Barraza, Restrepo-Coupe, Huete, Grings, & Van Gorsel, 2015; Girolimetto & Venturini, 2014; Jiang & Islam, 2001; Knipper, Hogue, Scott, & Franz, 2017; Norman *et al.*, 2003; Venturini, Islam, & Rodríguez, 2008; Walker, García, Venturini, & Carrasco, 2019).

Los embalses representan nuevos hábitats que generan modificaciones en las comunidades vegetales: algunas desaparecen (bosques y arbustales) y otras prosperan (acuáticas y palustres) como consecuencia del área inundada. Por otra parte, las aves son capaces de aprovechar dichos espacios dinámicos por su capacidad de desplazamiento. Referente a esto, algunos grupos de aves se beneficiarán con la presencia de nuevos ambientes y recursos, y otros se verán perjudicados. Esto permite hacer un seguimiento de los cambios ambientales mediante la observación de las aves como bioindicador (Chace & Walsh, 2006; Cid & Caviedes-Vidal, 2005; Filloy & Bellocq, 2007; Perepelizin, Melidone, Generoso, & Gonzalez-Fabiano, 2019). Por otro lado, el uso de variables cuantificadas mediante metodologías simples y de rápida aplicación provenientes de la tecnología satelital facilitaría la comprensión de dinámicas más complejas ligadas con los

cambios en el uso de la tierra y sus comunidades, cuyo estudio requiere un gran esfuerzo de muestreo.

Los estudios sobre embalses artificiales en regiones semiáridas y sus efectos en el ciclo hidrológico y las comunidades de aves son escasos. Por ello, la cuantificación y el análisis de la ET asociada con la construcción de cuerpos de agua artificiales y los efectos sobre la vegetación y las comunidades de aves brindarían información de base para la conservación, planificación y manejo de los recursos hídricos a zonas con escasa disponibilidad de datos para la toma de decisiones.

## Materiales y métodos

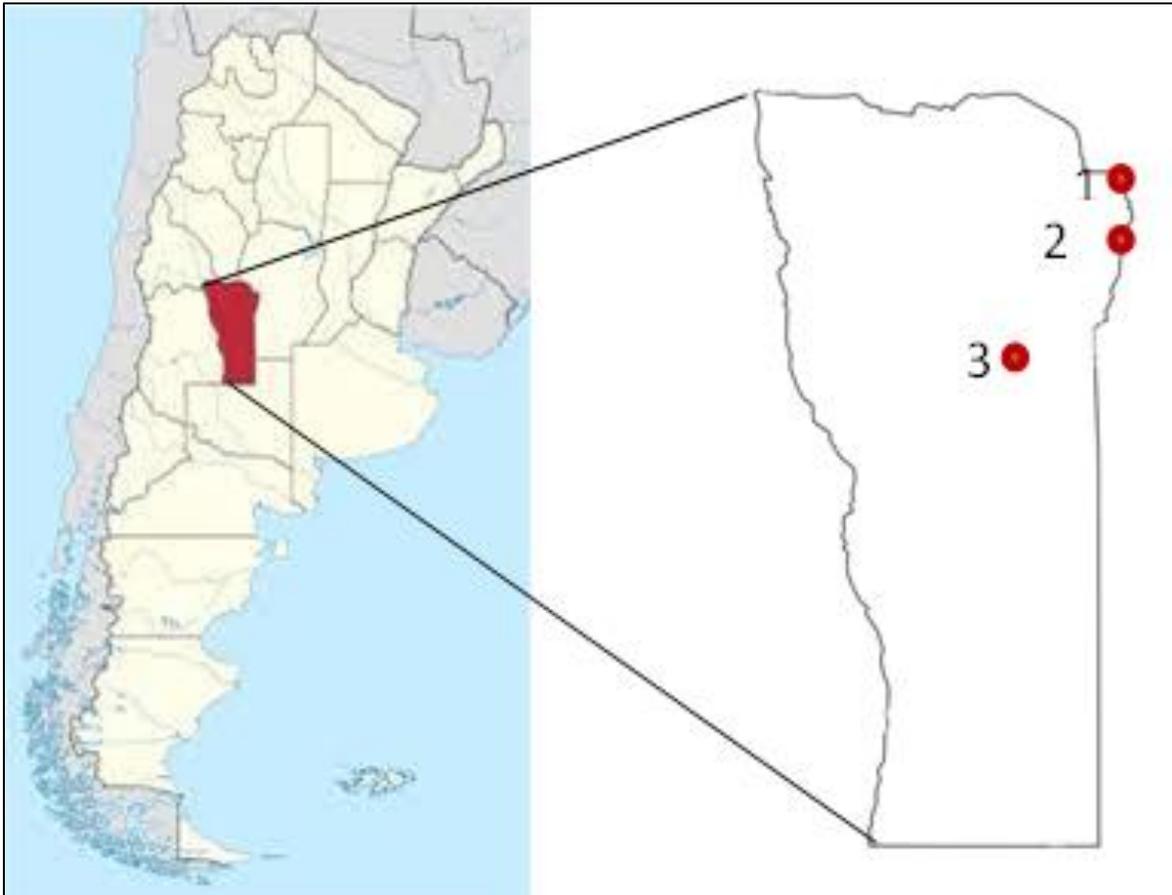
El Chaco Seco es una de las ecorregiones argentinas más extensas, ubicada al norte del país y compartida con países vecinos. Consiste en una vasta planicie con suave pendiente hacia el este, y cuya vegetación característica es bosques xerófilos con zonas de sabanas y pastizales. Al sur de la ecorregión, la presencia de serranías determina la conformación de bosques serranos, rasgo característico de la subregión denominada Chaco Serrano.

La provincia de San Luis, Argentina, pertenece a la subregión antes mencionada y presenta una gran variedad de comunidades vegetales: bosques de algarrobo, chañar y quebracho blanco; arbustales de tala y espinillo; zonas de pasturas, y riberas de vegetación palustre, entre otros. Cuenta con una política hídrica basada en la construcción de reservas de agua artificiales que garantizan la provisión de agua a sus habitantes. Los embalses, distribuidos en toda la provincia, hoy suman un total de 20 (<http://slagua.sanluis.gov.ar/>).

Como una primera etapa del estudio, se analizaron los embalses Boca de Río, Piscu Yaco y Saladillo, ubicados en el noreste de la provincia de San Luis (Figura 1), en una zona geográfica dominada por sierras y valles. La Tabla 1 muestra el año de llenado, volumen, superficie y ubicación (latitud y longitud) de los tres embalses mencionados.

**Tabla 1.** Año de llenado, volumen, superficie, latitud y longitud de los embalses Boca de Río, Piscu Yaco y Saladillo (elaboración propia).

Embalse	Año de llenado	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Superficie (Ha)	Latitud	Longitud
Boca de Río	2012	15.24	120	32° 57' 09" S	65° 08' 28" O
Piscu Yaco	2010	1	17	32° 32' 55" S	64° 55' 52" O
Saladillo	2011	45	296	33° 09' 49" S	65° 56' 21" O



**Figura 1.** Ubicación de los embalses: 1: Boca de Río; 2: Piscu Yaco y 3: Saladillo (círculos rojos). Provincia de San Luis, Argentina (elaboración propia).

