

Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso.

López Sardi, Estela Mónica^{1,2}; García, Beatriz¹; Reynoso, Yanina¹; González, Pablo³; Larroudé, Victoria².

¹ *Escuela Superior Técnica, Facultad de Ingeniería del Ejército, Universidad de la Defensa Nacional.
Cabildo 15. CABA. mlopezsardi@gmail.com*

² *Facultad de Ingeniería, Universidad de Palermo.
Mario Bravo 1050. CABA.*

³ *Escuela Secundaria ORT. Química y Biotecnología. ORT Argentina.
Yatay 240. CABA.*

RESUMEN.

En nuestro país no existen leyes ni estándares que regulen en forma completa y segura la calidad del agua destinada a actividades recreativas. Incluso en el ámbito internacional las regulaciones existentes son escasas. Sin embargo, en los balnearios de mar, ríos, lagos o lagunas de nuestro planeta se sumergen cada día cientos de miles de personas, quedando la salud pública expuesta a riesgos debidos a la falta de controles obligatorios y estandarizados. Otro aspecto del problema es el que enfrentan las personas que debido a sus profesiones se desempeñan en estrecho contacto con este tipo de aguas, quedando expuestas a un riesgo laboral. Tal sería el caso de buzos, guardavidas y deportistas de distintas disciplinas.

En junio de 2016 nuestro grupo de trabajo fue invitado a realizar un relevamiento de la calidad del agua de la laguna artificial ubicada en terrenos de la Agrupación de Ingenieros 601 en Campo de Mayo (Ejército Argentino). En ella efectivos y cadetes realizan actividades de distinto tipo, como ser adiestramiento y práctica de zapadores y de buzos.

En el trabajo completo se describe la investigación llevada a cabo para establecer una metodología adecuada para evaluar la calidad de este tipo de aguas con base en el marco legal local e internacional y los resultados de este estudio de caso en particular.

Palabras Clave: salud pública, seguridad e higiene laboral, calidad del agua, aguas recreativas.

ABSTRACT

In Argentina there are no laws or standards that regulates in a full and safely way the quality of water for recreational activities. Even at an international level the existing regulations are scarce. However, every day hundreds of thousands of people swim into the seas, rivers, lakes or ponds around the world. Thus the public health is exposed to risks due to the lack of required and standardized controls. Another aspect of the problem is the people who work in close contact with these waters. They are being exposed to an occupational hazard. Such is the case of divers, lifeguards and athletes from different disciplines.

In June 2016 our working group was invited to conduct a research to measure water quality of the artificial lake located on lands of the Agrupación de Ingenieros 601, in Campo de Mayo (Argentine Army). In that lake the troops and cadets performed various kinds of activities, such as training and practice of sappers and divers. The full paper summarizes the research conducted to establish the right methodology for assessing the quality of this kind of waters based on the local and international legal framework and the results of this particular case study.

Keywords: public health, occupational health and safety, water quality, recreational waters.

1. INTRODUCCION

Muchas profesiones se desempeñan en estrecho contacto con el agua. Entre otras, podemos citar a guardavidas, buzos y deportistas de distintas disciplinas. Para estos profesionales, entrar en contacto con aguas de mala calidad constituye un factor de riesgo que puede desencadenar una enfermedad o accidente laboral. Por otra parte, todos los días, cientos de miles de bañistas, se sumergen en las aguas de balnearios alrededor del mundo quedando la salud pública expuesta a riesgos que surgen de la falta de controles obligatorios de la calidad del agua.

El término calidad del agua es relativo y solo adquiere relevancia cuando está relacionado con el uso del recurso. [1]. Un curso de agua suficientemente limpio como para permitir la vida de los peces puede no ser apto para que la gente nade en él, así como un agua apta para consumo humano puede no ser útil para todas las industrias, tal sería el caso de un agua dura. El uso de los recursos hídricos para fines recreativos plantea problemas si se tiene en cuenta que es precisamente en los asentamientos de máxima concentración poblacional e industrial donde surgen los mayores requerimientos de medios de esparcimiento por parte de una población siempre creciente. La mayoría de los investigadores han acordado que la calidad bacteriológica del agua para bañarse no necesita ser tan alta como para beberla, pero que debería ser mantenida razonablemente libre de bacterias patógenas. Al mismo tiempo, el agua para fines recreativos debería estar libre de contaminantes químicos que presenten toxicidad.

