

# Monitoreo satelital de la calidad del agua en una cuenca y su relación con incendios, precipitaciones y crecimiento urbano

Alba German <sup>#1</sup>, Juan Argañaraz <sup>#2</sup>, Andrés Lighezzolo <sup>#3</sup>, Anabella Ferral <sup>#4</sup>.

<sup>#1</sup>Instituto Gulich, CONAE-Universidad Nacional de Córdoba

Centro Espacial Teófilo Tabanera, Ruta 45, km 8, Falda del Cañete, Córdoba, Argentina

<sup>1</sup>albagerman@gmail.com, <sup>2</sup>argajuan@yahoo.com.ar, <sup>3</sup>alighezzolo@conae.gov.ar, <sup>4</sup>aferral@conae.gov.ar

<sup>§</sup> Dto. de Hidrología, Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba

Humberto Primo 607, Córdoba, Argentina

\*Universidad Blas Pascal

Av. Donato Alvarez, Arguello, Argentina

**Abstract**— Water has historically been considered a renewable resource, however in the last century a sustained degradation of its quality has been observed, both in continental and oceanic systems due to the anthropic impact. Added to this problem, a new global threat appears, climate change, causing severe droughts or extraordinary floods in different regions of the planet. In this framework, the management of water resources and satellite monitoring represent a central point in public policies, since they allow us to anticipate and adapt to these disturbances. In this work, satellite information is used to perform an analysis of the annual evolution of the water quality of the San Roque reservoir, Córdoba, and its relationship with the occurrence of fires, rainfall and urban growth for the period 2001-2016. Water quality is evaluated from a time series of chlorophyll-a generated with MODIS-TERRA data and previously validated for the water body of study. The constructed and burned area is calculated from the classification of LANDSAT-TM / ETM+ / OLI images for the basin. Accumulated precipitation is obtained from the products of NASA's TRMM mission. The temperature in the water reservoir is also analyzed, obtained from MODIS-TERRA data. Finally, correlation analysis between the mentioned variables is studied.

**Resumen**— El agua históricamente ha sido considerada un recurso renovable, sin embargo, en el último siglo se viene observando una degradación sostenida de su calidad, tanto en sistemas continentales como oceánicos debido al impacto antrópico. Sumado a esta problemática, aparece como una nueva amenaza el cambio climático global, el cual se manifiesta causando severas sequías o extraordinarias inundaciones en diferentes regiones del planeta. En este marco, la gestión del recurso hídrico y el monitoreo satelital representan un punto central en las políticas públicas, ya que permiten anticiparse y adaptarse a estas perturbaciones. En este trabajo se utiliza información satelital para realizar un análisis de la evolución anual de la calidad de agua del embalse San Roque, Córdoba, y su relación con la ocurrencia de incendios, precipitaciones y crecimiento urbano para el período 2001-2016. La calidad de agua se evalúa a partir de una serie temporal de clorofila-a generada con datos MODIS-TERRA y validada previamente para el cuerpo de agua en estudio. El área construida y quemada se calcula a partir de la clasificación de imágenes LANDSAT-TM/ETM+/OLI para la cuenca. La precipitación acumulada se obtiene a partir de los productos de la misión TRMM de la

NASA. Se analiza también la variable temperatura en el agua del embalse, obtenida a partir de datos MODIS-TERRA. Por último, se realizan análisis de correlación entre las variables mencionadas.

## I. INTRODUCCIÓN

El Embalse San Roque es la fuente de abastecimiento de agua más importante de la ciudad de Córdoba, en donde residen un millón trescientos treinta mil personas según el Censo 2010 del INDEC [1].

Durante los últimos años se ha registrado una disminución de la confianza de la población en la calidad del agua de la red pública debido a la ocurrencia de episodios de mal olor, sabor y color. La causa principal de estas alteraciones está relacionada con un aumento del estado de eutrofización del embalse [2].

La eutrofización es el proceso por el cual la producción primaria aumenta, ya que se ve potenciada por un mayor aporte de materia orgánica y nutrientes a un ecosistema. Este aporte puede estar influenciado por diversos factores y está relacionado con fenómenos que ocurren en la cuenca de aporte al cuerpo de agua [3]. Los incendios son un disturbio recurrente en la cuenca, y las áreas quemadas pueden cubrir extensas superficies. Al llegar la época de lluvias, el material orgánico y los nutrientes son arrastrados hacia los cursos de agua y de ahí llegan al cuerpo de agua receptor [4]. Además, el crecimiento urbano en países donde el planeamiento urbano es escaso, trae aparejado el volcamiento de efluentes cloacales sin correcto tratamiento a los cuerpos y cursos de agua.

Las masas de agua eutrofizadas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos. Una medida ampliamente usada para monitorear la biomasa es la concentración de clorofila-a [5], cuyos valores pico para un lago oligotrófico son de alrededor de 1 a 10 mg/m<sup>3</sup>, mientras que en un lago eutrófico puede alcanzar 300 mg/m<sup>3</sup>. El agua del San Roque presenta valores de Cl-a que en ocasiones pueden llegar a números cercanos a 1000 mg/m<sup>3</sup>.

