

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

## CUANTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA USO RECREATIVO EN EMBALSES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

**Nadal, A<sup>1,2</sup>; Larrosa, N<sup>2</sup>; Rodríguez, MI<sup>1</sup>; Halac, S<sup>1</sup>; Bazán, R<sup>2,3</sup>; López, A<sup>2,4</sup>; Brandalise, V<sup>1</sup>; Ruiz, M<sup>1</sup>; Olivera, P<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA)

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

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC- FCEFYN)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Córdoba – Instituto Superior de Estudios Ambientales (UNC-ISEA)

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Córdoba – Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos (UNC – ICTA)

### RESUMEN

La presencia de bacterias patógenas, cianobacterias y el desarrollo de floraciones tóxicas constituyen un riesgo para la salud en poblaciones expuestas a su contacto por vía directa o indirecta. Este problema de calidad de aguas es emergente del proceso de eutroficación al que se hallan expuestos numerosos embalses del país y en particular de la provincia de Córdoba.

Ante esta situación, el INA-CIRSA y la UNC-FCEFYN en el marco de proyectos conjuntos, abordaron esta problemática desde lo ambiental, evaluando la calidad del agua de playas de amplio uso recreativo en los embalses San Roque (ESR) y Los Molinos (ELM). Ambos cuerpos de agua son receptores de efluentes provenientes de fuentes difusas y/o puntuales y poseen antecedentes de floraciones tóxicas de cianobacterias.

Se tomaron muestras de agua en playas del ESR y ELM durante tres temporadas, en los meses de septiembre a marzo. El índice de calidad de agua (ICA) aplicado incluyó temperatura y transparencia, representativas de la estética y agradabilidad del recurso y concentración de cianobacterias y *Escherichia coli*, asociadas con el potencial riesgo a la salud. Se realizaron análisis estadísticos de pruebas de significancia no paramétricos para probar si las diferencias de los valores del ICA entre las temporadas de estudio, las playas monitoreadas y entre ambos embalses fueron significativas.

Los resultados obtenidos muestran una variabilidad en las condiciones de calidad del agua, desde una categoría excelente a muy malo, situación en la que se sugiere no realizar actividades. El ELM presenta una calidad mayor que el ESR en los meses de primavera y verano. En ambos cuerpos de agua, *Dolichospermum spp.* y *Microcystis spp.* presentan mayor abundancia y desarrollan con frecuencia floraciones, las cuales son responsables de los bajos valores del índice. La concentración de *Escherichia coli*, no significó riesgo a la salud en ninguno de los embalses. Los bajos valores del ICA encontrados son indicativos de la necesidad de un seguimiento continuo de los balnearios en épocas estivales. Finalmente, se sugieren metodología y técnicas de monitoreo de playas a nivel local.

**Palabras clave:** Índice de calidad de agua, uso recreativo, playas, embalses

## INTRODUCCION

El embalse San Roque (ESR; 31° 22' S y 64° 27' O) y el embalse Los Molinos (ELM; 31° 43' S y 64° 32' O) se ubican en la provincia de Córdoba, en el valle de Punilla y Calamuchita, respectivamente (Fig. 1).

