



Congreso Nacional del Agua, 22 AL 25 de junio 2011, Resistencia, Chaco, Argentina

**ASPECTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL Y SALUD EN EL EMBALSE SAN ROQUE
(CÓRDOBA).**

**Ruiz, M.¹, Rodríguez, M.I.¹, Ruibal Conti, A.L.¹, Bustamante, M. A. ¹, Busso, F.², Lerda. D.³,
Halac, S. ¹, Nadal, F.¹, Olivera, P.¹ & Sada, C.¹**

¹INA-CIRSA.

²Aguas Cordobesas S.A.

³UCC- Facultad de Medicina- Laboratorio de Citogenética.

Ambrosio Olmos 1142- 1ºPiso. TE/Fax: 0351-4682781/2- Córdoba. mruiz@ina.gov.ar

La gestión integral de los recursos hídricos es fundamental para lograr un desarrollo sostenible. La prevención y mitigación de los problemas ambientales que afectan negativamente la calidad de vida de los habitantes, forman parte de esta visión a largo plazo. Por otro lado, el monitoreo de los recursos, particularmente aquellos que se constituyen en fuente de abastecimiento de agua potable, constituye una herramienta esencial en la toma de decisiones y elección de acciones de gestión sobre el mismo.

Por estas razones, desde el año 1999 se monitorea la calidad de agua del Embalse San Roque y principales tributarios. Este cuerpo de agua de uso múltiple, se encuentra ubicado en la región semiárida, donde la disponibilidad de agua es escasa, situación que se ve agravada debido a su condición eutrófica.

El desarrollo masivo de cianobacterias en primavera-verano y la presencia potencial de toxinas, ha motivado a colaborar con información útil para el desarrollo de protocolos de salud y de normativas de calidad de agua locales.

Recientemente se ha incorporado la evaluación del uso recreativo del recurso, que se ha incrementado significativamente con aumento de infraestructura en sus playas, donde se consideran aspectos microbiológicos como la presencia de E.coli, indicador de calidad por su incidencia en salud pública como así también de microcistinas, productoras de gastroenteritis por ingestión de agua, consideradas hepatotóxicas y promotoras de cáncer hepático y de colon.

También se han realizado estudios preliminares en la población del peligro para evaluar la posibilidad de efectos crónicos por exposición a las microcistinas.

Los monitoreos del embalse tienen una frecuencia mensual, en donde se realizan análisis físico-químicos y biológicos.

En los meses de primavera y verano se incorpora el monitoreo de playas donde se determinan coliformes totales y termotolerantes y E.coli., fitoplancton y microcistinas totales (ELISA).

Entre los años 2007 y 2009, se realizaron extracciones de sangre de la población- con consentimiento de la misma- para análisis de enzimas hepáticas, citológico de rutina y anticuerpos IgE e IgG anti MC-LR (ELISA).

El presente trabajo se lleva a cabo merced a la labor de múltiples instituciones entre ellas INA-CIRSA, la Empresa Aguas Cordobesas S.A, la UCC-Facultad de Medicina y la colaboración de la Dirección Provincial de Náutica.

Palabras clave: calidad de agua, gestión, uso recreativo, salud pública, actores.

INTRODUCCIÓN

Salud humana y calidad del ambiente son aspectos esenciales para el desarrollo sustentable, por lo que es necesario poder evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones.

Un tema de mucha actualidad y preocupación es la calidad de agua relacionada con la eutrofización, en cuerpos de agua que poseen múltiples usos, entre ellos el de fuente de abastecimiento de agua potable y uso recreativo. Por este motivo el Embalse San Roque (Córdoba, Argentina) ha sido objeto de estudio y monitoreo desde el año 1999.

El mismo presenta condiciones eutróficas que se manifiesta con un desarrollo masivo de cianobacterias. Esta situación genera potenciales problemas en la salud pública ya que las cianobacterias tienen la capacidad de producir toxinas causantes de problemas gastrointestinales, hepatotóxicos, neurotóxicos y promotoras de cáncer hepático.