## Método de Jiang e Islam (2001)



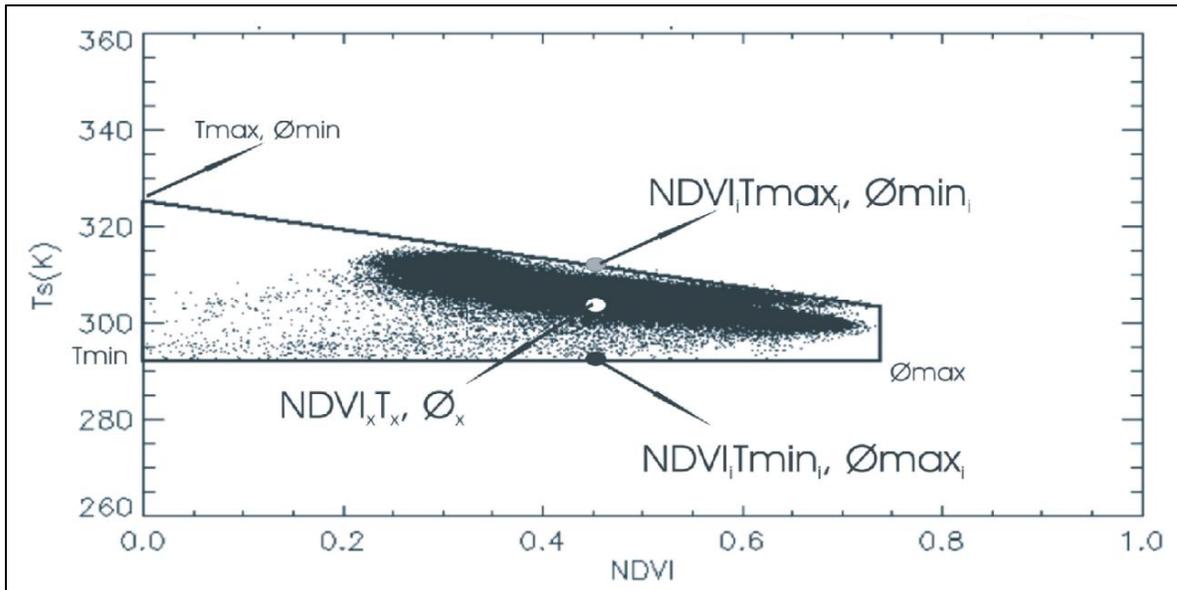
Con el fin de estimar la ET en los embalses mencionados se utiliza el método propuesto por Jiang e Islam (2001). Se seleccionaron imágenes satelitales de las misiones Landsat 5 y Landsat 8 distribuidas en el periodo 2004-2018, considerando al menos tres fechas anteriores y tres posteriores a la que corresponde con el momento de llenado de cada uno de los embalses.

La metodología publicada por Jiang e Islam (2001) se caracteriza por ser simple y de rápida aplicación, favoreciendo la celeridad en la obtención de la ET. Permite estimar la ET real a partir de un gráfico contextual que relaciona el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), la temperatura de la superficie ( $T_s$ ), y la ecuación de Priestley y Taylor (1972), derivando la siguiente ecuación para aproximar la ET:

$$ET = \phi \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] (R_n - G) \quad (1)$$

donde  $\phi$  es el parámetro de Jiang e Islam;  $\Delta$ , la pendiente de la curva presión de vapor de saturación;  $\gamma$ , la constante psicrométrica;  $R_n$ , la radiación neta a nivel de la superficie, y  $G$  es el flujo de calor del suelo.

Para obtener el valor de  $\phi$  los autores utilizaron el espacio generado por la relación NDVI- $T_s$  (Figura 2).



**Figura 2.** Ejemplo de espacio contextual NDVI- $T_s$  (elaboración propia).

Así, los autores definieron dos bordes: el borde superior o borde cálido asociado con altos valores de  $T_s$ , bajos valores de  $\phi$  y mínima ET; y el borde inferior o borde frío vinculado con bajas temperaturas, máximos valores de  $\phi$  y máxima ET. De esta forma, el valor de  $\phi$  varía dentro del espacio NDVI- $T_s$  de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\phi_i = 1.26 \frac{T_{max} - T_i}{T_{max} - T_{min}} \quad (2)$$

donde  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  son las temperaturas máximas y mínimas respectivamente, para una clase dada de vegetación, y  $T_i$  es la  $T_s$  de un píxel dado.

Esta metodología permite el uso de la temperatura de banda ( $T_b$ ) en reemplazo de la  $T_s$  cuando las condiciones atmosféricas de una región se consideran estables (Bayala, 2011). La  $T_b$  puede ser determinada a través de la ecuación inversa a la ley de Planck (Bayala, 2011):

$$T_b = \frac{C_2}{\lambda \ln \left[ \frac{\varepsilon C_1}{\pi \lambda^5 R} + 1 \right]} \quad (3)$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la banda térmica;  $R$ , la radiancia espectral;  $\varepsilon$ , la emisividad espectral del cuerpo a una determinada longitud de onda;  $\pi$ , la constante matemática equivalente a 3.14159; la constante universal  $C_1$  es igual a  $1.19108 \times 10^8 \text{ W } \mu\text{m}^4 \text{ m}^2 \text{ sr}^{-1}$ , y  $C_2$  es igual a  $1.43877 \times 10^4 \text{ } \mu\text{mK}$  (Prata, Caselles, Coll, Sobrino, & Ottlé, 1995).

A su vez, bajo igualdad de condiciones atmosféricas, la Ecuación (1) se convierte en:

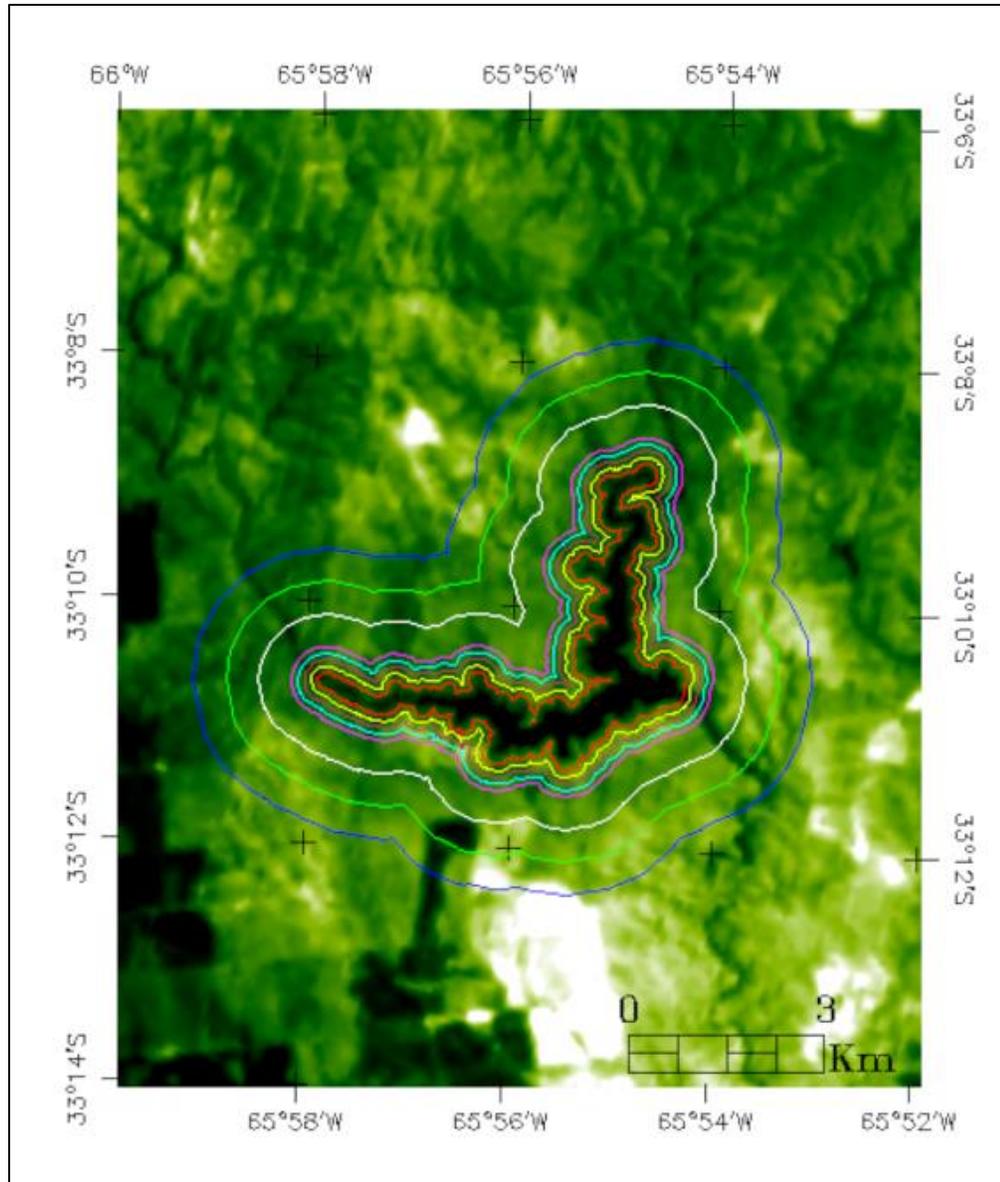
$$ET = \phi_i \text{ Constante} \quad (4)$$

Por lo que  $\emptyset$  puede considerarse como un subrogante de ET (Girolimetto, 2008).

De esta forma, bajo el supuesto de que en la zona en estudio las condiciones atmosféricas no varían, en este trabajo la metodología de Jiang e Islam se aplicó usando  $T_b$  y considerando que  $\emptyset$  es un subrogante de ET.

## Diseño muestral para el análisis de la ET

El diseño muestral consistió en el trazado de anillos (*buffers*) alrededor de cada embalse a distancias de 100, 200, 300, 400, 500, 1 000, 1 500 y 2 000 m del borde de los mismos, y enmascarando el espejo de agua (Figura 3).



**Figura 3.** Embalse Saladillo y *buffers*. Imagen Landsat 8. Fecha de adquisición: 28/01/2017 (elaboración propia).

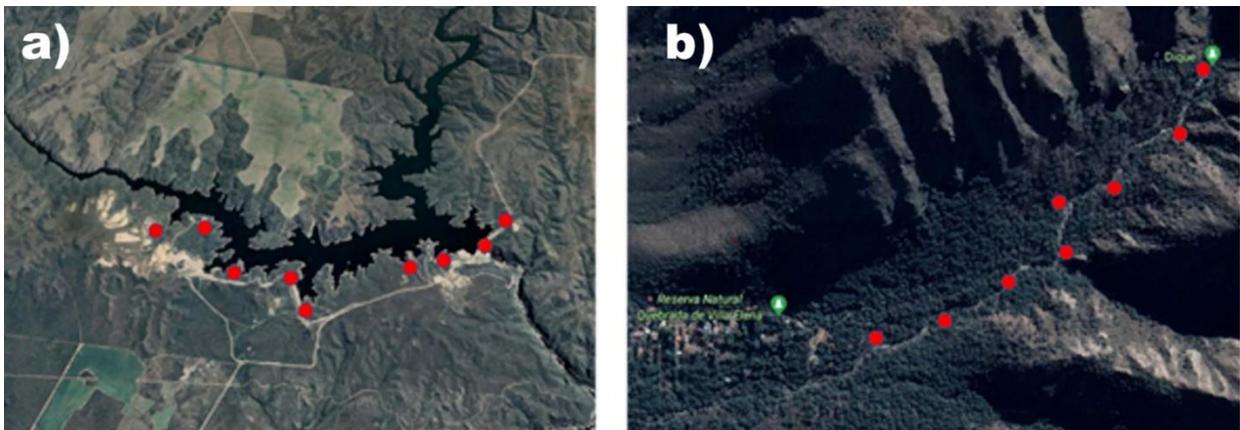
Luego, en cada anillo, se extrajeron 10 parcelas aleatorias de 10 píxeles cada una y se obtuvieron los valores medios de  $\emptyset$  en cada parcela. Esto se repitió para cada embalse y para cada año analizado, anterior y posterior a la construcción de los cuerpos de agua. Posteriormente, los valores de  $\emptyset$  medios se sometieron a la prueba estadística T para muestras apareadas, con el fin de determinar si la construcción de los embalses constituía un factor de cambio sobre  $\emptyset$  a escala local y, en ese caso, evaluar el umbral espacial de dicho cambio.

Finalmente, con el fin de determinar variaciones regionales, se contrastaron los valores medios de  $\emptyset$  entre embalses antes y después de su creación mediante el test estadístico ANOVA con prueba de Tukey.

## Diseño muestral aplicado al estudio de las aves

Las aves ligadas con los embalses estudiados se muestrearon mediante 42 puntos de conteo de 50 m de radio por cinco minutos (30 en embalses y 12 en arroyos naturales) durante la primavera y el verano de 2019 a 2020 al amanecer o atardecer, coincidiendo con la máxima actividad reproductiva y de emisión de cantos. En cada censo se registró la totalidad de especies vistas y escuchadas, manteniendo un mínimo de 150 m entre

puntos para evitar repeticiones y tratando de abarcar la mayor cantidad de ambientes presentes. Se consideraron tanto las especies del espejo de agua como de su periferia. Para contrastar las comunidades de aves ligadas con los embalses se utilizaron como control zonas de arroyos naturales de características similares previas a la construcción de los embalses en la zona de Achiras (33° 08' 44 S; 65° 04' 59 W) y Villa Elena (32° 30' 27 S; 64° 57' 55 W) (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema de muestreo de las comunidades de aves por puntos de conteo de 50 m de radio (círculos rojos): (a) en las proximidades del embalse, ejemplo Saladillo, y (b) en arroyos naturales, ejemplo Villa Elena (elaboración propia con base en *Google Earth Pro*).