Si bien el riesgo que representan las aguas recreativas de mala calidad es reconocido en diversos ámbitos, esta preocupación no se ha traducido en una normativa clara que regule sobre el tema y establezca sin lugar a dudas cuáles son los parámetros a considerar y los valores límite admitidos específicamente para este uso del agua. [2]. La situación se repite en los distintos niveles: municipal, provincial, nacional e internacional. El hecho de que cada curso de agua requiera de estudios específicos para el tipo de contaminación que lo amenaza, no debería ser excusa para que los distritos dejen de legislar y controlar. Las denominadas "normas internacionales" para aguas recreacionales (en el sentido de que sean aplicables a todos los balnearios del mundo) no son tales, ni siquiera pueden ser seguidas por países distintos con un nivel de desarrollo similar. Las normas locales suelen ser establecidas para cuerpos de agua sujetos a descargas puntuales de efluentes cloacales y no son válidas, por ejemplo para aquellos ambientes sujetos a fuentes dispersas. Estas fuentes también pueden representar un riesgo para la salud, pero no hay todavía investigaciones específicas con respecto a la aplicabilidad de esos estándares, quizás debido a la dificultad del control y seguimiento de este tipo de aporte. En nuestro país tampoco hemos desarrollado un criterio propio (nacional o regional), habiéndose adoptado en ciertos casos, el de otros países u organizaciones. [3]. La Comunidad Económica Europea hace hincapié en no aplicar este tipo de regulaciones en países distintos de aquellos para los cuales fueron creadas, sin haber realizado estudios específicos. Sin embargo existen publicaciones de carácter general como las "Guías de la Organización Mundial de la Salud para ambientes seguros en aguas recreativas"

Las aguas recreativas pueden clasificarse en aguas de contacto primario cuando en ellas se desarrollan actividades que requieren inmersión tales como natación y buceo; y en aguas de contacto secundario cuando se desarrollan actividades como canotaje, remo, pesca deportiva, etc. [4]. Los requerimientos sanitarios variarán para uno u otro caso, debido al distinto grado de exposición del usuario. Si en el estudio de la calidad del agua se desean evaluar los impactos ambientales junto con los sanitarios, aumentará aún más el nivel de exigencia.

2. ESTUDIO DE CASO

Nuestro grupo de trabajo fue invitado a realizar un relevamiento de la calidad del agua de la laguna artificial ubicada en terrenos de la Agrupación de Ingenieros 601 en Campo de Mayo del Ejército Argentino. En ella efectivos y cadetes realizan actividades de distinto tipo, como ser adiestramiento y prácticas de zapadores y de buzos. [5].



Figura 1: Práctica y adiestramiento en la laguna. Fuente: Ejército Argentino, Sitio oficial. [5].

La fuente de alimentación de la laguna es agua de lluvia y fluidos provenientes de desagües no cloacales. Está ubicada en la Agrupación de Ingenieros 601, Campo de Mayo, 34°33' 51.54" S y 58°39' 16.90" O. [6].



Figura 2: Imagen Satelital de la laguna. Fuente: Google Earth. [6].

3. NORMATIVA CONSULTADA

Se consultaron las siguientes normas legales con el fin de definir metodologías de evaluación de la calidad del agua de la laguna:

- Ley Nacional 24051 de Desechos Peligrosos, reglamentada por el Decreto 831/93, en su Anexo II Tabla 7, que propone niveles guía para aguas de recreación. [7].
- Ley nacional 19587. (1972). "Sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo". [8].
- Publicaciones del año 2003 de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación: "Desarrollo de Niveles Guía de calidad de Agua Ambiente correspondiente a *Escherichia coli* y enterococos" y "Metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para recreación humana". [4,9].
- Normativa de Balneabilidad Municipal, publicada en 2013 por la Dirección Laboratorio de Bromatología de la Ciudad de Posadas. Esta normativa resultó ser la más completa sobre el tema ya que comprende definiciones, criterios de decisión y tablas de valores límite para la presencia de contaminantes químicos y microorganismos. [10].
- "Directrices Sanitarias para Natatorios y Establecimientos Spa", publicadas en 2014 por el Ministerio de Salud de la Nación, basadas en la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de desarrollar guías relacionadas con el uso recreativo del ambiente de agua. El documento se extiende sobre cuestiones constructivas de las instalaciones y sobre el personal que obligatoriamente debe trabajar en ellas, pero no especifica ni establece recomendaciones acerca de los parámetros a evaluar ni se acompaña de tabla de niveles guía. [11].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

La decisión acerca de la metodología a emplear y los parámetros a medir durante la experiencia se tomó en base a las recomendaciones observadas en las normas consultadas y teniendo en cuenta las capacidades técnicas de nuestros laboratorios. Se seleccionaron una serie de parámetros físicos, químicos, físico – químicos, biológicos y microbiológicos, cuya importancia e incidencia en la calidad del agua se describe en el próximo apartado. El método analítico empleado para la determinación analítica de cada parámetro se detalla junto con los valores observados en la sección "Resultados" de este mismo trabajo.

