



Calidad del agua en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando sistemas de información geográfica y modelos lineales de regresión

doi: 10.4136/ambi-agua.1113

Claudia Ledesma¹; Matías Bonansea¹; Claudia Rodríguez*¹;
Ángel R. Sánchez Delgado²

¹Universidad Nacional de Río Cuarto.- Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
Facultad de Agronomía y Veterinaria

²Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Seropédica, RJ, Brasil
Departamento de Matemática

*Autor correspondiente: e-mail: m_c_rodriguez@yahoo.com,
cledesma@ayv.unrc.edu.ar, mbonansea@ayv.unrc.edu.ar,
asanchez@ufrj.br

RESUMEN

Tradicionalmente la calidad del agua es monitoreada y evaluada a través de datos recolectados en localidades previamente escogidas. Los depósitos de material en los embalses reducen su capacidad funcional. Los factores que más afectan la calidad son: sedimentos en suspensión en la superficie, clorofila-a y nutrientes. La modelación y el monitoreamiento del estado biogeoquímico dos embalses pueden ser realizados usando datos obtenidos con sensores remotos. Parámetros relacionados con la calidad del agua tales como la concentración de clorofila-a y la profundidad del disco secchi, pueden ser hallados con una alta correlación, a través de las variables espectrales transformadas y derivadas de las bandas 1, 2, 3 y 4 del satélite LANDSAT 5TM. Construimos los modelos de respuestas estimadas en relación a los valores de clorofila-a. Para eso, utilizamos modelos poblacionales de regresión lineal simples y múltiples, cuyos parámetros están asociados a los datos de reflectancia de las bandas 2 y 4 de la sub-imagen del satélite, así como a los datos de clorofila-a obtenidos en las 25 estaciones de muestreo. De acuerdo con los análisis físico-químicos realizados, las características del agua en el embalse Río Tercero, correspondieron a un agua dulce, algo dura y bicarbonatada cálcica. El agua pudo ser clasificada apta para ser utilizada como fuente de una planta potabilizadora, excelente para riego por su baja peligrosidad salina, sódica y bajo contenido de carbonato de sodio residual y no apta para consumo animal por su bajo contenido en sales.

Palabras llaves: regresión, clorofila-a, parámetros de calidad, SIG.

Controle da qualidade da água no reservatório de Rio Terceiro (Argentina) usando sistemas de informação geográfica e modelos de regressão linear

RESUMO

Tradicionalmente a qualidade da água é monitorada e avaliada através de um conjunto de dados coletados em localidades previamente escolhidas. Os depósitos de material em reservatórios reduzem sua capacidade funcional. Os fatores que mais afetam a qualidade são: sedimentos suspenso na superfície, clorofila e nutrientes. A modelagem e o monitoramento do status biogeoquímico dos reservatórios podem ser realizados usando dados obtidos com

sensores remotos. Parâmetros relacionados à qualidade da água tais como a concentração de clorofila-a e a profundidade do disco secchi, podem ser achados com uma alta correlação, através das variáveis espectrais transformadas e derivadas das bandas 1, 2, 3 e 4 do satélite LANDSAT 5TM. Construimos os modelos de respostas estimadas em relação aos valores de clorofila-a. Para isso, utilizamos modelos populacionais de regressão linear simples e múltiples, cuyos parâmetros estão associados aos dados de refletância das bandas 2 y 4 da sub-imagen do satélite, assim como os dados de clorofila-a obtidos nas 25 estaciones seleccionadas.. De acordo com as análises físico-químicas realizadas, as características da água no reservatório do Rio Tercero, correspondem a água doce, algo dura e bicarbonatada cálcica. A água foi classificada apta para ser utilizada como fonte de uma planta de tratamento, excelente para a irrigação pela baixa salinidade, sódica e baixo conteúdo de carbonato de sódio residual e não apta para o consumo animal pelo seu baixo conteúdo de sales.