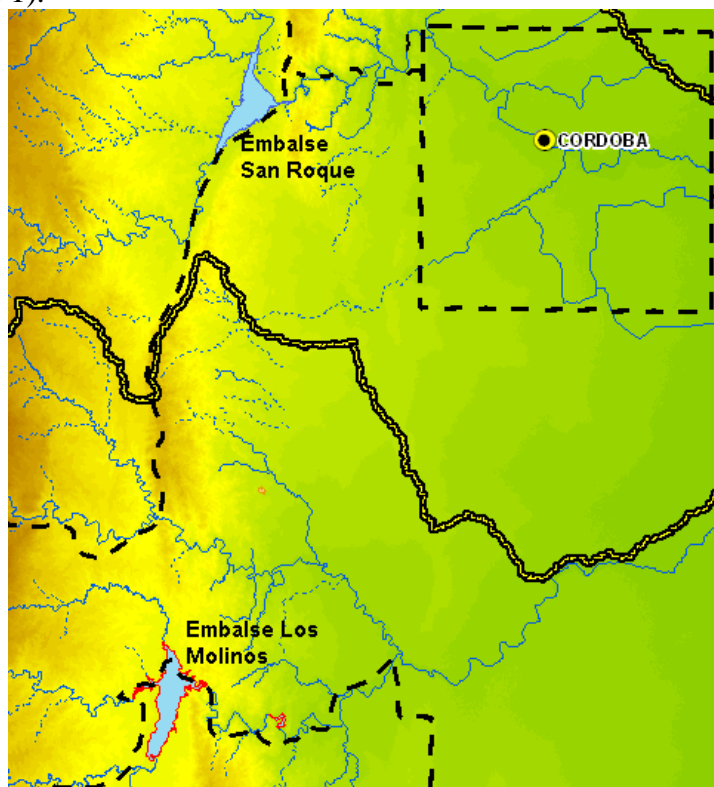


Figura 1: Ubicación de los embalses San Roque y Los Molinos. Fuente: SSRH, 2012.

La importancia de estos embalses radica en que son las dos fuentes que proveen de agua potable a la ciudad de Córdoba, además de tener otros propósitos tales como la producción de energía eléctrica, atenuación de crecidas y el desarrollo de variadas actividades recreacionales.

Ambos cuerpos de agua presentan floraciones algales producto de su enriquecimiento de nutrientes, condiciones de temperatura, luz y estratificación de la columna de agua. Entre las géneros más abundantes y frecuentes que componen su fitoplancton se hallan las cianobacterias *Microcystis spp.* y *Dolichospermum spp.* y la pirrófita *Ceratium hirundinella* (Rodríguez *et al.*, 2006; Bazán *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2010). Además, ambos embalses poseen poblaciones en su cuenca y en su perilago que no tienen una cobertura completa de red cloacal y/o poseen un incompleto sistema de tratamiento. Esto provoca que dichos embalses reciban aporte de nutrientes por descargas cloacales provenientes del escurrimiento de su cuenca y del perilago (Bazán *et al.*, 2007; Di Paolo y Bianchi, 2008).

Como consecuencia, en los meses estivales, donde la concurrencia de turistas es elevada y se realizan múltiples actividades recreacionales, se incrementa el riesgo en los bañistas de contraer enfermedades. Esto se debe, por un lado, a que existe un gran número de microorganismos patógenos que pueden transmitirse al hombre a través de aguas susceptibles a contaminación por líquidos cloacales (Acuña del Pino *et al.*, 1998). Usualmente, se analiza la concentración de *Escherichia coli* como indicador de agentes patógenos presentes en el agua (Fries *et al.*, 2006). Por

otro lado, la preocupación de la salud pública en relación a las cianobacterias se centra principalmente en la capacidad que tienen algunas especies de producir toxinas que actúan a nivel hepático, neurológico, citológico y dermatológico, como así también la producción de metabolitos que causan irritación y reacciones alérgicas en los tejidos (Sivonen y Jones, 1999). Tanto en el ESR y en ELM se han reportado presencia de cianotoxinas (Amé, 2003; Ruibal Conti, 2003; Bazán *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2010).

Para evaluar la calidad de los balnearios de ambos embalses con fines recreativos, una herramienta válida para la gestión pública son los denominados Índices de Calidad de Agua (ICA). Éstos reducen una determinada cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general (Torres *et al.*, 2009). Lo importante es que la información que brinde el índice sea consistente y no dé lugar a ambigüedades (Elbert y Welsch, 2003).

Por lo expuesto anteriormente, se fijó como objetivo general del trabajo medir y comparar la calidad de agua de distintos balnearios de los ESR y ELM mediante un índice de calidad de agua recreativa de fácil manejo que permita prevenir riesgos a la salud de los bañistas.

