

Caracterización de la calidad de agua y de variables meteorológicas relacionadas con eventos extremos de floración en el Embalse San Roque

Nathalie Pussetto, Marcia Ruiz, Ana Laura Ruibal Conti, María Inés Rodríguez, Clarita Dasso

Instituto Nacional del Agua (INA), Centro de la Región semiárida (CIRSA).

E-mail: nathalie.pussetto@hotmail.com.ar

RESUMEN

El desarrollo de este estudio es contribuir con conocimientos relacionados con la eutroficación, una problemática de calidad de aguas naturales superficiales común en lagos y embalses, especialmente la ocurrida en el Embalse San Roque (Córdoba, Argentina). Se realizó un procesamiento e interpretación de datos meteorológicos y de calidad de agua para el período comprendido entre diciembre 2016 – marzo 2017. En relación a las variables de calidad de agua se consideraron temperatura del agua, transparencia, conductividad, nitrógeno, fósforo, clorofila *a* y total de algas. Las mismas se midieron en el centro, en el área de presa en el embalse, y en las desembocaduras de los principales tributarios al embalse: el Río San Antonio y el Río Cosquín. Se evaluó la variabilidad espacial y temporal de las mismas a través de una comparación y caracterización gráfica. En relación a los datos hidrológicos y meteorológicos se consideraron precipitaciones y temperaturas del aire relacionadas con las subcuencas de aporte al Embalse San Roque. Se realizaron mapas de isohietas de precipitaciones mensuales para analizar el comportamiento espacial de las lluvias a nivel de cuenca, como así también de tormentas aisladas, vinculado con el evento de floración algal ocurrido durante febrero-marzo del año 2017. Se observó que el desarrollo de floraciones algales en el embalse coincide con períodos de altas temperaturas y bajas precipitaciones, que generan una mayor concentración de nutrientes en el cuerpo de agua.

Palabras claves: calidad de agua, variables hidrometeorológicas, floración.

1 INTRODUCCIÓN

La eutrofización es un proceso globalmente distribuido que genera el deterioro de la calidad del agua y afecta a numerosos cuerpos de agua, principalmente a lagos y embalses. La causa principal de esta problemática radica en los aportes de nutrientes, en especial de fósforo (P) y nitrógeno (N), y se complementa con condiciones físicas como elevada temperatura ambiente, usualmente acompañada por una estratificación térmica de la columna de agua, alta iluminación (Cole, 1988), y la variación del volumen en el cuerpo de agua. Así, la eutrofización se ve favorecida por climas cálidos.

Estas condiciones traen aparejado el hecho que distintas especies de fitoplancton se multipliquen masivamente dando lugar a acumulaciones visibles de algas (denominadas floraciones), principalmente de cianobacterias. Las floraciones adquieren distintas apariencias con colores que van desde el verde azulado hasta el negro y presentan un rango de formas y tamaños variables. Además, pueden presentarse como células simples o en grupos como colonias o filamentos (Newcombe et al., 2010).

La duración de las floraciones es variable. Floraciones periódicas y cortas pueden darse como respuesta a eventos meteorológicos o bien por cambios internos en la densidad de la célula como producto de su metabolismo. Éstas pueden aparecer y desaparecer en un mismo día, debido a su movimiento en la columna de agua, y en otras ocasiones puede parecer que la floración persiste, pero lo que hay es un reemplazo de poblaciones ascendiendo y descendiendo. Cuando el espesor de la floración aumenta, las células pierden flotabilidad y se ven impedidas a descender lo que conlleva a una muerte y destrucción de células, evidenciado por la presencia de espumas y pátinas verdeazuladas. En esta etapa de la floración de cianobacterias la posibilidad de presencia de cianotoxinas aumenta debido a su liberación al medio acuoso por ruptura celular (Whitton y Potts, 2007).

El embalse San Roque de la Provincia de Córdoba, construido en 1888, tiene su importancia como regulador de los aportes hídricos superficiales de la cuenca alta del Río Suquía y es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la Ciudad de Córdoba para consumo humano y riego, como así también para la generación de energía hidroeléctrica de la región y recreación. El deterioro de las condiciones y calidad de las aguas de los ríos tributarios al embalse, junto a los aportes directos desde sus márgenes, a lo largo de décadas, condujeron al actual estado eutrófico del embalse. Asimismo, las variaciones en las condiciones climáticas e hidrológicas de la cuenca pueden afectar aún más este proceso. El conjunto de estos factores es capaz de producir serios inconvenientes en la calidad y estética del recurso, como así también en los procesos de potabilización.

2 OBJETIVO

Aportar conocimientos relacionados con la problemática de calidad de aguas naturales superficiales, mediante el procesamiento y análisis de las mediciones resultantes de actividades de campaña vinculadas al monitoreo de ríos, embalses y de variables hidroclimáticas. En particular, conocer la vinculación de variables de calidad de agua, hidrológicas y meteorológicas con el desarrollo de la floración algal ocurrida en el embalse durante febrero-marzo 2017.

3 ÁREA DE ESTUDIO

Comprende el Embalse San Roque ($31^{\circ}22'33.72''\text{S}$ $64^{\circ}28'2.10''\text{O}$), situado en el Valle de Punilla de la provincia de Córdoba a 608 msnm, entre las Sierras Grandes y las Sierras Chicas del sistema pampeano. Es un cuerpo de agua artificial cuya cuenca de aporte es la cuenca alta del Río Cosquín de un área de aproximadamente 1750km^2 y está conformada por las subcuencas de los cuatro tributarios que desembocan en el Embalse (Figura 1): subcuenca del Río San Antonio (505 km^2), subcuenca del Río Cosquín (820 km^2) subcuenca del Arroyo Las Mojaras (85 km^2) y subcuenca del Arroyo Los Chorrillos (160 km^2) (Dasso et al., 2014). Respecto a la presa de embalse, su primer muro data del año 1888 y fue reemplazado en 1944 por la presa actual. A nivel de cota de vertedero, la superficie del embalse es de 16 km^2 , con un volumen máximo de 190 Hm^3 y una profundidad media de 13 m (Dasso et al., 2014).