Palavras Chaves: regressão, clorofila-a, parâmetros de qualidade, SIG.

Water quality control in Third River Reservoir (Argentina) using geographical information systems and linear regression models

ABSTRACT

Water quality is traditionally monitored and evaluated based upon field data collected at limited locations. The storage capacity of reservoirs is reduced by deposits of suspended matter. The major factors affecting surface water quality are suspended sediments, chlorophyll and nutrients. Modeling and monitoring the biogeochemical status of reservoirs can be done through data from remote sensors. Since the improvement of sensors' spatial and spectral resolutions, satellites have been used to monitor the interior areas of bodies of water. Water quality parameters, such as chlorophyll-a concentration and secchi disk depth, were found to have a high correlation with transformed spectral variables derived from bands 1, 2, 3 and 4 of LANDSAT 5TM satellite. We created models of estimated responses in regard to values of chlorophyll-a. To do so, we used population models of single and multiple linear regression, whose parameters are associated with the reflectance data of bands 2 and 4 of the sub-image of the satellite, as well as the data of chlorophyll-a obtained in 25 selected stations. According to the physico-chemical analyzes performed, the characteristics of the water in the reservoir of Rio Tercero, correspond to somewhat hard freshwater with calcium bicarbonate. The water was classified as usable as a source of plant treatment, excellent for irrigation because of its low salinity and low residual sodium carbonate content, but unsuitable for animal consumption because of its low salt content.

Keywords: regression, chlorophyll, quality parameters, GIS.

1. INTRODUCCION

Los embalses son reservorios de agua utilizados para satisfacer varias necesidades del medio ambiente y la sociedad. 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, la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales. Sin embargo, ligado a la calidad del agua, la eutrofización, definida como un proceso de deterioro que se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condiciona la utilización de los mismos ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional.

El deterioro del estado ecológico de las aguas continentales (embalses y lagos) ha sido un problema creciente en los últimos años. Numerosos factores naturales y humanos contribuyen al incremento en la concentración de sustancias ópticamente activas en el cuerpo de agua, así como también un incremento en la turbidez y temperatura de la misma. Estos procesos pueden conducir a “blooms” algales, anoxia y hasta un deterioro dramático de la calidad del agua (Polvorinos et al., 2005). En la actualidad, la intensificación de los procesos de eutrofia bajo la influencia de la civilización ha adquirido características preocupantes en los países desarrollados (Bonansea et al., 2012), debiendo las investigaciones limnológicas incluir las observaciones climatológicas y la evolución y desarrollo de los cambios climáticos durante el período de estudio (Tundisi et al., 2007).

Una herramienta bastante utilizada en el monitoreo de recursos hídricos son las imágenes satelitales provistas por sensores remotos (Bazán, 2006), ya que aportan datos de manera sinóptica y periódica, cubren grandes zonas y permiten la evaluación y monitoreo espacio-temporal de la calidad del agua superficial de los reservorios. La teledetección o sensoramiento remoto puede integrarse al SIG, que se definen como un sistema utilizado para ingresar, almacenar, manipular y analizar datos referenciados geográficamente.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las variaciones temporales y espaciales de los parámetros de calidad del agua en el embalse Río Tercero (Córdoba-Argentina), combinando, datos experimentales con datos provenientes de imágenes LANDSAT 5TM dentro de un modelo numérico que permita inferir la concentración de clorofila-a. Los modelos aplicados a fenómenos ecológicos e hidrológicos proveen alta resolución en las variables estudiadas (Spadavecchia y Williams, 2009). El uso de la caracterización espacial desde un análisis estadístico implica resultados y suposiciones sencillas (González y Valdes, 2008; González et al., 2011).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El embalse Río Tercero se encuentra en el valle de Calamuchita, región de las Sierras Chicas en la Provincia de Córdoba, Argentina (64° 23' O y 32° 10' S) (Figura 1). Construido en 1936 sobre el río Tercero con el fin de suministrar energía hidroeléctrica, hoy también constituye la fuente de enfriamiento de la central nuclear ubicada a sus orillas (Mariazzi et al., 1992; Calcagno, 1996). Provee además agua para consumo, fuente de riego y usos recreacional y turístico. Posee un área superficial de 46 Km², una profundidad media de 12 m y una profundidad máxima de 46 m; un volumen de 560 hm³ y una producción media anual de 5.800 Mwh/a.