## MATERIALES Y METODOS

Se monitoreó mensualmente tres playas del ESR: Club Instituto, Bahía Los Mimbres y Bahía El Gitano y tres playas del ELM: Bahía El Negro, Valle Fantástico y Solar del Lago (Figura 2 a y b). El periodo de monitoreo estuvo comprendido entre los meses de septiembre a marzo de 2010-2011 (Temporada 1, T1) y de 2011-2012 (Temporada 2, T2) y septiembre a enero de 2012 – 2013 (Temporada 3, T3). Las playas fueron seleccionadas debido a que las mismas reciben un importante número de bañistas en época estival.



Figura 2: Ubicación de las playas monitoreadas a) embalse San Roque b) embalse Los Molinos.

El acceso a las playas se realizó en lancha. Las mediciones y tomas de agua se realizaron con motor apagado durante 15 minutos para evitar interferencias (turbulencias, combustibles). Las muestras se tomaron a una profundidad sub-superficial de 0,2 m y a una distancia aproximada de 5 a 15 m de la costa, donde la profundidad estuviese comprendida entre 1 y 3 m. Se realizaron mediciones *in situ* de temperatura del agua (°C) con sensor termistor y de transparencia mediante el disco de Secchi (m). Se realizó la cuantificación de *E.coli* (NMP/100 mL) utilizando como medio

de cultivo EC-MUG y de abundancia de cianobacterias (cél/mL) por microscopía óptica con cámara de Fuchs Rosenthal, de acuerdo al Standard Methods (APHA, AWWA, WEF; 2005).

Con los parámetros medidos se aplicó un índice de calidad de agua para uso recreativo desarrollado por Brandalise *et al.* (2012) y modificado por Nadal *et al.* (2012). Este ICA considera a *E. coli* y a las cianobacterias como indicadores de importancia sanitaria, a la transparencia como indicador de la estética del recurso y a la temperatura del agua como parámetro de agradabilidad. El índice se basó en los límites de cianobacterias que recomienda la WHO (2003) para aptitud para baño, los límites que establece CONAMA (2000) para la concentración de *E. coli* y las normativas de los gobiernos de Canadá y Australia para temperatura y transparencia. Para este índice se aplicó el método del promedio geométrico ponderado (Ecuación 1).

$$ICA_R = Q_T^{0.045} \times Q_{Tr}^{0.205} \times Q_{Comb}^{0.75} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo  $Q_{comb}$  una variable que está en función de  $Q_{E.coli}$  y  $Q_{ciano}$ , donde  $Q_T$ ;  $Q_{Tr}$ ;  $Q_{E. coli}$ ;  $Q_{Ciano}$  son la calidad ambiental de la temperatura, transparencia, concentración de *Escherichia coli* y abundancia de cianobacterias, respectivamente.

En la Tabla 1 se muestran las categorías en la que se pueden clasificar el estado de las playas de acuerdo al valor arrojado por el índice.

Tabla 1: Escala de clasificación del ICA recreativo

ICA	Categoría
90-100	Excelente
90-75	Muy bueno
75-60	Aceptable
60-30	Malo
30-0	Muy malo

Finalmente, se evaluó si las diferencias a nivel espacial (entre playas y entre embalses) y a nivel temporal (entre las diferentes temporadas de monitoreo) fueron significativas. Para ello se realizaron pruebas de significancia no paramétricas: Prueba de Kruskal – Wallis y la prueba U de Mann – Whitney, con un límite de confianza del 95% (Zar, 1984), utilizando el software SPSS Statistics v 17.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 3 a 6 muestran los valores del ICA de las playas y los valores promedio de las variables de dicho índice en cada uno de los embalses, de acuerdo a la temporada de estudio. Se puede observar que en la mayoría de los casos estudiados en el ESR, el valor ICA fue igual o mayor a 60, lo cual significa que el estado de la playa no implicó riesgos a la salud. No obstante, hubo ocasiones en las cuales el índice presentó bajos valores. Tal es el caso de diciembre de 2010 en las tres playas (donde incluso el índice de Club Instituto fue cero) y en enero de 2011 en las playas Los Mimbres y El Gitano (Fig. 3).