Se ha determinado mediante estudios de campo que las frecuencias temporales y espaciales de los programas de muestreo de agua convencionales no son adecuados para reportar cambios en la biomasa del fitoplancton, especialmente durante condiciones de floración, donde la variabilidad espacial y temporal en la densidad del fitoplancton es particularmente alta [6]. En este contexto, el sensado remoto es una excelente herramienta de control debido a que permite trabajar con periodicidad espacial y temporal, a una escala más grande, en menor tiempo y costo. Particularmente mediante el seguimiento de un compuesto ópticamente activo como es la clorofila-a es posible estimar distribución de biomasa algal a partir de datos satelitales [7]. Específicamente, el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA, puestos en órbita en el año 1999, presenta un alto potencial para monitorear calidad de agua tanto en sistemas oceánicos como continentales. Estos dos satélites proveen información diaria y está disponible de forma libre y abierta. En [8] se presentó una serie de paso de tiempo diario que permitió conocer el comportamiento de la cl-a en el período 2001-2014, generada a partir de un algoritmo semiempírico con datos MODIS y mediciones de campo de clorofila-a del Embalse San Roque. En este trabajo, se busca relacionar el comportamiento observado en la variable cl-a con otras variables ambientales que puedan explicar el mismo. Por un lado, se calculó el área construida y quemada en el período de estudio a partir de la clasificación de imágenes LANDSAT-TM/ETM+/OLI [9] para la cuenca. Por otro lado, se analizó la precipitación acumulada, a partir de los productos de la misión TRMM de la NASA [10]. Se complementó el análisis con datos de crecimiento poblacional obtenidos del Censo Nacional”.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Zona de Estudio:

La Figura 1 presenta la cuenca oficial del embalse San Roque, generada por la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba. El Embalse San Roque presenta su baricentro superficial en coordenadas 31° 22' 56" S, 64° 27' 56" O, está situado aproximadamente a 600 msnm en el Valle de Punilla, provincia de Córdoba, en la alta cuenca del Río Suquía. Su área de drenaje comprende una superficie de 1750 km<sup>2</sup>, recibiendo el aporte de cuatro tributarios: los ríos San Antonio y Cosquín junto con los arroyos Los Chorrillos y Las Mojarras, sumados al pequeño aporte debido al perillago. A su vez cuenta con un único emisario, el Río Suquía. El espejo de agua del embalse es de 1500 Ha que puede variar según el nivel del embalse.

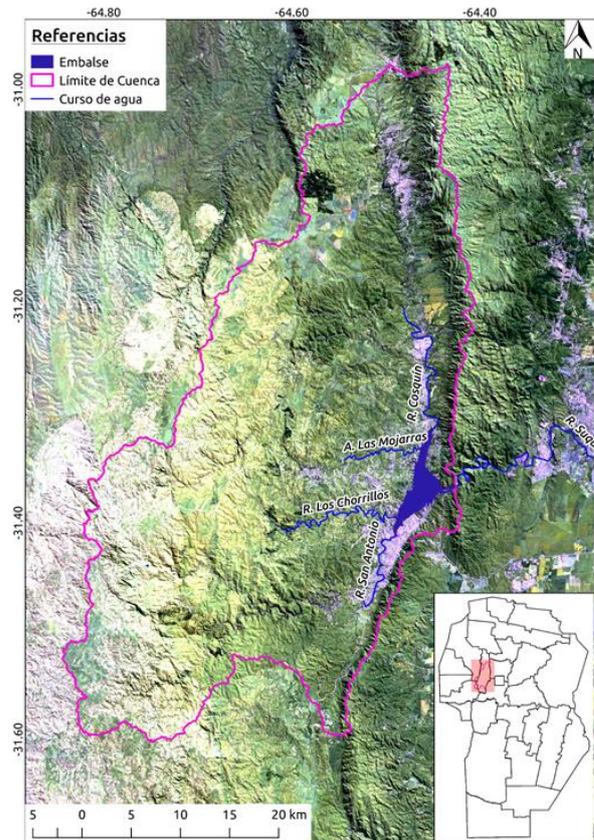


Figura 1. Localización área de estudio.

### B. Datos satelitales

**Serie temporal de clorofila-a:** Los datos de cl-a se obtuvieron utilizando datos del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA, específicamente el producto de reflectancia de superficie MOD09GQ, que incluye las Bandas 1 y 2 de 250 m de resolución espacial. A partir del algoritmo desarrollado en [8], se utiliza un pixel que ocupa el centro del cuerpo de agua y se calcula con las Bandas 1 y 2 (B1 y B2) a través de la siguiente fórmula  $2.58 - 0.896 * B1/B2$ , un valor de concentración de clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>) en el agua del embalse para cada imagen. En [7] se mostró que el área central del embalse se comporta estadísticamente como una media de la totalidad del mismo. En este trabajo se utilizó la serie de imágenes que va desde 2001 a 2016, para cada día sin nubes y se calcularon medias anuales y mensuales a partir de los datos diarios.