2.2. Toma de muestras y laboratorio

Se realizaron dos clases de muestreos. Por un lado, durante las campañas de los años 2003 a 2006, se determinaron en 7 estaciones seleccionadas, parámetros para evaluar la calidad del agua a nivel físico-químico y biológico (temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y concentración de clorofila-a). La transparencia del agua fue evaluada por el disco de Secchi, in situ. Por otro lado, en el muestreo realizado el día 3 de octubre del año 2005, fecha coincidente con el paso del satélite LANDSAT 5TM por el área de estudio, se consideraron 26 estaciones de muestreo distribuidas en toda el área de estudio, incluyendo las 7 estaciones preestablecidas en las campañas anteriores. Las posiciones de dichos sitios se establecieron por medio de GPS (Global Positioning Systems). La metodología de toma de muestras, almacenamiento, conservación, transporte y técnicas analíticas se realizaron de acuerdo a métodos estandarizados por APHA et al. (2000).

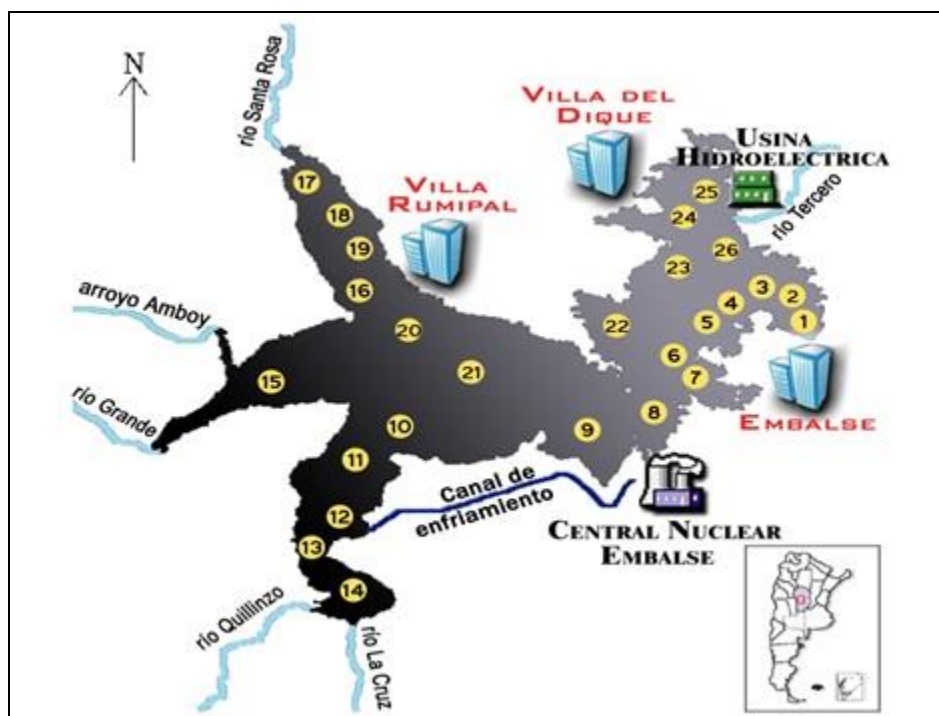


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. Sierras Chicas-Córdoba ($64^{\circ} 23' O$ y $32^{\circ} 10' S$).