Estudios previos sobre la calidad del agua indican que los géneros de algas presentes son productoras de toxinas (Ruibal Conti A., 2003; Amé V. 2003). Debido a un incremento del turismo e infraestructura de las playas y evidenciada la presencia del factor de riesgo en las mismas desde el año 2006, se suma el seguimiento de tres playas del mismo embalse (Rodríguez MI, 2010). La eutrofización junto con una falta de conciencia por parte de la población puede conducir a riesgos para la salud causados por cianotoxinas. Por esta razón se hace una valoración de su aspecto microbiológico y toxicológico para determinar la aptitud de las mismas para su uso recreativo.

Actualmente no existe normativa en el país sobre cianobacterias y cianotoxinas, ni para agua potable ni a nivel de agua ambiente. En algunas provincias como Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires sólo existe la exigencia de ausencia de fitoplancton y zooplancton, lo que obliga indirectamente a detectar cianobacterias. Políticas públicas de prevención y control de la eutrofización, con monitoreo estricto de esos componentes, registros sistemáticos de la calidad del agua de las fuentes, de sus tratamientos y de su distribución, son importantes para disminuir las posibilidades de exposición de la población a las sustancias tóxicas. Un aspecto que debe ser abordado con bastante rapidez es la creación de normas de calidad para el agua con fines recreativos, considerando la concentración de cianobacterias.

El objetivo del presente estudio es aportar información útil en la prevención del riesgo a nivel salud, y en la gestión de eutrofización.

ÁREA DE ESTUDIO

El Embalse San Roque (31° 22' S y 64° 27' O) se localiza en el Valle de Punilla a 608 m.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 aproximada 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.

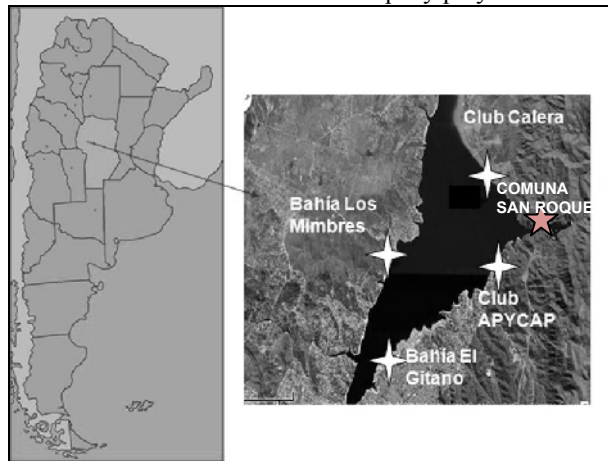
En relación con la dinámica térmica, el embalse posee un régimen monomítico; (Helmbrecht y López, 2000 y Morillo, 2002).

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

Playas

Se establecieron tres sitios de muestreo de playas en función de la afluencia de bañistas observados, ellos son: Club La Calera, Bahía El Gitano, Bahía Los Mimbres (Fig. 1).

Fig. 1: Ubicación del Embalse San Roque y playas monitoreadas



Población

La población estudiada es la que habita en el perilago y son aproximadamente 23 familias (114 hab.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo del Embalse, tiene una frecuencia mensual. Se toman muestras de agua y se realizan parámetros in situ con sonda multiparamétrica Horiba U10.

Las playas fueron monitoreadas con una frecuencia mensual desde el 2006 hasta la actualidad. Se realizó recuento e identificación de fitoplancton (cél/mL, SM 10200 C, F), microcistinas totales ($\mu\text{g/L}$, ELISA) y bacteriológico: coliformes totales, termotolerantes (tubos múltiples), aerobias heterótrofas (UFC/100 mL, PCA), y E.coli (caldo EC con MUG)) y clorofila a (Cl-a), clorofila total ($\mu\text{g/L}$, SM 10200H). El acceso a las playas se realizó en lancha. Las muestras de agua se tomaron sumergiendo las botellas a una profundidad sub-superficial entre 0,30 m y 0,50 m (altura del codo) y a una distancia aproximada de 1 a 10 m de la costa. En todas las playas se registraron in-situ: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), conductividad (mS/cm) con Sonda Horiba U-10, transparencia (m, disco de Secchi) y temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

Las actividades de monitoreo y análisis de las muestras del embalse pueden ser llevadas a cabo gracias al esfuerzo de colaboración interinstitucional.

