



DE 14 À 19 DE OUTUBRO DE 2024
DEL 14 AL 19 DE OCTUBRE DE 2024

V SLACTIA

SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA
SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA AGROPECUARIA

RECURSOS NATURALES Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL AGUA EN LOS EMBALSES ACHIRAS Y LAS LAJAS, CÓRDOBA, ARGENTINA.

Ing. Agr. Ledesma, María Micaela ¹
Dra. Mg. Ledesma, Claudia Rosa ²
Ing. Agr. Solla Pastén, Nazarena ³
Dr. Mancini, Miguel ⁴
Dra. Rodríguez, Claudia ⁵

Resumen: Los recursos hídricos superficiales en nuestro país han sufrido considerables alteraciones producto de la intervención antrópica en el ambiente. La calidad del agua se ve afectada por la descarga de líquidos pluviales y efluentes cloacales con nulo o escaso tratamiento, el aporte del arrastre de suelo con contenido de plaguicidas y fertilizantes, el vertido de desechos orgánicos pecuarios y otras sustancias, que aportan gran cantidad de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, ocasionando en las aguas cambios físicos, químicos y biológicos que aceleran el proceso de eutrofización que ocurre de manera natural en todos los lagos y embalses, afectando, de esta manera, a las comunidades que en ellos viven. El objetivo de este trabajo fue determinar la variabilidad espacial y temporal, de un indicador de calidad del agua, utilizando técnicas de interpolación espacial, en los embalses Achiras y Las Lajas, Córdoba. Se realizaron muestreos estacionales, donde se evaluaron parámetros físicos-químicos y biológicos *in situ*, durante los años 2021 y 2022. Se consideraron 10 puntos de muestreo en el embalse Achiras y 6 puntos en el embalse Las Lajas. El IDW (Distancia Inversa Ponderada) fue el método de interpolación usado y con el software QGIS se construyeron los mapas de distribución espacio-temporal de la variable temperatura del agua (°C). Los valores de R^2 obtenidos ($R^2 = 0.99$ y $R^2 = 1$) aseguran la alta capacidad predictiva de esta metodología, pudiendo ser extrapolable a otros recursos hídricos superficiales.

Palabras-claves: Calidad de agua, Interpolación espacial, SIG.

¹ Ingeniera Agrónoma. Cátedra de Agrometeorología y Matemática y Bioestadística de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV) de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). INCIVET (CONICET-UNRC); mledesma@ayv.unrc.edu.ar.

² Ingeniera Química. Cátedra Matemática y Bioestadística de la FAV-UNRC.

³ Ingeniera Agrónoma. INCIVET (CONICET-UNRC)

⁴ Médico Veterinario. Cátedra de Ecología de la FAV- UNRC. INCIVET (CONICET-UNRC)

⁵ Médica Veterinaria. Cátedra de Ecología de la FAV- UNRC. INCIVET (CONICET-UNRC)

1. INTRODUCCIÓN

Los lagos y embalses son reservorios de agua utilizados para satisfacer las necesidades de la sociedad y el ambiente. Entre las más destacadas figuran la generación de energía, la provisión de agua para consumo humano, animal y riego, la atenuación de crecientes, la recarga de napas subterráneas y la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales.

En la última década, las actividades humanas y el cambio climático han impactado negativamente en la calidad del agua de los reservorios. La degradación de la calidad del agua es provocada por fuentes difusas (escorrentía de zonas urbanas y agrícolas, escorrentía de suelos ricos en materia orgánica) o puntuales de contaminación (efluentes pecuarios e industriales) (Li et al. 2009). La contaminación por nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, asociada con la producción agrícola y la descarga de la industria, la agricultura y el alcantarillado son las principales causas de la degradación de la calidad del agua superficial (Xu et al. 2019).

Entre los problemas ambientales de estos recursos, la eutrofización es uno de los más frecuentes (Ledesma et al, 2013). Este proceso se conoce más comúnmente como el estado de una masa de agua que se manifiesta por un aumento de la producción primaria. Esta acumulación, excesivamente elevada de nutrientes, puede producir cambios en la calidad del agua (Ledesma, 2012). La materia orgánica aportada en exceso altera el equilibrio químico natural de la misma, al igual que el enriquecimiento de nutrientes (Prosperi, 1994).

