

Evaluación de las características fisicoquímicas, microbiológicas y ecotoxicológicas del agua del Embalse Las Maderas, Jujuy.

Sandra A. Giunta¹, Jorge R. Escalante¹, Weibel Guillermo² & María Camacho¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.² W&E Consultora Ambiental. Jujuy
sagiunta21@gmail.com

RESUMEN: El embalse Las Maderas es un ambiente de usos múltiples, ya que además de los fines energéticos y de riego, se desarrollan actividades tales como la pesca recreativa, deportiva, artesanal, náutica y turismo. El presente trabajo se realizó para ser aplicado como un esquema de diseño para el monitoreo de ambientes de aguas superficiales en la Provincia de Jujuy. Durante Enero y Diciembre de 2011 se iniciaron campañas mensuales de monitoreo en el 1° dedo del embalse. Se valoraron parámetros físico-químicos y microbiológicos y por bioensayos se evaluó la sensibilidad de organismos frente a las muestras de agua recolectadas. Se escogieron 4 sitios de muestreo en el embalse. En cada sitio se midió la temperatura, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y el pH. La concentración de cationes fue medida por espectrofotometría de absorción atómica y la de nitritos, nitratos, amonio, fósforo total y fosfatos por colorimetría. Los parámetros físico-químicos seleccionados fueron: turbiedad, sólidos totales, alcalinidad de bicarbonatos y de carbonatos, amoníaco, nitratos, nitritos, fósforo total, fosfatos, calcio, magnesio, dureza total, hierro, cloruros sulfatos y cromo. Los parámetros microbiológicos fueron: bacterias aerobias, coliformes totales, coliformes fecales. Se realizaron bioensayos de laboratorio con semillas de *Lactuca sativa*. Los valores de OD variaron entre 3 a 12 mg/L y el pH entre 5,60 y 6,90. Con los resultados se calculó el índice de calidad de agua (ICA) de cada uno de los sitios muestreados del Embalse. Los valores de ICA obtenidos variaron entre 58 y 70.

1 INTRODUCCIÓN

La calidad de agua para uso recreativo en centros turísticos es un factor primordial para garantizar la protección de la salud de los usuarios y un punto de interés para el sector turístico y adquieren un valor agregado al contar con un nivel aceptable de calidad del agua. El agua, elemento vital para los ecosistemas y para las sociedades humanas, se vuelve cada vez más escasa por su disponibilidad cuantitativa y cualitativa para los diferentes usos sociales, en particular para fines recreativos. Con frecuencia las aguas superficiales sirven como receptoras de aguas residuales, hecho que incrementa el riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico en las personas que desarrollan actividades que implican un contacto directo con dicha líquido. Las aguas destinadas a uso recreacional pertenecen a cuerpos superficiales que se utilizan principalmente para baño y actividades deportivas (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2002). No existen normas que fijen concentraciones máximas de indicadores de contaminación en aguas recreativas, que hayan sido adoptadas por todos los países. La aplicación universal de un criterio de calidad bacteriológica es difícil por una serie de factores ambientales

que afectan la relación entre el indicador, la exposición y la posibilidad de contraer enfermedades (Emiliani F, et al. 1999). De acuerdo con las condiciones abióticas y las características bióticas del medio que los recibe, las bacterias coliformes pueden prolongar o disminuir su sobrevivencia, que también es afectada por la velocidad de la corriente, caudal, posibilidad de sedimentación, reflujo de los ríos receptores, etc (Pommoplury et al, 1992). El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua para el uso recreativo con contacto directo, mediante la utilización de parámetros físico - químicos y microbiológicos como ecotoxicológicos del agua del Embalse Las Maderas.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudio

El Dique las Maderas es un dique lateral cuya alimentación la recibe a través del Canal Matriz y está destinado a regular los aportes a régimen natural de los ríos Perico y Grande para su aprovechamiento con fines de riego y generación de energía. Tiene una capacidad de embalse de

300 Hm³, siendo el cierre un dique de tierra de 93 m de altura y 450 m. de longitud de coronamiento. El espejo de agua a cota de vertedero tiene una superficie de 950 Has. A los efectos de generar energía aprovechando el desnivel existente entre el embalse y el Río Las Pavas, de orden de los 120 m., para la conducción del agua se construyó una galería de presión revestida en hormigón de 3.500 m. de longitud y un diámetro interno de 3 m. dicha galería tiene en la progresiva 140 una torre de compuertas y en la progresiva 3.260 una chimenea, nace un conducto blindado, revestido en acero, con una fuerte pendiente de 45°, que salva un salto de 80 m. y termina en el punto donde se bifurca la cañería para alimentar a las 2 turbinas de la central. Con el objeto de obtener información preliminar sobre los sitios de muestreo y componentes a analizar, se efectuó un muestreo exploratorio. Según esta premisa se ubicaron 4 estaciones de monitoreo en el Embalse Las Maderas. Las estaciones de muestreo son:



