

Índice de Calidad de Agua para uso Recreativo en Ambientes con Cianobacterias

María Verónica Brandalise^{1, 2}, Florencia Nadal^{1, 2}, María Inés Rodríguez², Nancy Larrosa¹, Marcia Ruiz², Silvana Halac², Patricia Olivera² y Cecilia Licera²

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (FCEfyN-UNC)

²Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA)

E-mail: mbrandalise@ina.gov.ar

RESUMEN: Córdoba posee numerosos embalses en los que se desarrollan actividades recreativas y muchos de ellos presentan tendencia a la eutrofización. En materia de gestión de recursos hídricos, se reconoce la falta de instrumentos locales para valorar las condiciones de uso recreativo en estos cuerpos de agua.

Los aspectos de mayor relevancia relacionados con este uso tienen que ver con la estética del recurso y los posibles riesgos a la salud. La presencia de cianobacterias y el grado de toxicidad de sus floraciones, no son contemplados en los estándares locales y tampoco en los índices de calidad de agua (ICA) más comúnmente utilizados en la actualidad. Por esta razón se propone un índice que considere este aspecto, sumando el menor número de variables necesarias.

La construcción del ICA se basó en datos de playas de los Embalse San Roque (ESR) y Los Molinos (ELM). El ICA propuesto, de tipo sumatorio, incluyó las variables transparencia, temperatura, bacterias coliformes termotolerantes y cianobacterias. Para su construcción se tomó en cuenta valores guía o límites máximos permitidos de diferentes normativas internacionales de los parámetros utilizados.

En función de los valores guías y de la variabilidad de datos se establecieron cinco categorías: Muy Malo, Malo, Aceptable, Muy Bueno y Excelente. Los resultados preliminares reflejan variabilidad en la calidad del agua de los embalses para el periodo 2010-2011. Las condiciones de las playas en Los Molinos fueron mejores que en el Embalse San Roque. En el primero, la mayoría de los registros se correspondió con una calidad Excelente, nunca menor a Mala. En el segundo, la mayoría de los registros calificó como Muy Bueno con situaciones en las que condición de calidad de agua fue Mala.

INTRODUCCIÓN

Es de común conocimiento que los Embalses San Roque y Los Molinos de la provincia de Córdoba no se encuentran en condiciones óptimas ya que presentan niveles comprometidos de eutrofización debido a la carga de nutrientes. El característico proceso de eutrofización que sufre el ESR se debe a que recibe un aporte constante y considerable de nutrientes en forma de residuos de origen antrópico, como producto de la actividad de las poblaciones localizadas en su cuenca. Ello ha hecho que haya aumentado en forma alarmante dicho proceso de eutrofización, en particular porque se han vertido al embalse aguas cloacales sin tratamiento previo (Lerda y Prospero, 1994). En el ELM desde hace 30 años se señalan signos de eutrofización tales como proliferaciones de algas conjuntamente con elevadas concentraciones de fosfato y nitrógeno amoniacal (Bonetto et al., 1976). Los antecedentes más recientes (Rodríguez et al., 2002 y Cossavella, 2003) verifican las condiciones de riesgo de eutrofia de este cuerpo de agua en relación a los valores límites establecidos por la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), en 1982. Esto trae como consecuencia la proliferación de diversos microorganismos (principalmente algas y bacterias). En las épocas estivales dichos Embalses son concurridos y utilizados para el desarrollo de diversas actividades acuáticas (ej.: baño, pesca y navegación). Estas aguas generalmente contienen microalgas (cianobacterias) cuyas floraciones en algunos casos producen la liberación de toxinas, y microorganismos patógenos provenientes principalmente de aguas residuales y actividades agrícolas.

Tanto las bacterias termotolerantes como las toxinas de las cianobacterias son un potencial riesgo para la salud no sólo para las personas sino también para los animales, ya que el contacto con el agua e ingesta de la misma puede generar diferentes reacciones y enfermedades. Existen varios casos documentados de daños a la salud humana por la ingestión o aspiración de sustancias cianobacterianas tóxicas (Chorus et al 2000).

Entendiendo que la calidad natural del agua es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas presentes en ríos, lagos, manantiales, subsuelo o el mar, la contaminación causa la alteración de esta calidad natural y puede impedir que sea adecuada para el uso destinado (Ayers y Westcot, 1985).

La evaluación de la calidad de agua permite tomar medidas de acción frente a distintas situaciones y los ICAS en este sentido, son herramientas de suma utilidad. Siendo éstos de fácil aplicación e interpretación, permiten a los organismos de gestión tener información respecto a si la calidad del agua es apta o no para un determinado uso (Conesa Fernández-Vítora, 1997 y Almeida et al 2009).