Los lagos y embalses son sistemas abiertos que intercambian masa y energía con su entorno. Su estado depende entonces de estos procesos de intercambio que pueden ser descritos por variables externas, como flujos de entrada y salida de nutrientes, sustancias tóxicas, precipitaciones, viento o radiación solar y por variables internas como fitoplancton, nutrientes y concentraciones de peces. Por lo tanto, resulta bastante difícil manejar a los lagos y embalses como un sistema independiente de la cuenca, una buena estrategia de gestión implica que el problema sea analizado en su totalidad (Lampert & Sommer, 1997).

La condición trófica y la calidad de las aguas de un lago o embalse son indicativas de las sociedades que habitan sus orillas y cuenca y que hacen uso del recurso. La existencia de planes de gestión de recursos hídricos, la aplicación de normativas vigentes por parte de los organismos de control, los estudios científicos y monitoreos conducidos, junto con el grado de conciencia social, son algunos aspectos que se reflejan en la evolución de la calidad del agua del lago.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados que sirven para resolver problemas complejos de planificación y gestión. Los SIG cuentan con métodos de interpolación espacial que permiten la generación de superficies continuas a partir de datos discretos. Los métodos más usados son: Kriging, Spline y Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés). Para el modelamiento de la calidad del agua, Adebayo Oke recomienda el método IDW (Toro Chacón et al, 2020).

El método de interpolación IDW permite generar mapas temáticos para clasificar los valores interpolados de los diferentes estados tróficos. Esta técnica se utiliza para sintetizar la información de los mapas temáticos en un mapa final que ilustra la distribución espacial de las condiciones de eutrofización del área de estudio (Quino y Quintanilla, 2013).

2. METODOLOGÍA

El área de estudio tiene como centro la localidad de Achiras, Córdoba, Argentina (33° 10' 29" S y 64° 59' 31" O). Esta localidad se encuentra a 850 m s.n.m, está enclavada en las Sierras Comechingones, formando parte del Departamento de Río Cuarto, Provincia de Córdoba, posee una población de 2.287 habitantes, cuenta con la Reserva Natural e Hídrica “Presa Achiras” y además, con la Reserva Natural “Las Lajas”.

La Presa Achiras, se ubica a 2 km al este de la localidad, a la vera de la ruta 30 y a 60 km de la localidad de Río Cuarto, posee una extensión de 50 ha y recibe las aguas del Arroyo Achiras (Arroyo el Gato) y del Arroyo Los Coquitos. La Reserva Natural Las Lajas, incluye 60 ha y tiene como objetivo conservar el bosque nativo de la Provincia de Córdoba, preservando el flujo hídrico de agua dulce.

Durante los años 2021 y 2022 se llevaron a cabo muestreos estacionales en ambos reservorios, se tomaron muestras de agua en 10 y 6 puntos de muestreo, respectivamente. In situ se tomaron datos de la temperatura del agua, temperatura ambiente, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, pH y transparencia del agua mediante disco de Secchi.

Los datos obtenidos, se analizaron con el software InfoStat Professional (Versión 2020) y Python (Versión 3.11.2).

Para poder modelar la distribución espacial y temporal de la variable temperatura del agua, se utilizó el método de interpolación espacial IDW (Distancia Inversa Ponderada de sus siglas en inglés), basado en análisis estadísticos que estiman valores de puntos que no tienen información con base en puntos que cuentan con información observada (Beltrán- Álvarez et al., 2012). Mediante herramientas del Software QGIS, se pudo mostrar, de manera visual, el comportamiento de la variable, permitiendo, de esta forma, un mayor entendimiento de los fenómenos ambientales (Quino & Quintanilla, 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable temperatura del agua es el componente abiótico que regula los procesos vitales de los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores en un ecosistema (Massol et al., 2012). Se vincula tanto al proceso de estratificación de los cuerpos de agua, como a la solubilidad y disociación de sales, gases y nutrientes, y por lo tanto a la conductividad eléctrica y al pH del agua (Cossavella, 2002). Todas estas interacciones afectan a su vez la distribución, composición y grado de actividad metabólica de los seres vivos que integran el ecosistema (Mancini et al. 2011).

