

IV

TALLER INTERNACIONAL SOBRE ENFOQUES REGIONALES PARA EL DESARROLLO Y GESTIÓN DE EMBALSES EN LA CUENCA DEL PLATA

29 de Noviembre al 2 de Diciembre 2005

Salto Grande, Argentina-Uruguay

"MEJORES PRÁCTICAS EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE EMBALSES. PROCESOS PARTICIPATIVOS DE DECISIÓN"

Cooperación sectorial privado-estatal en el abordaje de la problemática de desarrollos masivos de algas tóxicas.

Ruibal Conti, A.L.; Rodríguez M.I.; Ruiz M.; Bustamante M.A. Angelaccio C.M;
Instituto Nacional del Agua-Centro de la Región Semiárida
Ambrosio Olmos 1142.
5000 Córdoba. Argentina
e-mail: calidadaguas@ina-crsa-ccap.gov.ar

Busso F.; Manger, J.; Murad, E.; Bonfanti,E.
Aguas Cordobesas S.A.
La Voz del Interior 5507
5000 Córdoba, Argentina
TE: (351)4777382
e-mail: fbusso@aguascordobesas.com.ar

Resumen

Un gran número de embalses de la región semiárida de la Provincia de Córdoba sufren floraciones de cianobacterias. Por su importancia turística y ser la principal fuente de agua potable para la ciudad de Córdoba (1,3 millones de habitantes) el Embalse San Roque ha sido el más estudiado. Éste, presenta un estado eutrófico avanzado, con registros de desarrollos masivos de cianobacterias (*Microcystis sp.* y *Anabaena sp.*) desde 1971 (Cachi, 1974), demostrándose su carácter toxigénico desde 1989 (Scarafia M.E. et al,1995). Estudios realizados (Ruibal Conti A.L, 2003; Ame V., 2003) indicaron la presencia microcistinas MC-LR, YR, RR y de otras no identificadas con concentraciones variables.

Como resultado de esto, organismos de investigación de la región en conjunto con la prestadora del servicio de agua en la ciudad de Córdoba, han implementado un sistema de seguimiento de la calidad del agua del embalse basado en un monitoreo sistemático de parámetros físico-químicos, biológicos (clorofila, fitoplancton) y concentración de microcistinas totales.

En el presente trabajo se describe la metodología de cooperación implementada y se muestran los resultados obtenidos de los análisis biológicos y de la concentración de microcistinas tanto en campo como en el agua de entrada y salida de planta. También se describen las distintas cadenas de tratamiento para el abatimiento de las cianobacterias y de sus metabolitos.

La región central de la provincia es semi-árida y no se cuenta con fuentes alternativas por lo que es imprescindible el monitoreo permanente para el manejo del recurso y el establecimiento de sistemas de niveles de alerta y modelos predictivos sobre la ocurrencia

de proliferaciones masivas de cianobacterias. Deben prepararse planes de contingencia y emergencia y su activación cuando sea apropiado.

Palabras claves: cooperación sectorial, potabilización, microcistinas, monitoreo.

Abstract

A great number of reservoirs located in the semi-arid region of the Province of Cordoba undergoes cyanobacterial blooms. San Roque has been the most studied reservoir due to its touristic importance and because it is the main source of drinking water of Cordoba City (1.3 millions inhabitants). It presents an advanced eutrophic state with registers of cyanobacteria massive development (*Microcystis* sp. y *Anabaena* sp.) since 1971 (Cachi, 1974), and its toxigenic character has been demonstrated since 1989 (Scarafia M.E.,1995). The presence of microcystins MC-LR, YR, RR and other species which could not be identified but contained variable concentrations have been indicated in many studies (Ruibal Conti A.L, 2003; Ame V., 2003).

As a result of this, research institutions and the water service supplier have carried out a water quality system in the reservoir which consists of a systematic monitoring of physical, chemical and biological parameters (chlorophyll-a, phytoplankton) and total microcystin concentrations.

The results of the biologic analysis and the microcystin concentration in the field as well as in raw and drinking water of the treatment plant are shown. An overview of water treatment options for removal of cyanobacteria and its metabolites is described.

The central region of Cordoba is semi-arid and there are not alternative sources for water supply; that is why, it is indispensable a permanent monitoring of the reservoir for resource management and the establishment of alert level systems and predictive models of the occurrence of cyanobacteria blooms. Contingency and emergency plans must be developed and they must be activated when it is appropriate.

Key words: Sectorial cooperation, potabilization, microcystins, monitoring.

1-INTRODUCCIÓN

Los desarrollos masivos de algas son la consecuencia visible de la eutrofización de los cuerpos de agua y generan una gran diversidad de problemas: estéticos, ecológicos y económicos (asociados a la disminución del turismo y costos del tratamiento del agua) Adicionalmente, si las algas son productoras de toxinas se suman los riesgos para la salud humana y animal.

El Embalse San Roque constituye la principal fuente de agua para el suministro de agua potable a la Ciudad de Córdoba y debido a las características eutróficas de sus aguas no escapa a esta problemática.

El manejo y control de las cianobacterias y cianotoxinas en los cuerpos de agua usados como fuentes de aprovisionamiento de agua potable puede ser abordado en los diferentes puntos y niveles de la escala jerárquica del sistema total de suministro de agua potable (WHO, 1999).

La primera preferencia para el control es la prevención de la eutrofización. El próximo nivel de respuesta es el manejo del embalse y cuerpo de agua lo cual puede incluir algunas técnicas de la ingeniería para modificar las condiciones hidrofísicas en el agua a los fines de reducir el crecimiento de cianobacterias.

Por otro lado, las técnicas de control más inmediatas y a corto plazo que pueden ser usadas es el manejo de la extracción del agua cruda evitando la contaminación a través del posicionamiento adecuado de la toma o bien colocando barreras que restrinjan el movimiento de las masas de algas. La opción final para el manejo de los problemas ocasionados por las cianobacterias y sus toxinas en los suministros de agua es el sistema de tratamiento. Dentro de las dos últimas estrategias de gestión resulta imprescindible contar con un adecuado conocimiento de la evolución de las colonias de algas y sus toxinas.

Es en el marco de lograr este conocimiento que se encuadran las actividades de colaboración realizadas por el Instituto Nacional del Agua-Centro de la Región Semiárida y la empresa concesionaria del servicio de provisión de agua potable para la Ciudad de Córdoba Aguas Cordobesas S.A. (ACSA), donde ambas comparten la preocupación de por el estado de la calidad de agua del embalse considerado como un ecosistema y a su vez como fuente de agua potable.