Posteriormente, las aves se clasificaron por grupos ecológicos —según el hábitat principal aprovechado— en aves de bosque, humedal, generalistas (aquellas que se encuentran en una gran variedad de

ambientes) y de pastizal (Bibby, Jones, & Mardsen, 1998; Perepelizin *et al.*, 2019). Para reconocer variaciones en la riqueza entre los diferentes grupos ecológicos presentes en cada embalse y las variaciones de cada grupo ecológico entre diferentes embalses se utilizó la prueba de ANOVA con la comparación entre pares de Tukey, o la prueba de Kruskal Wallis cuando no se cumplieron los supuestos estadísticos.

La información de las comunidades de aves se complementó con datos de vegetación y usos del suelo considerando proporción de árboles, arbustos, hierbas, suelo desnudo, vegetación exótica, pavimento y edificaciones, así como por estimación visual de cobertura vegetal o proporción edificada en campo (Perepelizin *et al.*, 2019).

Finalmente, mediante un gráfico de análisis de componentes principales se relacionaron las variables de vegetación, usos del suelo y ET de cada embalse estudiado. Este análisis permite visualizar en una representación bidimensional posibles correlaciones entre un gran número de variables perdiendo la menor cantidad de información (varianza).

## Resultados y discusión



## Análisis espacio/temporal a escala local de ET

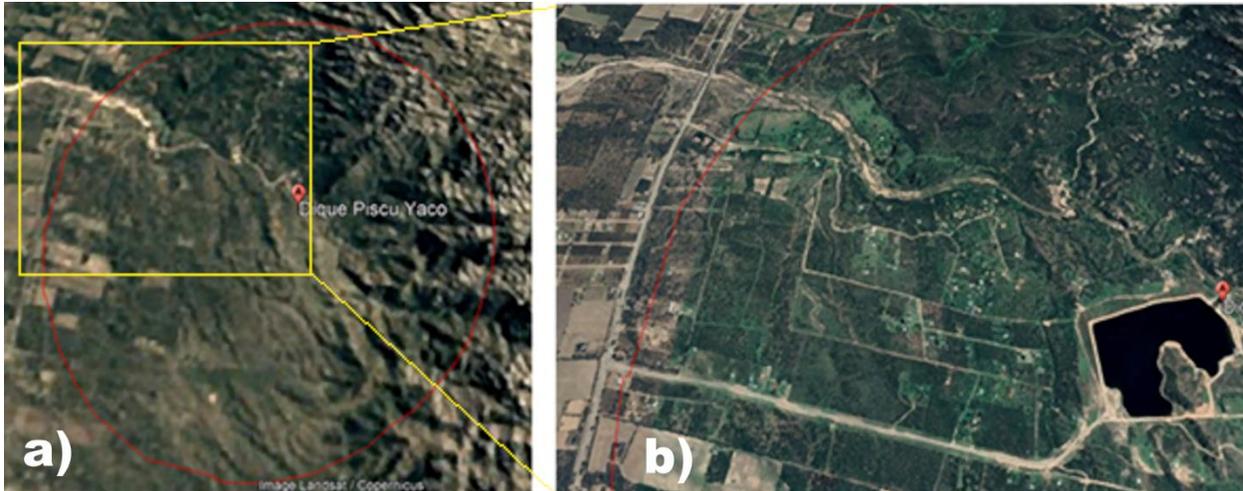
La Tabla 2 muestra los valores de  $p_{\text{valor}}$  hallados mediante la prueba estadística  $T$  para muestras apareadas aplicada a los valores medios de  $\emptyset$  antes y después de la creación de los embalses artificiales.

**Tabla 2.** Valores de  $p_{\text{valor}}$  para  $\emptyset$  medios antes y después de la creación de los embalses artificiales Boca de Río, Piscu Yaco y Saladillo (elaboración propia).

<b>Buffers (m)</b>	<b><math>p_{\text{valor}}</math> Embalse Boca de Río</b>	<b><math>p_{\text{valor}}</math> Embalse Piscu Yaco</b>	<b><math>p_{\text{valor}}</math> Embalse Saladillo</b>
100	< 0.0001	< 0.0001	0.0134
200	0.0011	< 0.0001	0.4336
300	0.0002	< 0.0001	0.0655
400	0.0007	0.0001	0.1433
500	0.0051	< 0.0001	0.1641
1000	0.1359	0.0001	0.5693
1500	0.0518	0.0003	0.0089

2000	0.6636	0.0005	0.0435
------	--------	--------	--------

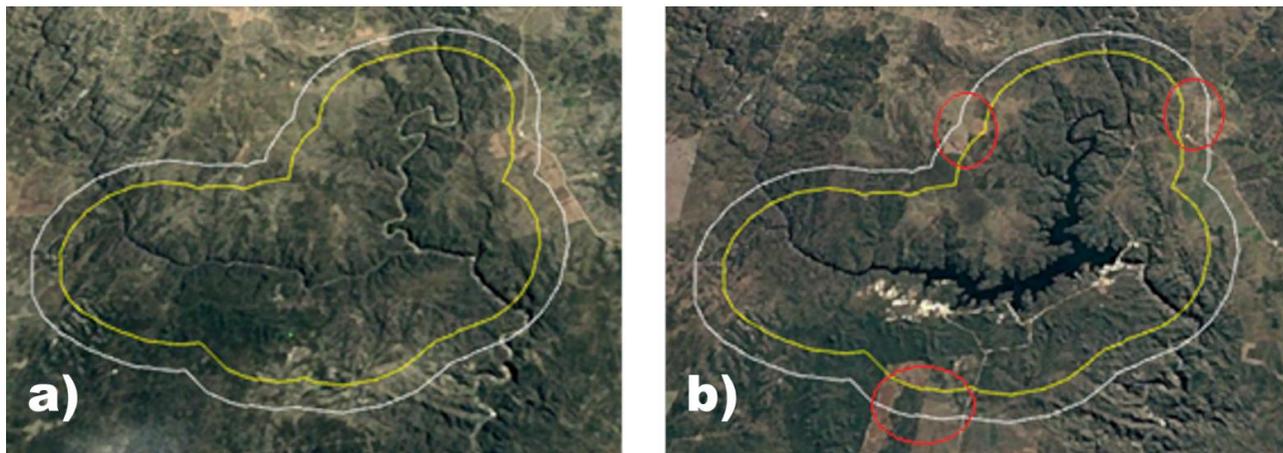
El embalse Piscu Yaco, el más pequeño en superficie y volumen (ver Tabla 1), presentó valores de  $p_{valor}$  inferiores de 0.05 (Tabla 2) a 2 000 m. Sin embargo, las variaciones en los valores medios de  $\emptyset$  arrojados por el análisis estadístico podrían deberse no a la influencia del espejo de agua sino a un cambio en el uso del suelo con fines turísticos. Este proceso se representa con una intensa urbanización, consecuencia de una marcada migración por amenidad y construcción de segundas residencias en la zona de influencia del dique luego de su creación. La Figura 5 (a, b) muestra el área correspondiente del dique Piscu Yaco para el año 2001 y el año 2018, respectivamente, donde se remarca el anillo de los 2 000 m (anillo rojo), y el área *zoom* (rectángulo amarillo). Claramente en la Figura 5 (b), en la que se ha acercado la altura del ojo de *Google Earth Pro* con el fin de lograr una mejor observación, es posible advertir los delineamientos de las urbanizaciones que en la actualidad siguen creciendo a un ritmo acelerado (Trivi, 2018).



