

MONITOREO Y CALIDAD DE AGUA DEL EMBALSE SAN ROQUE (CBA, ARGENTINA)

**María Inés Rodríguez¹, Marcia Ruiz¹, Florencia Nadal¹, Silvana Halac¹,
Patricia Olivera¹, Fanny Busso², Enzo Bonfanti²**

¹INA-CIRSA

Ambrosio Olmos 1142– Teléfono y fax: 0351 4682781 E-mail:mirodriguez@ina.gob.ar

²AGUAS CORDOBESAS S.A.

RESUMEN

La problemática de eutroficación de las aguas naturales, en particular de lagos y embalses, tiene un origen asociado a factores regionales, actividades desarrolladas y características de la cuenca y aspectos propios del embalse que determinan la intensidad en su manifestación. En casos críticos como es el del Embalse San Roque, el monitoreo es justificado por su importancia ya que es uno de los principales embalses proveedor de agua para potabilización de la ciudad Córdoba, con una población aproximada de 1,5 millones de habitantes. El embalse y su cuenca se caracterizan por ser uno de los principales centros turísticos de la región.

Tanto en el cuerpo de agua como en su cuenca, se han instrumentado medidas tendientes a reducir los impactos negativos del problema, entre ellos, las floraciones de cianobacterias. El INA-CIRSA, como organismo científico-técnico se ha especializado en esta área del conocimiento, y en colaboración con la empresa concesionaria del servicio Aguas Cordobesas S.A., ha permitido la permanencia de esta actividad a lo largo del tiempo (1999-2012).

El monitoreo mensual se realiza en distintas áreas del embalse e incluye sus cuatro tributarios. El diseño responde a una visión limnológica del sistema en el que se incluyen variables físicas, químicas y biológicas. Se presentan recientes variaciones espaciales y temporales de la calidad del recurso, además de apreciaciones referidas al monitoreo de cuerpos eutróficos. El diseño estratificado en el embalse, ha permitido detectar condiciones previas a las floraciones de cianobacterias, en las que la abundancia de estas algas fue significativamente mayor en estratos más profundos. Esta situación pudo asociarse con altas concentraciones de fósforo biodisponible en el periodo primavera, sumado a situaciones de bajo nivel del embalse y procesos de mezcla en la columna.

Palabras clave: eutroficación, calidad de agua, embalses, monitoreo

INTRODUCCION

La problemática de eutroficación está definida por la excesiva cantidad de nutrientes presente en el sistema en particular de nitrógeno y fósforo. El desarrollo de floraciones algales particularmente de cianobacterias y la escasa transparencia del cuerpo de agua son algunos de los principales efectos de esta problemática. La presencia de determinadas especies de algas pueden limitar el uso recreativo de un cuerpo de agua, afectar su calidad estética y en caso de ser fuente de abastecimiento, también puede provocar inconvenientes en el proceso de potabilización e incrementar sus costos. El embalse San Roque, principal fuente de provisión de agua de la capital de Córdoba, con una población aproximada de 1,5 millón de habitantes, presenta un avanzado estado de eutrofia. Las algas causantes de floraciones son principalmente las cianobacterias *Dolichospermum spp* y *Microcystis spp*, y la pirrófita *Ceratium hirundinella* (Rodríguez *et al*, 2005 y Rodríguez *et al*, 2010).

Numerosos estudios describen las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las especies de algas mencionadas (van Ginkel *et al*, 2001 y Pérez-Martínez *et al*, 2002), sin embargo, la variabilidad de las condiciones climáticas como así también las características propias del cuerpo de agua, hacen que los resultados no sean siempre extrapolables. Desde este punto de vista, la descripción de la dinámica de variables ambientales locales asociadas al fitoplancton, puede aportar información útil para la aplicación de medidas de control de la eutroficación.

Existen diversas medidas para el control de la eutroficación que pueden ser aplicadas a nivel de cuenca actuando sobre las fuentes de aporte de nutrientes o bien sobre el lago o embalse como por el ejemplo a través de la instalación de difusores o aireadores. Esta última, busca influenciar sobre los mecanismos físicos de mezcla y estratificación que varían estacionalmente y por acción de los vientos (Hawkins *et al*, 1993 y Lindenschmidt, 1999).

La dinámica de estratificación térmica es uno de los factores de relevancia que acompaña a la variación en la composición de la comunidad de algas en embalses. Los movimientos del agua no sólo son importantes en cuanto al movimiento físico dentro de la zona fótica, sino que son decisivos en el transporte vertical de materia mineralizada a partir de zonas profundas y en mantener a las algas dentro de la zona eufótica. (Margalef, 1983). La profundidad eufótica (Zeu) y la profundidad de mezcla (Zmez) en la columna de agua afectan la disponibilidad de luz para las algas. Sin un acceso periódico al estrato eufótico las algas mueren ya que por debajo de esta zona, el crecimiento está limitado por la falta de luz (Reynolds, 1984).

El monitoreo no sólo constituye un tema de instrumentos o técnicas sofisticadas, sino también de percepción y observación cuidadosa y continua por parte de observadores locales. El conocimiento científico de base es necesario para encontrar junto a otros aspectos, la solución más eficiente a los problemas ambientales. Éste es provisto por estudios específicos, investigación y experimentación, en los cuales el monitoreo es un procedimiento de suma importancia. En general, la ocurrencia de “emergencias ambientales” tales como eventos sorpresivos de mortandad de peces, cambios drásticos en la coloración del agua, riesgos en la salud de la población, etc, suelen ser desencadenantes para la realización, la mayoría de las veces, de estudios puntuales, que conducen eventualmente, a la implementación de monitoreos permanentes. El monitoreo de lagos y embalses, particularmente aquellos que son fuente de abastecimiento de agua para potabilización, debe ser considerado una actividad permanente en el proceso de desarrollo y ejecución de la estrategia necesaria para resolver los problemas relacionados con la calidad de sus aguas.

Actualmente, campañas de monitoreo del embalse y cuenca son programadas y conducidas por INA-CIRSA en coordinación con la Empresa Aguas Cordobesas S.A. y la Dirección Náutica

de la Provincia de Córdoba. Estos estudios se realizan como una Actividad Permanente y en el marco de Proyectos de Investigación y Desarrollo.