En el laboratorio se analizaron; dureza, conductividad, aniones, cationes, alcalinidad, sales totales, DBO5 y DQO (APHA et al., 2000). Para la determinación de clorofila-a, las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos de un litro, a 20 cm de profundidad. Seguidamente se resuspendieron las algas en metanol por 12 h a $-4^{\circ} C$; se centrifugaron y se tomó el sobrenadante, midiéndose en espectrofotómetro y utilizándose metanol puro como blanco. La lectura se realizó a 665 y 720 nm y luego la diferencia entre ambos se multiplicó por la constante de conversión 13,42 (Prosperi, 1994).

2.3. Procesamiento de imágenes

Fue utilizada una sub-imagen extraída de una escena completa (Path 229, Row 82) provista por el satélite LANDSAT 5TM. Utilizando cartas del IGM (Instituto Geográfico Militar) de la zona de estudio y datos del 2006 de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento, se generó una máscara de la cuenca del embalse, que se aplicó sobre la imagen satelital para obtener una sub-imagen que comprendió toda la cuenca del embalse. Para el análisis, procesamiento e interpretación de la misma se utilizaron los software ArcView GIS (ver 3.2) y ENVI 3.5. Se georreferenció esta imagen con un RMS (Error Medio Cuadrado) global de 0,54 pixel (30 metros/pixel). Teniendo en cuenta los relieves del terreno, se consideró al RMS como aceptable. Se aplicó una técnica de corrección atmosférica, para disminuir o corregir la influencia que las distintas componentes de la atmósfera tuvieron al dispersar o absorber parte de la radiación electromagnética captada por el sensor. Por último, se realizó una clasificación supervisada de la misma y se generó un mapa temático de uso del suelo de la cuenca del embalse. El índice de ajuste general k (Kappa Index of Agreement) obtenido en esta etapa fue de 87,9%. Sobre la máscara construida, se aplicaron las respuestas estimadas de los modelos de regresión lineal simple y múltiple obtenidos en este estudio. A partir de estas respuestas se predijo la concentración de clorofila-a en sitios no muestreados y en sitios alejados a los puntos de muestreo y se evaluó su variabilidad espacial.

2.4. Metodología

En primer lugar construimos los modelos de respuestas estimadas en relación a los valores de clorofila-a. Para eso, utilizamos modelos poblacionales de regresión lineal simples y múltiples, cuyos parámetros están asociados a los datos de reflectancia de las bandas 2 (b2) y 4 (b4) de la sub-imagen del satélite LANDSAT 5TM, así como a los datos de clorofila-a obtenidos en las 25 estaciones de muestreo. Usamos el software estadístico InfoStat-2008. El modelo poblacional de regresión lineal simple tiene por Ecuación 1:

$$cl - a = \alpha + \beta x + \epsilon_i \quad [1]$$

donde:

$cl - a$ - representa la concentración de clorofila-a en función de la reflectividad (x) de las variables regresoras (b2) y (b4);

α y β son parámetros del modelo, constantes y desconocidos y ϵ_i es el error aleatorio.

El modelo poblacional de regresión lineal múltiple tiene por Ecuación 2:

$$cl - a = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon_i \quad [2]$$

donde:

$cl - a$ - representa la concentración de clorofila-a en función de los valores de reflectividad de las variables regresoras (b2) y (b4) respectivamente;

β_0 una constante del modelo, β_1 y β_2 los coeficientes de las bandas 2 y 4 respectivamente y ϵ_i es el error aleatorio asociado.

2.5. Procedimientos numéricos

Para el modelo poblacional de regresión lineal simple, Ecuación 3, obtenemos el modelo de regresión estimado.

$$cl - a = \alpha + \beta x + \epsilon_i \quad [3]$$

El procedimiento conocido para estimar la Ecuación 3 es a través de las rectas de regresión, obtenidas a partir de las muestras y que tienen por Ecuación 4:

$$cl - a_i^* = a + bx_i \quad [4]$$

donde:

$cl - a_i^*$ - representa la concentración de clorofila-a estimada, x es la reflectividad de las bandas 2 y 4, respectivamente, y a y b son los estimadores de los parámetros α y β del modelo poblacional de regresión lineal simple.

