

## ARTÍCULO

# MORFOMETRÍA DE LOS EMBALSES ARROCEROS DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS ENTRE 2016 Y 2022

*Morphometry of the rice reservoirs in the northeast of Entre Ríos province between 2016 and 2022*

Milano, M. \*<sup>1</sup>  & Contreras, F.I. <sup>2,3</sup> 

**RESUMEN:** La variabilidad climática y, sobre todo, la manifestación de eventos climáticos extremos repercute directamente en humedales someros, especialmente en aquellos cuyas aguas que dependen exclusivamente de precipitaciones locales. Este trabajo tiene por objetivo mostrar cómo han fluctuado la morfometría y, en consecuencia, la morfología de los embalses arroceros del noreste de la provincia de Entre Ríos. Para ello, mediante sistemas de información geográfica se han identificado embalses con una superficie mayor a 10 has. Con los resultados obtenidos se han podido clasificar a estos humedales cinco categorías desde muy pequeños a muy grandes. Se concluye que los grandes y muy grandes se mantienen relativamente estables en situaciones extremas, mientras que los medianos son los más afectados, en muchos casos reduciéndose a muy pequeños. No obstante, son los muy pequeños los embalses que se han secado durante sequías extremas.

**PALABRAS CLAVE:** Embalses, humedales, morfometría, Entre Ríos.

**ABSTRACT:** *Climate variability and, above all, the occurrence of extreme climatic events directly impact shallow wetlands, especially those*

---

<sup>1</sup> Facultad de Humanidades, Artes y Ciencias Sociales (Universidad Autónoma de Entre Ríos).

<sup>2</sup> Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL, CONICET/UNNE)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE).

\* Autor de correspondencia. Micaela Milano. E-mail: micaa.milano@gmail.com

Como citar este artículo: Milano, M. & Contreras, F. I. (2025). Morfometría de los embalses arroceros del noreste de la provincia de Entre Ríos entre 2016 y 2022. Revista FACENA 35(1), 05-18. Doi: <https://doi.org/10.30972/fac.3517768>

Recibido/Received: 19/10/2024. Revisión: 21/10/2024. Aceptado/Accepted: 15/12/2025.

Editor invitado: Santiago Llanes Campi.

Publicado en línea: 24/06/2025. ISSN 1851-507X en línea.

*whose waters depend exclusively on local precipitation. This study aims to show how the morphometry and, consequently, the morphology of the rice reservoirs in the northeast of Entre Ríos province have fluctuated. To achieve this, reservoirs with a surface area greater than 10 hectares were identified using geographic information systems. Based on the results obtained, these wetlands were classified into five categories, ranging from very small to very large. It is concluded that large and very large reservoirs remain relatively stable under extreme conditions, while medium-sized ones are the most affected, often shrinking to very small sizes. However, it is the very small reservoirs that have dried up during extreme droughts.*

**KEYWORDS:** *Reservoirs, wetlands, morphometry, Entre Ríos.*

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo humano implica la transformación de los paisajes donde, es quizás la pérdida de humedales, una de las principales consecuencias de este proceso (Contreras *et al.*, 2020.) Sin embargo, en este caso se podría decir lo contrario, ya que, por ejemplo, la actividad agrícola vinculada al arroz implica un gran consumo de agua en determinado momento y, por lo tanto, contar con grandes reservorios con este recurso es fundamental para garantizar que la producción no se vea interrumpida. De allí es que hace más de 40 años que se poseen trabajos sobre los beneficios de los embalses arroceros para la conservación de aves en peligro de extinción (Gray *et al.*, 1981).

Los embalses arroceros del noreste de la provincia de Entre Ríos, al igual que en la provincia de Corrientes, surgieron durante los años '90, de la mano de los acuerdos comerciales firmados en el marco de la creación del MERCOSUR (Frazier, 1998; Schnack *et al.* 2000).

La propagación de lagunas artificiales para contención y almacenamiento de agua para riego, teniendo en cuenta la necesidad de grandes volúmenes de agua que requiere el cultivo de arroz, implica la transformación de vastas superficies (Alarcón e Insaurralde, 2015). En este marco, las condiciones topográficas brindadas por las dinámicas geomorfológicas posibilitan su desarrollo, y al

mismo tiempo condicionan su distribución, morfometría y morfología (Contreras y Contreras, 2017; Smichowski & Contreras, 2020).

La aparición de este nuevo tipo de humedales y su rápida expansión y concentración, pueden generar transformaciones en el paisaje natural, por lo que es importante estudiarlos. La caracterización morfométrica aporta información valiosa de base para la realización de estudios posteriores orientados al ordenamiento y planificación territorial (Cruz Romero *et al.*, 2015; Contreras y Contreras, 2017; Smichowski y Contreras, 2020). Como se destaca en Contreras y Contreras (2017), la morfometría constituye el punto de partida de todo estudio Geomorfológico que involucre humedales, ya que a partir de allí se pueden inferir los procesos y dinámicas que intervienen en nuestro objeto de estudio, sobre todo en la interfase agua -aire y agua-sedimento (Montoya-Moreno, 2005; Fornerón, 2010).