Los objetivos del presente trabajo son:

- Contribuir con información de base útil para la gestión del recurso y valorizar el monitoreo como una herramienta indispensable para la implementación de medidas de control y seguimiento de la problemática de eutroficación del Embalse.

- Describir la evolución de la calidad del cuerpo de agua a lo largo del periodo monitoreado a través de indicadores como el Índice de Carlson, floraciones de algas, dinámica térmica, de oxígeno disuelto y de nutrientes en la columna de agua.

- Destacar los alcances de la actividad y la necesidad de cooperación interinstitucional para la prevención y mitigación de impactos negativos generalizados.

MATERIALES Y METODOS

Diseño de monitoreo

El diseño espacial horizontal responde a la morfología del embalse en la que el centro, desembocadura de tributarios y área próxima a la presa se distinguen como sitios que pueden presentar variaciones entre sí (Fig. 1). Así por ejemplo, las características de la desembocadura del Río San Antonio son más críticas en relación a la calidad de agua, la desembocadura del Río

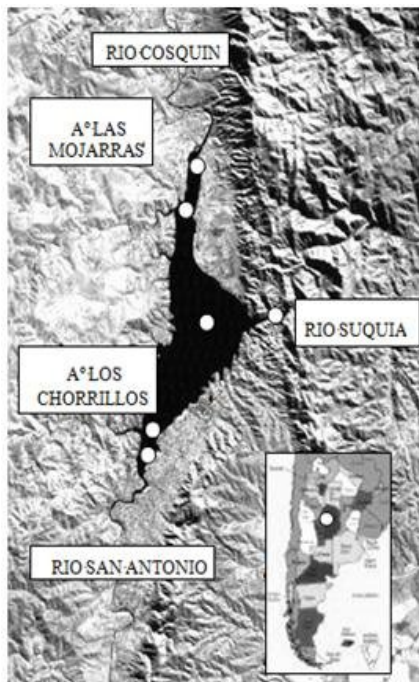


Fig. 1: Ubicación de los puntos de monitoreo en el Embalse San Roque.

Cosquín presenta algunas peculiaridades asociadas a las características de suelo de su cuenca, en tanto que la presencia del antiguo muro sumergido hace presentar algunas variaciones en el punto próximo a la presa con respecto al resto del embalse. El centro del embalse se muestra como un punto en el que alguno de los aspectos críticos o extremos observados en las otras áreas, tales como concentración de nutrientes, de oxígeno disuelto y clorofila, están en general suavizados (Rodríguez *et al*, 2006). Los valores obtenidos en el centro, se utilizan en el análisis como valor promedio aproximado del comportamiento del embalse.

El diseño espacial vertical, es decir en la columna de agua, tiene en consideración las aguas subsuperficiales ($Z_1=0,2$ m) y las más profundas ($Z_5= 1$ m del fondo), pasando por un número variable de dos a tres muestras intermedias dependiente de la situación de mezcla o estratificación térmica que presente el embalse. Una de estas muestras corresponde al límite inferior de la zona fótica (Z_2) donde la luz es igual al 1% de la incidente en superficie, y suficiente para que se realice el proceso de fotosíntesis de las algas. Dicha profundidad es estimada como el producto entre la profundidad de visibilidad del disco de Secchi (medida de transparencia del agua) y el factor de 2,5 (Wetzel, 1984).

En condiciones de mezcla, una muestra es tomada a una profundidad intermedia (Z_3) entre la muestra de zona fótica y de fondo. La condición del embalse en estratificación, implica una variabilidad adicional en la vertical debido a la formación de dos capas (epilimnio e hipolimnio) claramente definibles a partir de la construcción del perfil de temperaturas, que no presentan mezcla entre sí durante la época estival, salvo por la presencia de fuertes vientos que pueden alterar esta condición (Helmbrecht et al, 2000). Estas capas o estratos presentan cualidades diferentes que es importante conocer en el embalse por sus implicancias en la agudización del problema de eutrofización. El plano denominado termoclina que divide ambas capas se define por la presencia de un máximo gradiente de temperatura (por disminución de 1 °C de temperatura, en una diferencia de profundidad de al menos 1 m) y determina la ubicación de una muestra 1 metro por encima (Z_3) y otra 1 metro por debajo de la termoclina en el sector del centro del lago (Z_4).

En el área próxima a la presa (TAC), se opta por mantener constante un punto de muestreo en la vertical a la altura de la toma de los conductos que conducen el agua hacia la usina (TAC₄).

Las muestras de agua se extraen con un muestreador tipo Niskin. Los parámetros medidos *in situ* en la columna de agua fueron determinados con sondas multiparamétricas Horiba U-10, U-23 y WTW. Los análisis y técnicas aplicadas en las muestras se detallan en la Tabla 1. La frecuencia mínima de monitoreo es mensual y los datos presentados corresponden al período abril 1999- abril 2012.

Tabla 1: Parámetros, instrumentos y técnicas aplicadas para su medición.

Parámetros In Situ	Instrumento
Temperatura (°C)	Sondas multiparamétricas: Horiba U-23;U-10 y WTW
OD Oxígeno disuelto (mg/l)	
Transparencia de Secchi	Disco de Secchi
Parámetros medidos en laboratorio	Método
Fósforo reactivo soluble PRS (µg/l),	Espectrofotometría
Fósforo total PT (µg/l)	Espectrofotometría
Clorofila a (µg/l)	Espectrofotometría
Identificación y cuantificación de fitoplancton (cel/l)	Filtración en membrana y Sedimentación
Frecuencia de monitoreo: mensual	

Descripción área de estudio

El embalse se localiza en una región semiárida, en el Valle de Punilla (31° 22' S y 64° 27' O) a 600 m sobre el nivel del mar, entre las Sierras Grandes y las Sierras Chicas en la Provincia de Córdoba (Argentina). Es un cuerpo de agua artificial cuyo primer muro data del año 1888. Este primer muro, en 1944 se reemplazó por la presa actual. A nivel de cota de vertedero, la superficie del lago es de 16 Km², con un volumen máximo de 190 Hm³ y una profundidad media de 13 m. La cuenca alta de Río Suquía está conformada por las subcuencas de los cuatro tributarios que drenan al embalse San Roque con una superficie total de 1750 Km², ellas son: Río San Antonio (505 Km²), el Río Cosquín (820 km²), el Arroyo Las Mojarras (85 Km²) y el Arroyo Los Chorrillos (160 km²) siendo su único efluente el Río Suquía.