4.1. Parámetros seleccionados para el análisis.

Los parámetros seleccionados para ser analizados [2, 9, 12 - 17], se describen a continuación, en orden alfabético.

Arsénico: Es un elemento muy tóxico para el hombre, con efectos de daño hepático y cancerígenos, principalmente cáncer de piel. Intoxicaciones severas llevan a la muerte. Es bioacumulativo (por consumo durante tiempo prolongado se acumula en tejidos tales como uñas y cabellos). Es muy frecuente su presencia en aguas naturales en bajas cantidades, hasta 0,01 ppm, y su concentración sube abruptamente en las cercanías de explotaciones mineras. Se

conoce como HACRE, hidroarsenicismo crónico regional endémico, a la enfermedad ambiental producida por el consumo de aguas contaminadas con sales de arsénico. Se ha detectado su presencia natural habitual en el agua de pozo que se consume en el centro y norte de la Provincia de Buenos Aires, en cantidades que superan los límites máximos permitidos.

Caracteres organolépticos: Son aquellos que se perciben con los sentidos tales como sabor, olor, color, etc.

Coliformes totales: Las bacterias coliformes se toman como indicadores de contaminación del agua porque provienen del tracto intestinal y materia fecal del hombre y los animales, sobreviven largo tiempo en el agua y son fáciles de detectar. En el agua para consumo humano se deben encontrar 0 NMP/100 mL (número más probable/100 mL), mientras que en las aguas recreativas puede aceptarse la presencia de hasta 1000 NMP/100 mL.

Color del agua: puede afectar el desarrollo normal de la flora y la fauna autóctona. El color no está regulado para el uso recreativo de lagos y lagunas, pero considerado en conjunto con la transparencia, turbidez y pH, dará una idea de la calidad general del agua.

Cromo VI: es un tóxico peligroso para la salud humana, causando desde problemas en la piel, daños respiratorios, daño hepático, cáncer de pulmón, úlceras, alteraciones genéticas y en casos extremos, la muerte. Su presencia en el agua se debe a contaminación de tipo industrial. También se observa la presencia de cromo en el ambiente como consecuencia de las emisiones de combustión de combustibles fósiles.

Demanda biológica de oxígeno, DBO₅: La materia orgánica presente en un curso de agua es biodegradada por los microorganismos aeróbicos (que trabajan en presencia de oxígeno). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es una técnica usada para establecer los requerimientos de oxígeno necesarios para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua.

Fosfatos: (PO₄³⁻) Los fosfatos en el agua provienen de: fertilizantes, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza. Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento indiscriminado de algas en las aguas superficiales, fenómeno conocido como eutrofización.

Mesófilos aerobios totales: Los microorganismos mesófilos totales rara vez constituyen un peligro por sí mismos, su presencia indica posible contacto del agua con fuentes contaminadas o falta de higiene de los reservorios y tanques de almacenamiento.

Nitratos: El agua con altas concentraciones de nitratos (NO₃⁻) representa un riesgo para la salud. Si se ingiere el agua, la acción de la flora estomacal reductora puede transformar los nitratos en nitritos, capaces de convertir a la hemoglobina en metahemoglobina, inhibiéndose el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque este sería un proceso reversible, puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños. Los nitratos también pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos cuyos efectos son cancerígenos.

Oxígeno Disuelto: Su concentración depende de la difusión en el agua del aire del entorno, la aireación del agua debida a saltos o agitación, y como subproducto de la fotosíntesis. Su concentración también varía con la temperatura, disminuyendo a medida que esta aumenta. La superpoblación bacteriana disminuye el oxígeno disuelto, lo mismo que la eutrofización de los cursos de agua.

pH: Este valor, que representa el potencial de hidrógeno de una solución acuosa se calcula como: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Un pH igual a 7 indica un medio neutro, menor a 7, un medio ácido y por encima de 7 un medio básico. Valores de pH en el agua entre 6 y 9 son los más aptos para el desarrollo de la vida acuática. El pH de las aguas puede variar según los distintos tipos de vertidos que reciban las mismas. El desarrollo de algas en un curso de agua consume CO₂ y eleva el pH. Un pH por encima de 9 favorece el desarrollo de cianobacterias que no solo afectan la coloración del agua sino que también pueden generar toxinas como las microcistinas (hepatotoxinas), anatoxinas (neurotoxinas) y toxinas irritantes de piel y mucosas.