A nivel internacional se han desarrollado una serie de normas y regulaciones referentes a la calidad microbiológica en función de los diversos usos de las aguas naturales, en las que se sugieren valores guías y valores de carácter obligatorio, en dependencia del tipo de exposición (directa o indirecta). Esta tarea es responsabilidad de las autoridades sanitarias de cada país, que en la mayoría de los casos siguen los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Comunidad Económica Europea (CEE) y

Agencia Ambiental de Estados Unidos (WHO, 2000; EEC, 1976 y 1994; USEPA, 1986; UNEP, 1993), ver Rubalcaba et al (2003).

En nuestro país existen niveles guía de calidad de aguas que contemplan aspectos bacteriológicos pero no a las cianobacterias y sus toxinas. El desarrollo de una normativa local con respecto al uso recreacional de los cuerpos de agua requiere de una valoración local del problema siendo posible adoptar niveles guía de otros países de modo interino.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un índice de calidad de aguas para uso recreativo que contemple a las cianobacterias combinado con otras variables relevantes, y aplicar el mismo a los embalses San Roque y Los Molinos.

El trabajo se desarrolló en el marco del Programa de Pasantías y Becas INA y de las actividades y proyectos de investigación del Área de Limnología Aplicada y Calidad de Agua de INA-CIRSA, en colaboración con la UNC.

ÁREA DE ESTUDIO

El Embalse San Roque se encuentra ubicado en el Valle de Punilla aproximadamente a 40 Km de la Ciudad de Córdoba (31°22'S 64°28'O). La cuenca de aporte aproximada de 1750 Km² posee un marcado desarrollo urbanístico y es a su vez ámbito de numerosas actividades turísticas. En la costa del Embalse se encuentra la ciudad de Villa Carlos Paz con aproximadamente 80 500 habitantes y una afluencia de 800 000 turistas al año (Registro Civil de la Ciudad de Villa Carlos Paz, 2010). A nivel de cota de vertedero (35,3 m), la superficie del embalse es de 15 Km², con 201 Hm³ de volumen y una profundidad media de 13,4 m. El embalse tiene como objetivos múltiples la provisión de agua a la Ciudad de Córdoba, atenuación de crecientes, agua para riego, aprovechamiento hidroeléctrico y recreación.

El Embalse Los Molinos se encuentra aproximadamente a 70 Km de la Ciudad de Córdoba (31°50' 64°32'O) en el Valle de Paravachasca. Almacena el agua de una cuenca hidrográfica de 980 Km². Su muro es de 60 m de altura y 240 m de longitud. El reservorio tiene una superficie de 24,5 Km² y un volumen de 399 Hm³; la cota máxima es de 57 m. Tiene por finalidad el abastecimiento de agua para potabilizar - siendo la segunda en importancia para la Ciudad de Córdoba- riego, generación de energía eléctrica y atenuación de crecidas. En su cuenca se desarrollan actividades agropecuarias y las costas del lago actualmente presentan una tendencia al desarrollo urbanístico. La población aproximada en el área es de aproximadamente 5 800 habitantes en las comunas más importantes ubicadas en el perilago (Potrero de Garay, Villa Ciudad América, Los Reartes y Ciudad Parques Los Reartes) con un importante número de turistas anuales (INDEC, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados, tanto del Embalse San Roque como del Embalse Los Molinos, corresponden a catorce campañas de monitoreo mensuales en las playas de ambos embalses, realizadas en los periodos estivales 2010 y 2011, época en la que se observa un uso recreacional del recurso. Se determinaron tres sitios de muestreo de playas en cada embalse en función de la afluencia de bañistas observados durante los años anteriores. En el ESR se eligieron las playas Club Instituto, Bahía El Gitano y Los Mimbres y en el ELM, Bahía El Negro, Club Las Flores (Valle Fantástico) y Playa 3 (Potrero de Garay) (Figura 1).