Ya en el modelo de regresión lineal múltiple, se consideraron conjuntamente como variables regresoras del modelo a b2 y b4 y cuyo modelo estadístico tiene por Ecuación 5:

$$cl - a = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon_i \quad [5]$$

El ensayo numérico realizado en este caso se rige por la Ecuación 6:

$$cl - a_i^* = b_0 + b_1 x_{1j} + b_2 x_{2j} \quad [6]$$

donde:

$cl - a_i^*$ - representa la concentración de clorofila-a estimada, b_0 es una constante de la respuesta estimada;

b_1 y b_2 son los coeficientes asociados a las bandas 2 y 4 respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis físico-químicos realizados, las características del agua en el embalse Río Tercero, correspondieron a un agua dulce, algo dura y bicarbonatada cálcica. El agua pudo ser clasificada apta para ser utilizada como fuente de una planta potabilizadora, excelente para riego por su baja peligrosidad salina, sódica y bajo contenido de carbonato de sodio residual y no apta para consumo animal por su bajo contenido en sales.

En la Tabla 1, podemos notar que la concentración media de clorofila-a, varió de 4,5 µg/L a 10,4 µg/L ; en cuanto que la máxima varió de 8,2 µg/L a 15,5 µg/L; entre los años 2003 y 2006. Esta variable aumentó a lo largo del tiempo. Según Bazán (2006), la concentración de clorofila-a está relacionada con la concentración de nutrientes, tanto PT, como NT; con la penetración de la luz (disco de Secchi) y con la temperatura del agua.

Tabla 1. Valores medios y máximos de clorofila-a (µg/L) y clasificación del estado trófico del embalse Río Tercero (2003-2006).

Año	Variable	Valor Medio (µg/L)	Clasificación Del Estado Trófico (OECD)*
2003	$cl - a$ - Media	4,5	Mesotrófico
	$cl - a$ - Máxima	8,2	
2004	$cl - a$ - Media	6,4	Mesotrófico
	$cl - a$ - Máxima	14,0	
2005	$cl - a$ - Media	10,3	Eutrófico
	$cl - a$ - Máxima	15,0	
2006	$cl - a$ - Media	10,4	Eutrófico
	$cl - a$ - Máxima	15,5	

***OECD:** Organización, Cooperación y Desarrollo Económico de Aguas Interiores (ver Tabla 1 en Ledesma et al., 2013).

Durante el periodo de estudio se observó que el embalse presentó una temperatura mínima de 25 °C y una máxima de 30 °C. Luego de procesar la imagen satelital, se observó una buena correlación entre los valores de temperatura muestreados y los estimados por sensoramiento remoto ($R^2 = 0.7$). Al generar el mapa de temperatura superficial en el embalse Río Tercero por medio de técnicas de teledetección, se observó una temperatura media en el reservorio de 26,6 °C (Figura 2). Los valores encontrados no fueron diferentes a los existentes en los antecedentes del embalse, por lo que la temperatura no ha variado a lo largo del tiempo.