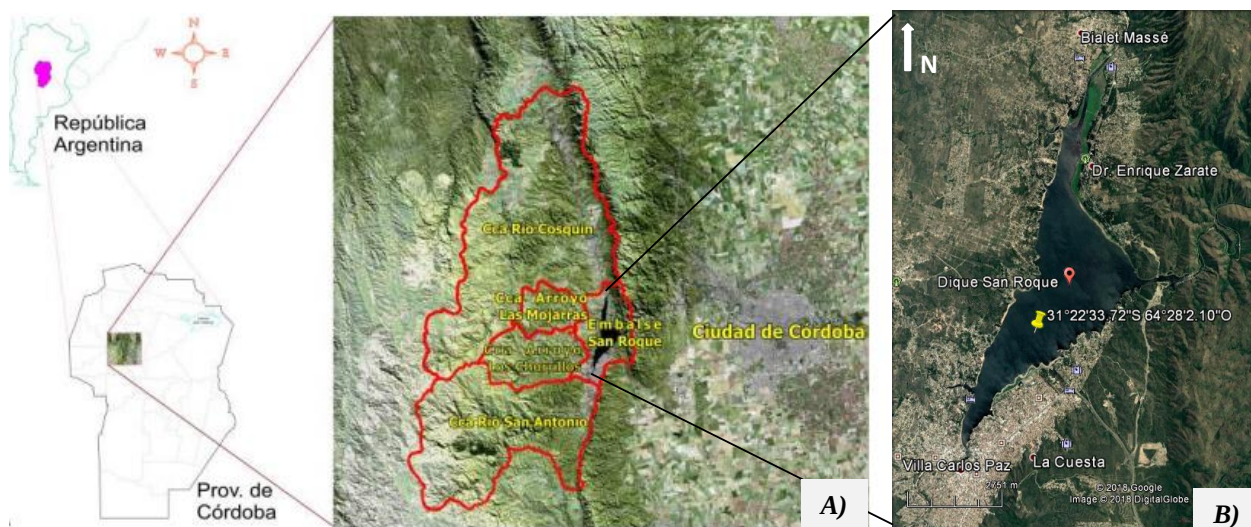


Figura 1.- Ubicación del área de estudio. A) Cuenca alta del Río Suquia con sus principales subcuencas y B) Embalse San Roque.

4 METODOLOGÍA

La metodología consistió en el procesamiento de datos de calidad de agua, hidrológicos y meteorológicos del período diciembre de 2016 a marzo de 2017.

La información de calidad de agua e hidrológica, se obtuvo de la base de datos que dispone el INA-CIRSA procesada en la actividad permanente “Monitoreo del Embalse San Roque y Gestión de Información de Calidad de Aguas y Cianobacterias” desde el año 1996. Los monitoreos son realizados con frecuencia mensual e incluyen la medición de parámetros *in situ*, tales como pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales (TDS) y oxígeno disuelto (OD), transparencia de Secchi, la medición de caudales (aforos) de los tributarios al embalse y la toma de muestras de agua en el embalse y en los ríos para el posterior análisis de laboratorio y obtención de datos de clorofila *a*, cuantificación de fitoplacton y nutrientes. En la Figura 2 se muestran los puntos de monitoreo del embalse con los que se trabajó en el presente trabajo: centro del embalse (C), desembocadura del Río San Antonio (DSA), desembocadura del Río Cosquín (DCQ) y el área de presa (TAC).

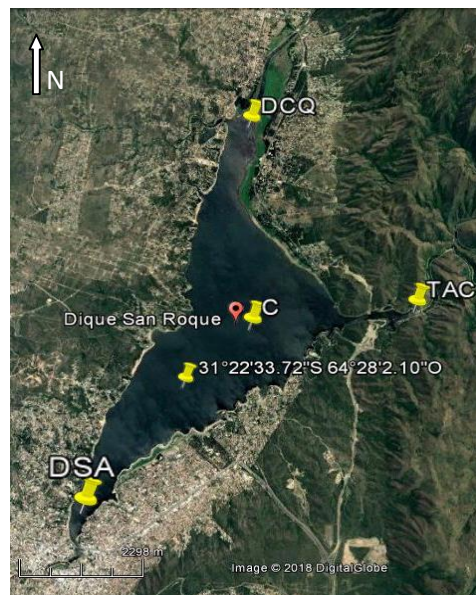


Figura 2.- Puntos de monitoreo de calidad de agua en el Embalse San Roque.

Se dispuso para este análisis datos mensuales de conductividad, temperatura, secchi, nutrientes (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- y P total), clorofila *a* y total de algas tomadas en el embalse para los meses del período de estudio: diciembre, enero, febrero y marzo (2016-2017). Esto permitió una comparación y caracterización gráfica de los datos.

Para los datos meteorológicos se procesó la información obtenida por el Sistema Telemétrico de Mediciones Hidrometeorológicas a Tiempo Real, INA-CIRSA - MGyS de la Provincia de Córdoba, que opera desde el año 1996 hasta la actualidad. A partir del servicio de información web de dicho sistema mediante la herramienta de aplicación Data Wise Online Report de una aplicación online del SGA (Sistema de Gestión de Amenazas: <https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/>) se obtuvieron los datos de precipitación y temperatura de 23 estaciones con influencia sobre la cuenca y el embalse (Figura 3), de las cuales: 14 estaciones pertenecen a la cuenca del Río San Antonio, 6 estaciones a la cuenca del Río Cosquín y 3 estaciones a la cuenca del Arroyo Saldán (Sierras Chicas).

Las precipitaciones mensuales de cada estación, se obtuvieron a partir de lluvias registradas cada día del mes cada 5 minutos desde las 00:05 hs hasta las 24:00 hs, a fin de encontrar el total de lluvia acumulada a nivel diario, mensual y en el año. Se analizaron las distribuciones mensuales para cada una de las estaciones consideradas ubicadas en la cuenca y se realizó un análisis espacial de precipitaciones mensuales y de tormentas puntuales ocurridas en dicho período. Con lo que se generó mapas de isohietas que permiten observar el comportamiento general de las lluvias en cada mes y en distintos eventos en particular.

Finalmente, para un mejor grado de observación, se analizaron en conjunto datos de precipitación y temperatura ambiente en la Estación 1100 (INA-CIRSA), una de las más cercanas al cuerpo de agua, para el año hidrológico en cuestión (2016-2017). En base a esto se realizó finalmente una comparación integral de la información obtenida.