También son de gran ayuda para calcular la forma y las dimensiones de las lagunas, que influyen sobre variables relacionadas con la erosión, sedimentación, carga de nutrientes y características físico químicas, entre otras (Contreras y Contreras, 2017). Al mismo tiempo, junto con el clima y el tipo de suelo de su cuenca de drenaje, la forma y dimensión son de los principales determinantes de su productividad biológica (Quirós, 2004). Es por esto por lo que la caracterización morfométrica de sistemas lacustres puede ser de gran importancia para crear medidas de conservación adecuadas, cuantificar y gestionar de manera eficiente los recursos hídricos (Mayorga, 2020; Smichowski y Contreras, 2020).

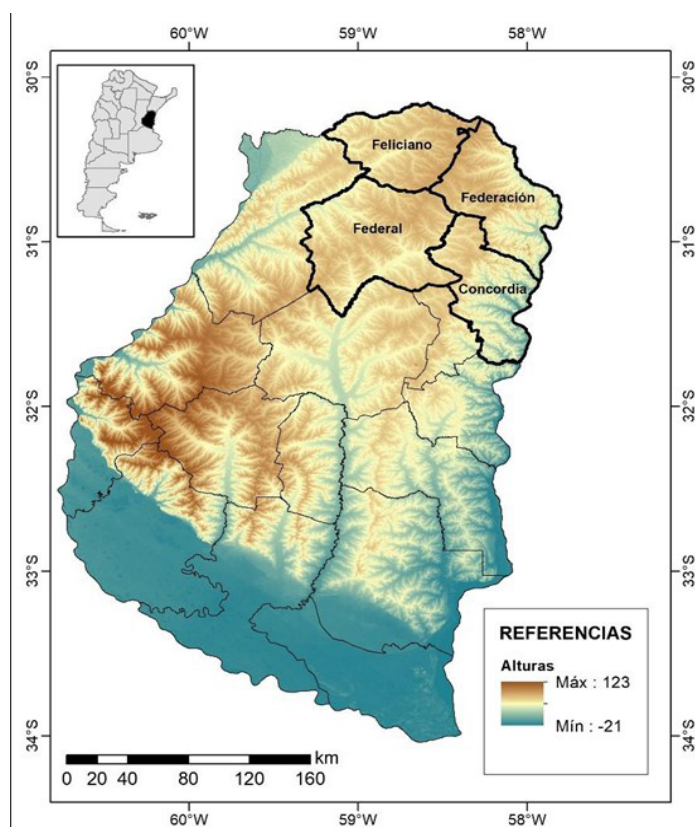
La determinación de características geométricas de los cuerpos de agua puede realizarse de forma rápida y con bajo coste a partir de la utilización de sistemas de información geográfica (GIS). Los procesamientos de imágenes satelitales mediante estos softwares permiten reconocer, aislar y registrar elementos que consideramos importantes para el análisis (Smichowski y Contreras, 2020; Smichowski *et al.*, 2022).

En base a lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo identificar los humedales antrópicos presentes en el noreste de la provincia de Entre Ríos durante el período 2016-2022 a través de herramientas geoespaciales

(Teledetección y GIS), describir su ubicación y distribución, para posteriormente medir tamaño y forma como respuesta a los eventos de variabilidad pluviométrica ocurridos durante el período mencionado.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca los cuatro departamentos del noreste de la provincia de Entre Ríos: Concordia, Federación, Federal y Feliciano, cuya superficie total es de 15.320 km<sup>2</sup> (Figura 1). Esta región se caracteriza por presentar las mayores alturas sobre el límite Feliciano-Federación y en el centro de Federal. Las precipitaciones son superiores a los 1.400 mm anuales y la temperatura media es superior a 19°C. Sin embargo, tanto Feliciano como Federación poseen un clima Subtropical Húmedo, mientras que Federal y Concordia es Templado Húmedo (Tasi, 2009). Ambos aspectos se ven reflejado en el intrincado sistema de escurrimiento dendrítico pertenecientes a las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay.



**Fig. 1.** Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Identificación de embalses arroceros*

Para identificar los embalses arroceros, se empleó el Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) propuesto por Xu (2006) en imágenes Sentinel 2. La fórmula para calcular el MNDWI utiliza las bandas del verde (GREEN) e infrarrojo de onda corta (SWIR) y se expresa como:

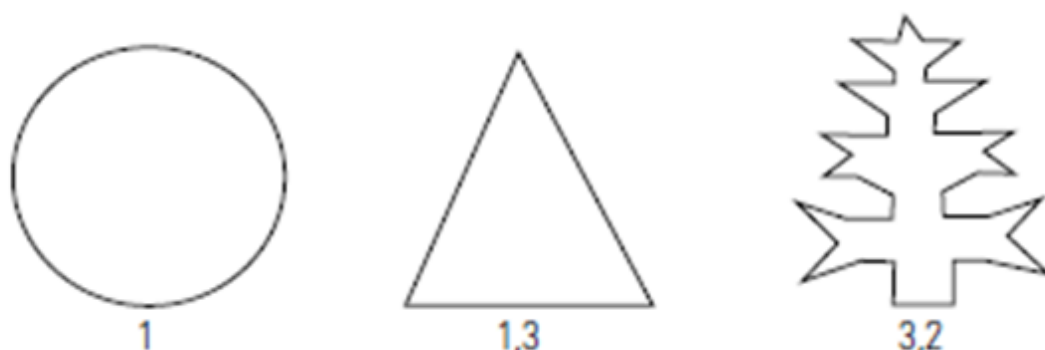
$$MNDWI = \frac{GREEN + SWIR}{GREEN - SWIR}$$