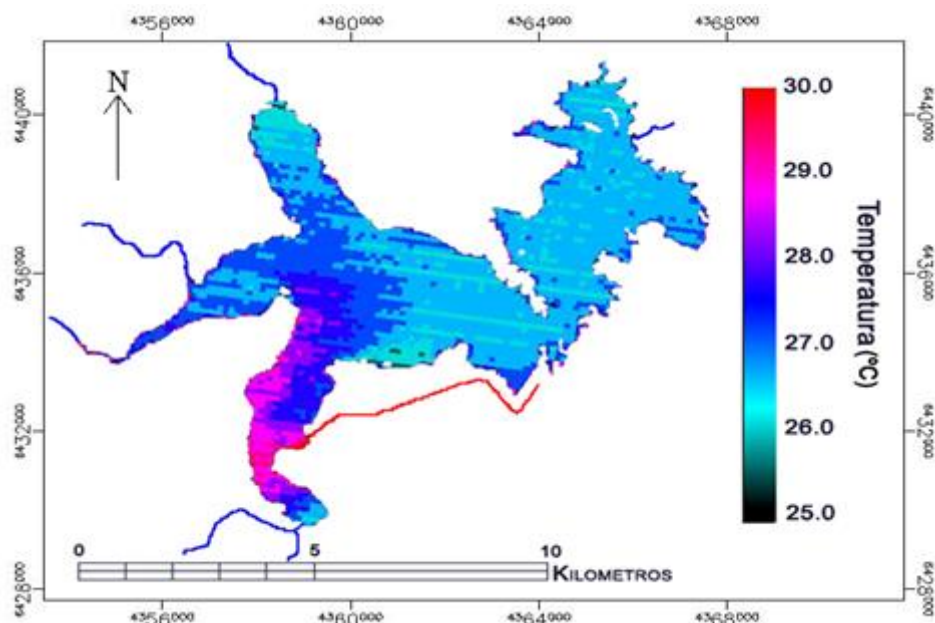


Figura 2: Distribución de la temperatura superficial del agua en el embalse Río Tercero.

Como era de esperar, los registros más altos se encontraron en verano y primavera; mientras que los más bajos se registraron en invierno y otoño, demostrando una tendencia estacional a lo largo del tiempo. De esta manera, el aumento en las concentraciones de PT y NT halladas en el embalse, pudo ser a causa del incremento en la concentración de clorofila-a Tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones de PT y NT en el embalse Río Tercero; Córdoba, Argentina (2003-2006).

Variable/año	2003	2004	2005	2006
PT-Medio($\mu\text{g/L}$)	20,0	23,0	41,0	40,0
NT-Medio($\mu\text{g/L}$)	871,0	2.229,0	1.700,0	1.715

Entre los sitios de muestreo, se observó que las concentraciones más altas se presentaron en el canal de enfriamiento de la central nuclear y en el murallón del embalse (ver Figura 1). En el primer caso, el incremento de $cl - a$ pudo deberse a la alta temperatura que posee el agua en este sitio, favoreciendo la proliferación de algas; mientras que en el segundo caso, podría ser el producto a la alta concentración de nutrientes y de los vientos predominantes en el embalse Río Tercero, provenientes del sector suroeste. Deberían de ser realizados nuevos estudios sobre la dispersión de los vientos, para corroborar que estos no han cambiado en el tiempo. Por otro lado, los valores más bajos de $cl - a$ se encontraron en la confluencia de los ríos Quillínz y La Cruz, lo que estaría relacionado con una baja transparencia del agua y que generaría condiciones desfavorables para el fitoplancton.

Cuando se consideró como variable regresora a b2 de la sub-imagen satelital LANDSAT 5TM, la recta de regresión estimada fue Ecuación 7:

$$cl - a_1^* = -4,93 + 0,81x_1 \quad [7]$$

En cuanto se consideró como variable regresora b4 de la sub-imagen satelital LANDSAT 5 TM, la recta de regresión estimada fue Ecuación 8:

$$cl - a_2^* = 11,29 + 0,15x_2 \quad [8]$$

El valor del coeficiente de determinación fue de $R^2 = 0,76$ para la Ecuación [7]; en cuanto que para la Ecuación [8] fue de $R^2 = 0,68$. Los valores obtenidos de los coeficientes a y b en las rectas de regresión estimadas, cuando consideró como variable regresora a b2 como así también cuando se consideró como variable regresora a b4, fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