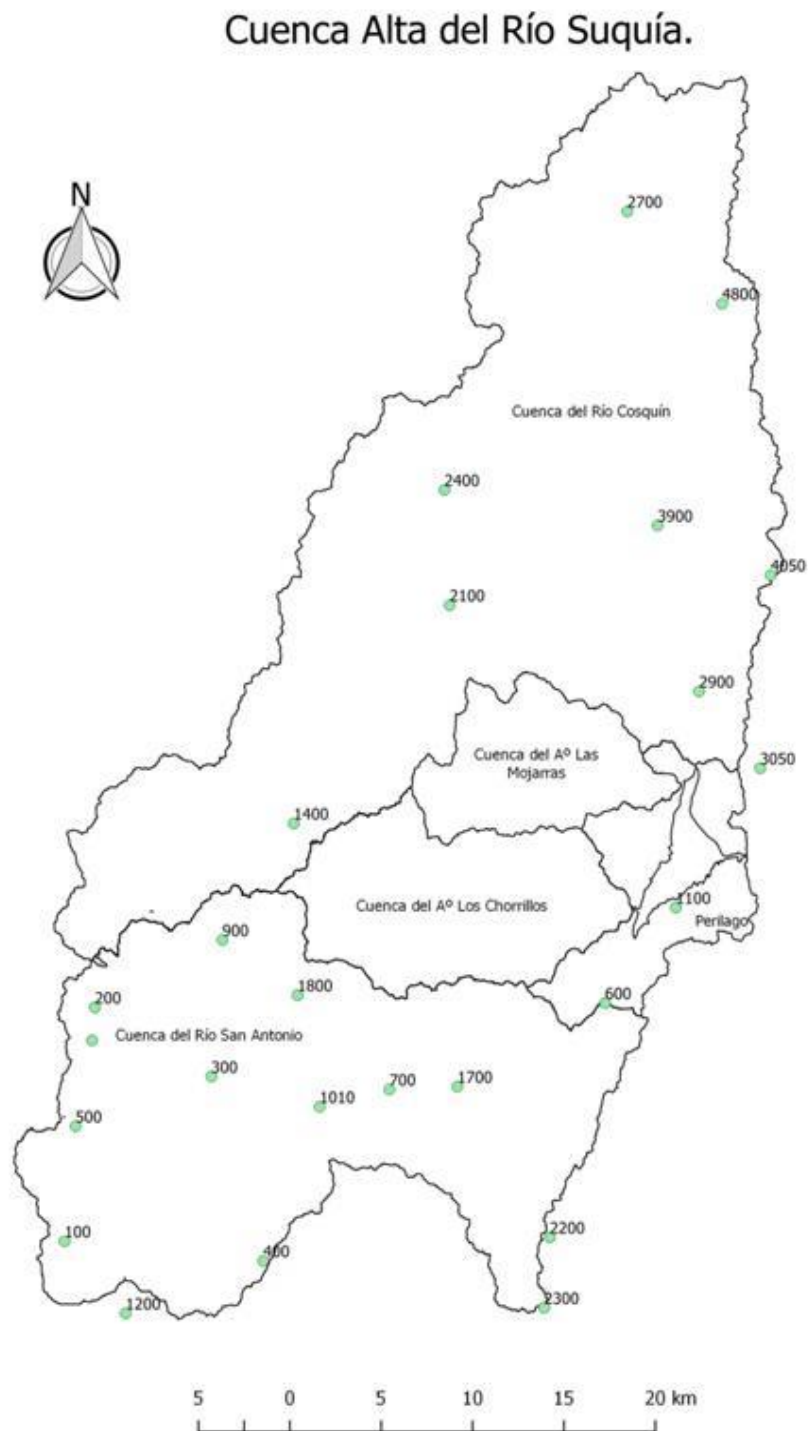


Figura 3.- Estaciones utilizadas del Sistema Telemétrico INA CIRSA – MGyS (Cba) de la cuenca de aporte al Embalse San Roque.

5 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

La caracterización de las variables de calidad del agua y meteorológicas estuvo orientada a conocer la vinculación de ellas con el desarrollo de floraciones algales, principalmente la ocurrida en el embalse durante febrero-marzo 2017.

Procesamiento de las variables de calidad de agua

Las mediciones realizadas durante los monitoreos en los meses considerados (diciembre 2016 – marzo 2017) se reflejan en la Figura 4, e indican las condiciones de calidad en las que se encontraba el agua del embalse. En cada punto las mediciones son tomadas de manera superficial a 0,20 metros de profundidad y posteriormente cada 1 metro (Rodríguez et al., 2000). No obstante, en el presente trabajo se consideraron únicamente los datos superficiales.