**Figura 5.** Embalse Pisco Yaco. *Buffer* a 2 000 m y *área zoom*: (a) año 1998 y (b) año 2016 (elaboración propia con base en *Google Earth Pro*).

El embalse Saladillo, el de mayores dimensiones en superficie y volumen (296 ha, 45 hm<sup>3</sup>), y de forma más irregular, presentó diferencias significativas en los valores medios de  $\phi$  antes y después de la creación del embalse a 100 m, y entre 1 500 y 2 000 m del borde del embalse (Tabla 2). El escaso efecto espacial con la aparición del cuerpo de agua (hasta los 100 m) donde se observó un aumento en los valores medios de  $\phi$  podría deberse a una estructura topográfica del embalse con bordes abruptos y forma serpenteante; una estructura diferente a la homogénea que presenta el dique Boca de Río. En otras palabras, las formas homogéneas de la topografía podrían facilitar un umbral de impacto más amplio sobre la ET. Las diferencias significativas en los valores medios de  $\phi$  a 1 500 y 2 000 m podrían deberse a un cambio en el uso del suelo por

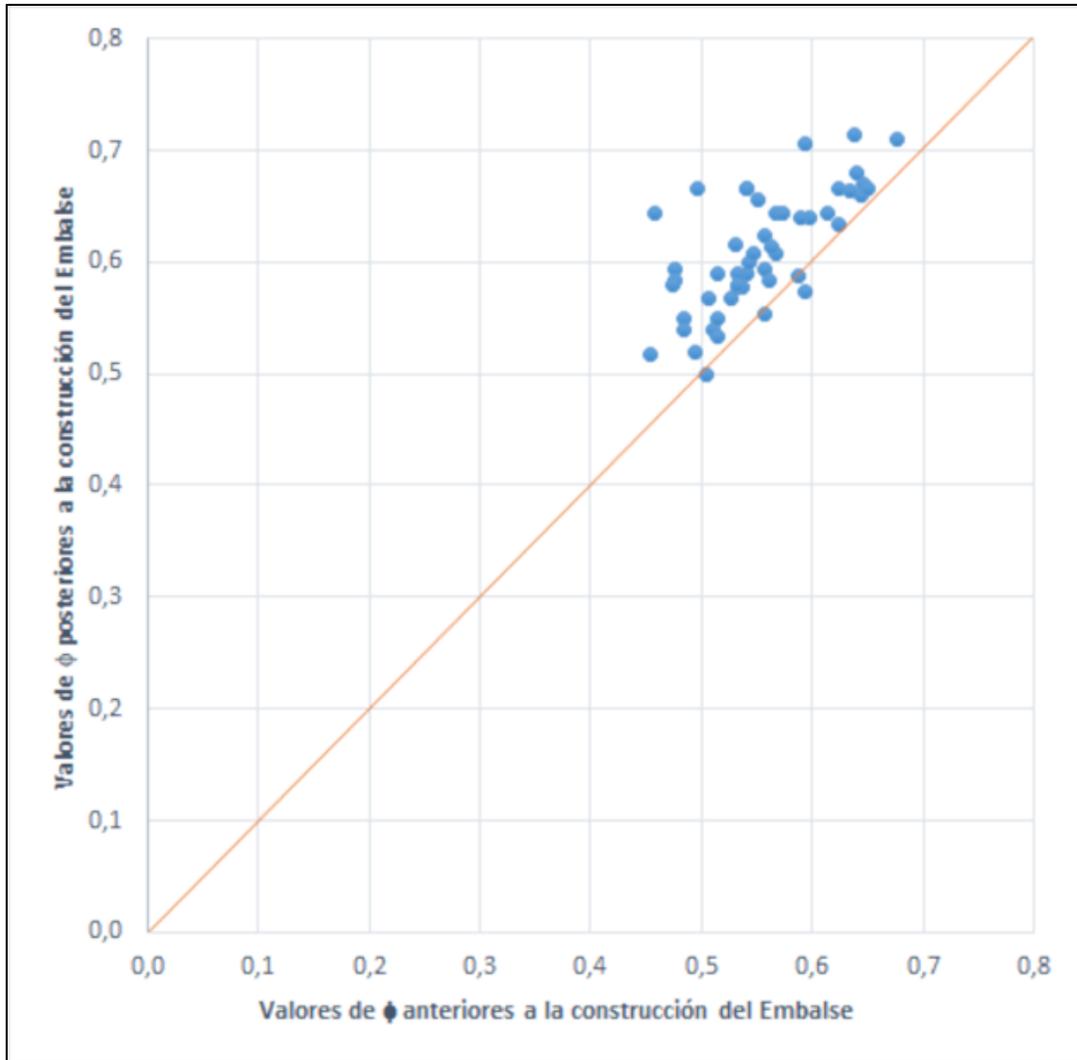
el avance de la frontera agrícola en la zona de influencia del dique, las que datan de la década de 1990 aproximadamente. Entre los 1 500 y 2 000 m se registró una disminución en los valores medios de  $\phi$ . Este hecho, asociado con procesos agrícolas, es concordante con lo encontrado por Tarcetano (2018), quien observó una disminución en los valores medios de  $\phi$ , producto de los desmontes de tierras destinadas a la agricultura en la zona del Valle del Conlara, San Luis, Argentina. En la Figura 6 (a) se observa que en el decenio de 1980 aún no se había iniciado el proceso agrícola en la zona. En la Figura 6 (b), año 2016, es posible visualizar el proceso agrícola en el anillo de 1 500 a 2 000 m, pudiéndose vislumbrar un avance hacia distancias inferiores de los 1 500 m desde la costa del embalse.



**Figura 6.** Embalse Saladillo y *buffers* a 1 500 m y 2 000 m: (a) año 1984 y (b) año 2016; se resaltan en rojo los cambios en el uso de suelo con fines agrícola (elaboración propia con base en *Google Earth Pro*).

El análisis local indicaría que la construcción de los embalses afectaría los valores medios de  $\emptyset$  hasta un umbral no mayor de los 500 m del borde del espejo de agua, dependiendo de las dimensiones del embalse, tamaño del espejo e irregularidades del perímetro. Variaciones en los valores medios de  $\emptyset$  para umbrales mayores a los 500 m estarían asociados con cambios en el uso del suelo por avance de la frontera agrícola y con los procesos de urbanización.

En cuanto a la dinámica temporal, se observa una tendencia en el aumento del valor medio de  $\emptyset$  luego de la construcción de los embalses, en coincidencia con los resultados estadísticos obtenidos y mostrados en la Tabla 2. La Figura 7 muestra, a modo de ejemplo, los valores medios de  $\emptyset$  para todos los años anteriores y posteriores a la construcción del embalse del dique Boca de Río a una distancia de 500 m, umbral hasta donde la estadística arroja diferencias significativas para el embalse tomado como ejemplo. En la mencionada Figura se aprecia que los puntos tienden a acomodarse por arriba de la línea a 45°, lo cual indica que los valores medios de  $\emptyset$  luego de la construcción del embalse son mayores que los valores medios de  $\emptyset$  antes de la construcción del mismo embalse.