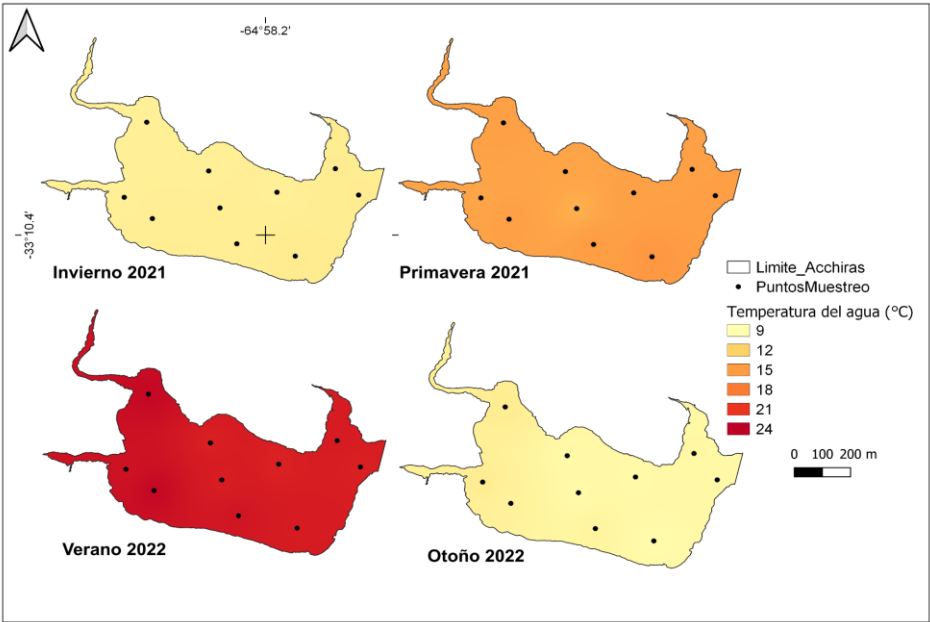
3.1. Embalse Achiras

Con el método de interpolación aplicado en el software QGIS se construyeron mapas de distribución espacial de la temperatura del agua. Esta metodología permitió predecir valores de la variable en sitios no muestreados y en sitios alejados a los puntos de muestreo y de esta manera evaluar la variabilidad espacial y temporal (Figura 1).

A partir de la determinación de la temperatura del agua, al graficar los valores predichos por el modelo vs los valores observados, se obtuvo un valor de R^2 medio igual al 0,99 (Figura 2). Estos resultados aseguran un buen ajuste y confirman la robustez y la alta capacidad predictiva al aplicar el algoritmo de interpolación IDW.

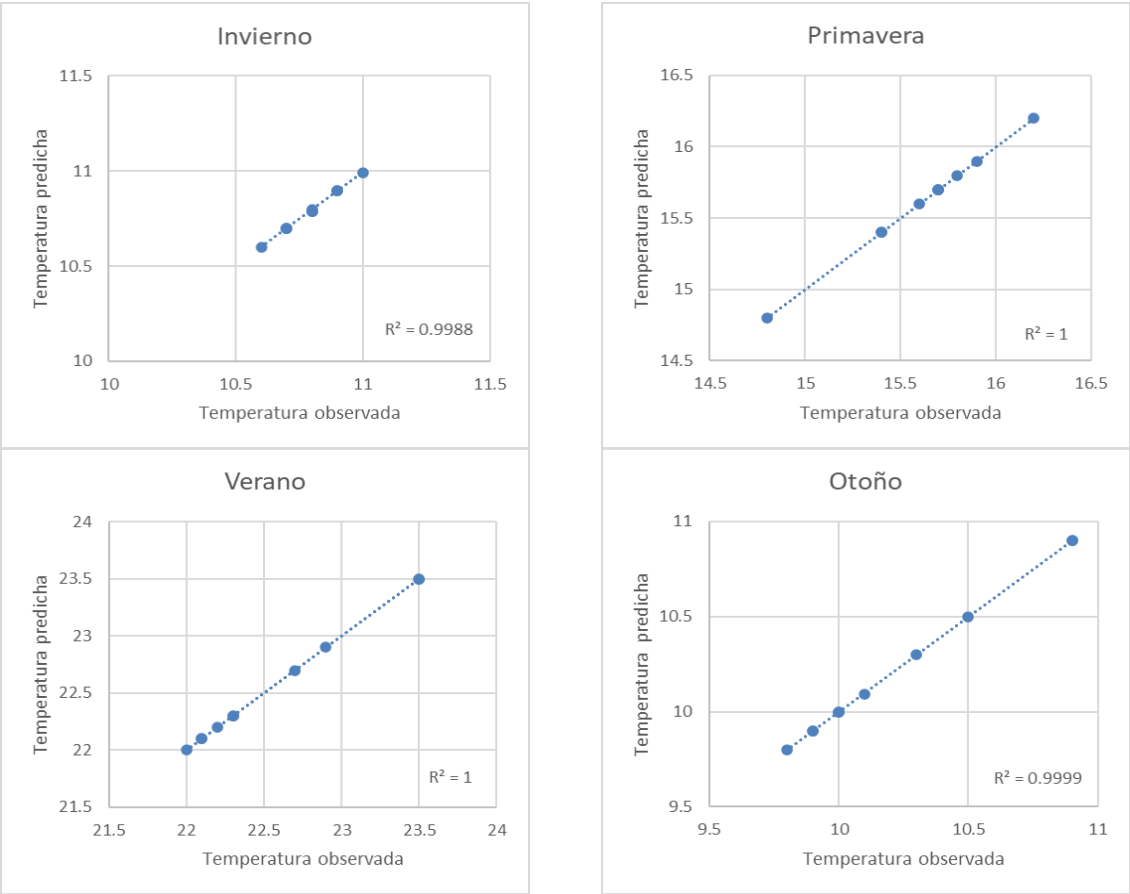
En los mapas se destacó el comportamiento estacional de la variable, con altas temperaturas en época estival y bajas en época invernal. En cuanto a la variación espacial se observa un comportamiento homogéneo en las cuatro estaciones del año. Si bien, el embalse Achiras presenta dos afluentes, es un reservorio de pequeño tamaño, en donde predomina la mezcla de agua, lo que no permite el comportamiento heterogéneo de la variable.