Al utilizar la diferencia normalizada de estas bandas, se puede resaltar la presencia de agua, puesto que tiende a absorber la radiación en el rango del infrarrojo de onda corta y reflejar la radiación en el rango del verde. La relación permite maximizar la respuesta espectral del agua y minimizar la respuesta de otros elementos, como la vegetación. El resultado es un ráster binario con valores entre 1 y -1, donde valores positivos indican presencia de agua, mientras que valores cero o negativos representan vegetación, suelo y construcciones.

### *Morfometría de los embalses arroceros*

Una vez identificados los cuerpos de agua, se procedió a su vectorización, a partir de la cual se obtuvieron las variables morfométricas de perímetro, superficie y desarrollo de la línea de costa (DL). Dentro de las distintas medidas morfométricas, el DL mide el grado de irregularidad del embalse. Esencialmente, relaciona la longitud de la costa o perímetro con una circunferencia que tenga la misma superficie que el cuerpo de agua. Para clasificar a los embalses según sus valores de DL, se han utilizado los rangos propuestos en Contreras y Contreras (2017), quienes adaptaron los resultados a las formas de lagunas someras de la provincia de Corrientes, que luego fueron replicadas en Smichowski y Contreras (2020). Según los autores se forman dos grandes grupos. Por un lado, lagunas de Formas Simples, que agrupan a las lagunas Circulares (1 - 1,14), Subcirculares (1,15 - 1,29) y Triangulares (1,3 - 1,99) y por el otro, las lagunas de Formas Complejas, que comprenden a las lagunas Irregulares Simples (2 - 2,99),

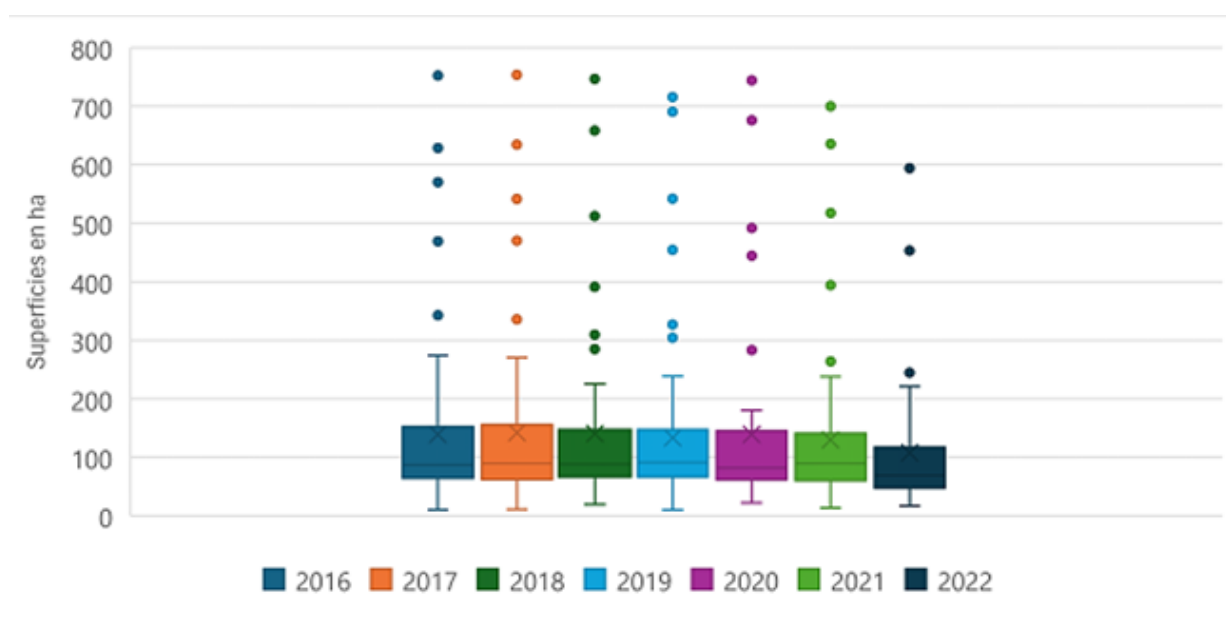
Dendríticas (3 - 3,99) e Irregulares Complejas ( $\geq 4$ ). (Figura 1).