En el presente trabajo se describen las actividades realizadas, resultados obtenidos y acciones tomadas a partir de esta cooperación.

2-ÁREA DE ESTUDIO

El Embalse San Roque (31° 22' S y 64° 27' O) se localiza en el Valle de Punilla a 608m.s.n.m. en la Provincia de Córdoba, Argentina. El clima de la región es templado con una temperatura media anual de 14° C y vientos predominantes del cuadrante sur y norte, con precipitaciones estivales en el rango de 400 a 1000mm y una media anual aproximadamente de 720 mm.

Al nivel de cota de vertedero (35,3 m), la superficie del embalse es de 15 km², con 201hm³ de volumen y una profundidad media de 13,4 m. El tiempo de residencia medio aproximado es de 0,6 años. La cuenca de drenaje es de 1750 km².

En relación con la dinámica térmica, el embalse posee un régimen monomítico; (Helmbrecht y López, 2000 y Morillo, 2002).

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

3- DISEÑO DEL MONITOREO

El monitoreo es realizado con una frecuencia mensual desde 1999 hasta el presente por el sector estatal representado por Instituto Nacional del Agua. Se establecieron seis estaciones de muestreo ubicadas en: el Centro del Embalse, una en cada una de las desembocaduras de los tributarios y una en la zona del paredón del dique denominada Toma de Agua por ser allí donde se hace la extracción de agua para uso hidroeléctrico y posterior derivación a la planta potabilizadora (Fig. N° 1 y 2)

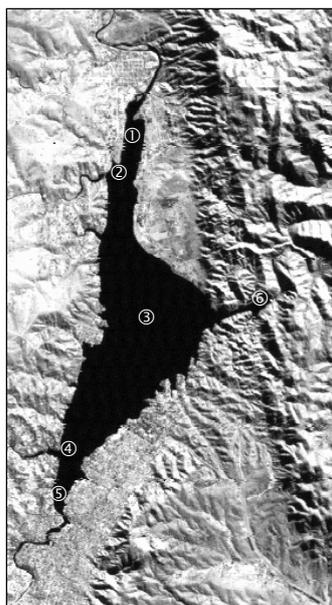


Fig 1 Estaciones de muestreo: 1, 2,4 y 5- Desembocadura de los Tributarios; 3-Centro del Embalse; 6-Toma de Agua

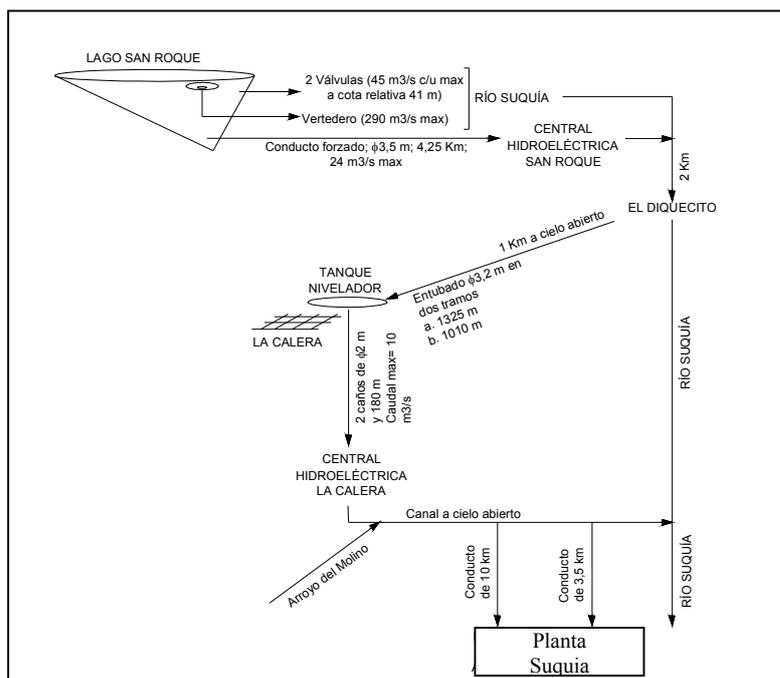


Fig 2 Esquema de derivación del agua del Embalse a la planta potabilizadora Suquia.

Las muestras son simples y se toman para la determinación de parámetros Físico-químicos, Biológicos y microcistinas totales. En la toma de agua, se toman adicionalmente muestras para análisis de perfil de olor.

En la estación Centro, en la desembocadura de los dos tributarios principales (estación 5 y 1) y en la Toma de Agua se toman muestras superficiales (0.20m del pelo del agua) y en profundidad. En todas las estaciones se registran los siguientes parámetros *in-situ*: pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez.

4- PARÁMETROS ANALIZADOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Los parámetros *in-situ* se registran con una sonda multiparamétrica HORIBA-U23. Las muestras recogidas y conservadas se destinan al Laboratorio Central de ACSA donde se realizan los análisis según la metodología descrita en la siguiente tabla:

Tabla 1 Parámetros de calidad y metodología de análisis

Parámetro analizado	Metodología
---------------------	-------------

Identificación y cuantificación de fitoplancton	Filtración en membrana / Sedimentación
Clorofila-a (µg/l)	Espectrofotometría
Perfil de Olor	Análisis del Perfil de Flavor
Composición iónica (Na ⁺ ,K ⁺ ,Ca ⁺⁺ ,Mg ⁺⁺ ,CO ₃ ⁻ ,Cl ⁻ ,SO ₄ ⁻ ,F ⁻ y N-NO ₃ ⁻)	Cromatografía Iónica
N-NO ₂ ⁻ ,N-NH ₄ ⁺	Espectrofotometría
Fósforo soluble total, soluble reactivo y total	Espectrofotometría
Fe y Mn	Absorción Atómica

Los análisis de microcistinas totales del agua extraída del embalse son realizados por ensayo inmunoenzimático (ELISA) en el laboratorio del Instituto Nacional del Agua. La misma técnica es usada por el Laboratorio Central de ACSA en el agua cruda y salida de planta.

En la planta potabilizadora Suquía se toman muestras diariamente del agua cruda y salida de planta para el análisis del fitoplancton. Adicionalmente, dependiendo de la calidad del agua cruda, son monitoreadas en todas las etapas del tratamiento para verificar la remoción de algas en cada etapa.

5-RESULTADOS

Primeramente se muestra un cuadro general de las floraciones algales presentes en el Embalse San Roque y las condiciones ambientales en las cuales se ha registrado predominio de una floración sobre otra. También se muestran las concentraciones medias de clorofila-a para las diferentes estaciones del año en los distintos puntos de monitoreo.