Sólidos totales disueltos: pueden afectar seriamente la palatabilidad del agua y provocar reacciones fisiológicas adversas en el consumidor. Su límite se establece en 500 ppm (mg/L).

Temperatura: En realidad no es relevante la temperatura absoluta del espejo de agua sino el ΔT o variación de temperatura, que resulta ser la diferencia entre la temperatura del agua el día de muestreo y la temperatura media anual del agua que según el Atlas Ambiental de Buenos Aires, es de 20°C en los cursos y espejos de agua de la Provincia de Buenos Aires.

Transparencia: La falta de transparencia del agua está relacionada con la presencia de materia en suspensión, la cual puede ser de origen inorgánico (arcilla, sílice y otras partículas minerales) o biológico (algas, cianobacterias, pigmentos como la clorofila, toxinas como las microcistinas). La falta de transparencia impide el paso de luz afectando la flora y la fauna natural de la laguna. La presencia de cianobacterias constituye un riesgo de intoxicación para el ser humano.

Turbiedad o turbidez: no está regulada para el uso recreativo de lagos y lagunas, pero considerado en conjunto con la transparencia, color y pH, dará una idea de la calidad general del agua. Se desconoce si la turbidez generada por partículas coloidales tiene efectos directos sobre la salud humana pero ciertamente afecta la calidad estética del agua. El nivel recomendado es de 5 UT.

4.2 Metodología de evaluación

Si los resultados obtenidos en los múltiples análisis físicos, químicos y microbiológicos descriptos más arriba se analizan únicamente en forma aislada, se torna muy difícil realizar un diagnóstico acertado sobre la calidad del agua del recurso estudiado. Para facilitar la evaluación y toma de decisiones, es cada vez más frecuente trabajar en base a indicadores que resultan de la combinación de varios resultados a fin de obtener un criterio de decisión único. A continuación se describen los indicadores elegidos para evaluar la calidad del agua de la muestra analizada.

Análisis ambiental mediante cálculo de ICA: El Índice de Calidad del Agua (ICA) o Water Quality Index (WQI), desarrollado por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos (NSF), permite evaluar la calidad ambiental y los usos admitidos para el agua de ríos, lagos y lagunas. Se obtiene un único valor numérico a partir de la combinación algebraica de 9 parámetros: oxígeno disuelto, DBO5, coliformes, pH, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y sólidos totales. El resultado obtenido es un número de 0 a 100 que se compara con una escala pre-establecida que permite definir calidad y usos posibles del agua.

Análisis biológico mediante Test de *Allium cepa*: Se compara la longitud media estadística alcanzada por las raíces de los bulbos de la especie *allium cepa* puestos en contacto con el agua de la muestra con la longitud media desarrollada por las raíces de los bulbos germinados en un blanco de agua del grifo en el mismo lapso de tiempo (48 a 72 h). El % de inhibición del crecimiento de la muestra contra el blanco y la presencia o ausencia de tumores en las raíces permite evaluar la biotoxicidad del agua analizada.

El resto de los parámetros se agruparon en categorías tales como parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. Los resultados obtenidos se contrastaron con los valores guía o valores límite establecidos en la normativa investigada.

5. RESULTADOS

5.1 Resultados para los parámetros analizados

El objetivo fue evaluar el grado de riesgo sanitario que enfrenta el personal que realiza prácticas en la laguna y el impacto ambiental que la laguna ejerce en su entorno.

Las muestras se tomaron el 21 de junio de 2016 a las 14 h. La temperatura ambiente reinante era de 16°C. Se utilizaron frascos de vidrio opaco esterilizados en autoclave. Los valores obtenidos se detallan en las Tablas 1 a 4. Se midieron y analizaron diversos parámetros que nos permitieron realizar una evaluación física, evaluación química, bioquímica, microbiológica, biológica y ambiental del agua.

Debido a la inexistencia de una única normativa específica, debimos recurrir a múltiples fuentes para seleccionar parámetros de medición, decidir metodologías de trabajo y obtener tablas de valores límite. [18].