**Precipitación:** La precipitación acumulada se obtuvo del portal de CONAE sobre meteorología (<http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/trmm>). Aquí se pueden encontrar datos de precipitación acumulada mensual y acumulada anual. Esta información fue procesada a partir de datos provenientes del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), misión conjunta entre la NASA y la JAXA, que proveyó datos desde Noviembre de 1997 hasta Abril de 2016. Se utilizó el producto que provee datos de precipitación acumulada mensual (3B43). La resolución temporal del producto es mensual, su resolución espacial de 0.25°x0.25° y la cobertura espacial se extiende desde los 50° Sur hasta los 50° Norte.

**Temperatura:** Esta variable se calculó a partir de datos MODIS, particularmente el producto diario MOD11A1, específicamente la banda que corresponde a la temperatura diurna de la superficie terrestre. Este producto es de nivel 3 de procesamiento, de 1km de resolución espacial y es generado por el algoritmo de la ventana de división generalizada [11]. Este algoritmo fue validado en diversas coberturas terrestres, incluyendo superficies de agua en lagos.

Se generó un ajuste de los datos satelitales extraídos del pixel central del cuerpo de agua de estudio con datos medidos in situ en el centro del Embalse San Roque, a través de un modelo lineal, obteniendo un R cuadrado de 0.85. Con el modelo obtenido, se calculó con la siguiente fórmula  $0.8156 \cdot \text{MOD11A1} + 2.7820$ , un valor de temperatura (°C) en el agua del embalse para cada día sin nubes desde 2001 a 2016 y se calcularon medias anuales y mensuales a partir de los datos diarios.

**Áreas quemadas:** La superficie quemada se obtuvo a partir de una base de datos generada mediante clasificación semiautomática de imágenes Landsat TM, ETM+ y OLI de 30 m de resolución espacial (Path/Row: 229/82). Se utilizaron imágenes del periodo 2001-2016, adquiridas entre los meses de Junio y Diciembre, que es la estación de incendios [12]. En el año 2012 no se pudieron obtener resultados, ya que Landsat 5 TM deja de funcionar correctamente a fines de 2011 y Landsat 8 comenzó a funcionar en 2013. Las imágenes fueron clasificadas utilizando el programa ABAMS (Automatic Burned Area Software) que utiliza el algoritmo propuesto por [13]. La precisión del productor de esta base de datos oscila entre 88 y 97 %, y la precisión del usuario entre 71 y 96 %.

**Área construida:** El área construida se analizó a partir de dos imágenes Landsat, una del año 2007 (sensor TM) y otra del año 2017 (sensor OLI). Éstas fueran corregidas por el método de fondo oscuro y luego clasificadas de forma supervisada con el software ENVI 5.5 [14], utilizando el algoritmo SVM. Se utilizaron 5 clases: Urbano, Agua, Suelo Desnudo, Vegetación alta y Vegetación baja. Luego se cuantificaron las hectáreas ocupadas por las clases en 2007 y en 2017, contabilizando los píxeles pertenecientes a cada una. Se completó el estudio con datos del INDEC pertenecientes a los dos censos nacionales 2001 y 2010. Se cuantificó el crecimiento poblacional por ejido urbano en la cuenca de estudio, a través del cálculo de la diferencia de población total entre 2001 y 2010.

### C. Métodos de Análisis

**Análisis estadístico marginal:** Se utilizó el programa Rstudio [15] para generar los gráficos de caja de la variable clorofila y el cálculo de los estimadores estadísticos, media, mínima, máxima y mediana de las variables analizadas.

**Análisis de frecuencias:** Se utilizó el programa Origin [16] para realizar la proyección de las series temporales de clorofila-a, temperatura, precipitación acumulada y áreas quemadas, en una base de Serie de Fourier. A partir de esta transformación se obtuvieron las frecuencias características

de cada serie y se compararon entre sí para detectar frecuencias resonantes.

## III. RESULTADOS

### A. Evolución interanual de la calidad del agua

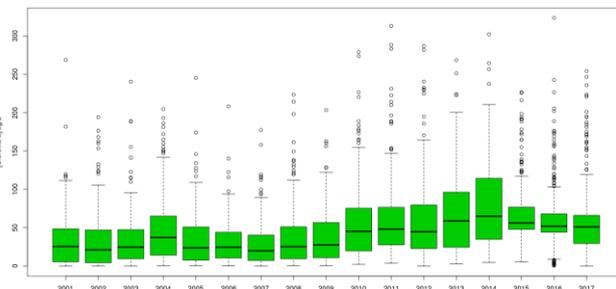


Figura 2. Gráficos de caja que representan la distribución anual de la concentración de cl-a calculada desde satélite.