En segunda instancia se profundiza sobre la distribución del fitoplancton y la concentración de microcistinas en la estación de monitoreo donde se encuentra la toma de agua y en el agua entrante y saliente de la planta potabilizadora.

Finalmente, se plantean las alternativas de tratamiento para disminuir el riesgo de la presencia de microcistinas en el agua de consumo.

5.1 Distribución espacio temporal del Fitoplancton y la Clorofila

Entre las algas más comúnmente registradas en el Embalse San Roque se hallan *Cyclotella sp*, *C. hirundinella*, *Aulacoseira sp*, *Anabaena s.*, *Melosira sp*, *M. aeruginosa*, *Navicula sp*, *Carteria sp*, *Closterium sp* y *Stephanodiscus sp*.

De estos géneros, *Cyclotella sp*, *Ceratium sp*, *Anabaena sp*, *Microcystis sp*, *Closterium sp* y *Carteria sp* han desarrollado floraciones en el embalse San Roque (abundancia de algas mayor a 10⁶ cél/l y concentración de Cl-a mayor a 10 µg/l). El término floración no está definido de modo preciso, pero comúnmente se refiere a la ocurrencia de un número excesivo de algas (por ejemplo > 5 x 10⁶ cél/l) y una coloración observable en el agua.

Valores críticos de clorofila a se consideran alrededor de 10 µg/l (Ryding y Rast, 1992). La Figura 3 muestra las floraciones detectadas en el embalse, considerando los datos subsuperficiales de todo el embalse.

Hasta el año 1998, se citan como frecuentes las floraciones de cianófitas. En el período estival 98-99 se detecta por primera vez la presencia de *Ceratium sp*, que en los años 2000, 2001 y 2002 desarrolla numerosas floraciones en el embalse, en el año 2003 se registran floraciones de la clorófito *Carteria sp*, mientras que en el año 2004 y 2005 reaparece

Ceratium sp. La presencia de cianófitas y *Cyclotella sp* se mantiene para todos los años estudiados. *Cyclotella sp* generalmente presenta floraciones invernales asociada a otras Diatomeas con presencia *Microcystis sp*. En primavera, generalmente se dan floraciones de *Microcystis sp* y *Anabaena sp*. En tanto que en el verano, las floraciones son principalmente de *Microcystis sp* y *Ceratium sp*. Por último en otoño, las floraciones en su mayor parte corresponden *Ceratium sp*, seguida de *Microcystis sp* o una combinación de ellas. El mayor desarrollo de la clorófita *Closterium sp* ha sido detectado en primavera. y *Carteria sp* en invierno y principios de primavera.

En la Tabla 2 se muestran rangos de algunas condiciones ambientales en que se desarrollan floraciones de los géneros más relevantes del Embalse San Roque.

Tabla 2 Condiciones ambientales en las que se desarrollan floraciones en el Embalse San Roque

	<i>Cyclotella sp</i>	<i>C. hirundinella</i>	<i>A. spiroides</i>	<i>M. aeruginosa</i>
Abundancia (org/l)	$2.10^6 - 4.10^7$	300 000- $5,8.10^6$	$10^6 - 5.10^6$	$10^6 - 5,5.10^6$
Cl a (µg/l)	10-52	10-810	50-160	10-70
Transparencia (m)	0,5-1,5	0,3-1	0,6-1	0,9-2
Temperatura (° C)	<12	22-26	14-25	11-26
Estratificación (Ts-Tf)	<1	>2	0-4	0-5
Nivel del embalse (m)	<34	>34 y <35,3	<35,3	<35,30
Color del agua	Verde amarillento	Rojizo amarronado	Verde	Verde en acúmulos
PT (µg/l)	>30	>75	>20	>30
Dominancia (%)	>90	>90	>50	>50

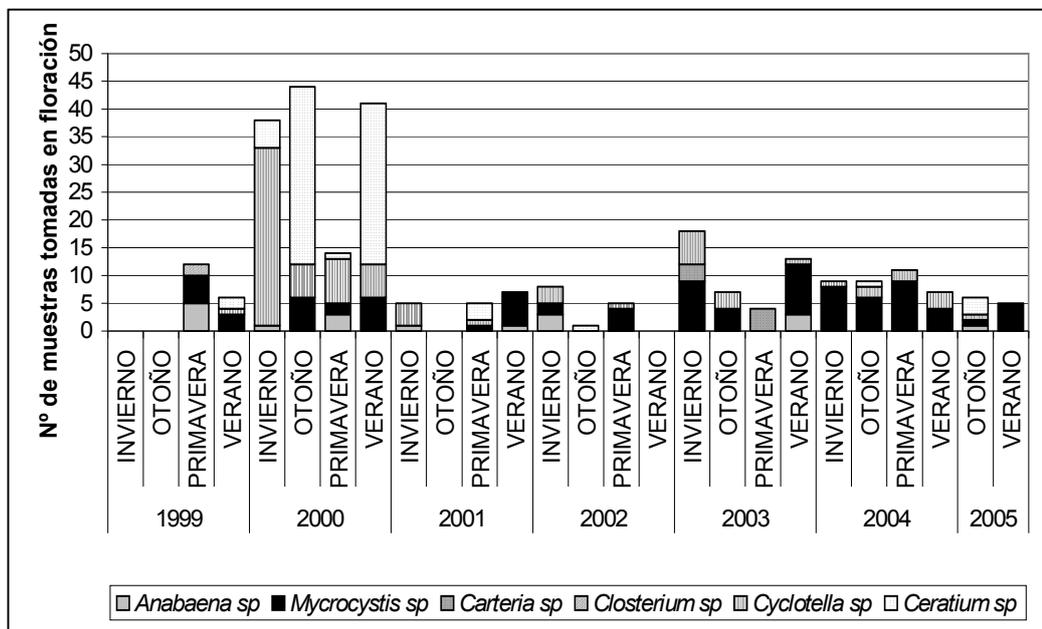


Fig 3 N° de muestras tomadas en floración durante el período 1999-2005

La clorofila-*a* es un indicador de biomasa algal y su concentración (bajo condiciones de dominancia de cianobacterias) es uno de los parámetros utilizados en la toma de decisiones en los esquemas de manejo del riesgo de algas potencialmente tóxicas. A

continuación se muestran los valores promedios (1999-2005). Debido a que el embalse sufre floraciones de otros grupos de algas, este valor debe ir acompañando del dato de composición fitoplanctónica para conocer de cual grupo de algas provendría mayormente. Se representó gráficamente la distribución promedio por época de la concentración de clorofila-a a los efectos de mostrar gráficamente en el embalse los sectores más críticos en el desarrollo floraciones de algas.