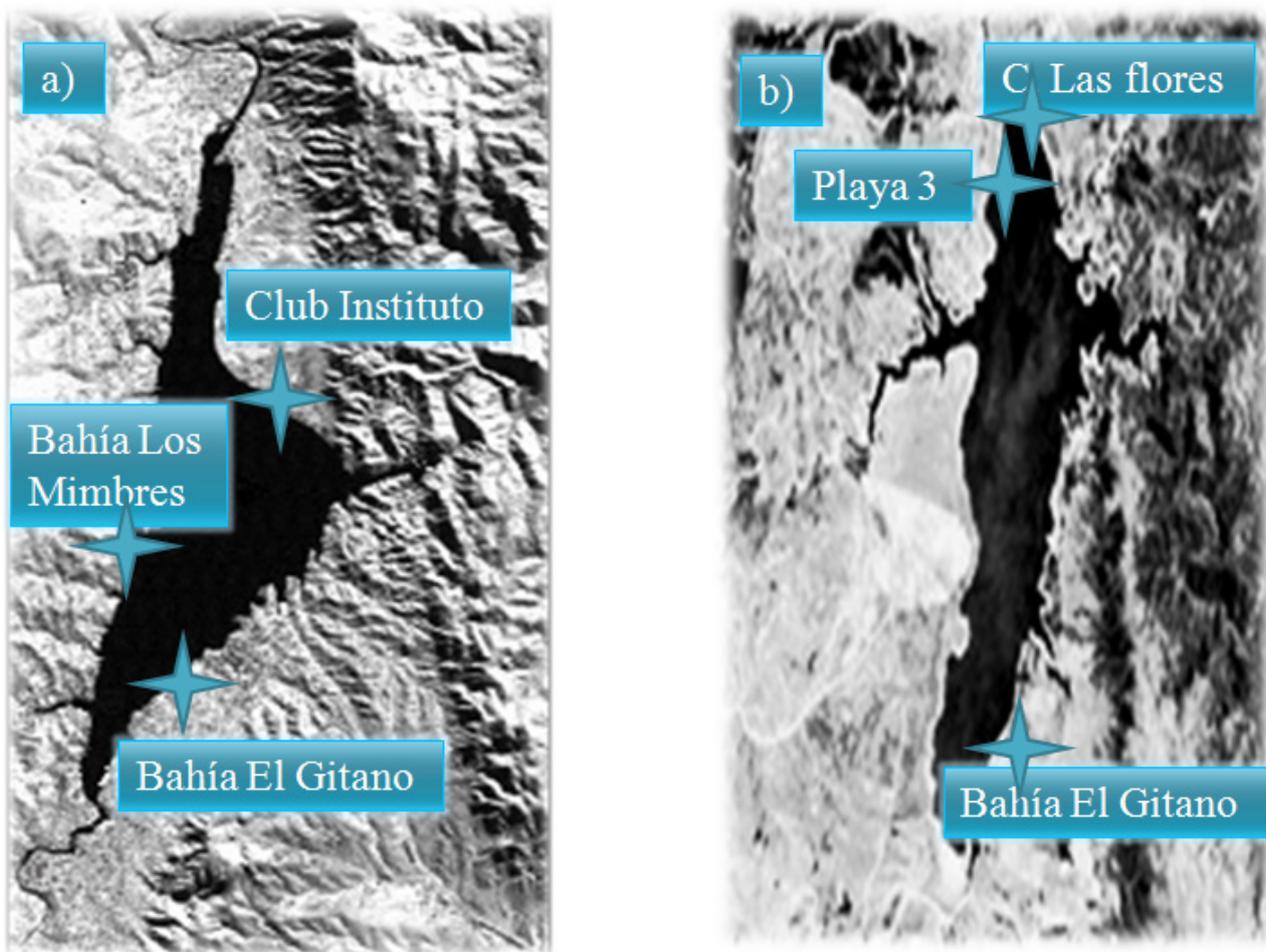


Figura 1.- Ubicación de las playas monitoreadas a) ESR, b) ELM

Se registró *in-situ* temperatura del agua (°C), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura ambiente (°C) con sonda Horiba U-10 y WTW y transparencia (m) con el disco de Secchi. También se detallaron las condiciones meteorológicas así como otras observaciones de campo (color del agua, presencia de espuma, olor, algas, etc.).

Las muestras de agua se tomaron sumergiendo botellas de 1L de capacidad a una profundidad subsuperficial entre 0,30 m y 0,50 m y a una distancia aproximada de 1 a 10 m de la costa. Se tomaron muestras para las

siguientes determinaciones: aerobias heterótrofas (UFC/100 mL, Agar en placa), coliformes totales (CT) (NMP/100 mL, SM 9221 A, B, E), coliformes termotolerantes (CTT) y *Escherichia coli* (NMP/100 mL, medio EC-MUG SM 9221 F 1104), fitoplancton (cél/mL, recuento e identificación, SM 10200 C,F), clorofila *a* (Cl-*a*), clorofila total (µg/L, SM 10200H) y microcistinas totales (µg/L, ELISA).