Para evaluar la exposición de la población de la Comuna San Roque (ubicada a orillas del Embalse San Roque) al riesgo sobre la salud ocasionado por la presencia de cianobacterias, se tomaron muestras mensuales de la fuentes de las que se aprovisionan de agua: a) lago (superficial y

a la altura de la toma de la Usina hidroeléctrica en el área del paredón) b) una denominada “vertiente”, nombre dado por los lugareños, la cual es una filtración de la pared del dique y c) el agua usada por el establecimiento educativo, la cual es conducida desde el lago a un tanque y de allí distribuida, la cual se llamó “Escuela”.

El período de toma de muestras de agua fue de 2 años y 8 meses (julio del 2004 hasta marzo del 2007). Se analizó fitoplancton, microcistinas totales, coliformes totales y fecales, bacterias heterótrofas aerobias con la misma metodología empleada para las playas y E. coli presuntiva (agar Levine para E. coli).

Para establecer el estado sanitario de la población en estudio, se realizaron los siguientes análisis: citológico de rutina (glóbulos blancos, glóbulos rojos, índices hematimétricos, hemoglobina, hematocrito, eritrosedimentación); y para el estado hepático se determinaron enzimas hepáticas: Transaminasa glutámico oxalacética (GOT), Transaminasa glutámico-pirúvica (GPT), Gama glutamil transferasa (GGT), Fosfatasa Alcalina (FAL) y bilirrubina total.

Se encuestó al 47% de la población de forma voluntaria con el aval del comité de ética de la provincia y luego se procedió a hacer la extracción de la muestra de sangre.

El proyecto relacionado con el enfoque en salud se está realizando en conjunto con la Universidad Católica de Córdoba (Facultad de Medicina) y el Instituto Nacional del Agua (CIRSA), el mismo es de tipo RSU (Responsabilidad Social Universitaria). En etapas anteriores se realizaron estudios de genotoxicidad, para verificar si hay alteraciones a nivel celular como evidencia de exposición crónica a las cianotoxinas. El test que se realizó es el de la Aberración Cromosómica (AC) con la técnica de Perry & Wolff (1972) y se analizó estadísticamente con el test de Kolmogorov-Smirnov (1981) (se cuentan aprox. +/- 100 metafases y las alteraciones que se analizaron son: cromosoma roto, cromátida rota, fragmento acéntrico, fragmento cromatídico, anillo y dicéntricos. Se exceptuaron los gaps y los cromosomas pulverizados).