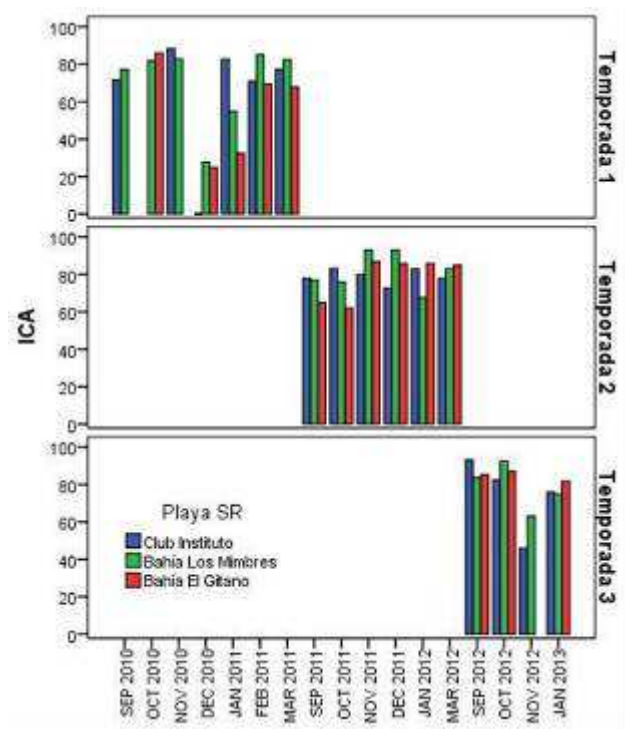


Figura 3: Valores del ICA en el ESR

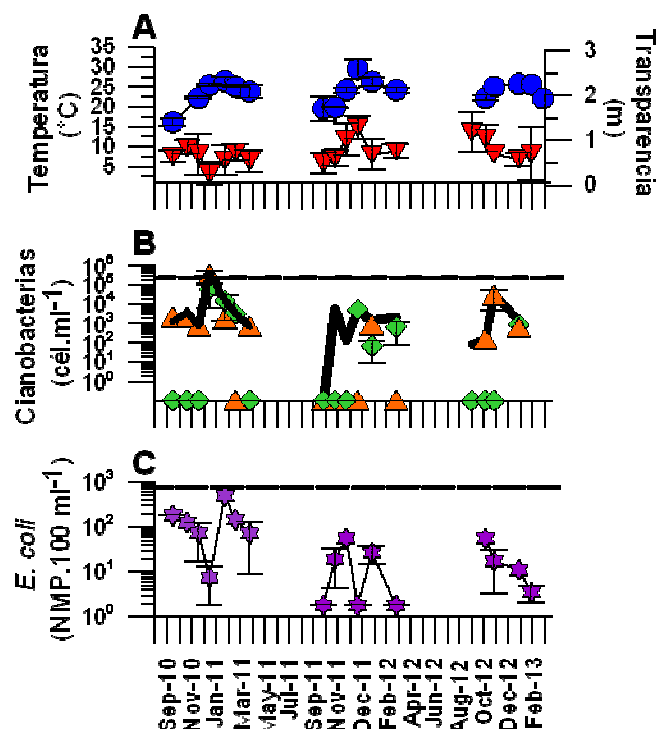


Figura 4: Variables del ICA en el ESR. ● Temperatura  
▼ Transparencia ▲ *Dolichospermum sp.* ◆ *Microcystis sp.*  
— Cyanobacterias Total

El promedio de la concentración de cianobacterias en diciembre de 2010 fue mayor a 20000 cél/mL (Fig. 4 B), límite que la WHO (2003) establece para una baja probabilidad de efectos adversos a la salud. Puede notarse que los géneros que dominaron fueron *Microcystis spp.* y *Dolichospermum spp.*, las cuales son productoras fundamentalmente de una toxina hepatotóxica denominada microcistina (Andrinolo y Caneo, 2009). En lo que respecta a la playa del Club Instituto, el valor del ICA fue cero debido a la gran abundancia de cianobacterias y al valor cero de la transparencia (Fig. 4 A-B). En estas fechas, los demás parámetros que incluye el índice se mantuvieron en el rango que los organismos de referencia consideran aceptable (Fig. 4 A-C). Esto significa que la concentración de cianobacterias fue la principal responsable del bajo valor del índice.