Figura 1: Distribución espacio-temporal de la variable temperatura del agua en el embalse Achiras.



Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 2: Valores predichos vs valores observados de la temperatura del agua para las cuatro estaciones del año en el embalse Achiras.

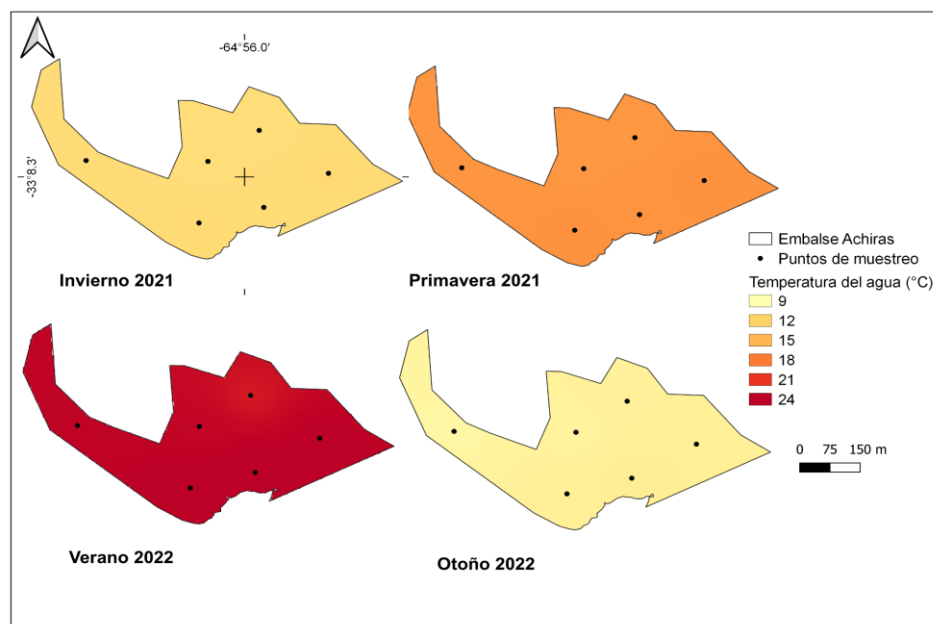


Fuente: Elaboración propia, 2024

3.2. Embalse Las Lajas

A continuación, se observan los mapas de distribución espacial y temporal de la variable temperatura del agua del embalse Las Lajas (Figura 3).

Figura 3: Distribución espacio-temporal de la variable temperatura del agua en el embalse Las Lajas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

La temperatura del agua sigue el comportamiento de la temperatura ambiente, con altas temperaturas en verano y bajas en invierno. El comportamiento estacional fue homogéneo para todas las estaciones de muestreo, esto puede deberse a que es un embalse de dimensiones chicas.