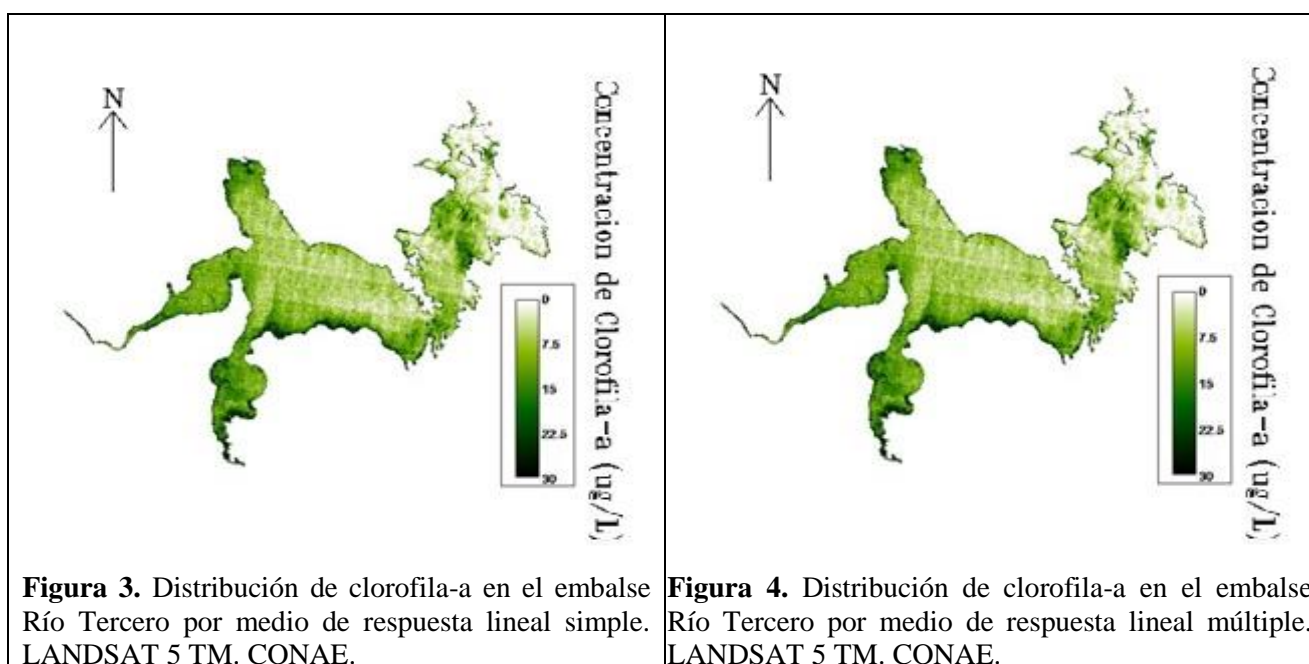
En el modelo de regresión lineal múltiple, la ecuación estimada para el valor de clorofila-a, está dada por Ecuación 9:

$$cl - a_i^* = -2,65 + 0,69x_{1j} + 0,02x_{2j} \quad [9]$$

Para a Ecuación [7], se obtuvo un valor de R^2 ajustado de 0,76, indicando que el 76% de la variación de la concentración de clorofila-a fue explicada por las variables regresoras b2 y b4. Los valores de los estimadores obtenidos -2,65, 0,69 y 0,02 fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Como resultado del estudio tenemos las Figuras 3 y 4.

En las mismas se observaron áreas de color verde más intenso que correspondieron a áreas de mayor concentración de clorofila-a y que representan una mayor cantidad de nutrientes presentes en el agua. Dichas áreas coinciden con los afluentes del embalse. En la salida del reservorio la concentración resultó inferior al de las entradas.