**Figura 7.** Dinámica espacio-temporal del embalse Boca de Río (elaboración propia).

## Análisis espacio-temporal a escala regional de ET

En la Tabla 3 se observan los valores medios de  $\emptyset$  antes y después de la aparición de los embalses, hasta una distancia de 500 m de su costa y las diferencias significativas del test de ANOVA prueba de Tukey.

**Tabla 3.** Valores medios de  $\emptyset$  antes y después de la creación de los embalses artificiales. Las letras a, b, c determinan las diferencias significativas entre embalses (ANOVA prueba de Tukey,  $p_{\text{valor}} < 0.05$ ) (elaboración propia).

Distancia (m)	Antes del embalse			Después del embalse		
	Piscu Yaco	Boca de Río	Saladillo	Piscu Yaco	Boca de Río	Saladillo
100	0.48a	0.55b	0.72c	<b>0.59a</b>	<b>0.66b</b>	<b>0.75c</b>
200	0.49a	0.55b	0.70c	<b>0.57a</b>	<b>0.60a</b>	0.69b
300	0.50a	0.55a	0.69b	<b>0.57a</b>	<b>0.60a</b>	0.67b
400	0.50a	0.56a	0.68b	<b>0.56a</b>	<b>0.60a</b>	0.66b
500	0.50a	0.56a	0.67b	<b>0.56a</b>	<b>0.59ab</b>	0.66b

El análisis a nivel regional muestra valores medios de  $\emptyset$  significativamente diferentes para los tres embalses a los 100 m (expresados en letras en la Tabla 3 acorde con la salida del test) tanto antes como después de la construcción de los embalses. El mismo comportamiento se observa a los 200 m antes de la creación de los embalses, pero no así luego de la aparición de los mismos. Esto significaría que la aparición de los espejos de agua no solamente incrementa el valor medio de  $\emptyset$  sino que su efecto se observa a mayor distancia de su costa, dando como resultado variaciones a nivel regional, donde embalses de pequeño volumen equiparan sus valores medios de  $\emptyset$  con otros de mayores dimensiones. Resultados similares encontraron Levi, Jaramillo y Andricevie (2015), quienes trabajaron en una zona dominada por embalses de uso hidroeléctrico en la cuenca transfronteriza del río Sava en Europa sudoriental, hallando que el aumento en los valores de la ET está vinculado con los desarrollos hidroeléctricos.

## Análisis asociado con aves y vegetación

Mediante los censos de aves se identificaron 124 especies (1 588 individuos). La Tabla 4 muestra los valores medios de riqueza por grupos



ecológicos de aves (media  $\pm$  desvío estándar), donde se observan diferencias significativas entre los grupos ecológicos estudiados. En el embalse Pisco Yaco se registraron 62 especies de aves, donde más de la mitad (33 especies) fueron aves generalistas, valor cinco veces mayor que el resto de los grupos. En el dique Boca de Río se registraron 63 especies de aves con valores medios relativamente similares entre grupos; esto puede deberse a una heterogeneidad de hábitats en relativo buen estado de conservación. El embalse Saladillo, con 43 especies registradas, cuenta con mayores valores medios de riqueza de aves para los grupos de especies de humedal y generalistas; valores relacionados posiblemente con la presencia de un espejo de agua de mayor volumen y con la presencia de disturbios, en este caso, de suelo desnudo.

**Tabla 4.** Riqueza de aves por grupos ecológicos (media  $\pm$  desvío estándar). Las letras a, b, c indican diferencias significativas entre grupos, y ns: no significativo (elaboración propia).

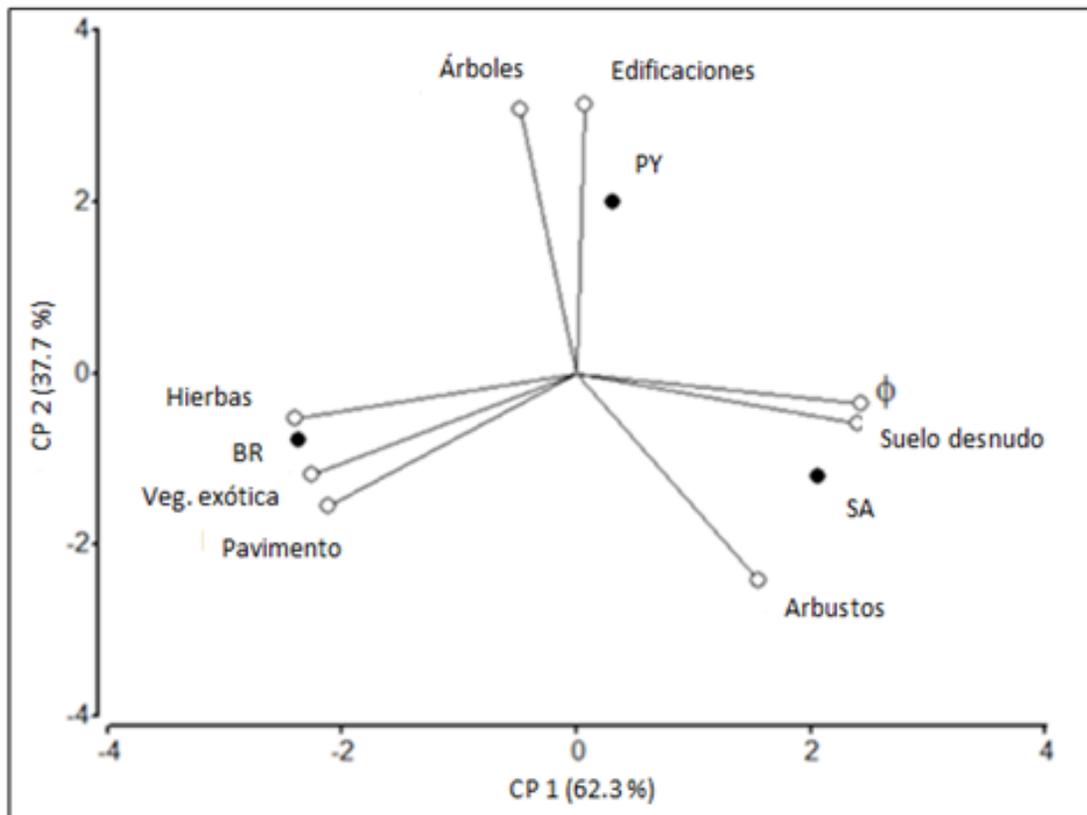
	<b>Bosque</b>	<b>Humedal</b>	<b>Generalistas</b>	<b>Pastizal</b>
<b>Pisco Yaco</b>	2.25 $\pm$ 2.18a	1.83 $\pm$ 2.12a	11.58 $\pm$ 3.20b	0.58 $\pm$ 1.00a
<b>Boca de Río</b>	1.44 $\pm$ 1.81ns	5.00 $\pm$ 5.39ns	5.89 $\pm$ 4.83ns	1.33 $\pm$ 1.00ns
<b>Saladillo</b>	1.89 $\pm$ 1.27ab	3.56 $\pm$ 2.07b	6.00 $\pm$ 1.87c	1.33 $\pm$ 1.00a