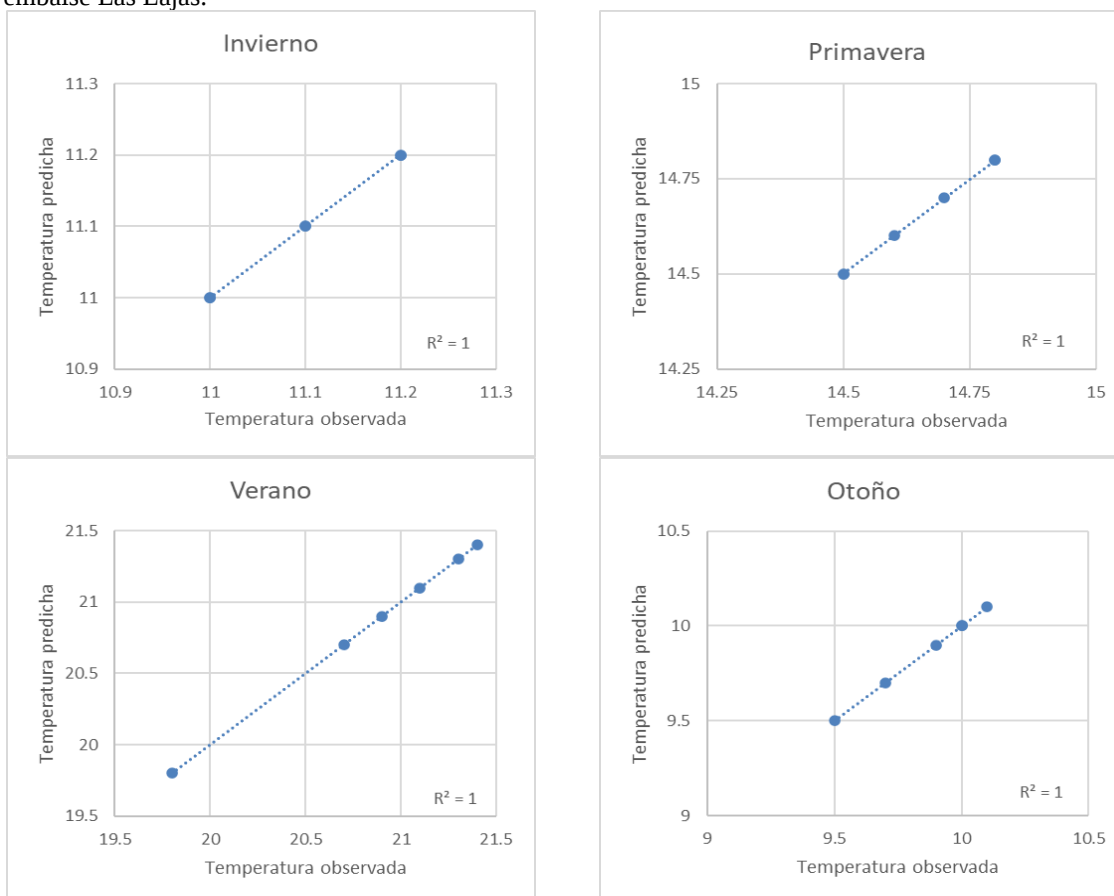
A partir de la determinación de la temperatura del agua, al graficar los valores predichos por el modelo vs los valores observados, se obtuvo un valor de R^2 medio igual al 1 (Figura 4). Estos resultados aseguran un buen ajuste y confirman la robustez y la alta capacidad predictiva al aplicar el algoritmo de interpolación IDW.

La tendencia observada en ambos reservorios de agua es la esperada. Este comportamiento es de suma importancia a tener en cuenta ya que el aumento de temperatura de las estaciones estivales provoca un aumento de la producción primaria favoreciendo la eutrofización y además, el aumento de precipitaciones facilita el arrastre de sedimentos hacia el reservorio, provocando una disminución de la transparencia.

Por lo tanto, es necesario mapear y monitorear dicha contaminación térmica para proteger la salud de los sistemas acuáticos y comprender su comportamiento (Ahn et al. 2006), especialmente cuando los datos son escasos y están restringidos geográficamente a América del Norte y Europa (Schneider y Hook 2010).

Por otro lado, las mediciones de otros factores asociados, como la velocidad del viento, la morfología del embalse y de la costa, y la humedad son necesarias para generar información valiosa sobre la dinámica de la temperatura del agua de los embalses (Ahn et al. 2006, Ding y Elmore 2015, Potemkina et al. 2018).

Figura 4: Valores predichos vs valores observados de la temperatura del agua para las cuatro estaciones del año en el embalse Las Lajas.