Para el desarrollo del ICA en primer lugar se seleccionaron las variables a incluir, considerando que un ICA debe tener el menor número de variables ya que debe ser fácil y rápido de calcular. El ICA propuesto fue de tipo sumatorio y toma valores comprendidos entre 0 y 100:

$$ICA = \sum_{i=1}^n Q_i \times P_i \quad (1)$$

Donde:

Σ : operación sumatoria,

Q_i : calidad ambiental del parámetro i

P_i : peso específico para el parámetro i que varía entre 0 y 1

n : es el número de variables.

Se establecieron valores de calidad ambiental para las variables componentes del ICA y se construyeron las respectivas curvas de calidad. Para ello, se consideraron las normativas internacionales de diferentes países como Australia, Canadá, Uruguay e Italia, como así también, las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2003 y 2006) y publicaciones relacionadas a aspectos sanitarios (Pilotto, 2008 y Chorus, 2000). Para el cálculo y análisis estadístico se utilizaron los programas Excel 2007 y SPSS v17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración del índice de calidad

Componen al ICA cuatro variables: temperatura y transparencia, representativas de la estética y agradabilidad del recurso y abundancia de cianobacterias y bacterias coliformes termotolerantes, asociadas con el potencial riesgo a la salud. A continuación se presentan los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar (DE) y los valores máximos y mínimos de cada una de estas variables, discriminadas por embalse (Tabla 1).

Tabla 1.- Parámetros estadísticos de las variables

Variable	Temperatura (°C)		Transparencia (m)		Cianobacterias (cél/mL)		CTT (NMP/100mL)	
	SR	LM	SR	LM	SR	LM	SR	LM
Media	23,19	22,25	0,72	1,83	64 578	6 684	178	185
DE	3,40	2,87	0,42	0,78	143 999	14 271	292	401
Máx	27,50	26,00	1,86	3,25	500 000	41 400	1 300	1 400
Mín	15,20	16,60	0,00	0,60	0	0	4	1

Los resultados obtenidos muestran mayor transparencia y menor abundancia de cianobacterias en el ELM. Con respecto a las bacterias coliformes termotolerantes (CTT) los resultados de ambos embalses fueron similares.

Las cianobacterias presentes en el ESR pertenecen a los géneros *Dolichospermum* (ex *Anabaena*), *Microcystis*, *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Pseudoanabaena* y *Phormidium* y en el ELM *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Chroococcus*, *Lyngbya* y *Nodularia*. En ambos embalses *Dolichospermum* y *Microcystis* presentan mayor abundancia y desarrollan con frecuencia floraciones. La toxicidad de las floraciones, no es un rasgo específico de ciertas especies, más bien, la mayoría de especies comprenden cepas tóxicas y no tóxicas. Si bien las condiciones que conducen a la proliferación cianobacteriana están bien establecidas, no se conoce bien la función fisiológica o bioquímica de las toxinas para las cianobacterias, y los factores que conducen al predominio de cepas tóxicas sobre las no tóxicas no se comprenden en su totalidad (Chorus, 2000).

Para cada parámetro del ICA se propusieron curvas de calidad ambiental (Q) variable con valores entre 0 y 100. Las curvas se ajustaron con un coeficiente de regresión superior a 0,98.

Para la temperatura se consideró la normativa de Australia que establece un rango Aceptable entre 16-34 °C, con riesgo de hipotermia a una temperatura menor a 16 °C e hipertermia a temperatura superior a 34°C. La normativa de Canadá establece como Límite 30 °C, Peligro entre 34-35°C y temperatura Confiable entre 26-30 °C. En función de estos valores, se asignó tanto a 16 °C como a 34 °C una calidad ambiental (Q) de 50 y al rango de temperatura entre 20-25 °C, una Q de 100. La Tabla 2 muestra los valores puntuales sobre los que se construyó la curva ambiental (Figura 2).

Tabla 2. Calidad ambiental de la temperatura (°C)

T (°C)	Q _{Temp}
10	0
16	50
20	100
25	100
30	80
34	50
40	0

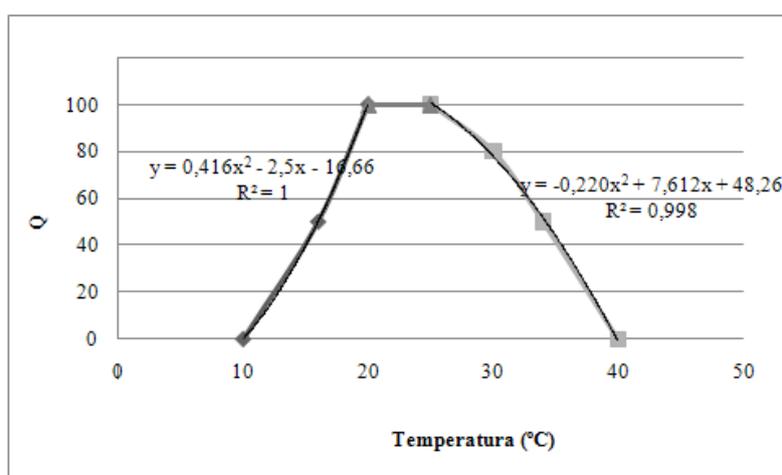


Figura2.- Curva de calidad ambiental de Temperatura

La curva de calidad para temperatura presenta tres tramos con sus respectivas regresiones. En el tramo central, a temperaturas comprendidas entre 20 y 25 °C, la calidad es 100.