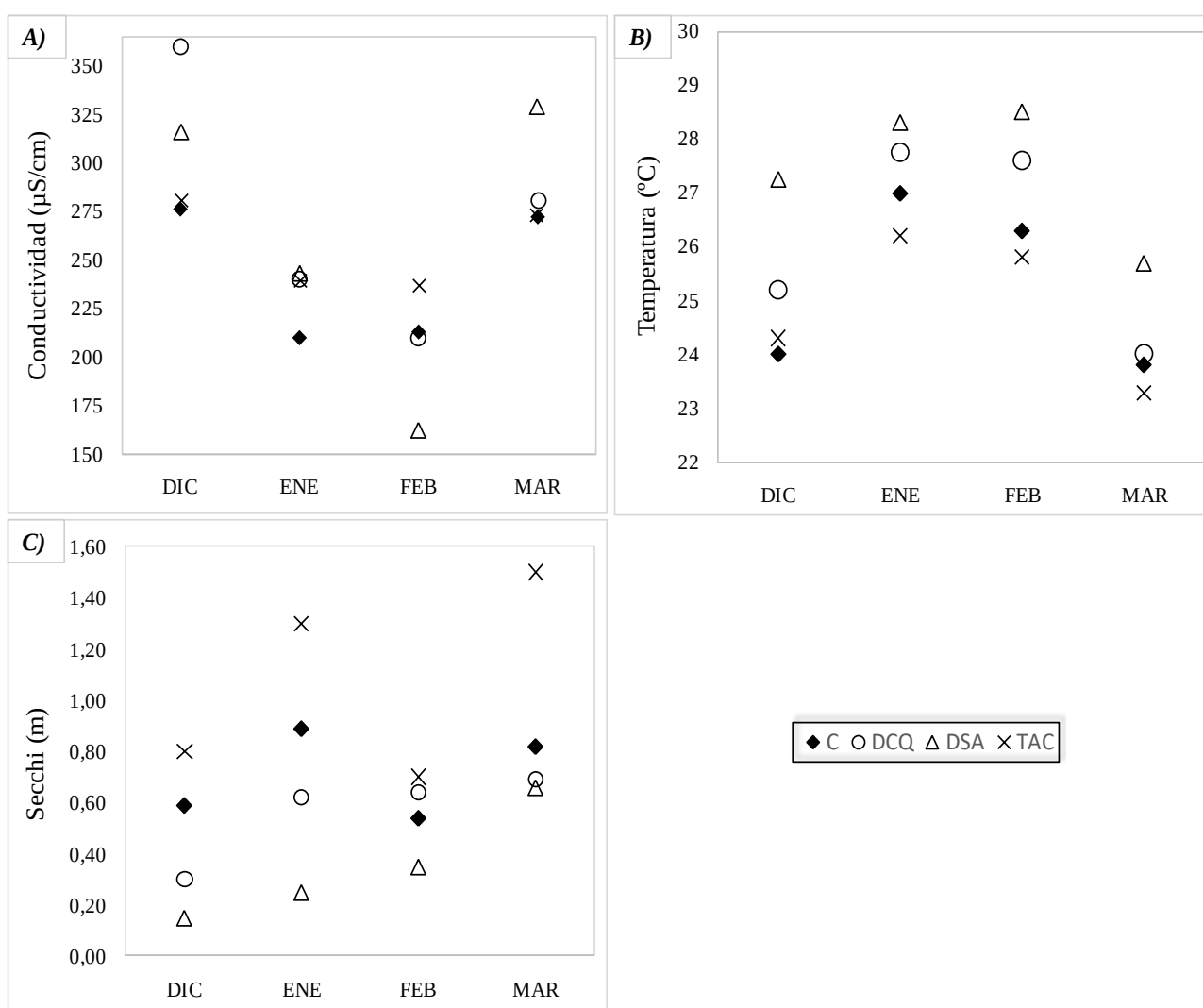


Figura 4.- Valores de A) conductividad, B) temperatura del agua y C) transparencia de secchi en el Embalse San Roque.

La temperatura del agua se encontró comprendida entre un rango de valores de 28,5°C medida en febrero (temperatura máxima) en DSA y 23,3°C medida en marzo (temperatura mínima) en TAC, siendo la temperatura media de los datos considerados en el análisis de 25,5°C. El valor máximo de temperatura en cada mes correspondió al medido en la desembocadura del Río San Antonio, mientras que los valores mínimos fueron tomados en cercanías de la presa.

Las temperaturas registradas muestran un incremento de diciembre a enero, manteniéndose altas hasta febrero, cuando comienzan nuevamente a disminuir hacia marzo. Este tramo coincide con la estación del año en donde el embalse recibe la mayor cantidad de radiación solar y, por lo tanto, las temperaturas son mayores en estos meses que en el resto del año hidrológico. A pesar de esto, en las campañas de monitoreo de los respectivos meses se realizaron mediciones adicionales de temperatura en distintas profundidades de la columna de agua que permitieron observar que el embalse se hallaba en mezcla. Es decir, que el evento de floración registrado a fines del período no se encontró vinculado con una estratificación termal.

En términos de conductividad, el comportamiento es inverso. Los valores registrados superficialmente, en un rango de 162-360 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muestran una clara tendencia decreciente: los más altos del período fueron medidos durante diciembre, comenzando a disminuir a partir de entonces y alcanzando los mínimos en febrero, donde fue tomado el valor más bajo de 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona de desembocadura del Río San Antonio. Destacándose, además, que este último así como también el resto de los puntos medidos durante dicho mes contienen valores por debajo de la mediana del embalse calculada en base a 18 años de datos de 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En enero las mediciones se encuentran por encima del valor de la mediana. Mientras que durante diciembre y marzo lo superan ampliamente.

Por otro lado, la transparencia, medida a través del disco de Secchi, presentó en general valores bajos encontrándose casi por completo menor a un metro de profundidad. En diciembre se registraron los valores más bajos que coincidieron con el desarrollo de floraciones del grupo de las pirrófitas observadas en todo el embalse. Durante enero, la transparencia aumenta levemente, no obstante, se apreció la presencia incipiente de cianobacterias en la desembocadura del Río San Antonio y centro del embalse. Seguidamente en febrero se registra un aumento de turbidez, relacionado con el incremento en la presencia de cianobacterias sumadas a las floraciones de pirrófitas ya presentes en el cuerpo de agua. Finalmente, en marzo la transparencia fue también escasa, apreciándose de todos modos una mejoría de las condiciones mencionadas. Se destaca que las menores mediciones en la totalidad de los meses fueron tomadas en DSA, seguidamente de DCQ. Asimismo, en febrero los valores más bajos fueron medidos también en el centro del cuerpo de agua.

Los valores de transparencia se pueden correlacionar con la profundidad en la cual las comunidades algales pueden subsistir (Bonansea et al., 2012) ya que su valor multiplicado por 2,5 indica el límite de la zona eufótica, estrato en el que las algas aprovechan la radiación disponible para la fotosíntesis. Igualmente, se

ven influenciados con la batimetría del embalse, lo que permite correlacionar las bajas mediciones de Secchi con bajos valores de profundidad de los sitios de desembocaduras. Por otro lado, la transparencia reducida en DSA puede deberse a la existencia de mayor cantidad de sólidos en suspensión y suministro de materia alóctona o a la proliferación de floraciones algales como consecuencia de un incremento de nutrientes. Esto podría vincularse con el proceso de urbanización sobre el Río San Antonio y la generación de efluentes cloacales que finalmente ingresan al embalse generando un fuerte impacto antrópico e importantes diferencias en calidad con respecto a los demás puntos analizados.

Mediante la revisión realizada en un informe previo, de variables medidas en los ríos tributarios, es posible relacionar además la mayor turbiedad medida en el mes de febrero con un mayor caudal transportado por los ríos tributarios al embalse, lo cual permite evidenciar una acción de arrastre de sedimentos que ejerce la escorrentía superficial por lluvia.

Los resultados de los análisis de laboratorio provenientes de las muestras tomadas en los monitoreos se muestran en la Figura 5. Esta figura refleja el comportamiento de los nutrientes: nitrógeno (NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^-) y P total.

Apoyando a lo expuesto anteriormente, el contenido de nutrientes es de vital importancia en el crecimiento de las algas, donde el fósforo actúa generalmente como nutriente limitante (Camargo, 2007). A pesar de esto, el nitrógeno también es un nutriente de gran importancia en el proceso de eutroficación. Por lo general en el agua se lo encuentra en forma de amonio, nitratos y nitritos.

Las concentraciones de los compuestos nitrogenados mostraron en general un incremento en los meses de enero y febrero, con una posterior disminución hacia marzo. Sin embargo, este comportamiento no fue observado en la desembocadura del Río San Antonio ya que la concentración de amonio no presentó una disminución, sino que se incrementó hasta alcanzar una concentración excesivamente alta en el mes de marzo de 1900 $\mu\text{g/L}$.

Las mediciones del PT fueron variables. En DSA se registró concentraciones altas de fósforo durante diciembre y enero, las que superan los valores obtenidos en el resto de los puntos medidos. Esta concentración disminuyó hasta su valor mínimo en marzo. Las mediciones en DCQ presentaron el mismo camino, aunque los valores registrados no fueron excesivos. Se destaca además que, en el centro del embalse, la concentración de PT alcanzó valores muy altos en febrero. Finalmente, en la zona de presa se produjo un aumento en los valores de PT en febrero y en menor medida en marzo. Esto coincide con el desarrollo de floraciones algales en los respectivos sitios del embalse.