Tabla 1: *Parámetros físicos: Resultados obtenidos.*

Transparencia del agua <i>Metodología: Disco de Secchi.</i>	Valor observado: 20 cm	óptimo lagos y lagunas: entre 40 y 60 cm.
Color <i>Método de difenilcarbohidrazida.</i>	109 PCU (platino cobalto units)	Límite recomendado: 20 PCU para lagos y lagunas.
Turbidez <i>Método de formazina.</i>	17 UT	Límite recomendado: 5 UT
Temperatura del agua <i>Con pirómetro láser.</i>	16°C	ΔT (respecto al promedio anual Prov. Bs. As) -4°C

Tabla 2: Análisis químico: Resultados obtenidos.

pH <i>Con electrodo</i>	Valor medido: 9,7	Óptimo para aguas recreacionales: 6,0 a 9,0
Nitratos NO ₃ ⁻ <i>Mét. Red.de cadmio</i>	20 mg /litro	Máximo permitido: 50 mg / litro (OMS); 45 mg/litro (CAA)
Fosfato PO ₄ ³⁻ <i>Mét. Ác. Ascórbico</i>	Menor a 1 mg /litro	Óptimo: menor a 1 mg /litro
Sólidos totales disueltos. <i>Conductímetro.</i>	243 ppm	Máximo: 500 ppm
Cromo (IV) <i>Mét. difenilcarbazona</i>	0 µg /Litro	(0,05 mg/litro o 50 /Litro)
Arsénico <i>Método de Gutzeit</i>	0,01 ppm	Límite: hasta 0,05 ppm
Oxígeno disuelto <i>Método de Winkler</i>	6,7 mg/Litro	Óptimo entre 5 y 9 mg /litro
Saturación de oxígeno disuelto.	73%	Para contacto primario (inmersión) se recomiendan valores superiores a 70%
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5). <i>Método de dilución</i>	380 ppm	Valores por encima de 30 pueden ser indicativos de contaminación o eutrofización.

Tabla 3: Resultados del análisis microbiológico.

Coliformes totales <i>Cultivo en caldo Lauryl Tryptosa y confirmación en caldo Lactosado Bilis Verde Brillante.</i>	64 NMP /100 mL	Límite hasta 1000 NMP/100 mL para aguas recreativas
Mesófilos Aerobios totales <i>Recuento de colonias en medio PCA.</i>	MNPC (Muy numerosos para contarlos)	Hasta 500 UFC/mL

Tabla 4: Observación de caracteres organolépticos.

Agua de aspecto visual turbio con leve tonalidad verdosa. No se observan grasas, aceites, espumas ni otros materiales flotantes. En el día de muestreo no se perciben olores desagradables.

5.2. Resultados de los indicadores calculados

5.2.1 Cálculo de ICA

El valor obtenido para cada uno de los 9 parámetros que integran el ICA se introduce en un gráfico característico, desarrollado por científicos de la NSF, mediante el método Delphi de la Corporación Rand. [19 - 21]. A partir del gráfico se obtiene para cada parámetro un valor transformado Qi (Quality Index) que se utiliza para calcular el índice al multiplicar cada Qi por su peso específico Wi (ver Tabla 5), según la fórmula de la Ecuación (1).

$$ICA = \sum (Q_i * w_i) \quad (1)$$

Tabla 5: Peso específico de los parámetros.

i	Parámetro	W i
1	Coliformes fecales	0,16
2	pH	0,11
3	DBO ₅	0,11
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos disueltos totales	0,07
9	Oxígeno Disuelto	0,17

El resultado obtenido para el ICA del agua de la laguna es 59, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6: Cálculo del ICA.

Parámetro	Peso (wi)	Índice de calidad (Qi)
Oxígeno disuelto	0,17	79
Coliformes fecales	0,16	49
pH	0,11	49
Demanda biológica de oxígeno	0,11	5
Cambio de temperatura	0,10	80
Fosfato total	0,10	100
Nitratos	0,10	37
Turbidez	0,08	65
Sólidos totales	0,07	67
Basado en los valores de los nueve parámetros y considerando el peso de cada uno en el índice total, el índice de calidad del agua (ICA) para la muestra analizada es de 59.		

De acuerdo con el valor de ICA calculado la calidad del agua es mediana, de acuerdo con la escala que se detalla en la Tabla 7. [21].

Tabla 7: Valoración según ICA.

Rango	Calidad
90-100	Excelente
70-90	Buena
50-70	Mediana
25-50	Mala
0-25	Muy mala