Desde el punto de vista climático, el régimen de precipitación en la cuenca se presenta con una gran variación espacio temporal. Las lluvias, a lo largo del año hidrológico se distribuyen en dos ciclos bien diferenciados. La cuenca está caracterizada por una precipitación media anual de 780 mm. Bajo el dominio de un clima templado, la temperatura media anual es de 14°C y los vientos predominantes son del cuadrante sur y norte.

El embalse cumple principalmente la función de provisión de agua a la ciudad de Córdoba, control de inundaciones aprovechamiento hidroeléctrico y es a su vez junto a su cuenca, un ámbito en el que se desarrollan múltiples actividades turísticas y recreativas.

Debido a la problemática ambiental que presenta se instrumentan en el embalse y cuenca medidas conducentes a reducir los impactos negativos de la misma.

Tratamiento de datos

Se confeccionaron series mensuales y anuales de lluvias en el periodo 1999-2012, a partir de las lluvias diarias registradas en la cuenca de uno de los 2 principales tributarios que posee el embalse, el Rio San Antonio. Esta información fue provista por la Red Telemétrica operada por INA-CIRSA a los fines de conocer las condiciones pluviométricas imperantes en la región en dicho período (Colladon *et al*, 2010).

Una manera de establecer la condición trófica de los embalses es a través de los Índices de Estado Trófico de Carlson (Carlson, 1977). Estos índices son de cálculo sencillo y permiten ver la evolución del cuerpo de agua a lo largo del tiempo de un modo accesible y claro. En sus cálculos se introducen los valores de transparencia [Ecuación 1], clorofila *a* [Ecuación 2] y fósforo total [Ecuación 3]. Si bien, los tres índices pueden usarse para definir la condición trófica del cuerpo de agua, se sugiere optar por el Índice Trófico basado en clorofila *a*. En el índice se consideran los datos superficiales anuales del centro.

$$T = 60 - 14,41 \ln(SD) \quad [1]$$

$$T = 9,81 \ln(C) \quad [2]$$

$$T = 14,42 \ln(P) \quad [3]$$

Se calcularon estadísticos descriptivos para las variables del Índice Trófico, y se elaboraron gráficas de campos de temperatura y concentración de OD para describir su dinámica temporoespacial. Se realizaron graficas de dinámica de fitoplancton y nutrientes que ilustran su variación en la columna de agua en el periodo estudiado. A tal fin se utilizan los programas Excel, Statistica y Surfer.

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Caracterización de las lluvias durante el periodo 1999-2012

Considerada la serie de 13 años de lluvias anuales medidas en la cuenca del Río San Antonio, se estimaron los principales estadísticos (Tabla 2).

Tabla 2: Estadísticos de precipitación anual en la Cuenca del Río San Antonio.

Precipitación media (mm)	816,6	Precipitación mínima (mm)	616,5
Desvío estándar (mm)	128,1	Precipitación máxima (mm)	1092
Mediana (mm)	472,3	Rango (mm)	475,5

La media para el período fue de 816 mm (99/00-11/12), con una precipitación máxima anual de 1092 mm (año hidrológico 1999/00) que casi duplica al año más seco (año hidrológico 2010/11).

La evolución temporal de las lluvias anuales (Fig. 2) muestra alternancia de años más secos con más húmedos, siendo los periodos 2003/04 a 2005/06 y 2009/10 a 2011/12 más secos respecto a la media. El año más húmedo fue el 1999/00, con una tasa máxima mensual en el mes de noviembre de 194 mm/mes, en tanto el año más seco del período de estudio fue el 2010/2011 con un total anual de 616 mm.