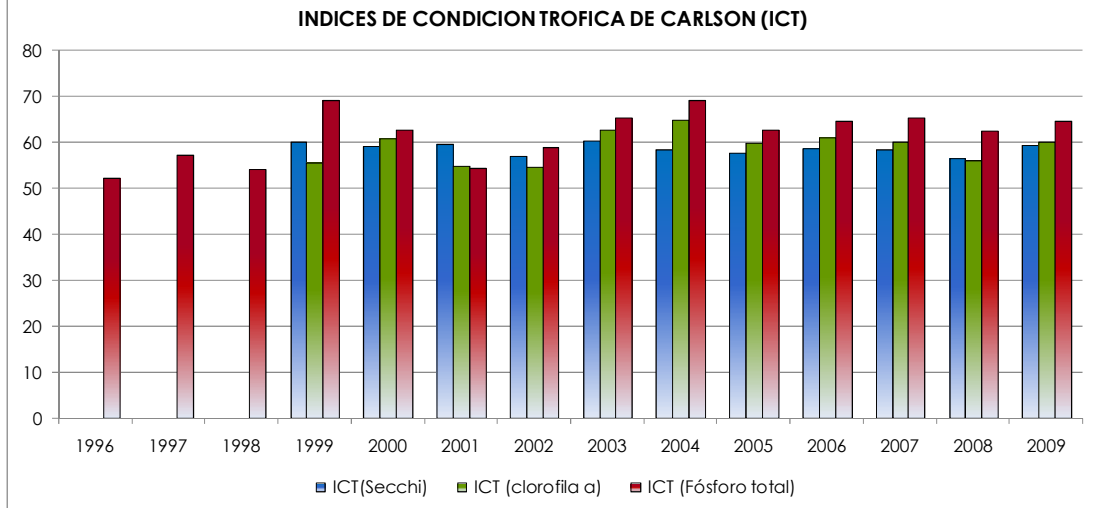
RESULTADOS

Embalse

La condición trófica de las aguas naturales puede estimarse a través del Índice de Carlson (ICT) (Carlson, 1977), indicador de sencilla aplicación que considera la concentración de clorofila-a, la concentración total de fósforo y la transparencia del disco de Secchi. El embalse San Roque ha sido categorizado como eutrófico siendo la principal causa de esta condición los aportes de nutrientes provenientes de desechos urbanos. Esta situación de la calidad de sus aguas se ha mantenido en la última década. Para los cálculos se consideraron los datos subsuperficiales del centro del embalse (Fig. 2).

Fig. 2: Variación de la condición trófica del embalse y escala asociada

Índice Condición Trófica	OLIGOTROFIA		MESOTROFIA	EUTROFIA	HIPEREUTROFIA
	30	40	50	60	70
Transparencia (m)	8	4	2	1	0,5
Clorofila a (µg/L)	0,95	2,3	7,2	20	55
Fósforo Total (µg/L)	6	12	24	40	90