5.2.2 Test de *allium cepa*

El test de *Allium cepa* es de utilidad para conducir investigaciones sobre aguas, ya sean de consumo humano, de depósitos municipales, aguas superficiales o subterráneas, efluentes cloacales u otras. El Programa Internacional de Bioensayos Vegetales, La Real Academia Sueca de las Ciencias y el GENE – TOX PROGRAM, entre otros, alientan su uso como bioindicador para ensayos de biotoxicidad y genotoxicidad. [22]. Cuando un bulbo de la variedad de cebolla *Allium* sp. se rehidrata se produce una estimulación del crecimiento de las células, lo cual permite la elongación de las raíces de la planta. Sin embargo, cuando la hidratación se lleva a cabo en presencia de sustancias tóxicas, la división celular de los meristemos radiculares puede inhibirse, ya sea retardando el proceso de mitosis o destruyendo las células. Este tipo de alteraciones generalmente impide el crecimiento normal de la raíz, y por tanto impide su adecuada elongación. [23]. El efecto se determina en forma indirecta, mediante la comparación de la elongación de las raíces de los bulbos expuestos al compuesto tóxico contra la de bulbos no expuestos. La cuantificación del efecto se realiza estableciendo el porcentaje de inhibición del crecimiento (%IC) de las raíces expuestas al tóxico respecto a la longitud promedio de las raíces del control. [24]. La importancia del *Allium cepa* test radica en que es un excelente modelo de ensayo *in vivo*, donde es posible evaluar el daño producido por una sustancia o solución de interés sobre el crecimiento de las raíces y sobre el ADN vegetal. Es ventajoso el uso del *Allium cepa* test por emplearse como indicador biológico una planta vascular, lo que permite configurar un modelo excelente para realizar ensayos sobre sustancias contaminantes, mutagénicas o cancerígenas cuyos datos pueden ser extrapolados a toda la biodiversidad de plantas y animales. [25]. En la Figura 3 se puede observar la siembra de bulbos de *allium cepa* de la familia Amarillidaceae y la elongación de las raíces observada al cabo del tiempo de germinación de 72 horas.

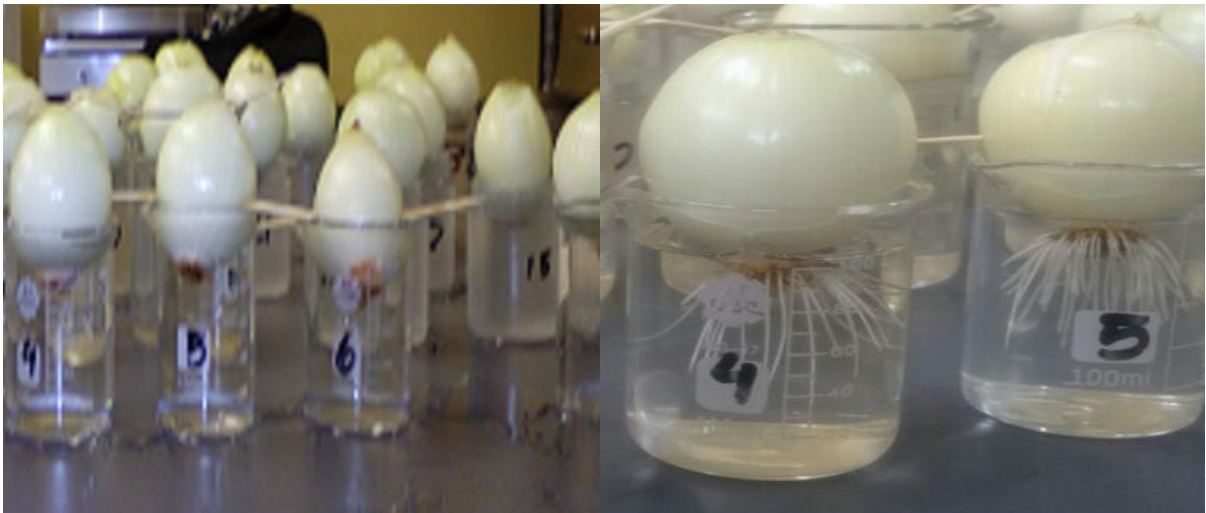


Figura 3: Siembra de bulbos de la familia Amarillidaceae y elongación de las raíces.

Los valores individuales de elongación de las raíces (en mm) observados al cabo de 72 horas se reflejan en la Tabla 7.

Tabla 7: *Elongación de las raíces*

H ₂ O (Control) en mm	Muestra en mm
1,5	1,5
2	1,3
1,6	0,8
0,8	0,9
2	3,5
1,5	1,4
0,5	2
1,5	1,3
1,2	1,2
2	0,9
2,5	0,8
1,2	1,1
2	0,9
0,7	1,1
1	0,7
1,4	0,5
0,5	
0,3	

La Tabla 8 refleja el cálculo la longitud media y del porcentaje de inhibición del crecimiento de las raíces en ese mismo lapso de tiempo:

Tabla 8: *Cálculo de la longitud media y del % de inhibición del crecimiento.*

MÍN (*)	0,50	0,60	0,10	0,30
MÁX (*)	3,50	2,00	1,10	2,50
RANGO (*)	3,00	1,40	1,00	2,20
MEDIA (*)	1,24	1,18	0,51	1,34
%VRC	7,49	12,60	62,19	0,00
MODO (*)	0,90	1,00	0,70	2,00
MEDIANA(*)	1,10	1,05	0,45	1,45
DESVÍO M(*)	0,70	0,42	0,33	0,62
(*) en mm				

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusión: acerca de la calidad del agua de la laguna y recomendaciones.