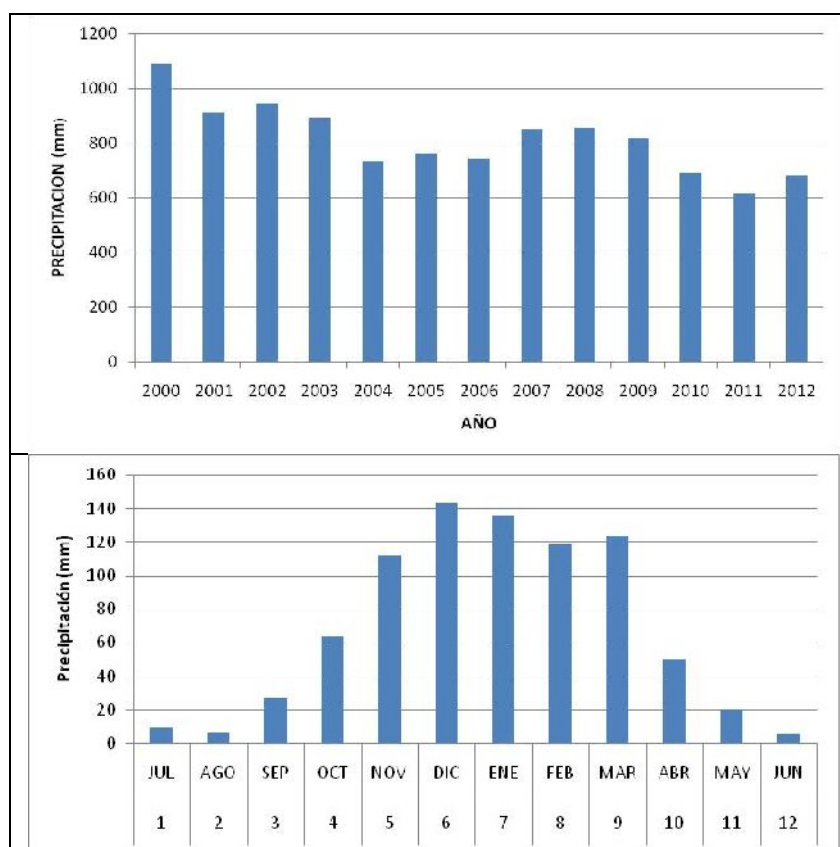
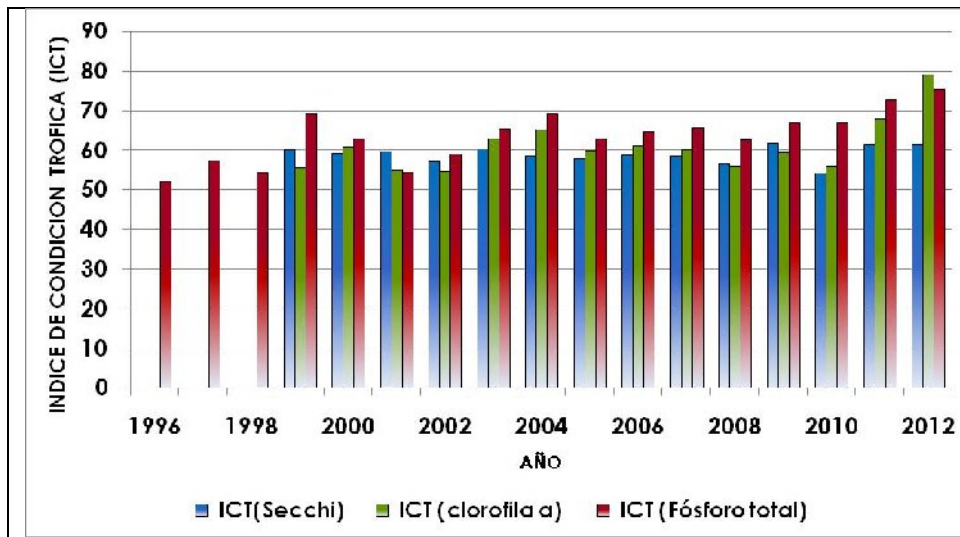


Fig. 2: Series anuales y mensuales de la Cuenca del Río San Antonio.

La distribución mensual de las lluvias se mostró en concordancia con Dasso *et al*, 2011, en donde el periodo húmedo se extiende de noviembre a marzo con una tasa media mensual por encima de 80 mm. El ciclo seco de abril a octubre con un mínimo de tasa media mensual de 3,5 mm/mes en Junio.

Indice de Carlson



Transparencia	Clorofila a	Fósforo	ICT	Condición
<0,25	>155	192 a 384	>80	HIPEREUTROFIA
0,25 a 0,5	56 a 155	96 a 192	70-80	
0,5 a 1	20 a 56	48 a 96	60-70	EUTROFIA
2 a 1	7,3 a 20	24 a 48	50-60	
4 a 2	2,6 a 7,3	12 a 24	40-50	MESOTROFIA
8 a 4	0,95 a 2,6	6 a 12	30-40	
>8	<0,95	<6	<30	OLIGOTROFIA

Fig. 3: Indice trófico de Carlson del Embalse San Roque (centro) para el período 1999-2012.

En la Fig. 3 se muestra la variación de los Indices de Carlson. A partir de un valor de 50 en los indicadores se considera a un cuerpo de agua como eutrófico, superados los valores de 70 la condición se torna hipereutrófica. El embalse San Roque históricamente presenta valores por encima de 50 y muestra para los años más recientes una condición de hipereutrofia. Esto indica que el embalse está caracterizado por frecuente anoxia hipolimnética, dominancia de cianobacterias, presencia de natas, frecuentes eventos de mortandad de peces, problemas con macrófitas y productividad de las algas limitada por la luz y no por nutrientes que se presentan con disponibilidad suficiente para su desarrollo. Los valores anuales de transparencia usualmente son próximos a 1m, la clorofila supera los 20 µg/L y la concentración de fósforo total (PT) es mayor a 48 µg/L.

Los estadísticos descriptivos del Indice se muestran en la

Tabla 3.

Tabla 3: Estadísticos del Índice de Carlson período 1999-2012 – centro del Embalse.

	ICT(Secchi)	ICT (clorofila a)	ICT (Fósforo total)
Promedio	58,93	60,96	63,58
Desvío estándar	2,08	6,52	6,50
Mínimo	54,25	54,71	54,32
Máximo	61,65	79,02	75,28

El embalse en su condición promedio para todo el período se ubica claramente como eutrófico siendo los valores máximos correspondientes a los años 2011 y 2012 que señalan una tendencia hacia hipereutrofia.

En el año 2001 se puso en marcha un Plan de Saneamiento Integral de la Cuenca del Embalse San Roque que contempló la mejora e instalación 2 de plantas de tratamiento con tratamiento terciario de efluentes en la cuenca alta (La Falda, Valle Hermoso, Villa Giardino y Huerta Grande), una tercera planta en la cuenca baja que involucra a la Ciudad de Villa Carlos Paz quedando pendiente la cuenca media y Oeste que abarca las localidades de Cosquín, Biale Massé, Tanti y Cabalango (SRH, 2009). Sin lugar a dudas el control de las fuentes de aportes de nutrientes como principal causante de la problemática es esencial para la prevención y posible disminución de los impactos negativos desencadenados. Sin embargo por el momento las medidas adoptadas no parecen ser las suficientes como para revertir la tendencia que presenta el cuerpo de agua hacia la hipereutroficación.

Dinámica térmica y de OD

En la Fig. 4 se muestran los campos de temperatura para el punto central del Embalse. El patrón de circulación del cuerpo de agua es monomítico, es decir que está caracterizado por un período de mezcla claramente definido durante los meses fríos de abril a septiembre, y otro de estratificación de características variables, que puede abarcar los meses de octubre a marzo. Dicha variación interanual puede verse reflejada en los gradientes de temperaturas superficiales y de fondo. En la Tabla 4 se presentan los estadísticos mensuales de la diferencia entre la temperatura superficial y la del fondo de la columna de agua, para el periodo descripto en el centro del embalse. El mes de enero presenta el máximo gradiente térmico seguido por diciembre y febrero. El promedio de gradiente estacional de verano es de 2,9 °C. El máximo gradiente observado en verano correspondió a enero del año 2000, en tanto que situaciones de circulación pueden darse en periodos estivales, por acción de los vientos, por mayores flujos en la masa de agua por un alto caudal de ingreso desde los tributarios, sumado a las descargas del embalse o un posible efecto de desestratificación por la acción de difusores instalados y puestos en funcionamiento de partir octubre del año 2008 (Hidalgo *et al*, 2009).