La variable clorofila-a osciló entre los 9 $\mu\text{g/l}$ y los 26 $\mu\text{g/l}$. En ambos mapas se observó una distribución de clorofila-a muy similar. En las Figuras 3 y 4 se observan diferencias únicamente en el centro del lóbulo menor del embalse. Estas figuras son el resultado de la integración de sensores remotos y respuestas estimadas por las Ecuaciones [7]-[8]-[9].



4. CONCLUSIONES

Las respuestas de regresión estimadas permitieron inferir la concentración y la distribución espacial de la variable concentración de clorofila-a, posibilitando evaluar y predecir florecimientos algales. La concentración de clorofila-a presentó variabilidad espacial en el embalse, encontrándose mayores valores en los afluentes. La integración de datos de sensoramiento satelital y clorofila-a, podrían ser metodologías apropiadas para predecir los valores de la variable en sitios no muestreados y permitirían conocer su distribución espacial en el cuerpo de agua. Las herramientas y las técnicas utilizadas en este trabajo podrán servir de líneas de base para futuras investigaciones en otros cuerpos de agua, para ampliar los estudios realizados en el embalse Río Tercero, y para desarrollar programas de gestión a los fines de disminuir los riesgos de florecimientos potencialmente tóxicos para la salud.

5. REFERENCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18th ed. Washington, DC, 2000.
- BAZÁN, R. **Evaluación de la calidad del agua, nivel de eutroficación y su consecuencia en el embalse Los Molinos (Córdoba)**. 2006. Tesis (Magíster) - Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 2006.
- BONANSEA, M.; LEDESMA, C.; RODRIGUEZ, C.; DELGADO, A. S. R. Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Revista Ambiente & Agua*, v. 7, n. 3, p. 1-11, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.847>
- CALCAGNO, A. T. Evaluación de impacto ambiental. Proyecto Programa Nacional de agua potable y alcantarillado cloacal. **ALMAFUERTE**, Tomo I, p.2-75, 1996.
- GONZALEZ, J.; VALDES, J. B. A regional monthly precipitation simulation model based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach. *Journal of Hydrology*, v. 348, p.27-39, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.059>
- GONZÁLEZ, O. S.; ALMEIDA, C. A.; QUINTAR, S.; MALLEA, M. A.; GONZÁLEZ, P. S. Application of multivariate statistical techniques to evaluate organic pollution on a river in Argentina. *Revista Ambiente & Agua*, v.6, n. 3, p. 27-42, 2011. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.696>
- LEDESMA, C.; BONANSEA, M.; RODRIGUEZ, C.; SANCHEZ DELGADO, A. R. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3, p. 419-425, jul./set. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>
- MARIAZZI, A. A.; DONADELLI, J. L.; ARENAS, P.; DI SIERVI, M. A.; BONETTO, C. Impact of a nuclear power plant on water quality of River Tercero reservoir (Córdoba, Argentina). *Hydrobiology*, 246, p.129-140. 1992. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00014700>

LEDESMA, C.; BONANSEA, M.; RODRÍGUEZ, C.; DELGADO, A. R. S. Calidad del agua en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando sistemas de información geográfica y modelos lineales de regresión. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 67-76, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1113>)

POLVORINOS, A.; FORTEZA, M.; HERNÁNDEZ, M. J.; ALMARZA, J.; TOJA, J.; ESCOT, C. Remote sensing modeling and monitoring of water quality within the Seville (Spain) area dams. In: ESA CHRIS PROBA WORKSHOP, 3., 21-23 March, 2005, Frascati. **Proceedings...** Frascati: ESRIN, 2005.

PROSPERI, C. A cyanophyte capable of fixing nitrogen under high levels of oxygen. **Journal of Phycology**, v. 30, n. 2, p. 222-224, 1994. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00222.x>

SPADAVECCHIA, L.; WILLIAMS, M. Can spatial- temporal geostatistical methods improve high resolution regionalisation of meteorological variables? **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1105-1117, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.01.008>

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. Climate monitoring before and during limnological studies: a needed integration. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 4, p.795-796, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842007000400034>