En la figura 2, se observa cómo ha ido evolucionando la variable cl-a durante los años de la serie de tiempo. Se destacan oscilaciones cíclicas cada 4 / 5 años, donde la mediana va aumentando y disminuyendo, aunque estas oscilaciones a partir de 2010 se dan con una mediana mayor. También se observan muchos valores outliers que siguen estas oscilaciones y que son mayores hacia los últimos años.

Esto muestra al aumentar los valores de concentración de cl-a, que la calidad del agua del Embalse, a pesar de ser cíclica y tener años de mayores concentraciones y otros de menores, ha ido empeorando en los últimos 7 años.

### B. Evolución interanual de variables ambientales

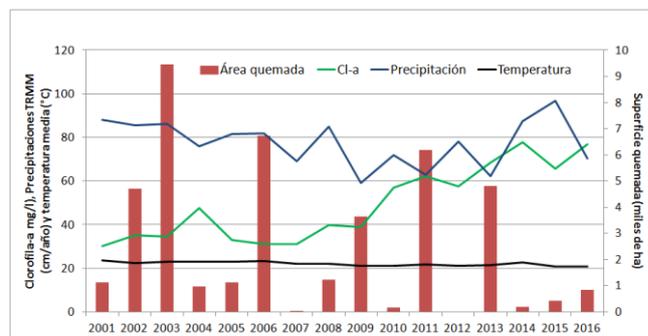


Figura 3. Series temporales anuales de áreas quemadas, cl-a, precipitación acumulada (TRMM) y temperatura (T°).

Al observar la figura 3, podemos encontrar algunas relaciones entre las variables graficadas. Se observa un incremento importante de áreas quemadas en el año 2003, lo que podría estar relacionado con el aumento registrado en concentración de clorofila-a del año 2004. En 2009 también se registraron grandes superficies quemadas y se observa un aumento en las concentraciones de cl-a al año siguiente (2010), año desde el cual la media de cl-a comienza a aumentar con respecto a los años anteriores de la serie. En 2013 se presenta otro pico de áreas quemadas, que parece incidir nuevamente en la concentración media de clorofila-a de año siguiente (2014). Esto se destaca a pesar que la tendencia de la serie va en aumento, ya que se observa una

disminución de la media de cl-a en 2015. Además, los aumentos de cl-a en 2010 y 2014 también coinciden con picos de precipitación. Por el contrario, en el año 2006 se quemó una gran superficie, pero no se observó un incremento de cl-a en 2007, lo que podría estar relacionado a las menores precipitaciones que se registraron ese año. En el año 2012 no se observa un aumento de cl-a con respecto al año anterior, a pesar que en 2011 se quemó una gran superficie de la cuenca. Sin embargo, ya se comenzaba a registrar valores de cl-a notablemente superiores a los observados entre 2001 y 2009.

C. Análisis de series temporales mensuales

La Figura 4 presenta las series temporales mensuales de las variables concentración promedio de clorofila-a, temperatura promedio y precipitación acumulada.

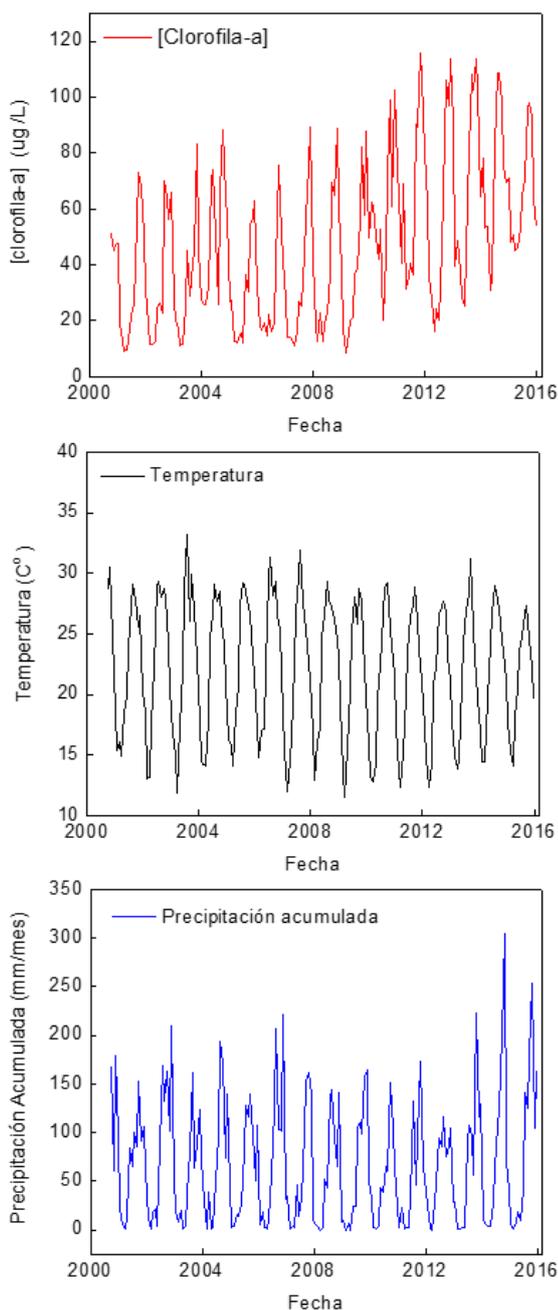


Figura 4. Series temporales mensuales de concentración de clorofila-a promedio, temperatura promedio y precipitación acumulada.