En invierno se observan menores concentraciones de este pigmento, en general para todos lo sitios muestreados del embalse, y salvo algunos registros excepcionales sobre todo en la desembocadura del Río San Antonio (DSA), el valor de mediana se mantiene por debajo de 25 $\mu\text{g/l}$ (Figura 4 y 5).

En primavera, los valores de clorofila-a se incrementan, alcanzando un rango de variación máximo en otoño, particularmente en el área crítica de desembocadura del Río San Antonio, donde se han registrado valores por encima de 800 $\mu\text{g/l}$ (Fig.6,7, 8,9,10 y 11)).

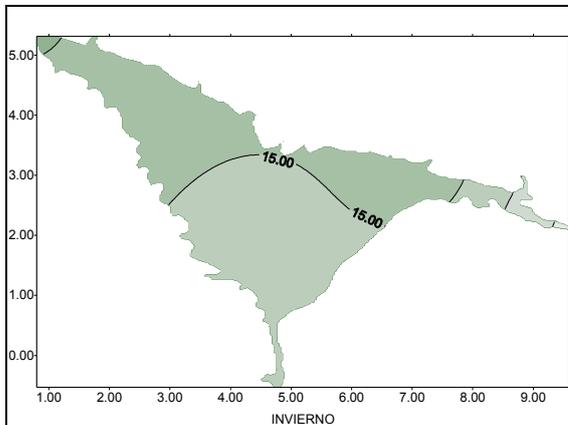


Fig 4 Distribución espacial de la concentración de clorofila a tomando en cuenta los valores de mediana en invierno. Período 1999-2005

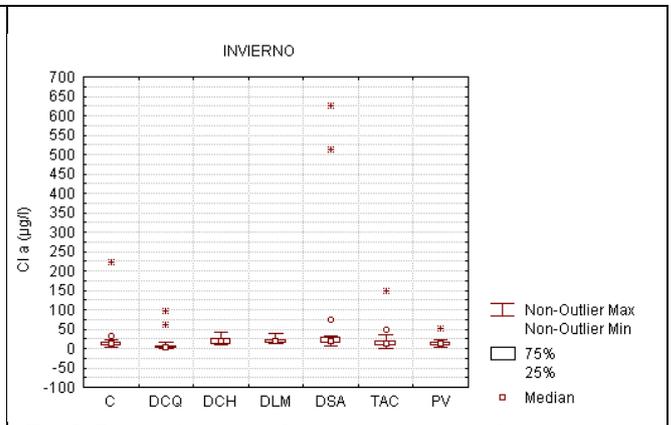


Fig 5: Rango de variación en la concentración de clorofila en los distintos sitios del embalse en invierno. Período 1999-2005

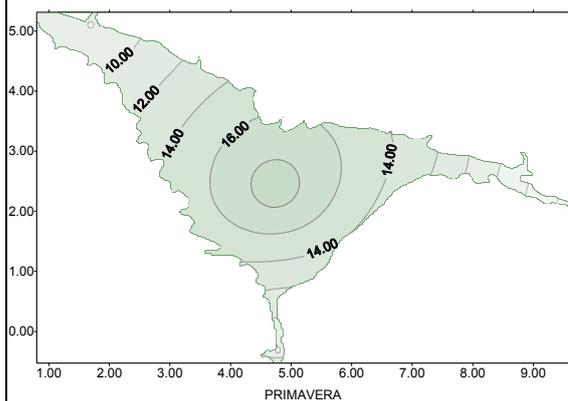


Fig. 6 Distribución espacial de la concentración de clorofila a tomando en cuenta los valores de mediana en primavera . Período 1999-2005

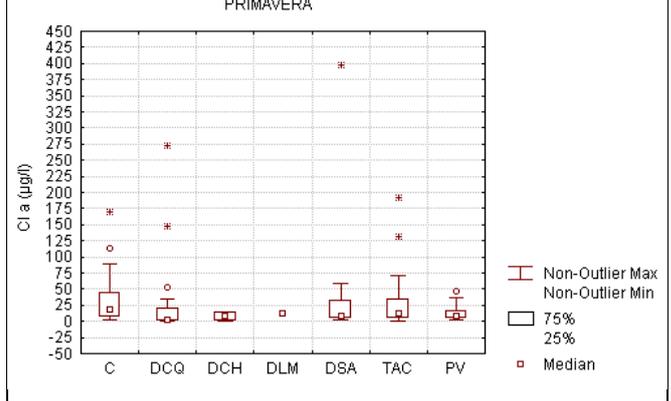


Fig. 7 Rango de variación en la concentración de clorofila en los distintos sitios Período 1999-2005

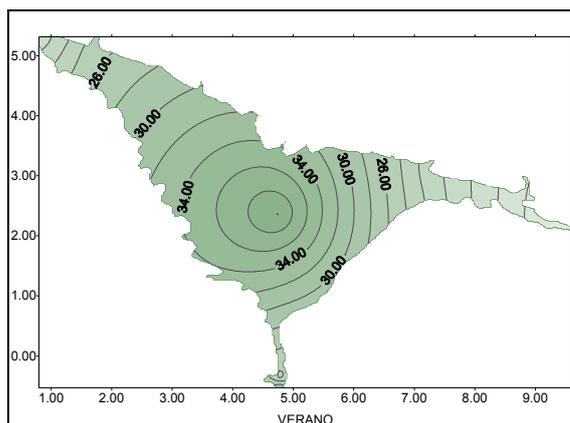


Fig.8 Distribución espacial de la concentración de clorofila a tomando en cuenta los valores de mediana en verano. Período 1999-2005

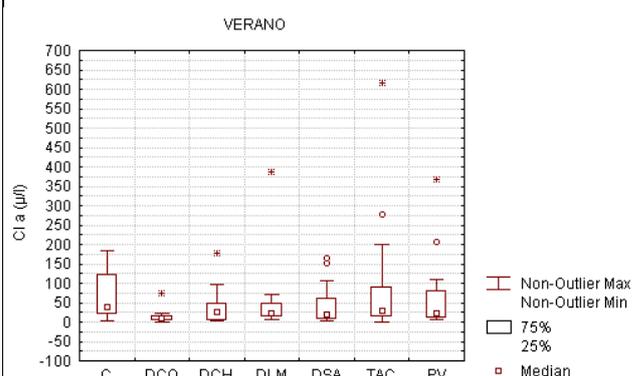


Fig. 9 Rango de variación en la concentración de clorofila en los distintos sitios Período 1999-2005