<b>Arroyos Naturales</b>	1.83 ± 2.21 <sup>a</sup>	1.58 ± 2.07 <sup>a</sup>	4.17 ± 1.64 <sup>b</sup>	1.67 ± 1.30 <sup>a</sup>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Finalmente, los muestreos en arroyos naturales arrojaron un total de 57 especies de aves, con valores medios de riqueza superiores para el grupo de aves generalistas. Sin embargo, aunque el valor de aves generalistas supera en este caso al doble que el resto de los grupos, es un valor dentro del rango de datos registrado para el resto de los embalses; el embalse Piscu Yaco es el único con valores medios de riqueza de aves generalistas significativamente superiores al resto ( $p_{\text{valor}} = 0.0002$ ). Un valor superior en los arroyos naturales de generalistas puede estar ligado con modificaciones del hábitat, como la cercanía a la ruta asfaltada, tránsito y campos ganaderos.

El método de componentes principales es útil para reducir la dimensionalidad de un problema de múltiples variables, de modo que un subconjunto de ellas concentre la mayor parte de la variabilidad contenida en las variables originales. Bajo este concepto se aplicó la mencionada metodología, obteniéndose la Figura 8. Dicha figura relaciona las variables de vegetación, otros usos de suelo y valores medios de  $\emptyset$ . La Figura 8 indica que cada embalse se relaciona con diferentes variables de vegetación y uso del suelo. El embalse Piscu Yaco se asocia principalmente con la presencia de árboles y edificaciones (valores medios de cobertura: 8.7 y 1.1 %, respectivamente); Boca de Río con hierbas, vegetación exótica y pavimento (48.8, 0.7 y 3.1 %, respectivamente); y

Saladillo con la presencia de suelo desnudo (12.5 %) y mayores valores de  $\phi$  (media = 0.73), existiendo una correlación significativa entre estas últimas dos variables ( $p = 0.0485$ ).



**Figura 8.** Análisis de componentes principales: CP, componente principal; PY, embalse Piscu Yaco; BR, embalse Boca de Río; SA, embalse Saladillo;  $\phi$ , índice subrogante de la evapotranspiración. Entre paréntesis, el porcentaje de varianza que explica el eje (elaboración propia).

La información graficada es coherente con las características de cada embalse. El dique Piscu Yaco está emplazado en una zona relativamente bien conservada de bosque nativo, y debido a su transformación a uso turístico cuenta con construcciones destinadas a la gastronomía, zona de *camping*, segundas residencias y hospedajes. Boca de Río, en cambio, está emplazado sobre la Ruta Provincial 1, lindando con campos de uso agrícola-ganadero, lo cual explica la presencia de pavimento, hierbas y vegetación exótica ligada con zonas disturbadas. Finalmente, Saladillo, emplazado en una zona de bosque bajo en relativo buen estado de conservación, presenta en su periferia zonas erosionadas sin cobertura vegetal y nuevas áreas desmontadas con fines productivos.

Los resultados indican una relación entre los valores medios de  $\emptyset$ , la estructura de la vegetación y usos de la tierra, y las aves. Valores elevados de  $\emptyset$  se relacionan con coberturas más densas de vegetación o zonas boscosas. A su vez, se observa un incremento en los valores medios de  $\emptyset$  con la aparición de los embalses y con el cambio de uso de la tierra relacionado al avance de la urbanización y uso turístico, donde se propicia el riego. Esta modificación del espacio beneficia a las aves generalistas, capaces de aprovechar una gran variedad de hábitats y ambientes artificiales con altos grados de disturbios antrópicos, incluyendo fuentes de alimento y refugio, y perjudicando a otras, como a las aves de bosque (Faggi & Perepelizin, 2006; Perepelizin *et al.*, 2019).

Coincidiendo con esto, los valores máximos de aves generalistas encontrados en Piscu Yaco se explicarían debido a la presencia de edificaciones y una constante actividad turística en el sitio en primavera-verano. Similares resultados fueron descritos en balnearios turísticos de la costa atlántica argentina, donde se viene sufriendo una fuerte conversión del paisaje de pastizales y dunas naturales a zonas urbanizadas y bosques de especies exóticas. En ese escenario, Faggi, Perepelizin y Dadón (2010) indican un incremento de aves oportunistas y ligadas con espacios urbanos relacionados con las nuevas forestaciones y el avance de la urbanización, correspondiendo a mayores valores de ET y menor temperatura de la superficie del suelo respecto a las dunas abiertas, donde dominan las aves insectívoras.

Por otro lado, la introducción de espejos de agua de volúmenes considerables y de formas más homogéneas se asocia con un incremento de los valores medios de  $\emptyset$  a una distancia mayor de su costa. Sumado a esto, hábitats heterogéneos en relativo buen estado de conservación y presencia de disturbios moderados darían como resultado altos valores de diversidad de aves, como se observa en Boca de Río. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Chani y Echevarría (2000), quienes observan valores aproximados de riqueza de aves (145 especies) a los obtenidos en el presente trabajo, y concluyen que los embalses artificiales del Chaco Serrano funcionan como hábitats de alta diversidad de aves, que se comportan de forma similar a los humedales naturales chaqueños; ello significaría que a pesar de tratarse de sitios generados artificialmente,

estos hábitats contribuyen a mantener la biodiversidad de la región, considerando la acelerada pérdida de humedales naturales por relleno o contaminación, como se manifestó en el incremento de aves de humedal en Boca de Río, en comparación con los sitios de arroyos naturales muestreados.

Por último, los valores medios de  $\emptyset$  pueden disminuir debido a la transformación del uso del suelo de áreas boscosas a usos productivos. Es el caso de lo observado a 1 500-2 000 m de las márgenes del embalse Saladillo, donde a pesar de tratarse de un embalse de gran volumen y con bosques nativos en su entorno, el avance de los desmontes impacta en los valores de  $\emptyset$  y en la representación de aves generalistas (Tarcetano, 2018).

## Conclusiones

Los estudios sobre embalses artificiales y sus efectos sobre la ET y las comunidades de aves son escasos y muy difíciles de encontrar en la literatura, por ello su estudio resulta relevante y de interés en zonas

semiáridas, donde la construcción de embalses resulta ser, en muchos casos, una política hídrica común.

En este trabajo se estudió la ET a partir de  $\emptyset$  como un subrogante de la misma. La dinámica espacio-temporal a escala local indicaría que la construcción de los embalses afectaría los valores medios de  $\emptyset$  hasta un umbral no mayor de los 500 m dependiendo de las dimensiones del embalse, tamaño del espejo de agua e irregularidades del perímetro. Variaciones en los valores medios de  $\emptyset$  para umbrales mayores a los 500 m estarían asociados con cambios en el uso del suelo por avance de la frontera agrícola y con los procesos de urbanización. A nivel regional se observó que embalses de pequeño volumen equiparan sus valores medios de  $\emptyset$  con otros de mayores dimensiones. Si bien los resultados asociados con  $\emptyset$  son preliminares, insinúan aumentos locales y regionales en dicha variable luego de la construcción de los embalses, aumentos que lógicamente deberían impactar en el balance hídrico de la zona y en otras variables que forman parte del mismo.