**Fig. 2.** Esquemas de las formas de lagunas y lagos según su desarrollo de línea de Costa. Fuente: Contreras y Paira, 2015.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados permitieron identificar entre 48 y 63 embalses arroceros, cuya cantidad se relaciona con la manifestación de eventos climáticos extremos entre 2016 y 2022. Las superficies incluyen desde pequeños embalses de 10 has hasta muy grandes de 750 has. Con el análisis estadístico y la identificación de outliers de las superficies cubiertas con agua, se pudo clasificar en muy grandes a aquellos que superaban las 300 has (Figura 2).



**Fig. 3.** Superficies de embalses arroceros y registros atípicos para el noreste de la provincia de Entre Ríos, entre 2016 y 2022. Fuente: elaboración propia.

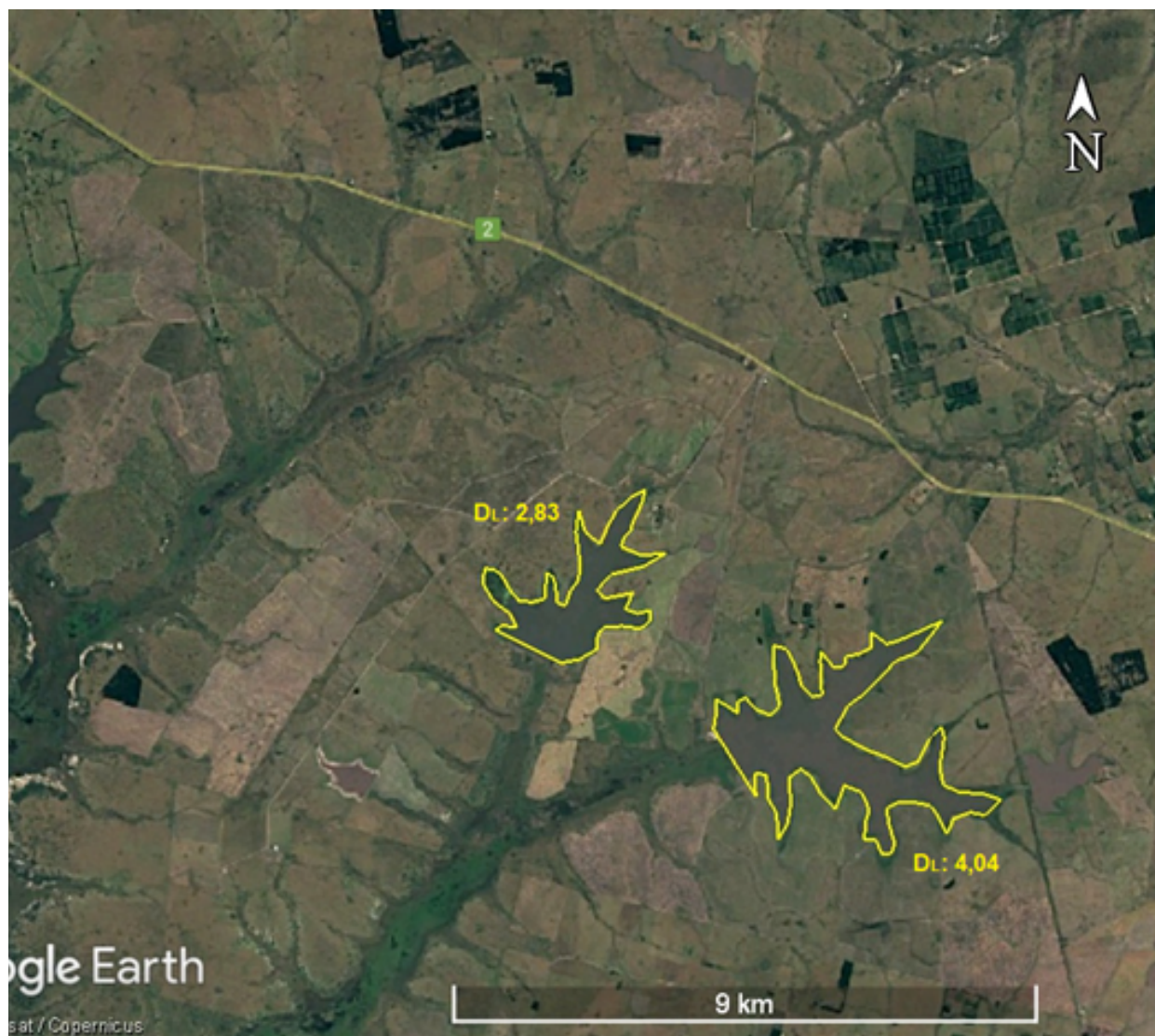
En la Figura 2 se puede observar un progresivo descenso de las superficies cubiertas con agua al finalizar el período. Esto coincide con la manifestación de eventos extremos de inundación que ocurrieron entre 2015 y mediados de 2019 (Contreras *et al.*, 2020). A partir de allí, y en contexto del evento de La Niña extrema, se inicia un período de sequía que se prolonga hasta finales del 2023. En este sentido, las escasas precipitaciones, un elevado consumo de agua por la parte de la actividad agrícola, sumado a las altas tasas de evaporación, generaron que, además de la reducción superficial del agua, también se redujeran los grandes embalses, registrándose tan solo tres de los seis existentes previamente.