En todos los casos se observa un comportamiento periódico determinado principalmente por un ciclo anual. Este comportamiento es esperable para la temperatura del lago a estas latitudes, la cual depende principalmente de la distancia de la Tierra al sol, y para otras variables que puedan estar asociadas a ella como las precipitaciones y la productividad fotosintética. La serie de concentración de clorofila-a presenta un incremento sostenido durante los últimos cinco años que no se corresponde con el comportamiento de la serie de temperatura. Por otro lado, la serie de precipitación también muestra un incremento en los últimos años.

**Análisis bivariado:** La Figura 5 presenta los gráficos de dispersión de la variable concentración de clorofila-a en función de la temperatura y de la precipitación acumulada. En ambos casos se obtuvo una relación lineal positiva y significativa con bajos valores de coeficiente de determinación, siendo 0.21 para temperatura y 0.26 para precipitación. Los bajos valores observados se pueden interpretar a la luz del carácter multifactorial que determina la proliferación de algas (luz, temperatura, nutrientes).

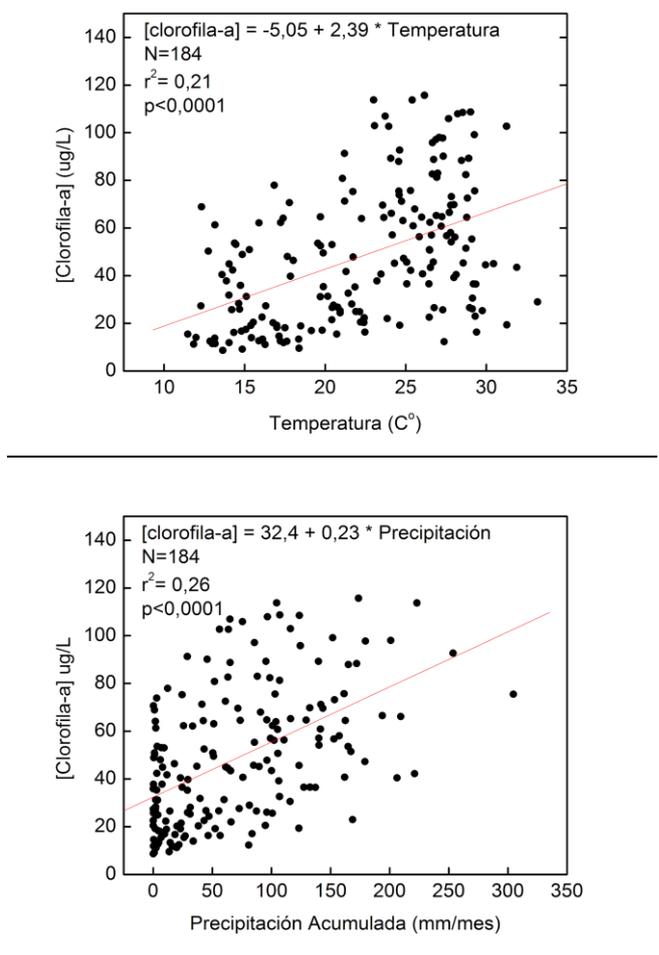


Figura 5. Ajuste lineal de concentración de clorofila-a en función de temperatura (arriba) y de precipitación acumulada (abajo).

Por otro lado, se obtuvo también un ajuste lineal significativo entre temperatura y precipitación con un coeficiente de determinación igual a 0.47. Este hecho limita la posibilidad de generar un modelo basado en regresión lineal múltiple a partir de estas dos variables.

## Análisis de Frecuencias

La Figura 6 (arriba) presenta la amplitud en función de la frecuencia obtenidos a partir de las transformadas de Fourier de concentración de clorofila-a, temperatura, precipitación acumulada y áreas quemadas. Los períodos de oscilación, en unidades de año, se obtuvieron a partir del cálculo de la inversa de la frecuencia dividido 12, teniendo en cuenta que el paso de tiempo de las series es de 1 mes. Los valores de amplitud se normalizaron por el ciclo máximo mayor a 14 años para mejorar la comparación visual entre series. El gráfico de amplitud muestra que la concentración media mensual de clorofila-a varía en resonancia con las variables mensuales de temperatura, lluvia acumulada y área quemada en la cuenca para el período anual principalmente.