Para la determinación de las concentraciones de nutrientes se utilizaron técnicas con niveles de cuantificación de 40 $\mu\text{g/L}$ para el NH_4^+ , 6 $\mu\text{g/L}$ NO_2^- , 0,1 mg/L para el NO_3^- y 10 $\mu\text{g/L}$ para el PT (INA-

CIRSA, 2017). Aquellas concentraciones menores a los límites de cuantificación se las graficaron en posiciones coincidentes con los valores de cuantificación en cada caso.

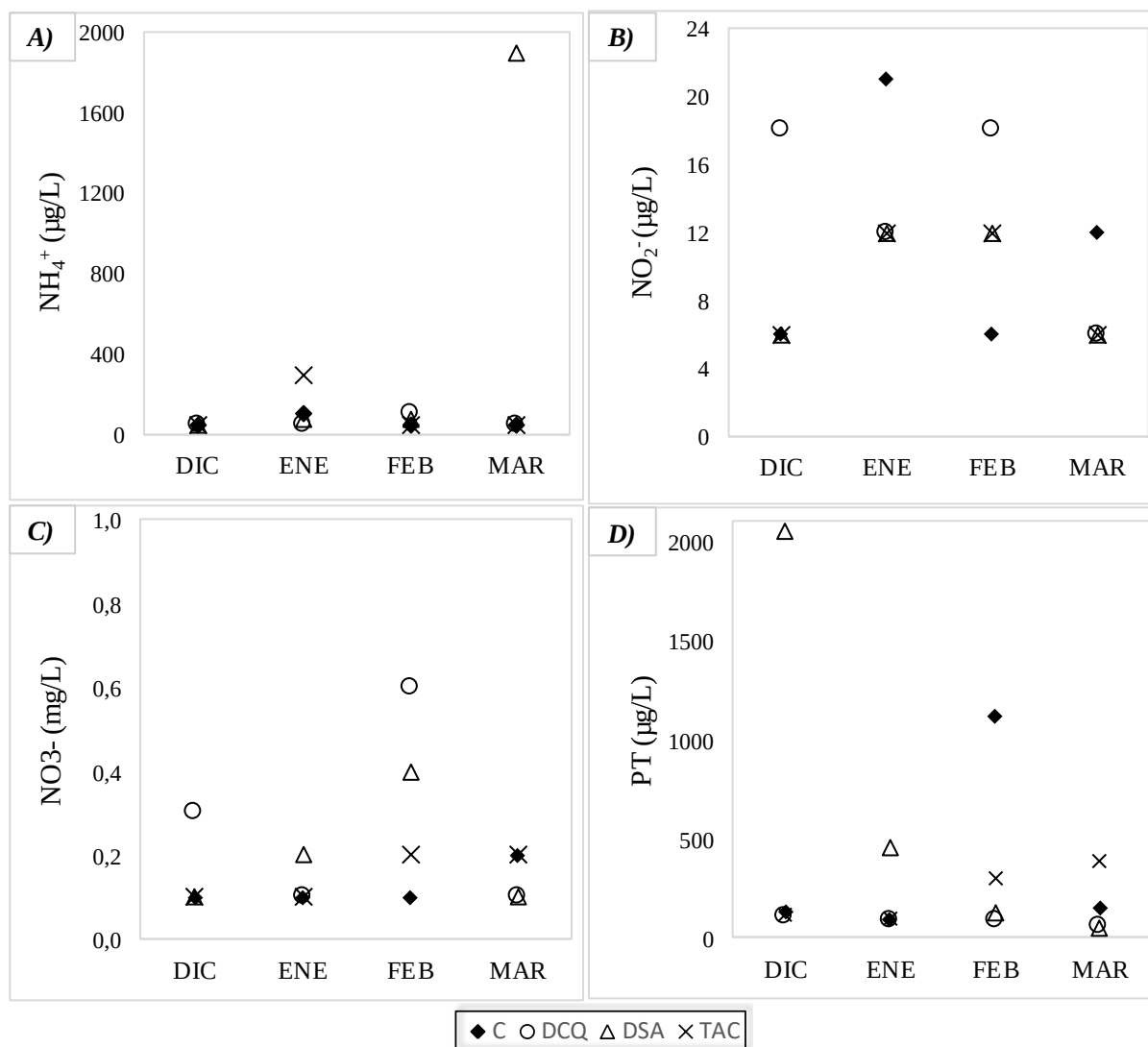


Figura 5.- Contenido de A) nitratos, B) nitritos, C) amonio y D) fósforo total del agua en el Embalse San Roque.

Un indicador de la biomasa de algas, entre ellas las cianobacterias, es la concentración de clorofila *a* (Figura 6). Para lagos oligotróficos los valores medidos oscilan de 1 a 10 µg/L, en tanto que para lagos eutróficos pueden ser de 300 µg/L o superiores (Prosperi et al., 2005). Los resultantes para el período de estudio fueron superiores a 14 µg/L en todos los puntos, registrándose el máximo de 3508 µg/L en DSA en el mes de diciembre.

La concentración de este pigmento, se encuentra igualmente vinculado con la penetración de la luz, temperatura del agua y contenido de nutrientes, principalmente fósforo (Moyá y Ramón, 1987). Es por esto, que el comportamiento resultante (Figura 6) se asemeja con el señalado previamente para el fósforo total, donde altos valores de clorofila fueron medidos durante diciembre y enero en DSA, con una seguida

disminución en febrero y un nuevo aumento en marzo. Además altos contenidos fueron registrados en el centro del embalse en febrero y marzo.