Para determinar la curva de calidad de la transparencia se usó la normativa de Canadá que establece como profundidad mínima 1,2 m. Por ello se asoció a este valor una calidad ambiental de 60 como límite de Aprobación. La Tabla 3 muestra los valores establecidos y la Figura 3 la curva obtenida.

Tabla 3.- Calidad ambiental de la transparencia (m)

Transparencia(m)	Q _{Transp}
2	100
1,2	60
0	0

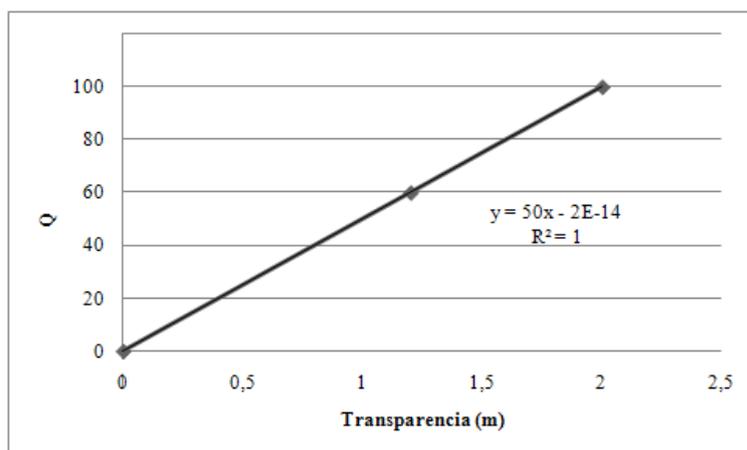


Figura 3.- Curva de calidad ambiental de Transparencia (m)

La curva de calidad de las CTT se determinó considerando la normativa de Uruguay y de Italia cuyos valores se presentan en las Tablas 4 y 5 respectivamente. Las unidades con que se determinan las bacterias coliformes termotolerantes según ambas normativas son UFC/100mL (unidades formadoras de colonias por 100 mL) según el método filtración por membrana, mientras que las determinaciones se realizaron en NMP/100mL (número más probable por 100 mL) utilizando la técnica del número más probable, esto se debió a la facilidad de aplicar la última técnica y a que ésta arrastra menor error, ya que la filtración por membrana requiere generalmente de diluciones. Se considero una unidad de NMP equivalente a una UFC.

Tabla 4.- Normativa Uruguayana con respecto a bacterias CTT

Categoría	CTT(UFC/100mL)
Excelente	≤ 250
Muy Bueno	250-500
Satisfactoria	500-1000
No Apta	> 1000

Tabla 5. Normativa Italiana con respecto a bacterias CTT

Calidad	CTT (UFC/100mL)
Buena	<100
Regular	100-2000
Mala	>2000

La Tabla 6 muestra los valores para determinar la curva de calidad de la Figura 4.

Tabla 6.- Tabla de calidad ambiental para bacterias coliformes termotolerantes

CTT (UFC/100mL)	Q _{CTT}
100	100
500	75
1000	50
2000	0

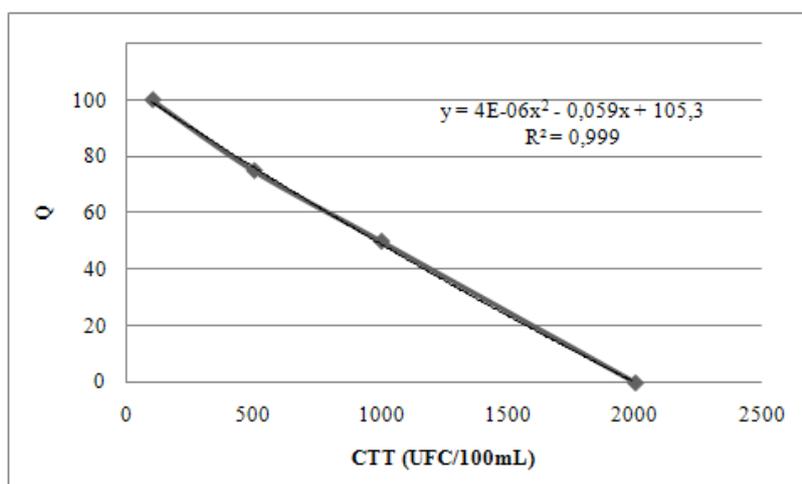


Figura 4.- Curva de calidad ambiental de bacterias coliformes termotolerantes

Finalmente para establecer la curva de calidad ambiental correspondiente a las cianobacterias se usaron los valores recomendados por Pilotto (2008) y Chorus (2000) y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2003 y OMS, 2006). En la Tabla 7 se muestran las calidades asignadas y en la Figura 5 la curva de calidad ambiental para dicha variable.