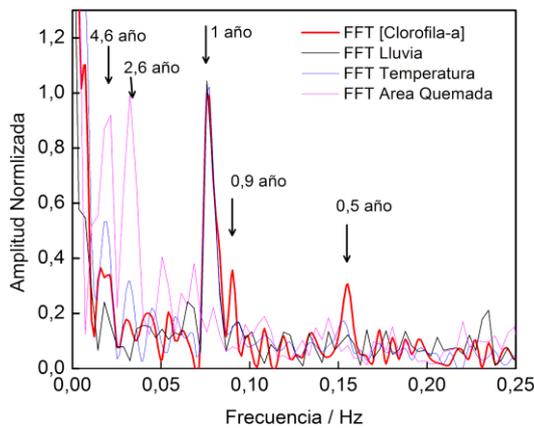


Figura 6: Espectros de ángulo de fase obtenidos de las transformadas de Fourier de concentración de clorofila-a y precipitación acumulada.

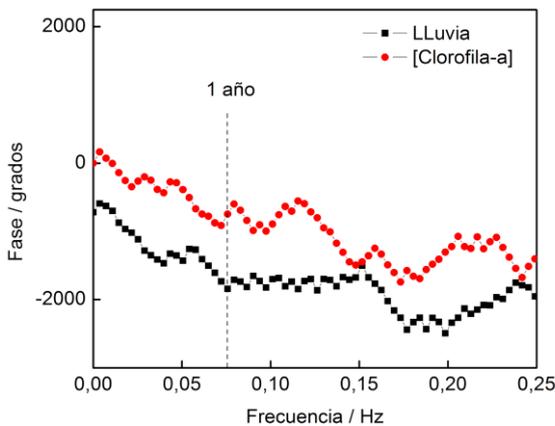


Figura 7: Espectros de Amplitud de las series de Fourier de concentración de clorofila-a, temperatura, precipitación acumulada y área quemada.

Este comportamiento es esperable para la latitud a la cual se encuentra el Embalse San Roque, el cual presenta máximas temperaturas, lluvias y productividad fotosintética en verano, enero. Por otro lado, se observa un pico importante a una frecuencia común a las cuatro variables, correspondiente a 4,6 años, que puede asociarse con el fenómeno del niño. En menor proporción, aparece un período igual a 2,6 años común a clorofila, área quemada y temperatura que podría estar

asociado con la QBO (Quasi Biennial Oscillation). Además, aparece un período de 0,5 años (6 meses) sólo para la variable concentración de clorofila-a. Una posible interpretación de este resultado podría ser la ruptura de la estratificación térmica del embalse en otoño que da origen a explosiones algales debido al transporte de nutrientes desde los sedimentos. La Figura 7 presenta los espectros de las fases para las variables precipitación acumulada y clorofila-a. A partir del análisis de las diferencias en los ángulos de fase para el período de un año (frecuencia igual a 0,076) se obtuvo un desfase entre ambas series igual a -0,5 mes, lo que corresponde a -15 días. Este resultado está de acuerdo con estudios previos, en una laguna costera tropical de México, en donde se encontró que la fase de retardo de la temporada de lluvias con las series de tiempo clorofila-a generalmente fue de 0 a -1 mes [17].

## D. Evolución del área construida y de la población

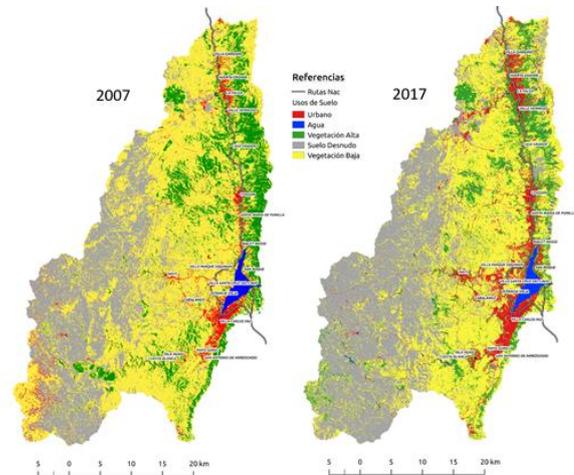


Figura 8. Clasificaciones supervisadas que muestran los distintos usos de suelo para el año 2007 y 2017.

En la figura 8 se observa cómo ha crecido el área urbanizada en la cuenca de estudio y en la figura 9 cómo ha aumentado la cantidad de población en cada ejido urbano, según información censal. Es posible observar en la figura 8 en color rojo, cómo los distintos municipios han ido aumentando su extensión de área construida, dando como resultado un aumento de más de 5 mil Ha de áreas urbanizadas (6396.93 Ha en 2007 contra 11696.31 Ha en 2017). Este proceso se da principalmente cerca de los cursos de agua principales de la cuenca, ya que son un gran atractivo turístico de la zona. Así, cada localidad queda atravesada por un curso de agua, que luego desemboca sus aguas en el Embalse San Roque. Es el caso por ejemplo de las poblaciones de Tanti, Villa Parque Siquiman y Cabalango donde se observa este fenómeno de forma clara, ya que están conformando una mancha alrededor del Arroyo Las Mojarras y el Río Los Chorrillos. Además, se observa una fuerte densificación sobre el Río San Antonio, que corresponde a las poblaciones de Villa Carlos Paz, San Antonio de Arredondo, Mayu Sumaj, entre otras. También, sobre el río Icho Cruz, que luego se junta con el San Antonio, se observa un crecimiento de la mancha, principalmente en la localidad