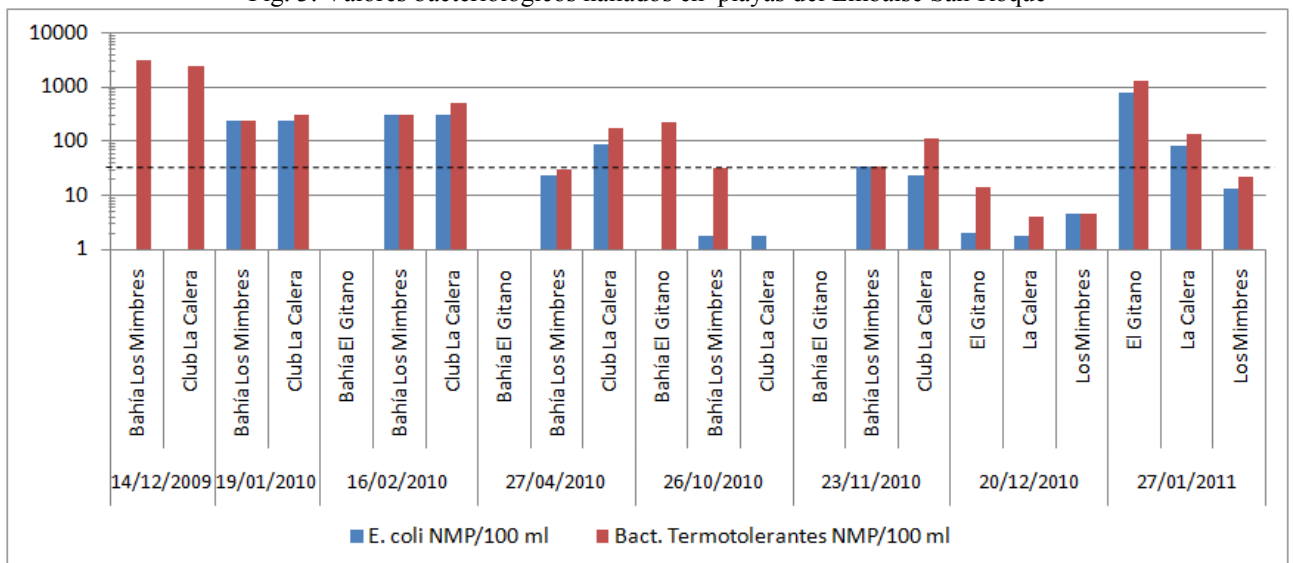


Playas

Bacteriológico

En las muestras de las playas se encontró presencia de coliformes totales, termotolerantes y presencia de *E. coli*, en donde se supera el valor guía recomendado para uso recreativo con contacto directo de 126 UFC/100ml (SSRH) (Fig. 3). Este hecho se asocia a que una de las principales fuentes de contaminación puntual al embalse la constituyen los efluentes urbanos y domésticos.

Fig. 3: Valores bacteriológicos hallados en playas del Embalse San Roque



Cianobacterias

Se evidencia en las playas en el período de estudio, que el porcentaje de cianobacterias en el período de verano fue del 66%, y el valor de concentración de microcistinas totales varió desde la no detección a 32,65µg/L, valor que excede ampliamente el sugerido por la OMS (2003) de 4µg/L. Valores hallados en el lago en el sector de desembocadura del Río San Antonio, Centro y en la zona de la Presa, van desde la no detección a 789 µg/L (Ruibal y Ruiz, CIRSA-INA 1997-2006).

En las playas del Embalse San Roque, la dominancia de cianobacterias fue frecuente, principalmente de los géneros *Microcystis sp* y *Anabaena sp*. Otros géneros de cianobacterias presentes en cantidades no significativas fueron *Merismopedia sp*, *Chroococcus sp*, *Phormidium sp*, *Pseudoanabaena sp* y *Oscillatoria sp*.

En general, cuando las cianobacterias fueron dominantes los valores de *Cl-a* asociados fueron superiores a los 50 µg/L (Fig. 4). En ocasiones los valores de *Cl-a* superiores a 10 µg/L se asociaron con situaciones de dominancia de otras taxas algales pertenecientes a clorófitas, crisófitas y pirrófitas. Se observó un aumento de presencia de cianobacterias a medida que nos acercamos al período estival lo cual está principalmente asociado al aumento de las temperaturas y alta disponibilidad de nutrientes que favorecen su desarrollo. Valores superiores a 100 000 cél/mL se registraron en enero y en diciembre. Existe una cierta variabilidad de indicadores y niveles guía adoptados en distintos países. La OMS (2003) sugiere niveles guía y de alerta que han sido adoptados por muchos países (Tabla 1).