En líneas generales, y a modo de ejemplo, el mayor embalse de 750 has se redujo a 596 has, un 21 %, llegando a desaparecer por completo aquellos embalses con superficies inferiores a 15 has. La superficie media se redujo de 142 a 108 has, un 24 % menos, sin embargo, consideramos que este dato es subestimado, ya que, en determinados meses de los años 2017 y 2018, la nubosidad fue muy elevada, lo cual no ha permitido obtener información durante los momentos de mayor registro de eventos de inundación extrema. Sin embargo, y considerando el contexto regional, se infiere que para el 2017 la superficie cubierta con agua fue superior al del 2016.

**Tabla 1.** Cantidad de embalses en el noreste de Entre Ríos según su forma. Período 2016-2022. Fuente: elaboración propia.

|                                  | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Triangulares</b>              | 9    | 11   | 7    | 10   | 10   | 14   | 14   |
| <b>Irregulares<br/>Simples</b>   | 33   | 32   | 43   | 49   | 34   | 32   | 32   |
| <b>Dendríticas</b>               | 7    | 8    | 5    | 4    | 1    | 4    | 3    |
| <b>Irregulares<br/>Complejas</b> | 2    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |



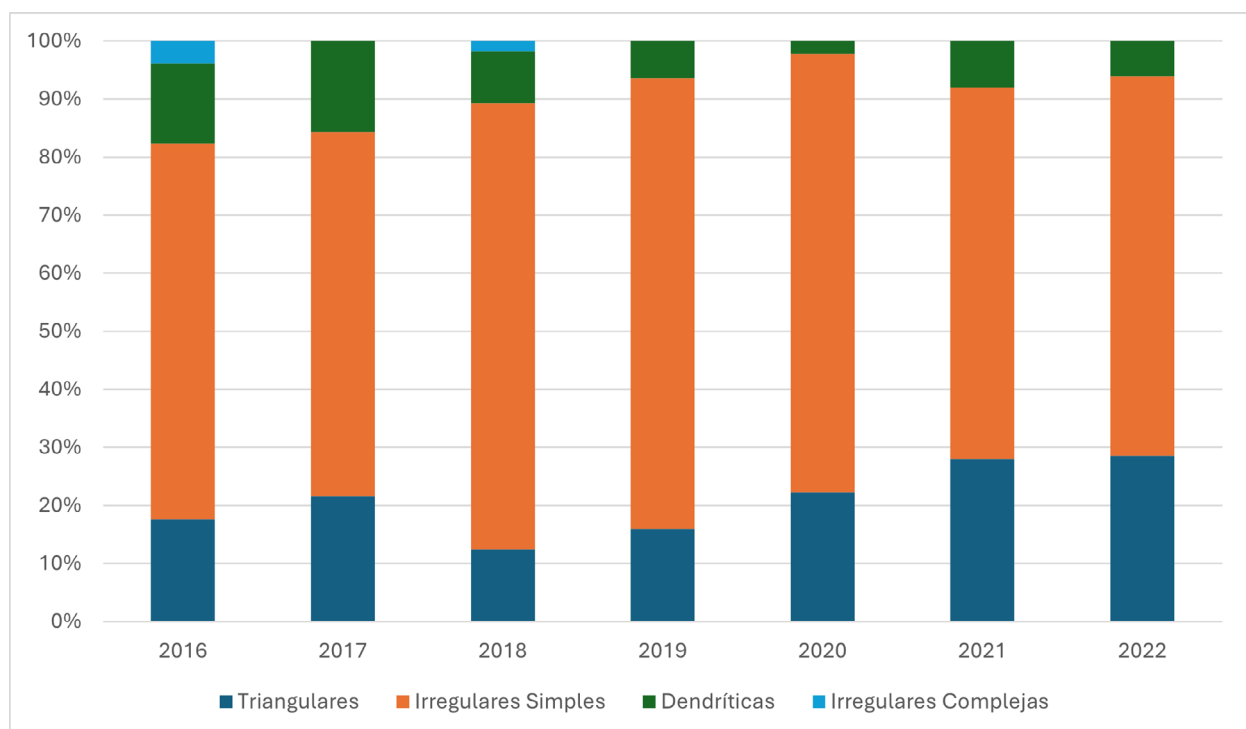


Los resultados del desarrollo de la línea de costa muestran la evolución de las formas mientras avanza el período de estudio. En la Tabla 1 se evidencia una pérdida de los embalses de formas irregulares complejas y dendríticas, mientras aumentan las simples y las triangulares. Recién en el año 2021 se observa un aumento de las dendríticas nuevamente, el cual está relacionado con un breve período húmedo. En este contexto, en Contreras y Paira (2015) y Contreras y Contreras (2017), explican que esta situación es un proceso natural de sistemas lacustres debido a que, en períodos de sequía, los apéndices o bordes irregulares se van perdiendo a medida que se reduce la superficie cubierta con agua. Precisamente en Contreras y Paira (2015) y Contreras y Paira (2017) se mencionan que las lagunas adoptan formas circulares previas a secarse y, por lo tanto, durante las sequías hay una reducción de los valores de DL. Por