Fuente: Elaboración propia, 2024

6. CONCLUSIONES

Los recursos de agua dulce disponibles han disminuido en más de un 20 % en las últimas dos décadas debido al crecimiento de la población y al desarrollo económico, exacerbados por el cambio climático. La disponibilidad de este recurso es una problemática de importancia, como así también, la calidad del agua del mismo para su aprovechamiento. Debido a esto, se deben seguir programas de vigilancia de los sistemas acuáticos continentales con el objetivo de mantener la calidad del agua y conservar la biodiversidad biológica, como así también generar medidas de remediación en sistemas impactados.

Se demostró el uso potencial de los SIG y del método de interpolación espacial IDW, que permitieron la generación de superficies continuas a partir de datos discretos, facilitando la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación de datos para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de continuos monitoreos de los reservorios bajo estudio, para crear bases sólidas del estado actual del mismo y evitar el avance hacia un estado de eutrofización mayor.

REFERENCIAS

AHN, Y. H.; SHANMUGAM, P.; LEE, J. H.; KANG, Y. Q. Application of satellite infrared data for mapping of thermal plume contamination in coastal ecosystem of Korea. **Marine environmental research**, v. 61, n. 2, p. 186-201, 2006.

BELTRÁN-ÁLVAREZ, R.; RAMÍREZ-LOZANO, J. P.; SÁNCHEZ-PALACIOS, J. Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. **Hidrobiológica**, v. 22, n. 1, p. 94-97, 2012.

COSSAVELLA, A. **Influencia de efectos antrópicos y naturales en el proceso de eutroficación de las aguas del embalse Los Molinos I**. Tesis (maestría). Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina, [S. l.], 2002.

DING, H.; ELMORE, A. Spatio-temporal patterns in water surface temperature from Landsat time series data in the Chesapeake Bay, USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 168, p. 335–348, 2015.

LAMPERT, W. y SOMMER, U. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford University Press. ISBN: 0-19-509592-8. 1997.

LEDESMA, C. Modelos geoestadísticos basados en datos satelitales para el mapeo de concentraciones de clorofila-a en el embalse Río Tercero, Argentina. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 2012.

LEDESMA, C.; BONANSEA, M.; RODRÍGUEZ, C.; SÁNCHEZ DELGADO A. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). **Ciencia Agronómica**, v. 44, n. 3, p. 419-425, 2013.

LI, S.; SENG, G.; XIANG, T.; QUANFA, Z. Water Quality in the Upper Han River Basin, China: The Impacts of Land Use/Land Cover in Riparian Buffer Zone. **Journal of Hazardous Materials**, v. 165, p. 317–324, 2009.

MANCINI, M., BETHULAR, A., VIGNATTI, A., ECHANIZ, S., BONANSEA, M., SALINAS, V. y RODRÍGUEZ, C. Calidad de agua y zooplancton del embalse San Roque (Córdoba, Argentina). **Ciencia**, v. 6, n. 1, p. 69-80, 2011.

MASSOL, A. Manual de ecología microbiana. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>. Último acceso: Septiembre de 2024.

POTEMKINA, T.; POTEMKIM, V.; FEDOTOV, A. Climatic factors as risks of recent ecological changes in the shallow zone of Lake Baikal. **Russian Geology and Geophysics**, v. 59, n. 5, p. 556–565, 2018.

PROSPERI, C. A cyanophyte capable of fixing nitrogen under high levels of oxygen. **Journal phycology**, v. 30, n. 2, p. 222-224, 1994.

QUINO, I.; QUINTILLANA, J. Índice de calidad del agua en la cuenca del lago Poopó – Uru Uru aplicando herramientas SIG. **Revista Boliviana de Química**, v. 30, n. 1, p. 91-101, 2013.

SCHNEIDER, P.; HOOK, S. Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 22, 2010.

TORO CHACÓN, L.; DÍAZ CELIZ, C.; CÁRDENAS, J.; AGUILAR, L.; PIMIENTA RUEDA, A.; TORRES MORA, M. Aplicación de tecnologías SIG en el análisis geoespacial de determinantes de calidad del agua: Oxígeno disuelto, pH y temperatura del agua. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. **Centro de Innovación y Tecnología Instituto Colombiano del petróleo (ICP)**, Ecopetrol S.A., Villavicencio, Colombia. 2020.

XU, J.; GUANGQIU, J.; HONGWU, T.; YUMING, M.; YOU GAN, W.; LING, L. Response of Water Quality to Land Use and Sewage Outfalls in Different Seasons. **Science of the Total Environment**, v. 696, p. 134014, 2019.