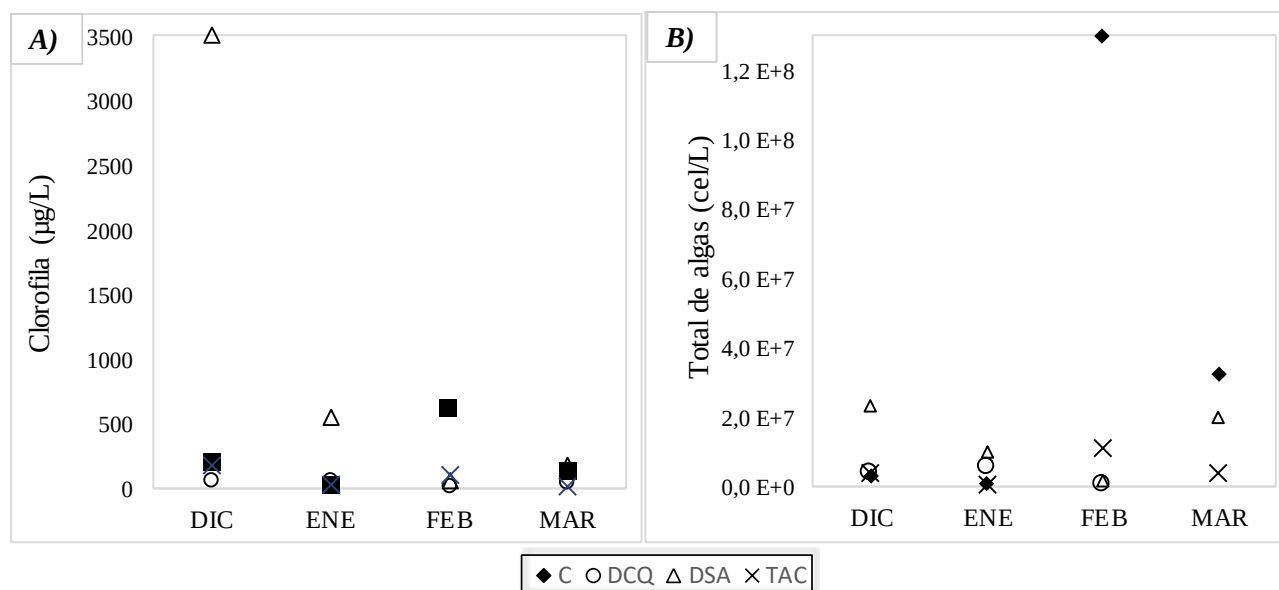


Figura 6.- Contenido de A) clorofila y B) total de algas en el Embalse San Roque.

En relación con lo expuesto, el contenido del total de algas (Figura 6) mostró un camino análogo. Se destaca la presencia de una concentración considerablemente alta de algas en la zona central del embalse en febrero. En marzo la misma disminuyó. Sin embargo, se mantuvo como la concentración más alta registrada del total de puntos medidos en el embalse durante dicho mes. Se produjo, además, en la zona de desembocadura del Río San Antonio un incremento en el contenido de algas en marzo, en comparación con el mes anterior.

Procesamiento de las variables hidrometeorológicas

El análisis espacial de las precipitaciones (Figura 7) permitió observar que las lluvias más intensas de la cuenca alta del Río Cosquín se produjeron durante el mes de diciembre. Sin embargo, estas se generaron en zonas alejadas a nuestro sitio en cuestión. El acumulado mensual se encontró por debajo de los 130mm en aproximadamente la totalidad de las estaciones de esta cuenca y en sólo dos de ellas se encontraron cercanas a los 190mm (Estación 2700: 185mm y Estación 1400: 175mm), correspondiendo éstas a las máximas acumulaciones mensuales. En enero las precipitaciones se situaron en la parte baja y este de la cuenca del Río San Antonio, alcanzando los 170mm y 149mm mensuales (Estación 400: Copina y Estación 1200: El Cóndor respectivamente). Mientras que en el resto de la cuenca el acumulado mensual de lluvia se aproximó a los 100mm. Si bien durante febrero las precipitaciones se posicionaron en zonas cercanas al embalse alcanzando valores de 120 mm, se observó una disminución a nivel de cuenca encontrándose las mismas en valores próximos a los 80mm.

Finalmente, en marzo las lluvias fueron aún menores situándose casi a nivel general por debajo de los 90mm. Resultando de esta manera, un descenso progresivo de precipitaciones hacia el final del período de estudio. Se registraron únicamente lluvias superiores a los 120mm de manera localizada y en zonas lejanas de la subcuenca del Río San Antonio (Estación 400: Copina y Estación 1200: El Cóndor).

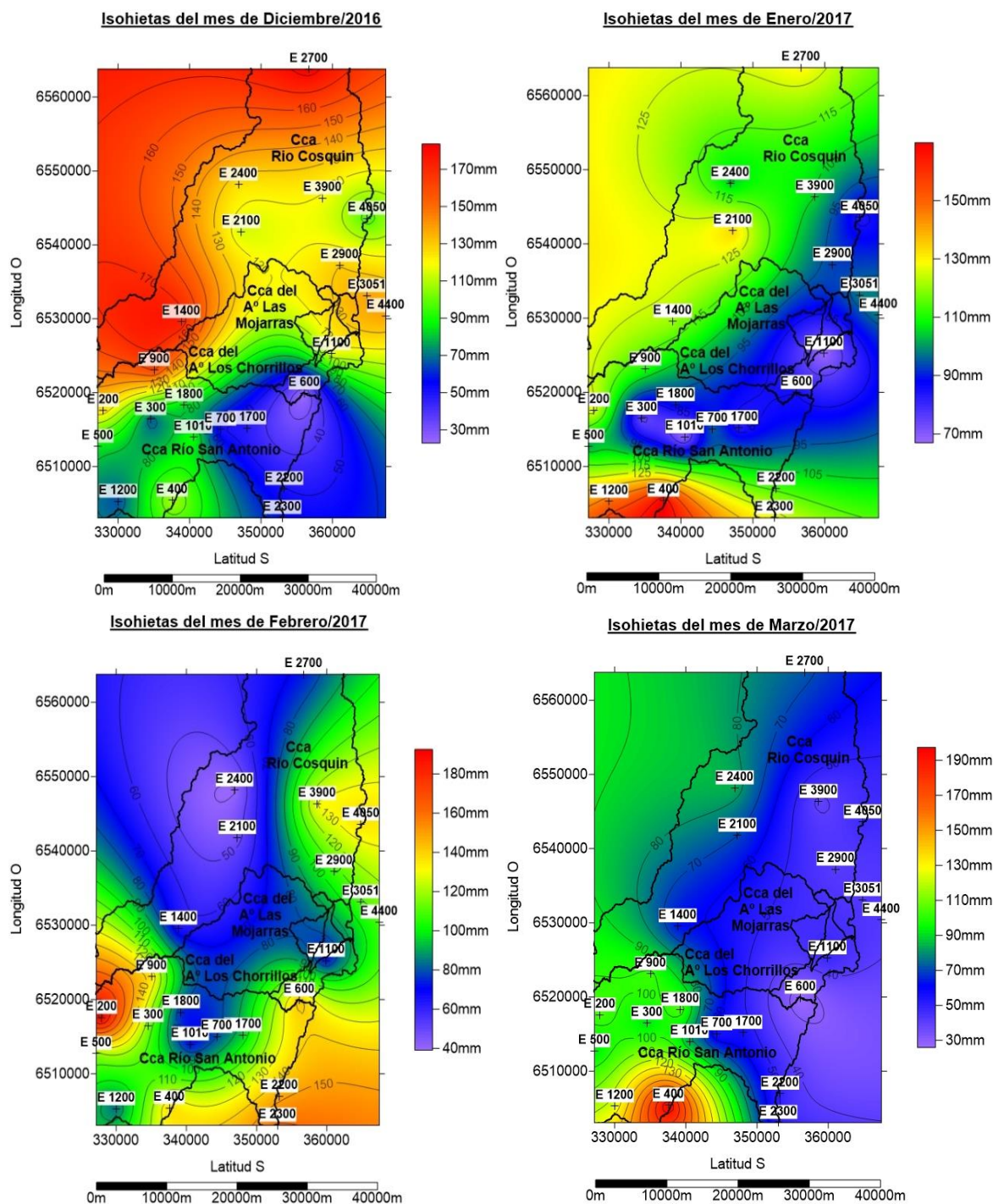


Figura 7.- Distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca de aporte y sobre el Embalse San Roque.