Caso muy similar ocurrió en enero de 2011, donde la especie abundante fue *Microcystis spp.* y en noviembre de 2012 donde la especie dominante fue *Dolichospermum spp.* (Fig. 4 B). Por otro lado, en octubre del 2011 se observa que el ICA de Bahía El Gitano estuvo en el límite de lo aceptable (Fig. 3) debido a que la transparencia del agua era baja, afectando la estética de la playa pero no así la salud de los bañistas (Fig. 4 A). El otro parámetro de importancia sanitaria, *E. coli*, se mantuvo dentro del valor que recomienda CoNaMA (2000) para aguas recreativas en las tres temporadas (Fig. 4 C), es decir, no significó riesgos a la salud y por lo tanto no contribuyó a los bajos valores del ICA.

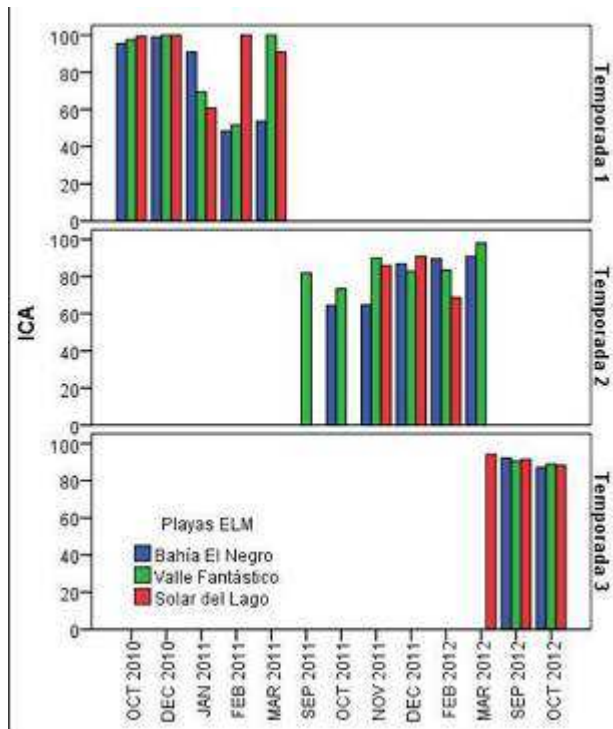


Figura 5: Valores del ICA en el ELM

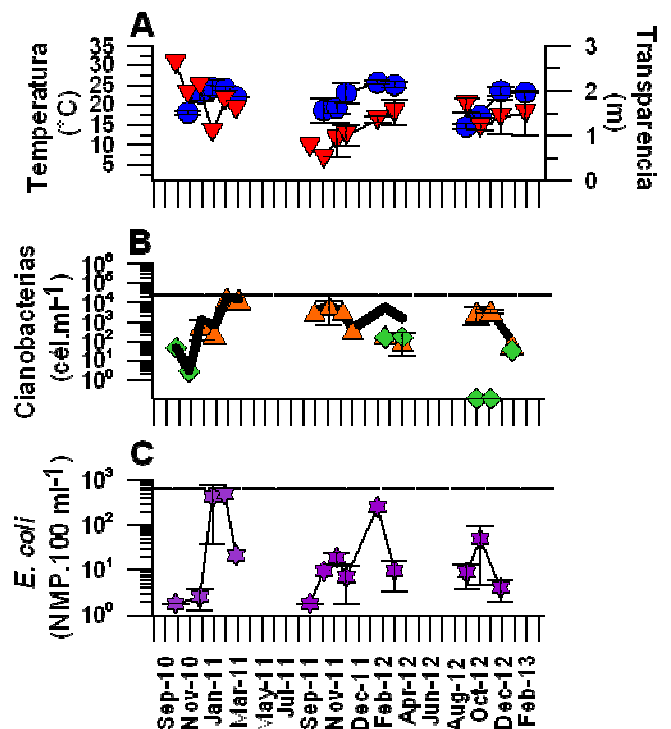


Figura 6: Variables del ICA en el ELM. ● Temperatura  
▼ Transparencia ▲ *Dolichospermum sp.* ◆ *Mycrocystis sp.*  
— Cianobacterias Total