Tabla 7. -Tabla de calidad ambiental para cianobacterias

Cianobacterias (cél/mL)	Q _{cianob}
5000	100
20000	60
100000	20
150000	10
200000	0

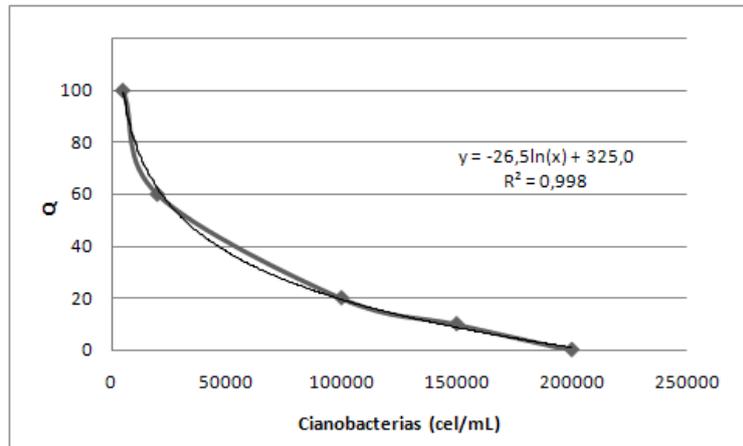


Figura 5.- Curva de calidad ambiental de cianobacterias

Posteriormente, se realizaron los cálculos del ICA con distintas combinaciones de valores de factores de ponderación (P_i) y se observó que los que mejor se ajustaron a la situación normativa propuesta fueron los mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8.- Valores de P_i

Variable	P_i
Temperatura	0,045
Transparencia	0,255
CTT	0,35
Cianobacterias	0,35
	$\Sigma=1$

Las variables de mayor peso son las bacterias coliformes termotolerantes y las cianobacterias ya que éstas son las que tienen efectos nocivos para la salud humana. La transparencia tiene un peso menor, y refleja que si bien un agua puede tener una baja transparencia, las cargas que le otorgan su color, no siempre son nocivas, es decir, que podría ser apta para uso recreativo. La temperatura es la variable que tiene un menor peso, ya que se considera que si un bañista entra o no en contacto con el agua, es en mayor grado de carácter subjetivo. Con estas ponderaciones la ecuación del ICA es:

$$ICA = Q_{Temp} \times 0,045 + Q_{Transp} \times 0,255 + Q_{CTT} \times 0,35 + Q_{Cianob} \times 0,35 \quad (2)$$

Se determinaron cinco categorías para el ICA, a los cuales posteriormente pueden asociarse acciones o medidas de gestión. Los descriptores se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.- Categorías del ICA

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

Al aplicar este ICA se detectó que en algunos casos se obtenía un índice Aceptable, pesar de que alguna de las variables, CTT o cianobacterias, tenían una baja calidad ambiental. Esta situación se repitió intentando con factores de ponderación alternativos. El inconveniente fue superado con la propuesta de una nueva variable, siendo ésta la suma de las calidades ambientales de bacterias coliformes termotolerantes y cianobacterias (3), determinadas previamente (Figura 4 y 5 respectivamente). A esta nueva variable (Comb) se le asigno una calidad (Q_{comb}) para obtener la curva de calidad con su respectiva regresión (Tabla 9 y Figura 6). La ponderación (P_i) propuesta para esta variable fue de 0,7, siendo la suma de las ponderaciones individuales de cada variable.

$$\text{Variable combinada (Comb)} = Q_{CTT} + Q_{Cianob} \quad (3)$$

Tabla 9.- Valores de Calidad Ambiental de la variable que combina bacterias coliformes termotolerantes y cianobacterias