de Villa Icho Cruz. El mismo proceso de densificación y crecimiento de las manchas urbanas se observa al norte del Embalse, sobre el Río Cosquín, principalmente en la localidad de Santa María de Punilla y Cosquín. Más al norte sobre el río San Francisco, que luego se une al Cosquín, también se observa una extensión de la mancha; en Villa Giardino y Huerta Grande aumenta la extensión considerablemente, mientras que en La Falda se observa una densificación de la misma.

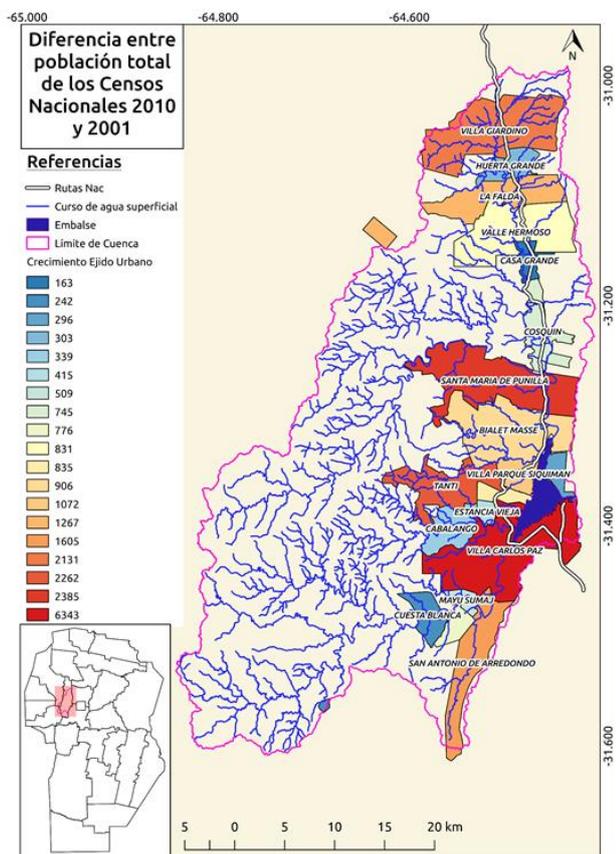


Figura 9. Mapa que representa el crecimiento poblacional neto entre los Censos Nacionales 2001 y 2010.

Este proceso se observa también si analizamos el crecimiento neto de población total entre 2001 y 2010 por municipio. En la figura 9, se observan en colores cálidos las localidades que más han crecido en población total, como Villa Carlos Paz, Santa María de Punilla, Tanti y Villa Giardino, todas estas asentadas sobre los diferentes tributarios del Embalse. Además, es importante destacar que, al ser estas localidades turísticas, en las épocas de mayor flujo como el verano, la población se duplica o triplica. Pero comparando los resultados de las dos figuras 8 y 9 se observa un aumento relacionado de la superficie construida con el aumento poblacional neto, lo que estaría mostrando que el crecimiento en superficie urbanizada se da por un aumento de la población permanente y no turística, lo que genera un impacto sobre la cuenca durante todo el año.

#### IV. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, es posible observar que existe una relación muy estrecha de la variable cl-a con las variables analizadas. Al compararlas anualmente, se pudo observar una relación entre grandes áreas quemadas y un aumento importante de la cl-a al año siguiente para 2003-2004, 2009-2010 y 2013-2014, acompañado en 2010 y 2014 de un pico de precipitación que favorece el arrastre de las cenizas y aporta materia orgánica al cuerpo de agua. Cabe destacar que las fuentes de aporte de nutrientes son variadas, siendo las cenizas solo una de ellas. En este sentido, el aumento poblacional que se mostró en la cuenca, sin un correcto tratamiento de los efluentes cloacales, actúa como una importante fuente. Además, en los cambios de uso de suelo donde las superficies con vegetación natural son reemplazadas por superficies impermeabilizadas, se modifican los patrones de escurrimiento generando cambios en los volúmenes escurridos. En este sentido, se necesita estudiar con mayor profundidad este impacto en la cuenca, lo que se hará en un futuro análisis con el modelo del número de curva.

Por otro lado, a través del análisis de Fourier realizado se encontraron frecuencias características de cada serie de las variables analizadas, mostrando cómo la concentración media mensual de clorofila-a varía en resonancia con las variables mensuales de temperatura, lluvia acumulada en la cuenca para las frecuencias anuales y aquellas relacionados con la Oscilación del Niño, también para áreas quemadas.