Asimismo, el presente trabajo determinó relaciones entre los valores medios de  $\emptyset$ , la estructura de la vegetación, y otros usos de la tierra y las aves, donde la aparición de embalses, el aumento de los valores medios de  $\emptyset$  en su periferia y ambientes heterogéneos con disturbios moderados se corresponden con los valores máximos de diversidad de aves, lo cual remarca su importancia como sitios de conservación de biodiversidad. En contrapartida, zonas de embalses con fines turísticos se relacionaron con una mayor urbanización y aves generalistas urbanas.

Los resultados obtenidos nos estimulan a continuar trabajando en el tema, incorporando mayor cantidad de embalses y ahondando en otras variables que forman parte del balance de agua de la región.

### Agradecimientos

El presente trabajo se realizó a partir del proyecto PROIPRO 11-0118 (Res. C.S. 126/2018) de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina. Queremos agradecer especialmente al doctor Germán Roitman, que ha participado amablemente y de forma desinteresada en los muestreos de campo.

### Referencias

- Barraza, V., Restrepo-Coupe, N., Huete, A., Grings, F., & Van Gorsel, E. (2015). Passive microwave and optical index approaches for estimating surface conductance and evapotranspiration in forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 126-137. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.06.020
- Bayala, M. (2011). *Generación de mapas de temperatura radiativa de superficie utilizando datos de baja resolución espacial mediante técnicas de remuestreo* (tesis de Magister en aplicaciones espaciales en alerta y respuesta temprana a emergencias). Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, Córdoba, Argentina.

- Bibby, C., Jones, M., & Mardsen, S. (1998). *Expedition field techniques. Bird Surveys*. London, UK: Expedition Advisory Centre.
- Buendía-Rodríguez, E., Terrazas-Domínguez, S., & Vargas-Pérez, E. (2002). Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de uso de suelo y vegetación en una región del Oriente del Valle de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 13-19. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=629/62980102>
- Chace, J. F., & Walsh, J. J. (2006). Urban effects on native avifauna: A review. *Landscape and Urban Planning*, 74(1), 46-69. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.08.007
- Chani, J. M., & Echevarría, A. L. (2000). Los embalses artificiales y la biodiversidad, un caso de estudio. *Acta Zoológica Lillioana*, 45(2), 165-172.
- Cid, F. D., & Caviedes-Vidal, E. (2005). Avifauna del embalse La Florida (San Luis, Argentina). *Actualidades Ornitológicas*, 125, 10-18.
- Faggi, A. M., & Perepelizin, P. V. (2006). Riqueza de aves a lo largo de un gradiente de urbanización en la ciudad de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 8(2), 289-297.
- Faggi, A. M., Perepelizin, P. V., & Dadón, J. (2010). South Atlantic tourist resorts: Predictors for changes induced by afforestation. In: Müller, N., Werner, P., & Kelcey, J. C. (eds.). *Urban biodiversity*

- and design* (pp. 363-379). Hoboken, USA: Blackwell Publishing Ltd. DOI: 10.1002/9781444318654.ch19
- Filloy, J., & Bellocq, M. I. (2007). Patterns of bird abundance along the agricultural gradient of the Pampean region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4), 291-298. DOI: 10.1016/j.agee.2006.09.013
- Girolimetto, D. (2008). *Influencia de la resolución espacial de la temperatura de superficie teledetectada en el contexto NDVI-Ts* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Girolimetto, D., & Venturini, V. (2014). Evapotranspiration and Water Stress estimation from TIR and SWIR bands. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(1), 36-45. DOI: 10.11648/j.aff.s.2014030601.16
- Insuasty-Rodriguez, A. (2016). ¿Qué está pasando con el agua en el Valle de Aburrá (Medellín-Colombia)? *El Agora USB*, 16(1), 305-314.
- Jiang, L., & Islam, S. (2001). Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data. *Water Resources Research*, 37(2), 329-340. DOI: 10.1029/2000WR900255
- Knipper, K., Hogue, T., Scott, R., & Franz, K. (2017). Evapotranspiration estimates derived using multi-platform remote sensing in a semiarid region. *Remote Sensing*, 9(3), 184. DOI: 10.3390/rs9030184

- Levi, L., Jaramillo, F., & Andricevie, R. (2015). Hydroclimatic changes and drivers in the Sava River Catchment and comparison with Swedish catchments. *Ambio*, 44(7), 624-634. DOI: 10.1007/s13280-015-0641-0
- Norman, J., Anderson, M., Kustas, W., French, A., Mecikalski, J., & Torn, R. (2003). Remote sensing of surface energy fluxes at 101-m pixel resolutions. *Water Resources Research*, 39(8), 1221-1232. DOI: 10.1029/2002WR001775
- Perepelizin, P. V., Melidone, M. J., Generoso, A., & Gonzalez-Fabiano, S. (2019). Entre la sierra, el campo y la ciudad: caracterización de las aves de la Villa de Merlo, San Luis. En: Paredes, S., & Girolimetto, D. (comps.). *Memorias del 2do Congreso Internacional de Turismo en Serranías, Investigación y Gestión del Patrimonio*. San Luis, Argentina: Nueva Editorial Universitaria.
- Prata, A. J., Caselles, V., Coll, C., Sobrino, J. A., & Otlé, C. (1995). Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: Current status and future prospects. *Remote Sensing Review*, 12(3-4), 175-224.
- Priestley, CH. B., & 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: 10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2

- Stanley, E. H., & Doyle, M. W. (2003). Trading off: The ecological effects of dam removal. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 15-22. DOI: 10.1890/1540-9295(2003)001[0015:TOTEE0]2.0.CO;2
- Tarcatano, D. C. (2018). *Efectos de la deforestación sobre componentes del ciclo hidrológico en la región de los bosques secos del Valle del Conlara (San Luis) mediante datos satelitales* (trabajo de intensificación para obtener el grado de Licenciado en Ciencias Ambientales). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Trivi, N. (2018). Turismo, migración de amenidad y expansión urbana privatizada en el Valle del Conlara (San Luis, Argentina). *Huellas*, 22(2), 11-33. Recuperado de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/2639/3445>
- Vásquez-Méndez, R., Ventura-Ramos, E., & Acosta-Gallegos, J. (2011). Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 399-415.
- Venturini, V., Islam, S., & Rodríguez, L. (2008). Estimation of evaporative fraction and evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model. *Remote Sensing of Environment*, 112, 132-141. DOI: 10.1016/j.rse.2007.04.014

- Vörösmarty, C. J., & Sahagian, D. (2000). Anthropogenic disturbance of terrestrial water cycle. *BioScience*, 50(9), 953-765. DOI: 10.1641/0006-3568(2000)050[0753:ADOTTW]2.0.CO;2
- Walker, E., García, G. A., Venturini, V., & Carrasco, A. (2019). Regional evapotranspiration estimates using the relative soil moisture ratio derived from SMAP products. *Agricultural Water Management*, 216, 254-263. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.02.009