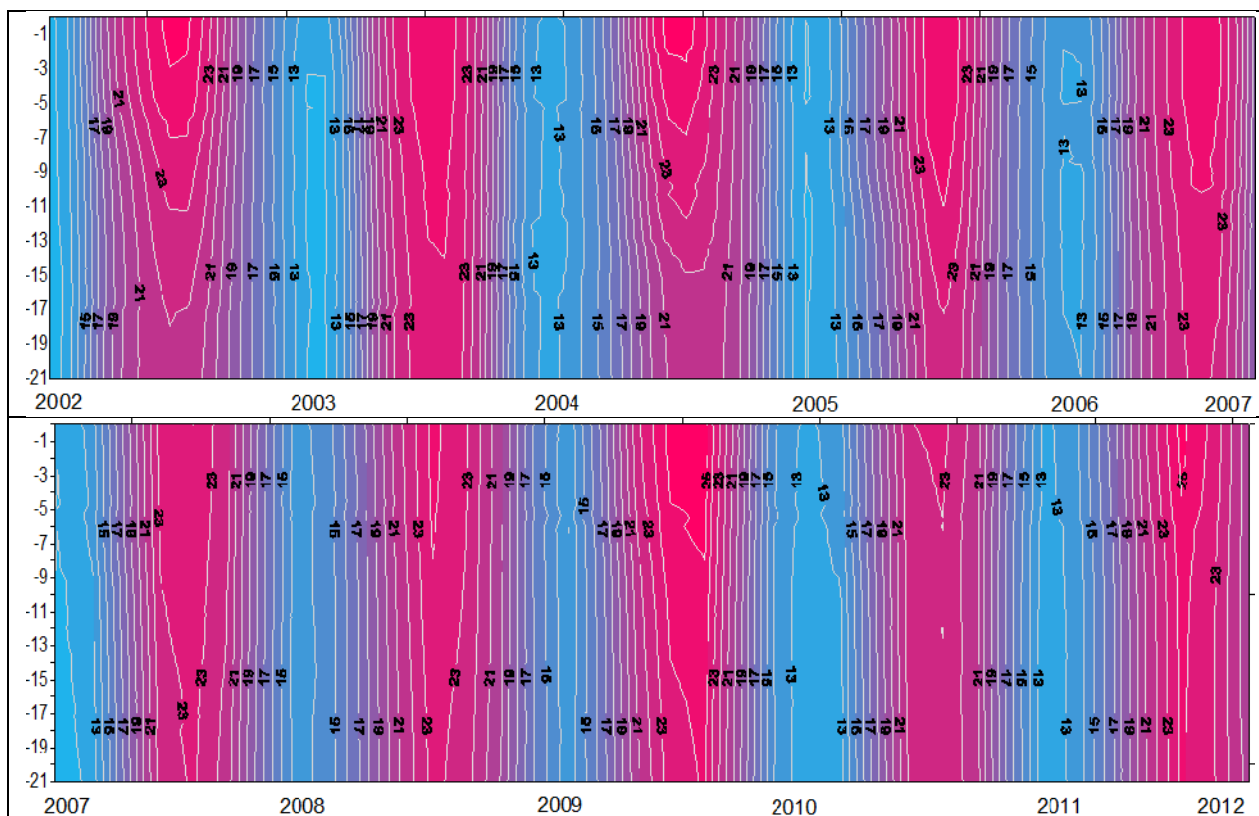


Fig. 4: Campos de temperaturas en el centro del Embalse San Roque período 2002-2013.

Tabla 4: Estadísticos del gradiente de temperatura entre superficie y fondo en el centro del Embalse San Roque 1999-2012.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago8	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	3.27	1.93	1.41	0.50	0.18	0.05	0.23	0.47	0.93	1.58	2.17	2.98
Desvío estándar	2.10	1.97	1.49	0.90	0.29	0.26	0.37	0.58	0.63	0.97	1.50	1.74
Mediana	3.3	1	1	0.1	0.1	0	0.1	0.5	0.8	1.3	2	2.6
Mínimo	0.40	0.10	0.00	-0.10	-0.01	0.60	0.20	-0.35	0.00	0.30	0.20	0.10
Máximo	6.63	6.19	4.31	2.95	1.00	0.29	1.10	1.65	1.70	3.00	4.79	5.46

La Fig. 5 muestra los campos de concentración de OD en el centro del embalse. La situación de anoxia y bajo tenores de OD es frecuente, sostenida y coincidente con los periodos de verano y otoño. En ocasiones la situación de escasez de OD se extiende a toda la columna de agua, por debajo de los 4 mg/L, se considera un valor crítico para la supervivencia de peces. Durante el lapso agosto 2007 a julio 2011 no se cuenta con registros en la columna de agua debido a rotura del sensor de OD.

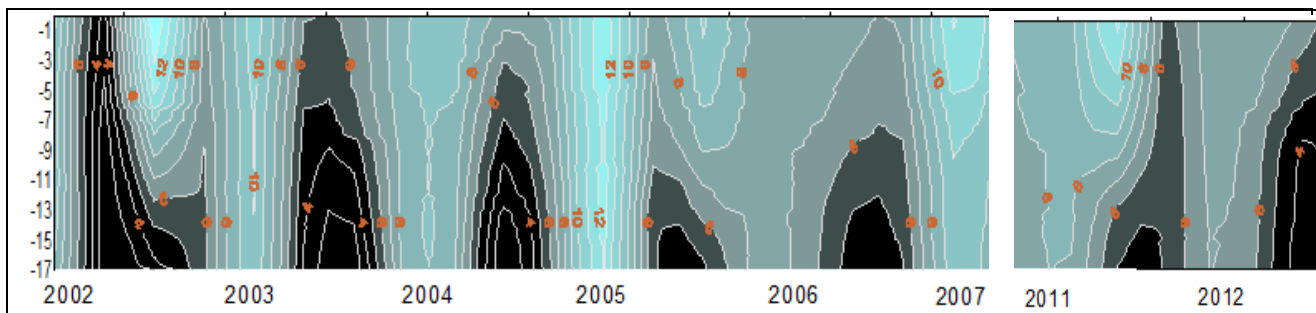


Fig. 5: Campos de concentraciones de OD en el centro del Embalse San Roque período 2002-2007 y 2011-2012.