Respecto al ELM, se observa que la segunda y tercera temporada el ICA varió entre una calidad Aceptable a Excelente, mientras que en la primera temporada se encontraron valores bajos en enero, febrero y marzo de 2011 (Fig. 5). En enero del 2011, el ICA de la playa Solar de Lago estuvo en el límite de lo aceptable (60) debido a que *E. coli* se encontraba muy próximo a la concentración máxima que permite CoNaMA (2000) (Fig. 6 C). En febrero y marzo de 2011, los bajos valores del índice (Fig. 5) se debieron a la alta abundancia de *Dolichospermum spp.* (Fig. 6 B). El bajo valor de la transparencia del agua en octubre y noviembre de 2011 (Fig. 6 A) fue la responsable de que el valor del ICA se encontrara justo por encima del límite aceptable (Fig. 5).

En la Tabla 2 se presentan los valores de medianas y el p-valor de la prueba de significancia entre playas y temporadas. Se observa que a nivel espacial, en ninguno de los embalses se encontraron diferencias significativas entre las playas ( $p > 0,05$ ). Lo mismo ocurre con la estación primavera de las tres temporadas en el ESR y con la estación verano de la primera y segunda temporada del ELM.

Sí se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la estación primavera en el ELM, siendo la T2 la de más baja calidad. En cuanto al ESR, se observaron diferencias significativas entre la T1 y T2 en verano, mejorando notoriamente la calidad en la segunda temporada, debido a la baja concentración de cianobacterias en esta última (Fig. 4 B).

Tabla 2: Diferencias significativas de la variable ICA a nivel espacial y temporal

Diferencia entre playas				Diferencia estación primavera			Diferencia estación verano			
Temporada	Playa	Mediana	p-valor	Temporada	Mediana	p-valor	Temporada	Mediana	p-valor	
<b>ESR</b>	T1	P1	75	0,521	T1	82	0,541	T1	55	0,018
		P2	82							
		P3	68							
	T2	P1	79	0,805	T2	78	0,541	T2	84	
		P2	80							
		P3	85							
	T3	P1	79	0,717	T3	84	0,541	T3	/	
		P2	79							
		P3	85							
<b>ELM</b>	T1	P1	88	0,337	T1	97	0,005	T1	91	0,689
		P2	89							
		P3	91							
	T2	P1	87	0,667	T2	77	0,005	T2	85	
		P2	83							
		P3	88							
	T3	/	/	/	T3	90	0,005	T3	/	

La Figura 7 muestra la variabilidad del ICA durante las tres temporadas para la primavera y el verano de cada uno de los embalses. Se observa que en ambas estaciones los límites de variación para el ELM fueron más altos que los del ESR. Esto se traduce en una mejor calidad del ELM para uso recreacional. La prueba estadística mostró que existen diferencias significativas en primavera (p-valor=0.030) y verano (p-valor=0.036) entre los dos embalses.