El comportamiento de la variable temperatura ambiente (Figura 8), en cuanto a datos de temperaturas mínimas, máximas y medias, para el año hidrológico en cuestión, permitió identificar que los escenarios más

críticos, estuvieron comprendidos entre noviembre 2016 – marzo 2017. La temperatura más alta fue de 31,7°C en diciembre, la cual disminuyó gradualmente hacia el fin del año hidrológico, donde se dieron las temperaturas más bajas. Es decir, nuestro período de estudio corresponde al lapso de mayor temperatura ambiente ocurridas a lo largo del año hidrológico.

Por otro lado, la distribución de las precipitaciones del año hidrológico 2016-2017 (Figura 9) presentó los mayores acumulados mensuales durante el período comprendido entre octubre 2016 - abril 2017,

donde los valores superaron los 50mm/mes. Asimismo, los meses más lluviosos dentro de este período húmedo corresponden a diciembre, enero y abril, los cuales concentraron precipitaciones superiores a los 100mm/mes.

Se observa que los meses de nuestro interés (diciembre-marzo) comprenden una marcada tendencia decreciente en el acumulado de lluvias. No obstante, a finales de marzo fue registrada una tormenta importante el día 31 (Figura 9), con una alta concentración en la parte alta de la cuenca con precipitaciones que alcanzaron los 50mm, seguidamente de un aumento significativo de lluvias en el mes de abril.

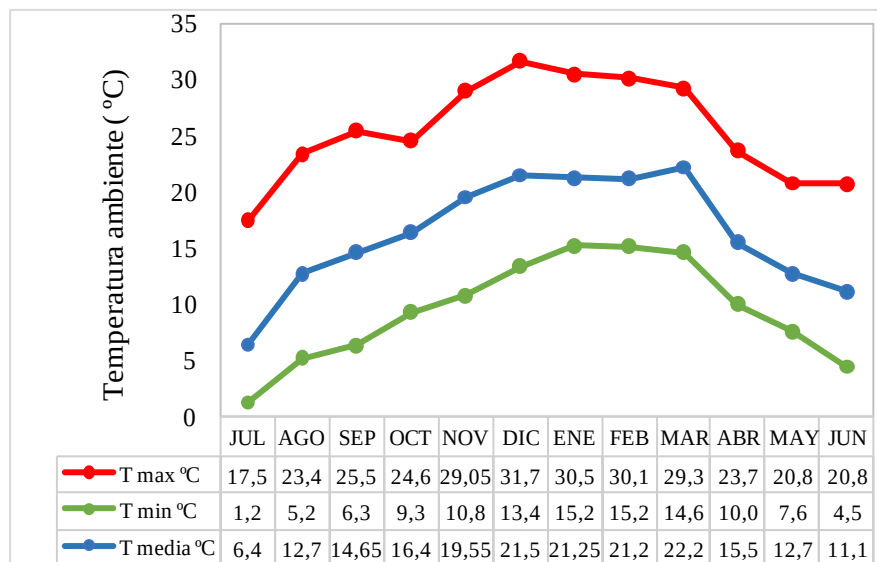


Figura 8.- Variación de las temperaturas máximas, medias y mínimas en la Estación 1100 para el año hidrológico 2016-2017.

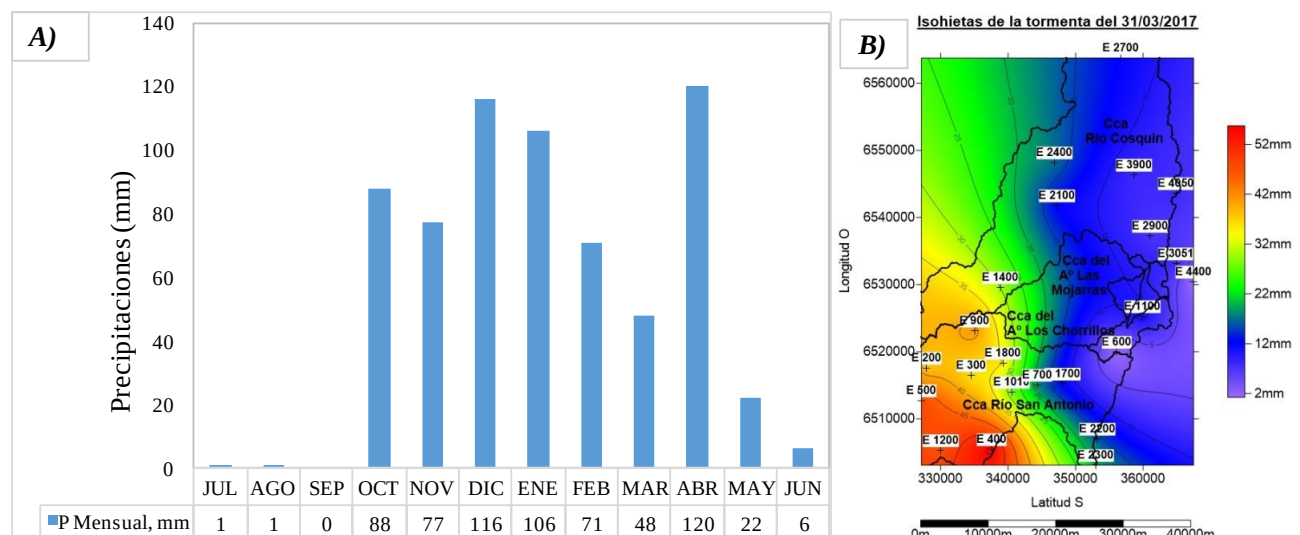


Figura 9.- A) Variación de las precipitaciones en la Estación 1100 para el año hidrológico 2016-2017 y B) tormenta ocurrida a finales del mes de marzo en la cuenca.