Floraciones de algas

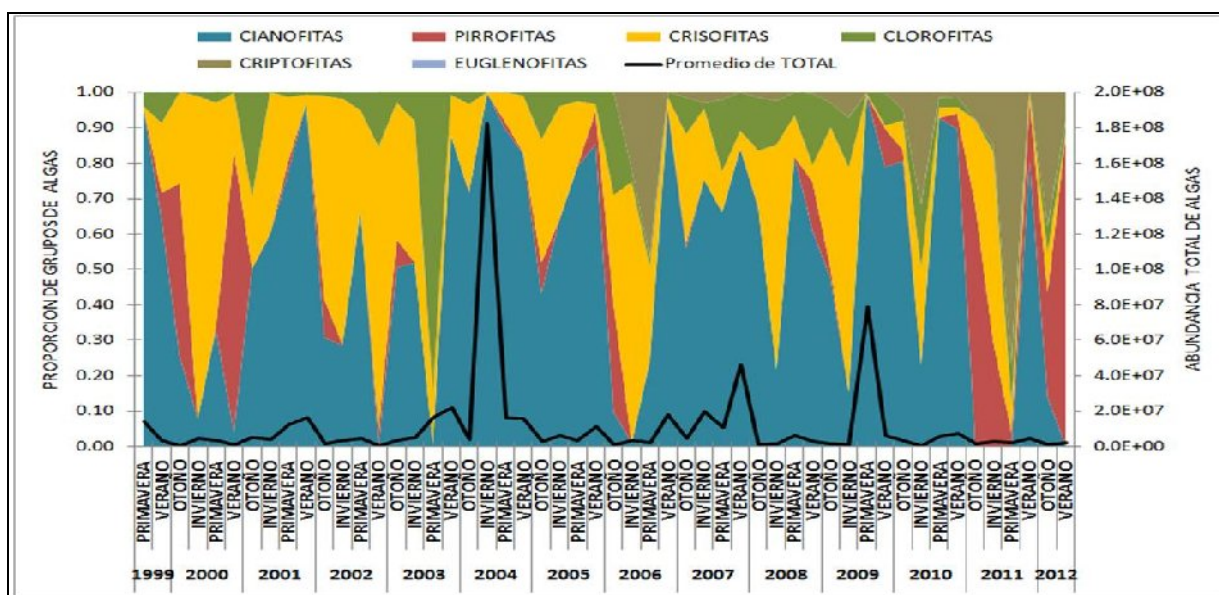


Fig. 6: Variación de la composición de grupos de algas en el Embalse San Roque.

La dinámica temporal subsuperficial de algas se muestra en la Fig. 6. Se observa una clara dominancia de cianobacterias, representados principalmente por *Dolichospermum spp* y *Microcystis spp* con pulsos durante los meses de primavera, verano y otoño, con eventuales floraciones extraordinarias de la pirrófita *Ceratium hirundinella* en períodos más húmedos con valores de clorofila *a* que superaron los 400 $\mu\text{g/L}$ (verano 1999, 2000, 2012 y otoño 2011) con abundancias extremas (33 millones de cél/L) en el área de la desembocadura del Río San Antonio. En invierno las condiciones de menor temperatura y mezcla favorecen la prevalencia de las crisófitas (*Cyclotella sp*, *Aulacoseira sp*, *Stephanodiscus sp* *Navicula sp*, entre otras).

Si consideramos a la floración de algas como un fenómeno visible a campo manifestado por coloración intensa y presencia de olor desagradable junto a valores de indicadores de abundancia algal superior a 1 millón de cél/L, clorofila *a* superior a los 10 $\mu\text{g/L}$ y dominancia de la especie por encima del 50 %, el número de las mismas detectadas en las campañas a lo largo del periodo de estudio, muestra que el embalse está condicionado en su calidad por una alta frecuencia anual de las mismas, particularmente de los géneros de cianobacterias (Fig. 7).

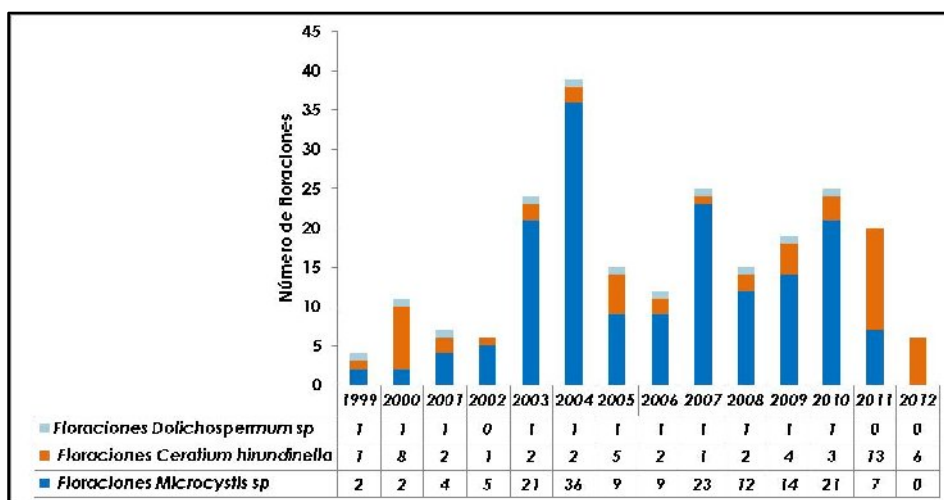


Fig. 7: Número de floraciones de algas registradas en los monitoreos mensuales en las desembocaduras de los Río San Antonio y Cosquín, en el centro y en el área de la presa.