Además, se encontró una fase de corrimiento de 15 días en el ciclo anual entre la serie de cl-a y la de precipitación, lo que estaría mostrando que el arrastre de materia orgánica producido por la escorrentía superficial, favorece la disponibilidad de nutrientes necesarios para las floraciones algales.

Por otro lado, se encontraron frecuencias resonantes con área quemada, siendo la más significativa la correspondiente al ciclo del niño (4,6 años). Esto podría indicar que esta variable también estaría aportando nutrientes e influyendo en el fenómeno estudiado en el embalse. Sin embargo, se necesita profundizar el tema con mayores observaciones para lo que se recurrirá en un futuro al análisis del producto de puntos calientes de MODIS.

Analizando los resultados obtenidos, es posible concluir que el fenómeno de estudio es complejo y multifactorial. El aporte de nutrientes al Embalse es uno de los factores que posibilita el gran aumento de cl-a que se ha observado, lo que se traduce en grandes floraciones algales que producen distintos efectos según la especie. El deterioro estético del cuerpo de agua, impacta directamente en la población que se asienta alrededor y al turismo de la zona, principal actividad de las localidades. Los episodios de floraciones algales que producen fuertes olores y colores característicos en el embalse, son cada vez más frecuentes y pronunciados. En este contexto, se realizan muchas actividades por parte de los estados responsables, tanto provincial como municipal y con ayuda del nacional, pero pocas o nulas orientadas al ordenamiento territorial de la cuenca y al saneamiento de la misma. La falta de conexiones cloacales sigue siendo el principal problema de infraestructura en la región, aunque se han hecho avances en esta cuestión, en la ciudad de Villa Carlos Paz, pero sigue siendo insuficiente. Esto sumado a que las plantas de tratamiento no realizan correctamente o de

forma completa los tratamientos terciarios que son necesarios para reducir la carga de nutrientes de los efluentes cloacales.

Hasta que no se enfrente la problemática desde una mirada integral y que considere toda la cuenca y de aporte al embalse, esta situación se verá incrementada, ya que la población sigue creciendo y la presión sobre los cursos de agua de la cuenca aumenta.

#### REFERENCIAS

- [1] Censo Nacional 2010. Resultados provisionales. <http://www.censo2010.indec.gov.ar>. Acceso 13/03/2018.
- [2] Ferral, A., Solis, V., Frery, A., Orueta, A., Bernasconi, I., Bresciano, J., and Scavuzzo, C. M. Spatio-temporal changes in water quality in an eutrophic lake with artificial aeration. *Journal of Water and Land Development*, 35(1), 27-40. (2017).
- [3] Robert G Wetzel. Limnology: lake and river ecosystems. Gulf Professional Publishing, 2001.
- [4] Pedro F Temporetti. Efecto a largo plazo de los incendios forestales en la calidad del agua de dos arroyos en la subregión andino-patagónica, argentina. *Ecología austral*, 16(2):157{166, 2006.
- [5] Donald M Anderson, Per Andersen, V Monica Bricelj, John J Cullen, and JE Jack
- [6] Eija Rantajarvi, Riitta Olsonen, Seija Hallfors, Juha-Markku Leppanen, and Mika Raateoja. Effect of sampling frequency on detection of natural variability in phytoplankton: unattended high-frequency measurements on board ferries in the baltic sea. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 55(4):697{704, 1998.
- [7] Ferral, A., Solis, V., Frery, A., Aleksinko, A., Bernasconi, I, and Scavuzzo, M. C. In situ and satellite monitoring of the water quality of an eutrophic lake intervened with a system of artificial aeration. *IEEE Latin America Transactions*, 16(2), 627-633.(2018)
- [8] Germán, Alba, et al. "Análisis de una serie temporal de clorofila-a a partir de imágenes MODIS de un embalse eutrófico." *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2016 IEEE*. IEEE, 2016.
- [9] Landsat Science, NASA. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- [10] Precipitation Measurement Missions, NASA. <https://pmm.nasa.gov/trmm>
- [11] Zhengming Wan and Je Dozier. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 34(4):892{905, 1996.
- [12] Argañaraz, Juan P., et al. "Mapeo y evaluación del riesgo de incendio en la interfase urbano-rural de las sierras de Córdoba." *El Paisaje: Unidad Natural Funcional, Dinámica y Resiliente* (2015).
- [13] Bastarrika, Aitor, Emilio Chuvieco, and M. Pilar Martín. "Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors." *Remote Sensing of Environment* 115.4 (2011): 1003-1012.
- [14] Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado
- [15] Core Team. R: A language and environment for statistical computing.
- [16] OriginLab, Northampton, MA
- [17] J. Salas-Pérez and C. González-Gándara. "Temporal and spatial fluctuations of sea surface temperature and chlorophyll a levels due to atmospheric forcing in a tropical coastal lagoon." *Ciencias Marinas* 42.1 49-65.(2016)