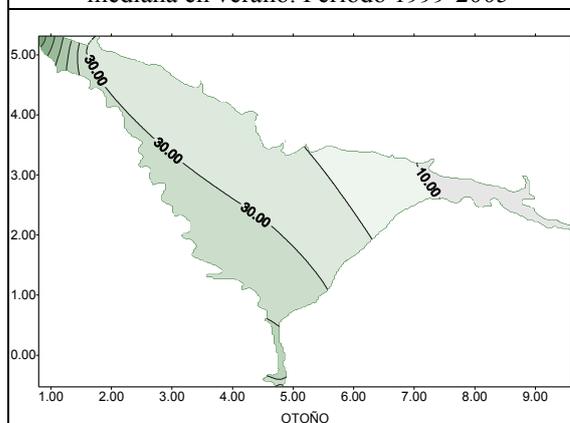


Fig.10 Distribución espacial de la concentración de clorofila a tomando en cuenta los valores de mediana en verano. Período 1999-2005

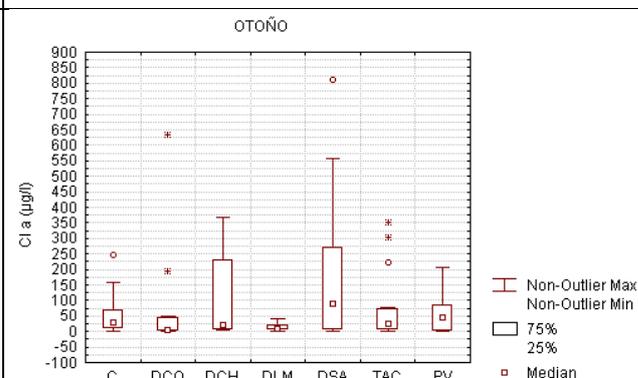


Fig. 11 Rango de variación en la concentración de clorofila en los distintos sitios Período 1999-2005

Los gráficos indican que las zonas más propicias para el desarrollo de floraciones se encuentran en la Desembocadura del Río San Antonio y la Toma de agua (estaciones 5 y 6 en Fig 1)

5.2 Distribución vertical del fitoplancton en la zona de la Toma de Agua

La toma de agua se encuentra ubicada en una zona protegida de los vientos y de escasa circulación del agua. En época de sequía el agua queda parcialmente confinada entre el murallón del dique y los restos del antiguo dique.

Estas características morfológicas de la zona la hacen propicia para el desarrollo masivo de cianobacterias, razón por la cual este punto requiere de un estudio más detallado.

Resulta de gran importancia estudiar la distribución vertical de las cianobacterias y las microcistinas a los fines de tener elementos para posibles medidas de acción con relación a la posición de la toma de agua. En la Tabla N° 4 se indican las profundidades de la toma de muestras en esta estación de monitoreo.

Tabla 4 Muestras tomadas en la zona de la Toma de Agua

Nombre del punto de muestreo en la Toma de Agua (TAC)	Profundidad
TAC sup	0.20m del pelo de agua
TAC zona fótica	Profundidad determinada por la lectura de disco de Secchi multiplicada por 1.7m
TAC toma	17m sobre el fondo. Profundidad estimada del sitio de extracción de agua.
TAC fondo	1 m sobre el fondo del Embalse

En la Fig 12 se muestra la variación temporal de la dominancia de cianobacterias en el período de estudio (Nov-03 a Abril-05) el cual abarca dos veranos y un invierno. Se observa claramente, que las cianobacterias son dominantes (mayor 50% del fitoplancton) en la mayor parte del estudio tanto en superficie como a la altura de la toma. Los géneros presentes fueron *Anabaena sp* y *Microcystis sp* (datos no mostrados). La dominancia no parecería estar muy afectada por el régimen térmico del embalse pues se presenta en invierno y verano, es decir bajo condiciones de mezcla y estratificación respectivamente

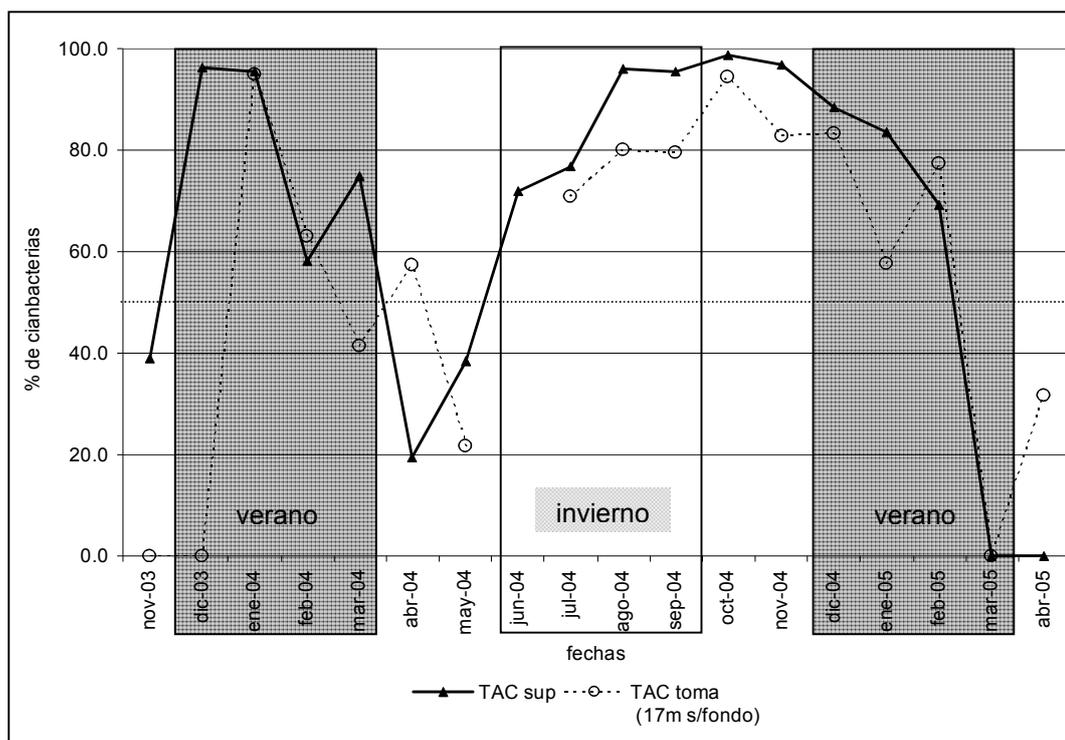


Fig 12 Variación temporal (Nov-03 a Abril-03) del porcentaje de cianobacterias en superficie y profundidad. Estación de monitoreo Toma de Agua.