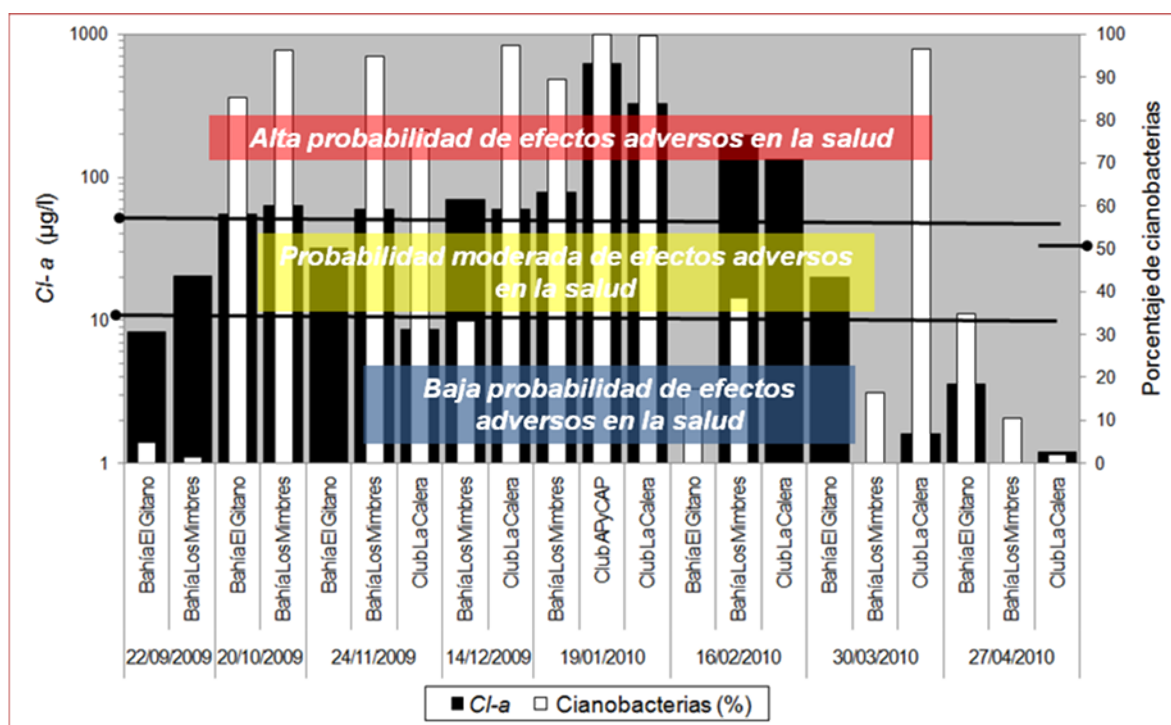
En nuestro país la experiencia registrada se limita a casos impulsados por iniciativas locales y a través del estudio comparativo de diferentes cuerpos de agua se ha demostrado y remarcado la necesidad de realizar investigaciones destinadas a ajustar las normativas internacionales a situaciones locales

La distinción de géneros es muy importante para evaluar la toxicidad potencial, y la identificación al nivel taxonómico de géneros (ej. *Microcystis*) es con frecuencia suficiente ya que el contenido de microcistina varía más en función de la cepa, que en el nivel de especie. Los valores de clorofila total (que incluyen los productos de degradación) son superiores o iguales al valor de *Cl-a*. En ocasiones, puede darse que los valores de *Cl-a* sean muy inferiores a la clorofila total. Esto puede deberse a la presencia de productos de degradación como la feofitina que absorbe a las mismas longitudes de onda que la *Cl-a*. Las toxinas disueltas en agua luego de la muerte celular pueden perdurar por un lapso de 2 a 10 días, y el indicador de recuento de algas y *Cl-a* (que se acotan a organismos vivos) en casos de envejecimiento o etapas finales de una floración puede dar valores por debajo de los sugeridos por la OMS para nivel de alerta estando el riesgo de toxinas presente. Por esta razón se sugiere el uso de la clorofila total asociado al recuento de cianobacterias, como un indicador más confiable a la hora de evaluar los riesgos a exposición a cianotoxinas. Por otro lado y considerando las técnicas espectrofotométricas actuales, se ha señalado a la clorofila total como un indicador con menor incertidumbre.

Tabla 1: Niveles de alerta, nivel guía y acciones sugeridas (extractado de OMS, 2003)

	Nivel Guía o situación	Acciones típicas
NIVEL 1 Baja probabilidad de efectos adversos en la salud	<20 000 cél/ de cianobacterias o <10 µg/L de Cl-a con dominancia de cianobacterias	Colocación de anuncios Notificación a las autoridades
NIVEL 2 Probabilidad moderada de efectos adversos en la salud	<100 000 cél/ml cianobacterias o <50 µg/L Cl-a con dominancia de cianobacterias	Monitoreo de condiciones ambientales Desaliento a la natación Colocación de anuncios Notificación a las autoridades
NIVEL 3 Alta probabilidad de efectos adversos en la salud	>100 000 cél/mL cianobacterias o >50 µg/L de Cl-a con dominancia de cianobacterias. Espumas, verdín en el agua y acúmulos.	Acción inmediata para prevenir contacto con natas y el agua Investigación y seguimiento de la salud pública Notificación a las autoridades.