El diseño estratificado en el embalse, permite visualizar situaciones como la mostrada en la Fig. 8 que muestra la abundancia de cianobacterias en el área de toma en tres profundidades: subsuperficial, zona fótica y altura de toma.

En la primavera del 2010 se produjo una floración masiva de cianobacterias en el embalse en la que pudo registrarse que la abundancia de cianobacterias estuvo aumentada tanto en su valor absoluto como relativo a mayores profundidades respecto a otros periodos, en que los valores máximos se limitan al estrato fótico, ubicado en los primeros metros de la columna de agua (Fig. 8).

Esta situación floración coincidió con altas concentraciones de P biodisponible (PRS), un bajo nivel del embalse (cota 30,5 m) y procesos de mezcla en la columna que permitieron el arrastre de los nutrientes liberados en las capas más profundas anóxicas (

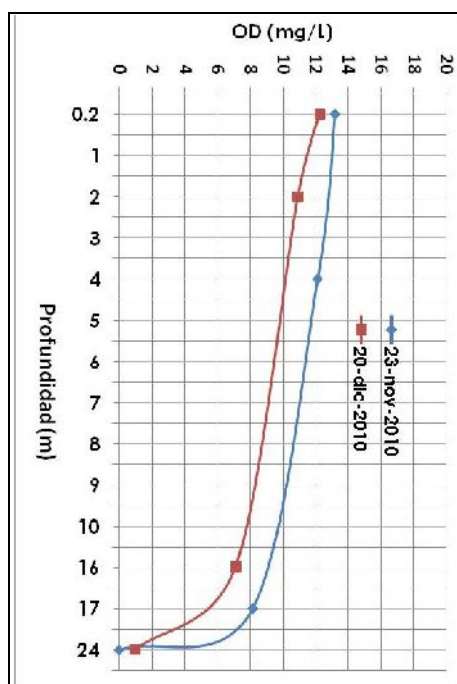


Fig. 9) donde fue registrada una concentración de PRS extraordinaria de 567 $\mu\text{g/L}$ (Fig. 10). La disponibilidad de nutrientes y su asimilación por parte de las algas indujo a una de las mayores floraciones de cianobacterias registradas en el embalse (*Dolichospermum sp* y *Microcystis sp*).

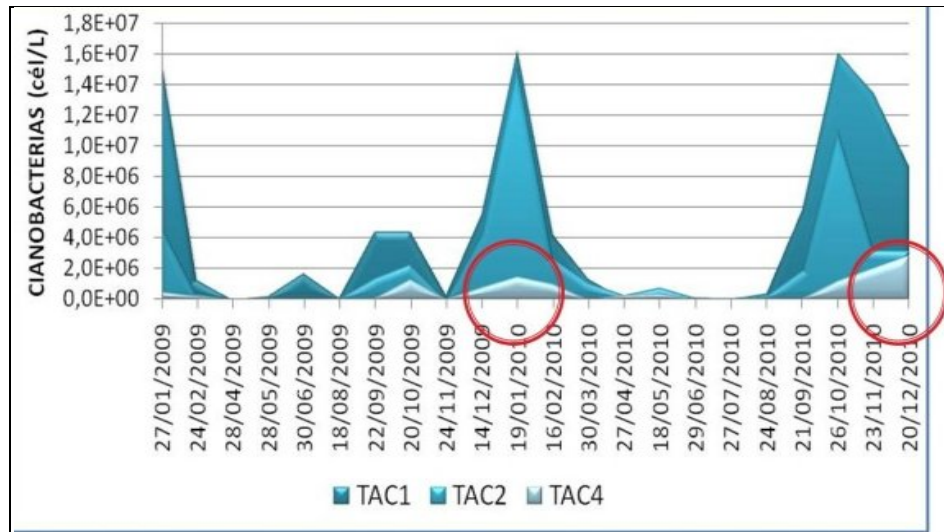


Fig. 8: Variación de la abundancia de cianobacterias en el área de toma a tres profundidades.

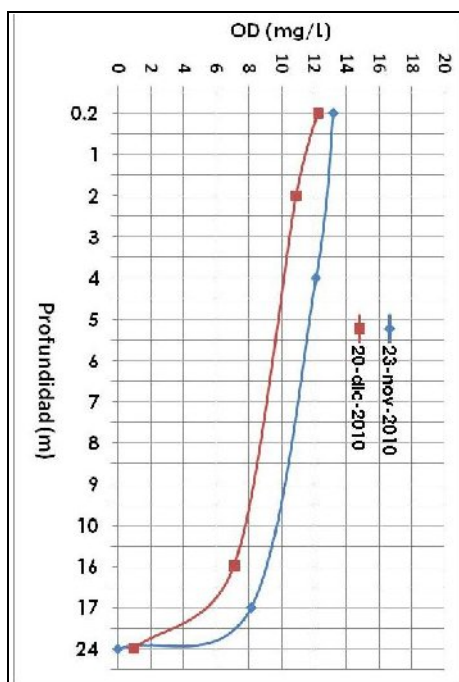


Fig. 9: Mediciones por Método de Winkler en tres puntos del perfil de concentración de OD en el área de toma (TAC) primavera de 2010.

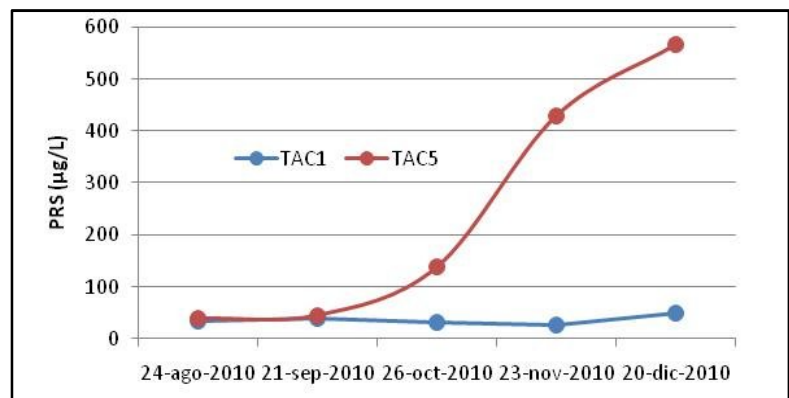


Fig. 10: Variación subsuperficial (TAC1) y en el fondo (TAC5) de la concentración de PRS en la primavera de 2010.