No se observa contaminación química.

La coloración observada y medida, asociada a la turbidez, falta de transparencia, la elevada demanda de oxígeno y el color levemente verdoso indican un desarrollo importante de algas u otros organismos fotosintéticos.

El valor de ICA obtenido indica que se trata de un agua con calidad ambiental media. Esto significa que el agua presenta calidad aceptable para usos de recreación, observando la precaución de no ingerir. Su calidad es también aceptable para riego y para usos industriales. Se debe tener precaución en el consumo de peces desarrollados en estas aguas. El agua no es apta para consumo humano sin potabilizar.

Al observarse un bajo % de inhibición de crecimiento de las raíces de *allium cepa* y no detectarse desarrollo de tumores en las raíces se concluye que las aguas no presentan biotoxicidad significativa.

Para mejorar la calidad de la laguna se recomienda bajar el pH cada vez que supere el valor de 9. También es conveniente oxigenar la laguna, lo que se puede lograr en forma sencilla mediante agitación intensa de sus aguas. Métodos de oxigenación sugeridos: generar corrientes de intercambio de oxígeno mediante el bombeo de chorros de agua hacia la superficie de la laguna o agitación mediante un molino de paletas. Un aumento en el O₂ disuelto y una disminución en la DBO se traducirán en un mejor valor de ICA.

Se concluye que el agua de la laguna resulta apta para las actividades que se desarrollan en ella, TENIENDO LA PRECAUCIÓN DE NO INGERIR.

6.2. Conclusión acerca de la metodología de trabajo.

La realización del trabajo de campo constituyó una experiencia educativa multidisciplinaria muy enriquecedora ya que de la misma participaron alumnos de nivel secundario (Escuela Secundaria ORT área de Química) y alumnos de nivel universitario (Ingeniería Industrial de la UP e Ingeniería Química de la EST-UNDEF), junto a docentes de esas instituciones y personal militar y civil del ejército.

La mayor dificultad encontrada en la realización de este trabajo de campo fue realizar la elección de una metodología adecuada de evaluación de resultados, debido a la inexistencia de estándares nacionales o internacionales completos, a la pluralidad de tablas de valores guía y a la falta de metodologías específicas para la evaluación de la calidad de las aguas recreativas.

Si bien cada río, laguna, curso de agua o balneario presenta un desafío distinto en función de sus contaminantes característicos, no debería ser imposible desarrollar los lineamientos para calcular un indicador de balneabilidad que sea posible de adaptar a distintos escenarios. Por otra parte se impone la necesidad de homologar los valores guía o límite para distintos contaminantes y microorganismos cuya determinación hoy en día ya es de práctica universal. Las tablas de valores guía consultadas (OMS, CAA, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, etc.) son en muchos casos incompletas y algunos de los valores tabulados presentan diferencias de una guía a otra. Los especialistas en el tema deberían armonizar estos estándares a nivel internacional, dado que los riesgos para la salud y laborales a los que están expuestos los trabajadores del sector y los bañistas no varían al cruzar una frontera.

La difusión y discusión del tema en ámbitos académicos como el presente Congreso, puede ser un camino que conduzca a encontrar la solución a un problema que pone en riesgo la salud pública y la seguridad laboral de un amplio grupo de personas.