Variable combinada (Comb)	Q_{comb}
0	1
100	25
150	60
200	100

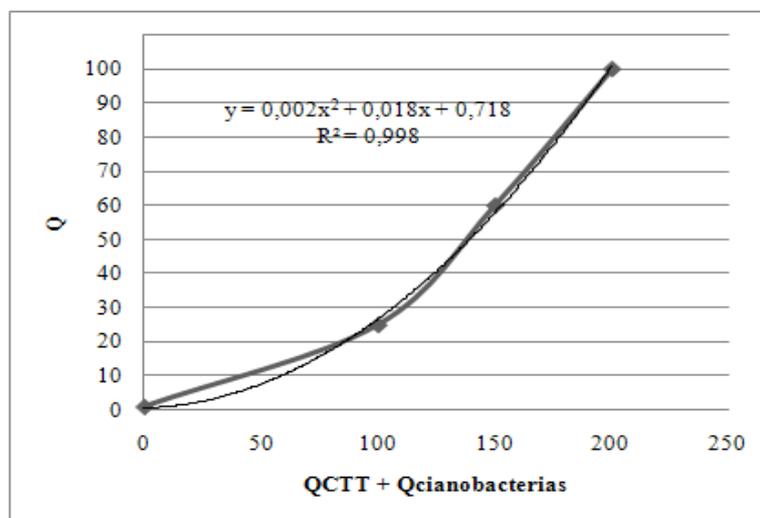


Figura 6.- Curva de calidad ambiental combinada de CTT y cianobacterias.

Al cálculo del ICA ingresan tres parámetros (temperatura, transparencia y variable combinada). El ICA final formulado responde a la siguiente ecuación:

$$ICA = Q_{Temp} \times 0,045 + Q_{Transp} \times 0,255 + Q_{Comb} \times 0,70 \quad (4)$$

Aplicación del índice de calidad

Los resultados de la aplicación del ICA reflejan la variabilidad en la calidad del agua de las playas de los embalses para el periodo 2010-2011. Se observa comparativamente, que las condiciones de las playas en Los Molinos son mejores que en el Embalse San Roque. En el ELM, la mayoría de las muestras se correspondió con una calidad Excelente (60%). En el ESR, la mayoría calificó en la categoría Muy Bueno (70%) y un 30% correspondió a una Mala calidad de agua (Figura 7). El 80% de los registros de las playas del ELM se encuentran según el cálculo del ICA propuesto en buenas condiciones, con una calidad ambiental por encima de 60. En el ESR el 70% de las situaciones valoradas posee esta condición y sólo un 10% calificó como Excelente.

Se calculó el ICA medio para cada una de las playas. Se observó que las playas del ELM presentan condiciones promedio Muy Buena en Club Las Flores y Bahía El Negro y Excelente en la Playa 3, mientras que en el ESR estas condiciones fueron Aceptables en Bahía Los Mimbres y Club Instituto y Mala en Bahía El Gitano (Figura 8). Lo cual muestra el mejor estado del ELM frente al ESR.

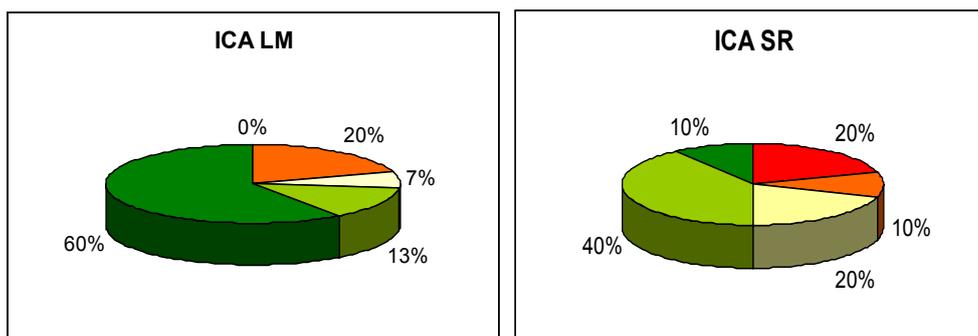


Figura 7.- Distribución porcentual de las condiciones de playas en ambos embalses (SR n=20 y LM n=15)