CONCLUSIONES

Continuar las actividades de monitoreos en el Embalse San Roque es esencial por su importancia como fuente de abastecimiento, entre otras, y por su alta frecuencia de floraciones de algas, en particular, de cianobacterias. La experiencia indica que su diseño puede contemplar variables básicas o mínimas en los sectores de desembocaduras centro y presa, que permiten seguir su evolución a través de indicadores como el Índice de Carlson.

Este seguimiento a lo largo de más de una década posibilita una aproximación a la valoración de las diversas acciones que se instrumentan en la cuenca y en el embalse. La evacuación por vertedero en el caso del Embalse San Roque es una situación deseable, ya que la biomasa algal se acumula en los estratos superiores donde hay disponibilidad de luz. No obstante, se pudieron detectar situaciones de floración en estratos más profundos y anóxicos en el sector de la presa. Esta situación pudo asociarse a la liberación de nutrientes de P desde sedimentos y posteriores procesos de mezcla.

Las dificultades y esfuerzos que involucran las actividades de monitoreos han podido ser superadas a través de la cooperación interinstitucional entre organismos científico técnicos del estado y privados.

El caso del Embalse San Roque y su cuenca, su evolución hacia la hipereutrofia y su respuesta a las medidas implementadas, debiera tenerse en cuenta como un posible escenario futuro de numerosos cuerpos de agua de la región que manifiestan problemáticas quizás no tan agudizadas, a los fines de que se gestionen acciones de prevención, tales como planificación y regulación del uso del suelo de sus cuencas y costas, monitoreos mínimos continuos, difusión y fomento de la cooperación interinstitucional, participación en la gestión de los actores locales y habitantes de la cuenca.

BIBLIOGRAFIA

- Carlson, R.E.** (1977) "*Trophic State Index*" *Limnology and Oceanography* 22(2) 361:369.
- Colladon, L.; Felici, G.S. e I. Pazos** (2010) "*Anuario Pluviométrico 2005/06-2009/10 Cuenca del Río San Antonio Sistema del Río Suquia - Provincia de Córdoba*" Villa Carlos Paz, Córdoba, 31 pág.
- Dasso, C. Caamaño Nelli, G. y L. Colladon** (2011) "*Estudio del Area Protegida Carlos Paz*" En Capítulo 8: Hidroclimatología. Informe Técnico del Grupo Interdisciplinario de la Universidad Nacional de Córdoba. Presentado al Consejo de Representantes de la Municipalidad de Villa Carlos Paz 437 pág.
- Hawkins, P.R. and D.J. Griffiths, D.J.** (1993) "*Artifitial destratification of a small tropical reservoir: effects upon phytoplankton*", *Hydrobiologia* 254: 169-181.
- Helmbrecht, J. y F. López** (2000) "*Predictores físicos de la calidad del recurso en el Lago San Roque (Córdoba, Argentina)*" XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba.
- Hidalgo, M.A.; Fernández, R.L. y A. Ryan** (2009) *Modelación Hidrodinámica de la Incidencia de la Destratificación Artificial en el Embalse San Roque, Cordoba*. XXII Congreso Nacional del Agua, Trellew, Argentina. I.S.B.N. 978-987-25369-0-9.
- Lindenschmidt, K.E.** (1999) "*Controlling in the growth of Microcystis using surged artificial aeration*", *Internat. Rev. Hydrobiol.* 84 (3) 243:254
- Pérez-Martínez C. and P. Sánchez-Castillo** (2002) "*Winter dominance of Ceratium hirundinella in a southern north-temperate reservoir*", *Journal of Plankton Research* 24 (2): 89-96.

- Rodríguez, M.I. Busso, F.; Bustamante, M.A.; Ruibal Conti, A.L.; Ruiz, M. y M. Angelaccio** (2005) "*Floraciones de Algas en el Embalse San Roque (Córdoba)*" XX Congreso Nacional del Agua y III simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza.
- Rodríguez, M. I.; Ruiz, M.; Vilchez, G.; Crema, N.; Ruibal Conti, A.L.; Bustamante, M.A.; Angelaccio, C.M; Busso F.; Bonfanti, E. y F. López, F** (2006) "*Monitoreo Integral de un Cuerpo de Agua Eutrófico Embalse San Roque (Córdoba, Argentina)*" I Congreso Internacional Sobre Gestión y Tratamiento del Agua, Córdoba, Argentina.
- Rodríguez, M. I.; Ruiz, M.; Ruibal A. L.; Bustamante, M.A.; González, I.; Olivera, P.; Halac, S. y C. Sada** (2010) "*Calidad de agua recreativa afectada por floraciones de cianobacterias*" III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina, ISBN 978-987-1253-76-0
- Reynolds, C.S.** (1984) "*The Ecology of Freshwater Phytoplankton*", Cambridge University Press, Cambridge
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba – SRH** (2009) *Informe Preliminar: Desestratificación Térmica del Embalse San Roque por Método de Circulación / Aireación Artificial*, 40 pág.
- Straskraba, M.; Blazka, P.; Brandl, Z.; Hejzlar, P.; Komarkova, J.; Kubecka J.; Nesmerak, I.; Pochazkova, L.; Straskravoba, V. and V. Vynhnalek** (1993) "*Framework for investigation and evaluation of reservoir water quality in Czechoslovakia*" Chapter XII in Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- van Ginkel, C.E.; Hohls, B.C. and E. Vermaak** (2001) "*A Ceratium hirundinella (O.F. Müller) bloom in Hartbeespoort Dam , South Africa*", Water SA 27(2):269-276.
- Wetzel, R.** (1981) *Limnología*, Ed. Omega, España.