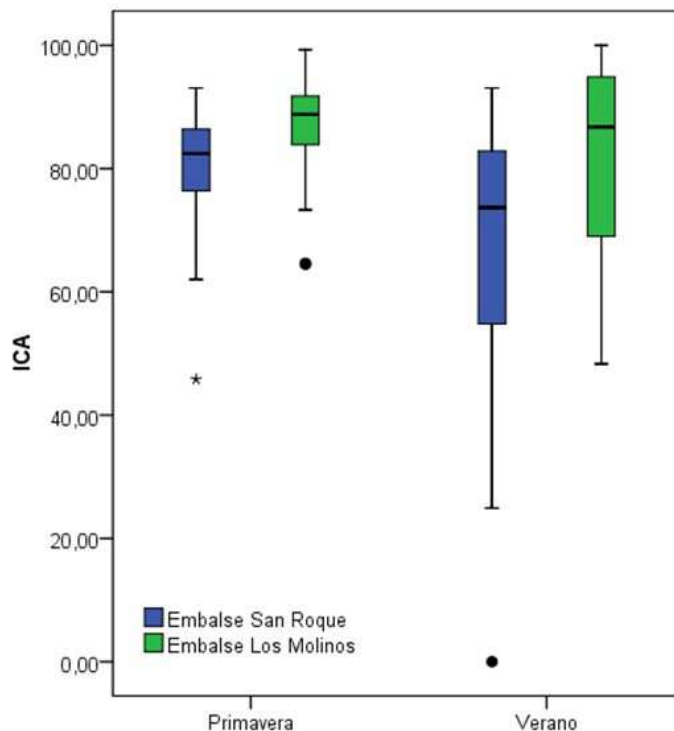


Figura 7: Diagrama de cajas del ICA en las estaciones de primavera y verano en playas del ESR y ELM

Estas diferencias en la calidad de agua para uso recreativo probablemente se deba a que, mientras el ESR está caracterizado como un embalse eutrófico con tendencia a la hipertrofia (Ruiz *et al.*, 2011), el ELM es un embalse mesotrófico con tendencia a eutrófico (Cossavella *et al.*, 2011). Por lo tanto, en el ESR existen condiciones más favorables para la producción de floraciones de cianobacterias con respecto al ELM, siendo este parámetro el que más afecta la variabilidad de ICA.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los balnearios del embalse en estudio se ha observado una variabilidad de los valores del ICA que van desde Excelente a Malo en ELM y de Excelente a Muy Malo en el ESR. Esta variabilidad se debió fundamentalmente a diferencias en la concentración de cianobacterias a lo largo de las estaciones y temporadas. El ELM presenta mejores condiciones para actividades recreativas que el ESR ya que presenta menos frecuentemente floraciones de algas potencialmente tóxicas.

Por los antecedentes de contaminación que poseen ambos cuerpos de agua, se remarca la importancia del seguimiento continuo de los mismos, sobre todo en épocas estivales, aplicando las herramientas de gestión que ayuden a la conservación del recurso.

Por último, como recomendación y aporte al diseño de monitoreos de balnearios, se debe delimitar el área de la playa y localizar los puntos de muestreo en la zona donde se espera un mayor número de bañistas y en donde se presente el mayor riesgo de contaminación (Codd, *et al.*, 1999). La toma de muestra para el análisis bacteriológico se debe realizar en diversas condiciones ambientales y climáticas, sobre todo en momentos donde se espera una gran escorrentía (APHA, AWWA, WPCF, 2005). Para el caso de cianobacterias, la detección visual de espuma o manchas verdes dispersas es de gran ayuda a la hora de definir el punto de monitoreo (Sienra *et al.* 2009). Los puntos de muestreo se deben ubicar de manera que representen diferentes ambientes acuáticos (aguas estratificadas, aguas procedentes desembocaduras de ríos, etc.), teniendo en cuenta la dirección del viento que puede trasportar células de cianobacterias y depositarlas en algún punto de la playa (WHO, 2003).