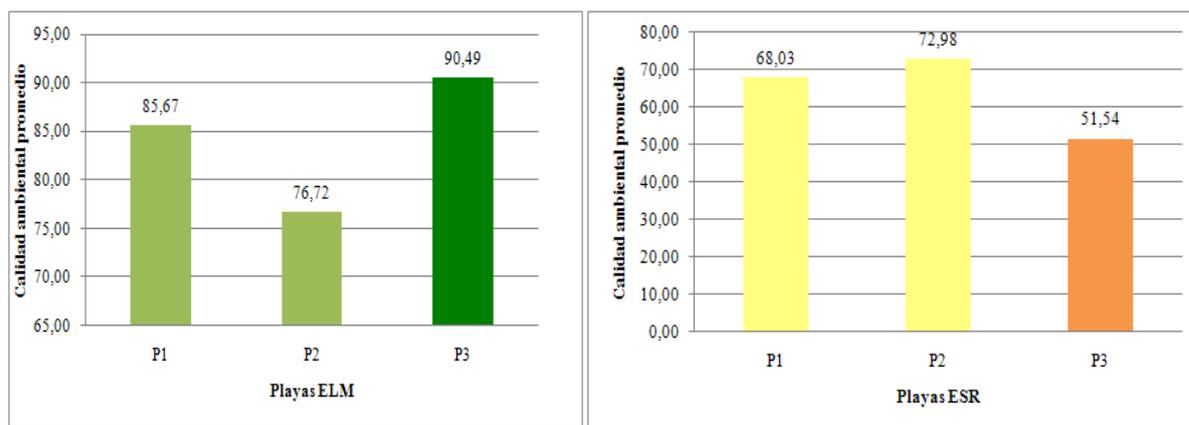


Figura 8.- Calidad ambiental promedio de playas en el ESR P1: Los Mimbres, P2: Club Instituto y P3: Bahía El Gitano y ELM P1= Club Las Flores, P2=Bahía El Negro y P3=Playa 3.

CONCLUSIONES

El ICA para uso recreativo propuesto puede ser muy útil para la gestión de los Embalses San Roque y Los Molinos, ya que el mismo es de fácil aplicación e interpretación al proporcionar información integrada sobre la calidad del agua.

El ICA fue ensayado usando datos de las playas de ambos embalses y permitió distinguir y comparar claramente calidades de cada una de ellas y entre embalses.

Se recomienda considerar en un ICA para uso recreativo, a las bacterias enterococos ya que las mismas aportan información sanitaria adicional que no incluyen las coliformes termotolerantes y cianobacterias. Si bien la presencia de cianotoxinas impacta en salud, su determinación es por el momento compleja, por lo cual no se incluyen en el ICA.

Los valores guías son sumamente importantes para el desarrollo de las curvas de calidad y la carencia de normativa local al respecto, genera inconvenientes en la elaboración y aplicación de un ICA. Por esto, se remarca la necesidad de avanzar en este aspecto, como así también realizar una valoración local del impacto en salud por exposición a cianobacterias.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, C., Oliva González, S., Quintar, S., Chirino, E., González, P. y Mallea, M., 2009. Elaboración de un índice de calidad de aguas continentales para uso recreacional.
- Ayers, R. y Westcot D., 1985. Water quality for agricultura.
- Bonetto, A.; Di Persia, D.; Maglianesi, R. y Corigliano, M., 1976. Caracteres limnológicos de algunos lagos eutróficos de embalse de la región central de la Argentina, Ecosur.

- Chorus I., Falconer I., Salas H. y Bartram J., 2000. Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales.
- Conesa Fernández-Vítora, V., 1997. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.
- Cossavella, A., 2003. Influencia de efectos antrópicos y naturales en el proceso de eutrofización de las aguas del embalse Los Molinos.
- European Economic Committee (EEC), 1976. Council Directive concerning the quality of bathing waters.
- European Economic Committee (EEC).1994. Proposal for a Council Directive concerning the quality of bathing waters.
- Lerda, D. y Prosperi, C., 1994. Consideraciones sobre la potabilización del agua para consumo humano en Río Tercero (Córdoba, Argentina).
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2006. Guías para la calidad del agua potable.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1982. Eutrophication of on monitoring assessment and control.
- Pilotto, L., 2008. Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs (Kenneth Hudnell), Chapter 29: Epidemiology of cyanobacteria and their toxins.
- Rodríguez, A., Avena, M., Rodríguez, M., Cossavella, A., Oroná, C., Del Olmo, S. Larrosa, N., Bazán, R. y Corral, M., 2002. Estimación de aportes de nutrientes de fósforo a los embalses San Roque y Los Molinos en Córdoba Argentina e implicancias en su gestión.
- Rubalcaba, S., González, M., Torres Rojas, T., Valdés Águila, M. y Domínguez Martínez, I., 2003. Evaluación de indicadores microbiológicos de contaminación fecal en aguas de uso recreativos.
- United Nations Environment Protection (UNEP), 1993. Report on the Second CEPPOL Seminar on Monitoring and Control of Sanitary Quality of Bathing and Shellfish-Growing Marine Waters in the Wider Caribbean.
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 1986. Ambient water quality criteria for bacteria.
- World Health Organization (WHO), 2000. Monitoring Bathing Waters. A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programs.
- World Health Organization (WHO), 2003. Guidelines for safe recreational water environments