Fig 4. Variación de la dominancia de cianobacterias y la concentración de Cl-a. Se remarcan los valores guías de los indicadores para los distintos niveles de alerta según Tabla 1.



Salud

El estado general de salud de la población resultó ser bueno (Ruiz & col., 2008 y Ruiz & col. 2009). No se hallaron elevadas alteraciones en las enzimas hepáticas aunque estos porcentajes son importantes teniendo en vista que la población estudiada es reducida. En relación a los otros parámetros lo más relevante fue la presencia de Eosinofilia (aumento de eosinófilos en sangre), lo cual es indicativo de parasitosis o estados alérgicos. Debido a que la exposición a las microcistinas da un cuadro de tipo alérgico es que se decide estudiar los anticuerpos antimicrocistina- LR, (IgE e IgG). Estos análisis confirmaron el contacto de esta toxina con las personas expuestas. Un 82,3 % demostró alteración de la IgE y el 38,2 % de la IgG. Lo más importante de este dato inmunológico, es que los expuestos muestran una respuesta medida a través de estos anticuerpos. En los estudios de genotoxicidad, no se observaron alteraciones en los cromosomas de las personas estudiadas comparadas con una población control.

En pacientes en los cuales se pudo realizar una 2° y 3° extracción de sangre se observó que hay fluctuaciones en los valores de las inmunoglobulinas, por lo cual se debe seguir estudiando como es el mecanismo de ambas y su contacto con las microcistinas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de los análisis de muestras realizados, existiría un riesgo potencial en la salud de las personas expuestas al contacto directo e indirecto debido a actividades recreativas de las aguas del Embalse por la presencia de contaminación bacteriana y la presencia de cianobacterias. La exposición a cianobacterias está calificada por la OMS de baja a moderada y en donde los valores bacteriológicos preliminares dan indicio de posibles riesgos de salud, por la presencia de E.coli (gastroenteritis).

Como no hay registros locales de los efectos a la exposición directa e indirecta a cianotoxinas, es que se deben hacer estudios epidemiológicos, para poder tener información y casuística de los efectos a corto y largo plazo. Actualmente se trabaja en el desarrollo de un protocolo de monitoreo de playas en conjunto con la Universidad Nacional de Córdoba, por lo que se continua con el monitoreo ambiental de las playas.

La idea de una gestión integrada exitosa es lograr involucrar la mayor cantidad posible de actores, como es en este caso los Ministerios de Salud Nacional y Provincial, Hospitales (áreas de epidemiología y toxicología), Dispensarios, Organismos de ciencia e investigación, para poder aportar información útil para la elaboración de reglamentaciones, control y protección de los recursos hídricos y de la salud de la población.

BIBLIOGRAFÍA

Andrinolo D., Sedán D., Telese L., Aura C.; Masera S., Giannuzzi L., Marra C. A. & Alaniz M. T. (2008). *“Hepatic recovery after damage produced by sub-chronic intoxication with the cyanotoxin microcystin-LR”*. *Toxicon* 51 (3), 457-467.

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.

Amé V, Ruiz M., Galanti L.N., Ruibal A.L., Rodriguez M.I. y Wunderlin D.A (2010). *“Microcistinas y anatoxina-a en el Embalse San Roque (Córdoba-Argentina)”*. III Congreso Argentino de SETAC- 10 al 14 de Mayo- Santa Fe.

APHA American Public Health Association (2000) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition.

Carlson, 1977, *Trophic State Index* *Limnology and Oceanography* 22(2) 361:369.

DiPAS (1994). *Normas Provinciales de calidad y control de agua para bebida*. Resolución DiPAS 608/93- Departamento Laboratorio- Volumen I- Córdoba- Argentina.

DIPAS (1999). *Decreto 415/99 Normas para la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la Provincia.* Córdoba- Argentina.