También resulta notorio que la dominancia no parece estar muy afectada por la profundidad pues la tendencia general se mantiene en ambos niveles. Esta situación no es la deseada teniendo en cuenta la presencia de la toma de agua.

Sin embargo, a los fines de implementar esquemas de manejo del riesgo basados en niveles de vigilancia y de alerta propuestos por la OMS para un cuerpo de abastecimiento de agua, es importante conocer la concentración de algas expresadas en células por mililitro. La

fig N°13 muestra la variación de las cianobacterias en superficie y a la profundidad de la toma y se observa que el contenido de algas en superficie supera ampliamente las 2000 células/ml, nivel de Alerta 1 sugerido por la OMS. En estas circunstancias y con algas productoras de toxinas se debe evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento y es de gran importancia la interacción entre el organismo que realiza el monitoreo y los prestadores de servicios de agua.

No obstante, para niveles de algas muy elevados en superficie corresponden niveles más reducidos a la altura de la toma que en ocasiones superan los 2000 cel/ml. Valores más bajos aún son registrados en el agua cruda que ingresa a la planta Suquía. (Fig N° 14) exceptuando algunos pulsos muy marcados, tal como ocurre en septiembre y octubre del 2004.

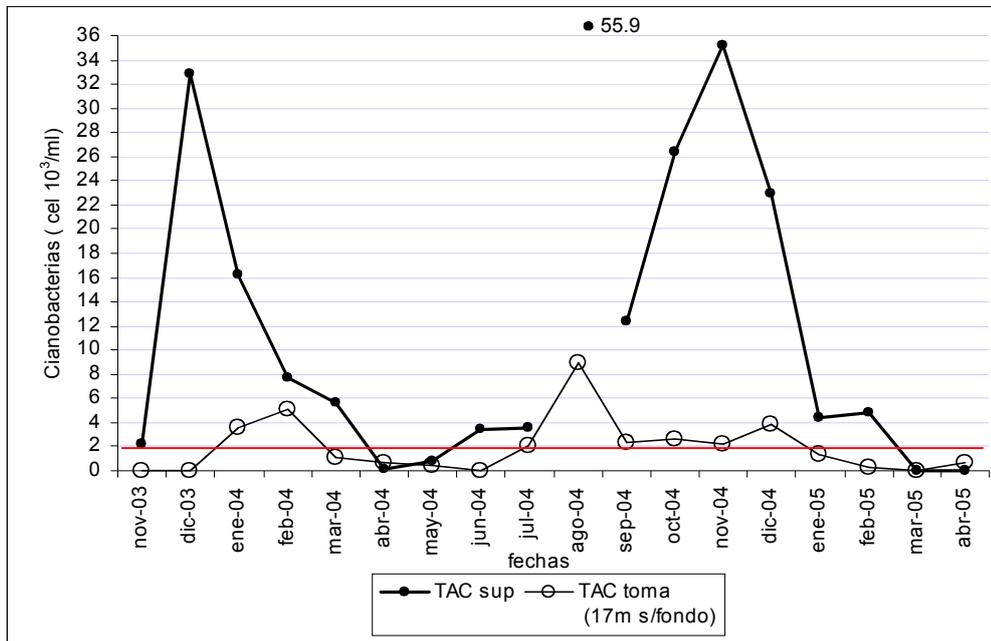


Fig 13 Variación temporal del número de células de cianobacterias en superficie y profundidad. Periodo Nov-03 a Abril-05 en la Estación Toma de Agua. Nivel Alerta 1.



Fig 14. Variación del número de células de cianobacterias en el agua cruda de ingreso a la planta potabilizadora. Nivel Alerta 1.

El monitoreo de cianobacterias y cianotoxinas debe realizarse sistemáticamente en los cuerpos de agua y los sistemas de suministro cuando se utiliza una fuente de agua que registra un historial de presencia de cianobacterias como el Embalse San Roque. Deben monitorearse puntos críticos que incluyen: el reservorio o río, la entrada de agua cruda a la planta de tratamiento, puntos claves en el proceso de tratamiento y el agua tratada liberada al consumo.

Los resultados de la determinación semicuantitativa de la concentración de microcistinas en el período de estudio presentado, muestran concentraciones que oscilan entre no detectable a 3 µg/l tanto en superficie como en la toma. Esto difiere con los estudios realizados en el período de 1997-2000 (Ruibal Conti, et al 2005) donde se hallaron altas concentraciones de microcistinas en superficie.

En el agua de ingreso a la planta, durante el mismo periodo, se detectó microcistina en cuatro oportunidades, siendo su máximo valor de 1µg/l y no detectable en el agua liberada al consumo, indicando la remoción de microcistinas.

A continuación se describen los procesos de tratamiento utilizados en la planta y se mencionan las ventajas y desventajas de distintas opciones

5.3 Alternativas de Tratamiento

Las grandes comunidades generalmente conocen la calidad del agua suministrada, pero las pequeñas tienen muy poco o ningún tratamiento del agua y esto debe ser tenido en cuenta por las autoridades de salud para evaluar un potencial riesgo. Los escasos incidentes con agua de bebida reportados han involucrado un nulo o inapropiado tratamiento del agua, tal como el uso de Sulfato de Cobre (Jones et al, 1994). Este alguicida provoca lisis celular y la liberación de toxinas (Kenefick et al 1993).

Muchos de los trabajos sobre la remoción de cianotoxinas se han enfocado a pasos individuales del tratamiento que suelen generalizarse indebidamente. Otros pocos a la combinación de coagulación, clarificación y filtración.

El enfoque para proveer agua segura a partir de aguas infestadas con cianobacterias requiere considerar el sistema como un todo, y usando diferentes combinaciones de recursos hechos a medida de localidades específicas y diferentes pasos de tratamiento.

La Planta Suquía recibe agua del Embalse San Roque para su potabilización y suministro al 70 % de la ciudad de Córdoba. Esta planta fue remodelada contando en la actualidad con filtros rápidos con lavado de agua y aire, decantadores Pulsátor, planta de ozono, dosificación de ácido sulfúrico, de permanganato de potasio, de PAC y agua de cal. La actual cadena de tratamiento fue decidida en función de los resultados de una planta piloto instalada en el lugar con diferentes cadenas de tratamiento, optándose finalmente por la más adecuada a las características del agua cruda que se recibe en la misma.