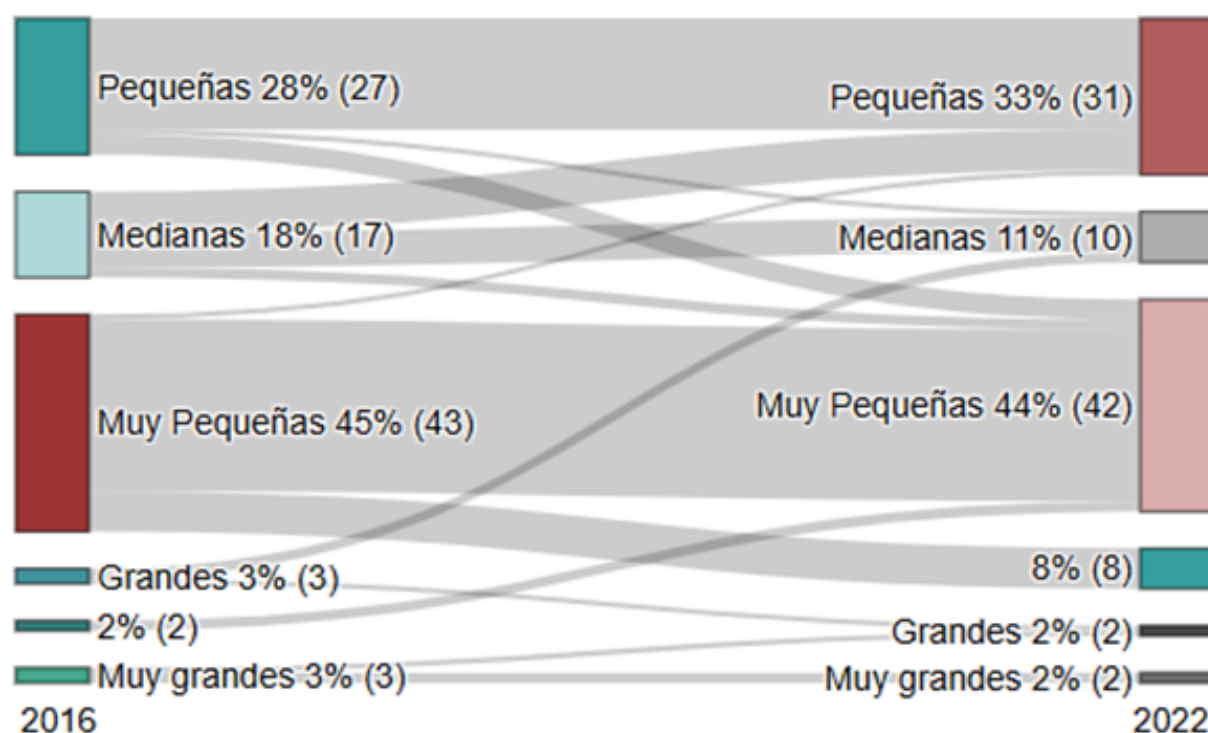
el contrario, en períodos húmedos, la expansión de la cobertura con agua y la ocupación de nuevos espacios irregulares conllevan a aumentar el DL, lo que explicaría ese aumento del 2021.

En términos porcentuales (Figura 4), existe un claro predominio de formas irregulares simples durante todo el período, con lo cual se puede establecer que es la morfología característica de los embalses arroceros del nordeste entrerriano. A su vez se observa un aumento de los triangulares al finalizar el período, sin embargo, es importante destacar que, si bien ya se ha mencionado la dinámica de la costa lacustre, también es importante recordar que se han secado 15 embalses, lo que repercute directamente en este aumento.



**Fig. 4.** Porcentajes de formas de embalses arroceros del nordeste de Entre Ríos, durante el período 2016-2022. Fuente: elaboración propia.

El Diagrama de Sankey (Figura 5) muestra cómo evolucionaron las lagunas desde el 2016 al 2022, es decir, desde el comienzo del período extremo húmedo al culminar el extremo seco. En esta figura queda en evidencia que los embalses grandes y muy grandes tienen una mayor capacidad de amortiguar agua en sequías extremas, ya que, para ambos casos, dos mantienen la categoría y tan solo uno baja de categoría, es decir, de muy grande a grande y de grande a mediano.