Falconer, Ian Robert (2005). “*Cyanobacterial toxins of drinking water supplies: Cylindrospermopsis and Microcystins*”. CRC Press – USA.

Giannuzzi L. et al (2009) *Cianobacterias y Cianotoxinas: identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo* 1a ed. - Buenos Aires: el autor.

Massey Jr., F. (1981). *The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit.*J. Am. Stat. Assoc. 46: 68 - 78.

Pilotto, L.S., Douglas, R.m., Burch, M.d.,Cameron, S.k Beers, M.,Ruch, G.R. Rbinson, P., Kira,M., Cowie, c.t., Hardiman, S., Moore, C. and Attewell R.G. (1997). *Health effects of recreational exposure to cyanobacteria (blue-green-algae) during recreational water-related activities.* Aust.N. Zeland J.Public Health, 21, 562-566)

Rodriguez, Maria Inés, Ruiz, Marcia, Ruibal Ana Laura, Bustamante, Maria Alejandra, González, Inés, Olivera, Patricia, Halac, Silvana, y Sada, Carolina-(2010). “Calidad de agua recreativa afectada por floraciones de cianobacterias”.Córdoba, Argentina. III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. ISBN 978-987-1253-76-0

Rossen, A; Rodriguez, M.I.; Ruibal Conti, A.L.; Fortunato, M.S.; Bustamante, M.A.; Ruiz, M.; Melero, V.; Angelaccio, C. & Korol, S. (2007) “*Evaluación del estado sanitario del lago San Roque (Córdoba) empleando indicadores microbiológicos*” I. Tucumán- Argentina.

Ruibal Conti A.L, (2003). *Seasonal Variation of Microcystins in Argentinean Inland Waters.* pp 88. Tesis de Maestría. Universidad de Kyoto. Japón.

Ruibal Conti AL, Rodríguez MI, Ruiz M, Bustamante MA y CM Angelaccio (2005) *Presencia de cianobacterias tóxicas en el Embalse San Roque.* XXIV Jornadas Interdisciplinarias de Toxicología, Mendoza.

Ruibal Conti AL, Rodríguez MI y CM Angelaccio (2005) “*Ocurrencia de cianobacterias y sus toxinas (microcistinas) en aguas del Río de la Plata. Evaluación rápida usando el ensayo ELISA*” XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. 9 al 14 de Mayo 2005. Mendoza.

Ruiz, Marcia (Julio- Diciembre 2006). “*Caracterización integral de la calidad de los recursos hídricos: Eutrofización y algas tóxicas*”. Informe técnico. Dir: Ruibal Conti, Ana Laura.

Ruiz, M., Rodríguez, M.I., Ruibal, A. L., Centineo, E., Alasia, V., Lerda, D. & Aguilera, S. (2008). “*Estudio del impacto en la salud de una población expuesta al uso de agua con cianobacterias*”. Cal 4- Bariloche (Pcia. Río Negro).

Ruiz, M., Rodríguez, M.I., Ruibal, A. L., Gonzalez, I., Alasia, V., Pellicioni, P. ; Biagi, M. & Lerda, D. (2009). “*Exposición al uso y consumo de agua con cianobacterias*”. I Congreso de Energía y Ambiente. Villa María (Córdoba)-

SSRHN Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación (2003) Marco conceptual para el establecimiento de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente, metodología para recreación humana. República Argentina.

UNESCO (2009) Cianobacterias Planctónicas del Uruguay: Manual para la identificación y medidas de gestión. Documento Técnico PHI N° 16. UNESCO.

WHO. (1999). Toxic Cyanobacteria in Water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. I. Chorus and J. Bartram, eds. Taylor and Francis. New York and London. 416 pp.

WHO. (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. World Health Organization. Geneva. 219 pp.

WHO, (2004). Guidelines for Drinking-Water Quality. Recommendations. Chemical Fact Sheets, third ed., vol. 1. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 407–408.