La potabilización de agua con poblaciones cianobacterianas altas, implica dos problemáticas: la eliminación de toxinas y la eliminación de metabolitos olorosos típicos de este grupo de pláncteres como la Geosmina, MIB (metil-Isoborneol) y β-ciclocitral.

El principal factor en la evaluación del tratamiento del agua para la remoción de toxinas involucra consideraciones sobre la remoción de sustancias solubles (toxinas disueltas) y suspendidas (cianobacterias).

5.3.1- Clarificación

La mayoría de las toxinas son retenidas dentro de las cianobacterias durante todo su desarrollo, razón por la cual, la remoción de las células intactas es un punto crítico. Se ha demostrado que las condiciones de flujo y mezcla asociadas al tratamiento no causa lisis celular o liberación de toxinas (Drikas, 2001).

La Clarificación implica la coagulación, floculación, decantación y filtración.

La coagulación promueve la agregación de partículas pequeñas y dispersas en otras de mayor tamaño que pueden ser separadas por sedimentación, flotación o filtración.

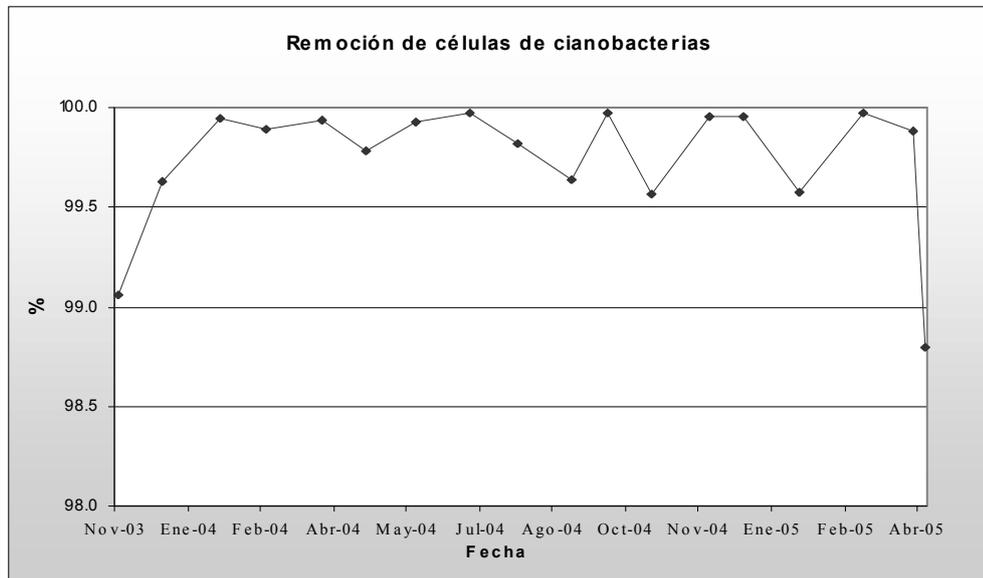


Fig 15 Porcentajes de remoción de cianobacterias en Planta Suquía

Los químicos usados comúnmente son sales de Aluminio y Férricas. La coagulación con sales metálicas puede ser ayudada por la adición de polímero orgánicos para promover el crecimiento del floc y facilitar así la decantación. La eficiencia es dependiente de la optimización de las dosis de químicos y el pH de la coagulación. En planta Suquía se utilizan sales de Aluminio y polímeros no iónicos o catiónicos para esta etapa del proceso, obteniéndose remociones de cianobacterias por encima del 99 % la mayor parte del tiempo (Fig. 15).

La filtración es un proceso para la remoción de materias particuladas suspendidas que incluye arenas, arcillas, materia orgánica, flocs coagulados y microorganismos. Pueden ser de arena, antracita, carbón activado o mixto.

La filtración directa es aplicable a aguas de baja turbiedad después de la coagulación/desestabilización sin el estado de clarificación para remover el floc. En los filtros lentos debe vigilarse la muerte y lisis de las células retenidas sobre los filtros que

pueden liberar toxinas. La planta Suquía posee filtros de arena rápidos con retrolavado de agua y aire.

La remoción de células intactas enteras es la mejor oportunidad para remover toxinas en los procesos de separación, mientras que la literatura (Rositano et al 2001) indica una baja eficiencia para las toxinas disueltas.

Bruchet et al (1994) y otros han demostrado que una línea de tratamiento convencional que incluya coagulación, floculación, sedimentación o flotación y filtración es adecuada para la remoción de cianobacterias.

5.3.2. Oxidación

Los tratamientos físicos convencionales (coagulación, sedimentación y filtración) adecuados para el abatimiento de toxinas intracelulares, no son efectivos para la remoción de toxinas disueltas (Hart et al 1997) Para esta fracción es necesaria la aplicación de agentes oxidantes como el cloro, ozono, permanganato de potasio, etc.

Ozono: Es efectivo en la destrucción de toxinas bajo condiciones específicas de dosis y tiempos de contacto. La susceptibilidad de las distintas cianotoxinas a la ozonización es microcistinas>anatoxinas>saxitoxinas (Rositano et al, 2001)

La ozonización de agua cruda conteniendo cianobacterias produce lisis celular y liberación de toxinas por lo que deben ajustarse las dosis para la destrucción total de las cianobacterias y las toxinas liberadas.

Concentraciones de 1,5 mg/l de ozono fueron suficientes para destruir las toxinas presentes en 5×10^5 cél/ml de *Microcystis aeruginosa* y un TOC de 1,56 mg/l (Stefan et al 2002)

Cloro: La cloración, tal cual es aplicada para la desinfección del agua, es un efectivo y simple método para la destrucción de toxinas. La reacción es dependiente del pH. El cloro gaseoso es más efectivo que el hipoclorito de Na ó Ca. Para que la remoción sea efectiva, es importante que la demanda de cloro del agua sea satisfecha por la reacción competitiva de la materia orgánica. Una concentración de 440 µg/l de nodularina fue reducido a <1µg/l en 30 minutos con un cloro residual de 0,5 mg/l (Drikas et al, 2001).

6-Conclusiones

El monitoreo de los cuerpos de agua utilizados como fuente de provisión para consumo humano así como de los sistemas de tratamiento y suministro en relación con la presencia de cianobacterias y cianotoxinas no es una práctica común en la mayoría de los países del mundo (WHO, 1999), razón por la cual la presencia de toxinas algales puede alcanzar las redes de distribución sin control o tratamiento adecuado. En el caso del Lago San Roque y la ciudad de Córdoba, y en virtud de la cooperación del Estado Nacional a través de un Instituto de Investigación y del sector privado representado por la empresa prestataria del suministro de Agua Potable, se ha logrado mantener en el tiempo (desde 1999 hasta la actualidad) el monitoreo de la Calidad de la Fuente de agua, que luego de su potabilización, abastecerá al 70% de la población de la ciudad de Córdoba, el cual incluye fitoplancton y concentración de microcistinas totales.