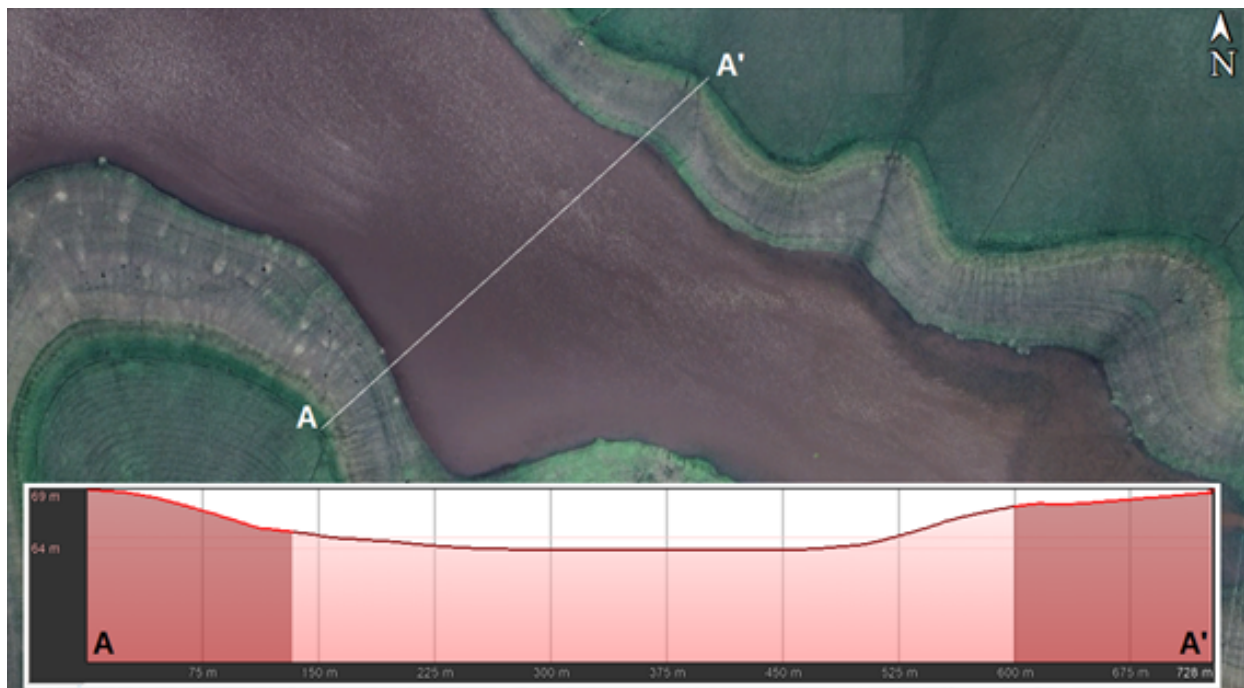


**Fig. 5.** Diagrama de Sankey con la evolución de las categorías según el tamaño de los embalses arroceros en el noreste de Entre Ríos. Una comparación entre el 2016 y 2022. Fuente: Elaboración propia.

Los embalses medianos fueron, porcentualmente, los humedales más afectados con una reducción del 7%, mientras que los pequeños fueron los únicos que aumentaron, en este caso un 5%. Esto demuestra que son los más pequeños los que poseen una mayor variabilidad morfométrica, pudiendo estar relacionado con sus superficies reducidas, pero también con profundidades muy reducidas, caudales de arroyos reducidos o bien, todas las variables combinadas. Cabe destacar que no existen pasos de grandes a pequeños, pero sí de medianos a muy pequeños. Del mismo modo, fueron las muy pequeñas las que se han secado por completo.

En la figura 6 se observa la disminución de la profundidad de un embalse grande. Con tonalidades más oscuras se ven las secciones del perfil sin cobertura de agua, quedando expuestos 128 m del fondo del embalse sobre el extremo NE del perfil y 129 m en el extremo SO. Si bien las distancias lineales son las mismas, en la sección correspondiente a "A", hay una diferencia de 3,5 m, mientras que en "A'" es de 1,2 m. Para ambos casos, la línea de costa máxima se encuentra a los 69 m, según el modelo de elevación digital correspondiente a

Google Earth Pro.



**Fig. 6.** Perfil topográfico de un embalse arrocero del nordeste de la Provincia de Entre Ríos en enero de 2023. Fuente: Elaboración propia en Google Earth.

Carciofi et al. (2022), la manifestación de La Niña favorece el rendimiento del arroz ya que, al haber menor nubosidad, impacta de manera positiva. No obstante, dependerá de la disponibilidad de agua. Es por ello, que en dicho informe se muestra una disminución en la producción de arroz en la región, con un leve aumento en el 2021 que, como ya se ha mencionado, coincide con un breve período húmedos para dicho año.

En síntesis, los conocimientos acerca de cómo los embalses responden a los eventos climáticos extremos, especialmente a las sequías, es de interés considerando que son fundamentales para el desarrollo agrícola del nordeste de la provincia de Entre Ríos. En este marco, se deberían de mejorar las infraestructuras o la capacidad de retención de agua de los pequeños y muy pequeños para que no lleguen a secarse. Por otro lado, un aumento de sus superficies ya sea por el aumento del nivel del agua a mayores cotas, implicaría un impacto a los paisajes circundantes, lo que ameritaría minuciosos trabajos de impacto ambiental.

## **CONCLUSIONES**

Los embalses arroceros del noreste de la provincia de Entre Ríos se caracterizan por tener superficies en el orden de 150 has, considerándose como muy grandes aquellos que superan las 300 has. Sus formas van desde triangulares a irregulares complejas, las cuales pueden variar como respuesta a los eventos climáticos extremos que se manifiestan a nivel local, considerando que se encuentran instalados sobre cuencas autóctonas.