7. REFERENCIAS

- [1]. Barrenechea Martel, A. (2004). "Tratamiento de agua para consumo humano: Aspectos físico químicos de la calidad del agua"
<http://bibliotecavirtual.minam.gov.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>
- [2]. Nadal, F.; Ruiz, M.; Rodríguez, M.I.; Halac, S.; Olivera, P. (2012). "Evaluación de la calidad del agua para uso recreativo del Embalse san Roque, Córdoba, Argentina."
<http://www.ina.gov.ar/pdf/CIRSA-Evaluacion-valoracion-de-la-calidad-de-agua-del-Embalse-San-Roque-para-uso-recreativo-2012.pdf>
- [3]. Acuña del pino, N.; Meyer, R.; Haye, M.A.; Lerman de Abramovich, B. (1998). "Contaminación bacteriana en aguas recreacionales, factores intervinientes".
http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/contaminacion_bacteriana_en_aguas_recreacionales.pdf
- [4]. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2003). "Metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para recreación humana"
<http://www.pnuma.org/agua-miaac/CODIA%20CALIDAD%20DE%20LAS%20AGUAS/MATERIAL%20ADICIONAL/PONENCIAS/PONENTES/Tema%205%20Niveles%20Guias%20Calidad%20de%20Aguas/NIVELES%20GUIA/2%20-%20Metodologias/5%20-%20Metodologia%20Recreacion.pdf>
- [5]. Ejército Argentino (2016). Adiestramiento de la Compañía de ingenieros Buzos del Ejército 601. <http://www.ejercito.mil.ar/sitio/2015/noticias/noticia.asp?Id=3426>
- [6]. Google Earth. (2016) Campo de Mayo, Bs. As. Argentina. Imagen Digital Globe.
- [7]. Boletín Oficial de la Nación (1993). Ley 24051. Decreto Nacional 831/93. "Reglamentación relativa a residuos peligrosos".
http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/residuos/dec831/dec831_93.htm
- [8]. Ley Nacional 19587. (1972). "Sobre higiene y seguridad en el trabajo"
<http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/17612/norma.htm>
- [9]. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2003). "Desarrollos de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a ESCHERICHIA coli / Enterococos"
<http://www.pnuma.org/agua-miaac/CODIA%20CALIDAD%20DE%20LAS%20AGUAS/MATERIAL%20ADICIONAL/PONENCIAS/PONENTES/Tema%205%20Niveles%20Guias%20Calidad%20de%20Aguas/NIVELES%20GUIA/4%20-%20Desarrollos/escherichia.pdf>
- [10]. Dirección del Laboratorio de Bromatología de la Municipalidad de Posadas. (2013), "Normativa de balneabilidad"
www.posadas.gov.ar/descargar.php?f=normativa.de.balneabilidad.doc
- [11]. Directrices Sanitarias para Natatorios y Establecimientos Spa. (2014). Programa de Calidad de Agua y Salud. Departamento Salud Ambiental. Ministerio de Salud.
http://www.msal.gov.ar/images/stories/bes/graficos/0000000342cnt-12-Directrices_natatorios_baja_baja.pdf
- [12]. Truque, B.P.A.; (2012). Armonización de los estándares de agua potable en las Américas.
<https://www.oas.org/DSD/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- [13]. Lentech (s.f.) ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?
<http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>
- [14]. Laboratorio de química ambiental. (1997). Métodos de análisis de aguas.
http://www.drcaledonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm
<http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>
- [15]. Código Alimentario Argentino (2007). Agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario. http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo_XII.pdf

- [16]. Fuenmayor, G.; Jonte, L.; Rosales-Loaiza, N.; Morales, E. (2009). "Crecimiento de la cianobacteria marina *Oscillatoria* sp. MOF-06 en relación al pH en cultivos discontinuos". Rev. Soc. Ven. Microbiol. V.29 n.1 Caracas jun. 2009
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562009000100005
- [17]. Cattaneo, M. P.; López Sardi, E. M. (2013). Evolución de la calidad del agua de la Cuenca Matanza Riachuelo. Ciencia y Tecnología, vol. 1 no 13.
<https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/cyt/article/viewFile/110/50>
- [18]. Gransky, R. (2004). "Niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente". ACQUASUR 2004. 3er encuentro latinoamericano "agua en el desarrollo sustentable de América Latina"
- [19]. Lino Valcarcel Rojas, Nancy Alberro Macías, Daniel Frías Fonseca. (2001). El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN). Ciudad de La Habana. Cuba.
<ama.redciencia.cu/articulos/16.01.pdf>
- [20]. Luis F. León Vizcaíno. (2009) "Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala." Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
- [21]. Brian Oram. (2016). The water quality index. Monitoring the quality of surfacewaters. Calculating NSF WQI. B.F. Environmental Consultants Inc. <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>
- [22]. Firbas, P. (2011), *Test Report for Flaska*, <http://www.flaska.si/files/original/756.pdf>
- [23]. Rothman, S. y Dondo G., (2008), *Cebolla Allium cepa*, Cátedra de Horticultura, Departamento producción vegetal, Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad nacional de Entre Ríos.
<http://web.archive.org/web/20131105022125/http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/horticultura/cebolla.pdf>
- [24]. Díaz Báez, M. C.; Ronco, A. y Pica granados, Y., (2004), *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. G. Castillo (Ed.). IDRC, IMTA, Canadá.
- [25]. Solange Bosio Tedesco and Haywood Dail Laughinghouse IV (2012). *Bioindicator of Genotoxicity: The Allium cepa Test*, Environmental Contamination, Dr. Jatin Srivastava (Ed.), ISBN: 978-953-51-0120-8, InTech, <http://www.intechopen.com/books/environmental-contamination/bioindicator-of-genotoxicitythe-allium-cepa-test>