De los datos obtenidos, se observa que el número floraciones de cianobacterias, su dominancia y las concentraciones de clorofila-a halladas sitúan al Embalse San Roque como un cuerpo de agua que presenta un riesgo alto para ser usado como fuente de agua potable, pero por las características semiáridas de la región no existen fuentes alternativas

para abastecer al 70% de una ciudad de más de un millón y medio de habitantes. Por ello, debe seguirse su evolución muy de cerca.

Los estudios realizados en superficie y profundidad en la zona de la toma de agua, indican que el punto de extracción del agua (17m sobre el fondo) no se encuentra tan expuesto a las concentraciones de algas extremadamente elevadas presentes en la superficie durante el periodo estudiado. A la planta potabilizadora llegan bajos niveles de algas, sin embargo se observan ciertos eventos donde las algas se incrementan notablemente.

Es conocido que el monitoreo de cianobacterias y sus toxinas representan un desafío para planes de monitoreo tradicionales, esto se hace notorio al evaluar los órdenes de concentraciones de microcistinas hallados en períodos diferentes de estudio y los pulsos en el número de algas.

Los resultados también indican que el tratamiento aplicado es eficiente para la remoción de algas y microcistinas. En el período de estudio presentado, los niveles de microcistinas hallados en agua del lago han sido bajos, por ello se recomienda continuar la vigilancia.

Por lo expresado anteriormente, la continuidad de los monitoreos adquiere una gran importancia tanto en el embalse como en el agua de entrada y salida de planta. El monitoreo sistemático además se constituye en una herramienta esencial para la vigilancia de las floraciones y disparador de planes de contingencia en un marco de manejo del riesgo sobre la salud humana inducido por la presencia de toxinas.

Adicionalmente una base de datos confiable y continua, es el sustento científico para la toma de decisiones a la hora de programar, implementar y controlar medidas de mitigación o prevención de la eutrofización en un plan de gestión del recurso, así como el ajuste de procesos de tratamiento en base a un conocimiento real del estado de situación del agua cruda.

Para el sector estatal dedicado a la investigación, en general con deficiencias presupuestarias y afectado por la escasez de recursos, contar con el apoyo y cooperación de la empresa prestataria en términos de capacidad analítica e infraestructura, es ampliamente fructífero, lográndose un seguimiento de la calidad del agua mantenido en el tiempo y conformándose una base de datos confiable que ha permitido el estudio y profundización de los procesos ecológicos. Es deseable que los estudios conduzcan al desarrollo de modelos predictivos sobre la ocurrencia de proliferaciones masivas de cianobacterias.

Surge también de esta experiencia que, además de las situaciones coyunturales, deben prepararse planes de contingencia y emergencia que permitan dar respuesta satisfactoria a diferentes escenarios de crisis elaborados basándose en el conocimiento de situaciones reales y su activación cuando se considere adecuado sobre la base de las experiencias recogidas.

Finalmente se resalta que si bien esta cooperación ha resultado altamente positiva, es sin embargo, un esfuerzo sólo al nivel de las medidas de respuestas inmediatas. Se enfatiza la necesidad de un marco de gestión tendiente a prevenir y mitigar la eutrofización y sus efectos.

7-Referencias:

- Ame V., 2003. *Microcistinas en el Embalse San Roque (Córdoba). Presencia, Ecotoxicidad, Regulación y Biodegradación*. Tesis doctoral. 144 pp. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Bruchet, A, Bernazeau, F, Baudin, I and Pieronne, P. 1998. *Algal toxins in surface waters: analysis and treatment*. Water Supply 16, 619-623.
- Cachi, C. (1974) *Variaciones planctónicas del Embalse San Roque y su relación con los procesos de potabilización*. Informe OSN.
- Drikas, M, Newcombe, G and Nicholson, B. 2001. *Water treatment options for cyanobacteria and their toxins*. AWWA-WQTC. Australia.
- Hart, J, Fawell, JK and Croll, B. 1997. *The fate of both intra- and extracellular toxins during drinking water treatment*. IWSA World Congress.
- Helmbrecht, J y López, F (2000) *Predictores físicos de la calidad del recurso en el Lago San Roque (Córdoba, Argentina)* XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba.
- Jones, J G and Orr, P T. 1994. *Release and degradation of microcystin following algicide treatment of Microcystis aeruginosa bloom in a recreacional lake, as determined by HPLC and PPIA*. Water Research, 28, 4, 871-876.
- Kenefick, S L, Hrudey, S E, Peterson, H G and Prepas, E E. 1993. *Toxins release from Microcystis aeruginosa after chemical treatment*. Wat. Sci. Tech. 27, N° 3-4, 433-440.
- Morillo, S; Dasso, C; Bustamante, M A; Granero, M y López, F (2002) *Modelación unidimensional de la limnología física del Embalse San Roque, Córdoba, Argentina*, XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Reynolds, C.S. (1984) *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Rositano, J, Newcombe, G, Nicholson, B and Sztajn bok, P. 2001. *Ozonation of NUM and algal toxins in four treatment waters*. Watr Research, 35 N°1, 23-32.
- Ruibal Conti A.L, 2003. *Seasonal Variation of Microcystins in Argentinean Inland Waters*. pp 88. Tesis de Maestría. Universidad de Kyoto. Japón.
- Ruibal Conti, A.L.; Reguerira, M. & Guerrero, J.M. 2005, *Levels of microcystins in two reservoirs used for water supply and recreation: Differences in the implementation of safe levels*, Environ Toxicol 20: 263–269.
- Ryding, S.O. y Rast, W. (1992) *El Control de la Eutrofización en Lagos y Pantanos*, Ediciones Pirámide, España
- Scarafia M.E., Agnesse, A.M., Cabrera, J.L. (1995) *Microcystis aeruginosa: Behaviour and Toxic Features in San Roque Dam (Argentina)*. Natural toxins 3:75-77.
- Stefan, J H, Dietrich, D and Hitzfeld, B 2002. *Effect of ozonation on the removal of cyanobacterial toxins during water treatment*. Environmental Health Perspectives, 110, N° 11.
- WHO, 1999. Chorus, I and Bartram J. (Eds.). *Toxic cyanobacterias in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. Published on the behalf of WHO by E&FN Spon, London.