En períodos de sequía se produce, no solo una reducción de las superficies, sino también un cambio en las formas y hasta incluso, la desaparición de quince cuerpos de agua, lo cual puede generar consecuencias en la producción. En este marco, la transformación de cuencas hidrográficas autóctonas, de continuar estos eventos extremos, sobre todo las sequías, puede ser el disparador de futuros escenarios de conflictos socioambientales, tanto por la disponibilidad, como por la calidad del agua que por estos arroyos escurren.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue parcialmente financiado por los proyectos PIBAA (CONICET), PI 20Q001 y el Programa PROFIN de la SGCyT-UNNE.

## **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

Felix Ignacio Contreras: conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, redacción, revisión y edición.

Micaela Milano: análisis formal, procesamiento de imágenes, visualización.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores no poseen conflictos de interés.

## REFERENCIAS

- Alarcón, M., & Insaurrealde, J. (2011). *“Recursos hídricos y aprovechamiento de la cuenca del río Miriñay, provincia de Corrientes, Argentina”*. Contribuciones científicas GAEA, 23, 21-36.
- Báez, S., Cortizas, L., & Gauna, S. (2015). *Transformaciones y conflictos territoriales a partir del avance de la producción de arroz en la provincia de Corrientes (Argentina)*. En XVII Jornadas de Geografía (Ensenada, 11 y 12 de noviembre de 2015).
- Bogado, G. N., Sosa, M., & Rujana, M. R. (2012). *Obras hidráulicas para el riego de cultivo de arroz en la provincia de Corrientes-Argentina. Primer encuentro de investigadores en formación de Recursos Hídricos*. Ezeiza, 16. Jornadas de Geografía (Ensenada, 11 y 12 de noviembre de 2015).
- Carciofi, I., Maspi, N., Mendoza, F., Pablo, J., & Lynch, G. (2022). *Economías regionales en Argentina: sistemas integrados de producción acuícola-vegetal y cultivos arroceros*. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/31\\_-\\_sistemas\\_integrados\\_de\\_produccion\\_-\\_arg.\\_productiva.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/31_-_sistemas_integrados_de_produccion_-_arg._productiva.pdf)
- Contreras, F. I., Ferrelli, F. & Piccolo, M. C. (2020). Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua periurbanos subtropicales: Aporte al ordenamiento del espacio urbano de Corrientes (Argentina). *Finisterra*, 55(114), 3 - 22.
- Contreras, F. I. & Contreras, S. A. (2017). *La Incidencia de la Pendiente en la Distribución de las Morfologías de las Lagunas sobre Lomadas Arenosas (Corrientes, Argentina)*. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 40(1), 15-25.
- Contreras, F. I. & Paira, A. R. (2017). Aplicación del “índice de cambio” a las variaciones morfométricas de las lagunas de lomadas arenosas. El caso de Bella Vista (Corrientes, Argentina). *Revista de Geografía*, 21, 31-38.
- Contreras F. I. & Paira A. R. (2015). Comparación morfométrica entre lagunas de la planicie aluvial del río Paraná Medio y la Lomada Norte (Corrientes, Argentina). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 61-71.

- Cruz Romero Bartolo, Gaspari Fernanda J., Rodríguez Vagaría, Alfonso M., Carrillo González Fátima M., & Téllez López Jorge (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26-34
- De los Reyes, F. I. (2013). *Instauración del extractivismo en la provincia de Corrientes. La nueva producción arrocerá y sus consecuencias socioambientales*. X Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Frazier, S. (1998). *Visión General de los Sitios Ramsar. Una Sinopsis de los Sitios Ramsar*. Wetlands International, Convención Sobre los Humedales, Wageningen, Holanda.
- Gray, P. N.; R. C. Brust and M. R. Mittner (1981). *Toward more environmentally sound agriculture in the Everglades Agricultural Area, Florida*.
- Mayorga, R., Martínez, F., y Manríquez, H. (2020) *Morfometría y distribución de los lagos de Chile*.
- Rodríguez, L., Ramonell, C. G., García, D., Veizaga, E. A., Graciani, S. D., Giraudo, A. R., & Mihura, E. (2021). *Clasificación e inventario de humedales en cuencas fluviales: caso del arroyo Yaguarí, noreste de Argentina*.
- Schnack, J. A., De Francesco, F. O., Colado, U. R., Novoa, M. L., y Schnack, E. J. (2000). Humedales antrópicos: su contribución para la conservación de la biodiversidad en los dominios subtropical y pampásico de la Argentina. *Ecología Austral*, 10(01): 063-080.
- Smichowski, H y Contreras, F. I. (2020). Morfometría de los Humedales Antrópicos de la Meseta Mercedena (Corrientes, Argentina). *Breves Contribuciones del I.E.G.* (31), 27 - 42.
- Tasi, H. (2009). *Aplicación de las Cartas de Suelos de Entre Ríos, Argentina, para evaluar índices de productividad específicos para los principales cultivos agrícolas*. Tesis Doctoral. Universidade Da Coruña. [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5679/Tasi\\_HugoArmandoAlberto\\_TD\\_2009.pdf](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5679/Tasi_HugoArmandoAlberto_TD_2009.pdf)