En último lugar, una comparación integral realizada utilizando las precipitaciones areales por mes a nivel de cuenca para el período de análisis, con las precipitaciones y temperaturas medias registradas en la estación 1100 para el respectivo año hidrológico (Fig. 10), permitió observar que el comportamiento a nivel de cuenca es similar al descrito anteriormente en cercanías del embalse, con un decaimiento del acumulado mensual desde diciembre hacia marzo donde se registra en éste último, el mínimo valor de precipitaciones en el período de mayor temperatura media del aire.

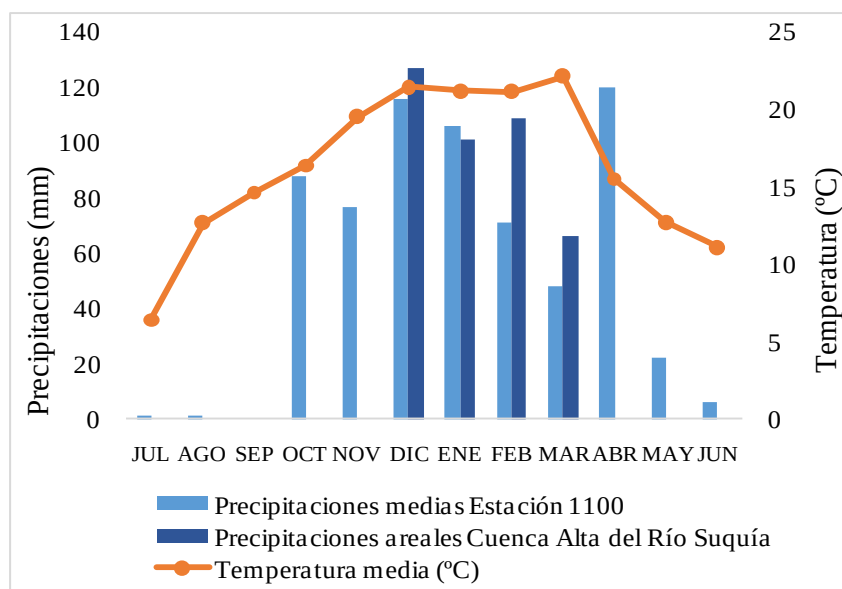


Figura 10.- Comparación de las precipitaciones areales en la cuenca de aporte en los meses de dic 2016 - mar 2017, con precipitaciones y temperaturas medias en la Estación 1100 para el año hidrológico 2016-2017.

6 COMENTARIOS FINALES

El Embalse San Roque manifestó un estado crítico en su condición de eutroficación asociado al evento de floración algal ocurrido durante febrero/marzo del año hidrológico 2016-2017. La situación más evidente se desarrolló en la zona central y de desembocadura del Río San Antonio en el cuerpo de agua. Los datos disponibles de calidad de agua e hidrológicos y meteorológicos permitieron un análisis integral del evento de floración.

En síntesis, es posible concluir que la proliferación de algas en el embalse se asocia con períodos de altas temperaturas y bajas precipitaciones, que generaron una mayor concentración de nutrientes en el cuerpo de agua. De hecho, al final del período de estudio, la tormenta ocurrida el 31/03/2017 con lluvias concentradas en la parte alta de la cuenca (más de 50mm), en conjunto con el incremento de precipitaciones y la disminución de las temperaturas en el mes de abril habrían generado una mejoría en la calidad del agua, dándole fin al evento de floración algal.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonansea, M., Ledesma, C., Rodríguez, C., & Sanchez Delgado, A. R. (2012). Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Rio Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 7(3). Colladon, L. (2014) Síntesis Pluviométrica 1992/93-2011/12. Cuenca del Río San Antonio. Sistema Río Suquía. Prov. de Córdoba. INA-Ezeiza. Bs.As
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Dasso, C.M.; Piovano, E.L.; Pasquini, A.I.; Córdoba, F.E.; Lecomte K.L.; Guerra, L. y Campodónico, V.A. (2014). “Recursos Hídricos Superficiales” – Relatorio del XIX Congreso Geológico de Córdoba– Págs. 1209 a 1231. Tomo II.
- G. Newcombe, Jenny House, Lionel Ho, Peter Baker & Michael Burch, (2010), *Management Strategies for Cyanobacteria (Blue-Green Algae): A Guide for Water Utilities*, Adelaide – Australia, Water Quality Research Australia Limited 2010.
- Gerald A. Cole, (1988), *Manual de Limnología*, Bs As – Argentina, Editorial Hemisferio Sur S.A.
- INA-CIRSA (2017), Informe de Monitoreo (Abril, Embalse San Roque) https://www.ina.gov.ar/trunk_layca/archivos/ina-cirsa-imsr-04-17.pdf
- INA-CIRSA (2017), Resumen Descriptivo de Monitoreo del Embalse San Roque y su cuenca 1995-2015.
- INA-CIRSA, Actividad Permanente “Monitoreo del Embalse San Roque y Gestión de Información de Calidad de Aguas y Cianobacterias” 1996 a la actualidad.
- Margalef R. (1983), *Limnología*, Barcelona – España, Ediciones Omega, S.A
- MARGALEF, R. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Alfa Omega, 2002
- Moyá, G., & Ramón, G. (1987). Disco de Secchi y clorofila “a” en dos embalses de aguas mineralizadas. *Limnetica*, 3, 165-170.
- Piovano E. L.; Zanor, G. A. y Ariztegui, D (2006). “Marco geológico general. En: Bañados del río Dulce y Laguna Mar Chiquita (Córdoba, Argentina)” - (ed. Bucher E.H.) - pp. 29-35. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, Argentina).

Prosperi, C., Rodríguez, C., Pierotto, M., Mancini, M., Daga, C., Gonella, M., & Rincón, A. (2005). Evaluación de la contaminación y eutrofización de aguas superficiales de la provincia de Córdoba. Temas de Ciencia y Tecnología.

Robert G. Wetzel, (1981), Limnología, Barcelona - España, Ediciones Omega, S.A.

Rodríguez, M. I., Busso, F., Bustamante, M. A., Ruibal Conti, A. L., Ruiz, M., & Angelaccio, C. M. (2005). Floraciones de algas en el Embalse San Roque (Córdoba). In XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza, Argentina.

Rodríguez, M. I., Cossavella, A., Oroná, C., del Olmo, S., Larrosa, N., Rodriguez, A. & Pagot, M. (2000). Estudios preliminares de la calidad de agua y sedimentos del embalse San Roque relacionados al proceso de eutroficación. XVIII Congreso Nacional del Agua.

Whitton, B. A., & Potts, M. (Eds.). (2007). The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space. Springer Science & Business Media.