## REFERENCIAS

- Acuña del Pino, N.; et al (1998).** “Evaluación de niveles de contaminación bacteriana en aguas recreacionales. Factores intervinientes”. FABICIB 1(2): 61-67
- Amé, V. (2003).** “*Microcistinas en el Embalse San Roque (Córdoba). Presencia, Ecotoxicidad, Regulación y Biodegradación*”. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Andrinolo D.; Caneo, M. (2009).** “Efectos sobre la salud humana y animal de cianotoxinas. Mecanismos de acción tóxica”, pág. 67 – 78. En *Cianobacterias y Cianotoxinas. Identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo*. Giannuzzi L. Ed. Buenos Aires, 237 pág.
- APHA (American Public Health Association) AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation) (2005).** “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 21th edition, Washington, D.C.
- Bazán, R.; et al. (2004).** “*Presencia de Microcystis y Microcistinas en el Embalse Los Molinos, Córdoba*”. I Congreso Latinoamericano sobre Biotecnología Algal, Buenos Aires, Argentina.
- Bazán, R.; et al. (2007).** “*Mortandad de peces en el embalse Los Molinos asociados a florecimientos de Ceratium hirundinella*”. XXI Congreso Nacional del Agua, Tucumán, Argentina.
- Bazán, R.; et al. (2009).** “*Estudio a largo plazo de la estructura y dinámica del fitoplancton del embalse Los Molinos, Córdoba*”. XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut, Argentina.



- Brandalise, V.; et al. (2012).** “Índice de calidad de agua para uso recreativo en ambientes con cianobacterias”. I Encuentro de Investigadores en Recursos Hídricos. Buenos Aires, Argentina.
- Codd, G.; et al. (1999).** “*Desing of monitoring programmes*”, pág. 302-316. En *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. Chorus, I. and Bartram, J. Eds. Londres, 400 pág.
- CoNaMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (1986).** Resolução CONAMA Nº 20
- Cossavella, A.; et al. (2011).** “*Diez años de monitoreos continuos en el embalse Los Molinos*”. Revista Ceta (Centro de Estudios y Tecnología del Agua) 1 (1): 26-31.
- Di Paolo, L.; Bianchi, H. (2008).** “*Transporte de materia en el embalse San Roque*”. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Ebert, U.; Welsch, H. (2004).** “*Meaningful environmental indices: A social choice approach*”. *Environmental Economics and Management* 47 (1): 270–283.
- Fries, J.; et al. (2006).** “*Attachment of Fecal Indicator Bacteria to Particles in the Neuse River Estuary, N.C*”. *J. Environ. Eng* 132 (10): 1338–1345.
- Nadal, F.; et al. (2012).** “*Evaluación y valoración de la calidad del agua del embalse San Roque (Córdoba) para uso recreativo*”. IV Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina.
- Rodríguez, M. I.; et al. (2006).** “*Monitoreo integral de un cuerpo de agua eutrófico: Embalse San Roque (Córdoba, Argentina)*”. I Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina.
- Rodríguez, M.I.; et al. (2010).** “*Calidad del agua recreativa afectada por floraciones de cianobacterias en el embalse San Roque (Córdoba, Argentina)*”. III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina.
- Ruibal Conti, A. L. (2003).** “*Seasonal variation of microcystins in Argentinean Inland Waters*”. Tesis de Maestría, Universidad de Kyoto, Japón
- Ruiz, M.; et al. (2011).** “*Aspectos de gestión ambiental y salud en el embalse San Roque (Córdoba)*”. XXIII Congreso Nacional del Agua, Resistencia, Chaco, Argentina.
- Sienra, D.; et al. (2009).** “*Monitoreo de Cianobacterias en Playas de Montevideo*”. I Encuentro Uruguayo. Cianobacterias: Del conocimiento a la gestión, Montevideo, Uruguay.
- Sivonen, K.; Jones, G. (1999).** “*Cyanobacterial toxins*”, pág. 55-124. En *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. Chorus, I. and Bartram, J. Eds. Londres, 400 pág.
- SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) (2012).** *Cartografía digital y sistemas georreferenciados*. <http://pag-ar00.minplan.gov.ar/atlas2.htm> [Consulta: Miércoles, 03 de abril de 2013].
- Torres, P.; et al. (2009).** “*Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*”. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 15 (8): 79-94.
- World Health Organization (WHO) (2003).** “*Guidelines for Safe Recreational Water Environments, Volume 1: Coastal and Fresh Waters*”. World Health Organization Ed. 253 pág.
- Zar, J.H. (1984).** “*Biostatistical analysis*”, 2da. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 718 pág.