Figura 1. Imagen satelital del Embalse Las Maderas (○ puntos georeferenciados)

Punto georeferenciado	Ubicación
SITIO 1	24° 26' 82" S 65° 16' 04" O
SITIO 2	24° 26' 89" S 65° 17' 17" O
SITIO 3	24° 27' 34" S 65° 15' 87" O
SITIO 4	24° 26' 10" S 65° 16' 15" O

2.2 Muestreo

Se analizaron un total de 96 muestras de aguas superficiales, durante el período comprendido entre enero y diciembre de 2009, las que fueron extraídas con una frecuencia mensual. La toma y conservación de muestras para los análisis

fisicoquímicos y bacteriológicos se realizaron de acuerdo a las normas del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 30 cm en cada punto seleccionado en el embalse. A campo se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica y temperatura, con un analizador múltiple.

2.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Se seleccionaron 16 parámetros fisicoquímicos, exigidos por la Legislación Nacional para calificar la calidad de las aguas destinadas a riego y consumo humano. Se toma para la realización de este estudio el criterio adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Se seleccionaron 5 parámetros microbiológicos para dar cumplimiento a las exigencias de la Legislación Nacional para aguas de riego y consumo humano. Los mismos son: Bacterias aerobias, bacterias Coliformes totales, Coliformes fecales, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium* sp. y *Streptococcus faecalis*. La técnica inferencial aplicada corresponde al Análisis de Varianza para las diferentes variables en estudio, y comparaciones múltiples, con un nivel de significación del 5%.

2.4 Bioensayo

Los bioensayos de germinación de *Lactuca sativa* (lechuga) se realizaron en cajas de Petri, en las que se colocó un disco de papel de filtro en la base, humedecido con 3 ml de agua de la muestra correspondiente. Se sembraron 20 semillas de lechuga en cada caja, se cubrieron con una lámina de polietileno y luego con la tapa de la caja de Petri. A medida que se efectuaban los muestreos se realizaban los ensayos, que se distribuyeron en bloques completamente aleatorizados, ubicados en cámara de germinación a 20±1°C con alternancia de luz 16 (horas) y oscuridad (8 horas). Los tratamientos incluyeron testigos (control negativo con agua destilada) y tuvieron 4 repeticiones. A las 96 horas, utilizando un calibre digital, se registró el número de semillas germinadas y la longitud de la radícula: se calculó el promedio de longitud radical y el porcentaje de germinación de cada repetición. Estos valores se utilizaron para calcular un índice de germinación (IG), multiplicando el número de semillas germinadas por la longitud media de la raíz, expresando ambos parámetros como porcentaje respecto al testigo (Ortega, M. C.; 2000). Los datos se analizaron estadísticamente con el

programa Infostat para el análisis de la variancia y se utilizó la prueba de Dunnett (1989), con un nivel de confianza del 95%, comparándose todos los tratamientos con el testigo o control negativo.

3 RESULTADOS

La tabla 1 muestra que las temperaturas del agua de Las Maderas variaron entre 6 y 27 °C. Dichos datos son útiles ya que pueden explicar las variables fisicoquímicas y biológicas del agua de un embalse. Los métodos de interpolación son una herramienta útil cuando las mediciones de las distintas variables se determinan con una frecuencia mensual o estacional (distribución no continua) durante los cuales no se cuenta con información. Se observaron gradientes verticales de temperatura en las campañas de verano y finales de invierno con una diferencia de 6 °C

aproximadamente entre el agua subsuperficial y la de fondo. El oxígeno es el parámetro más importante de los embalses y lagos, dado que es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan respiración aeróbica. Por lo tanto, las propiedades de solubilidad y, sobretudo, la distribución del mismo son primordiales para comprender la distribución, el comportamiento y el crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos. En el periodo analizado la concentración de oxígeno disuelto en el embalse Las Maderas variaron entre 3,7 a 12 mg/L. en los mismos periodos (tabla 1). Los valores de las variables utilizadas para evaluar la calidad del embalse y su adecuación a las normas de calidad para uso recreativo con respecto a parámetros microbiológicos se muestran en la tabla N° 2.

Tabla 1. Valores promedio de parámetros registrados “in situ” en cada campaña estacional.

Sítios de muestreo	1				2				3				4			
Campañas	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
pH	6,10	5,60	6,40	6,15	6,60	6,50	6,90	6,70	6,40	6,45	6,60	7,0	6,25	6,65	6,70	6,90
Temperatura	25	19	10	26	26	21	10	27	26	19	9	27	26	19	10	27
Conductividad(μS/cm)	310	211	320	315	304	208	197	312	286	209	186	312	378	204	178	389
OD (mg/l)	3,7	4,80	6,3	4,5	7,2	9,5	12,0	8,3	6,3	11,7	6,5	7,6	9,34	8,56	11,5	10,0

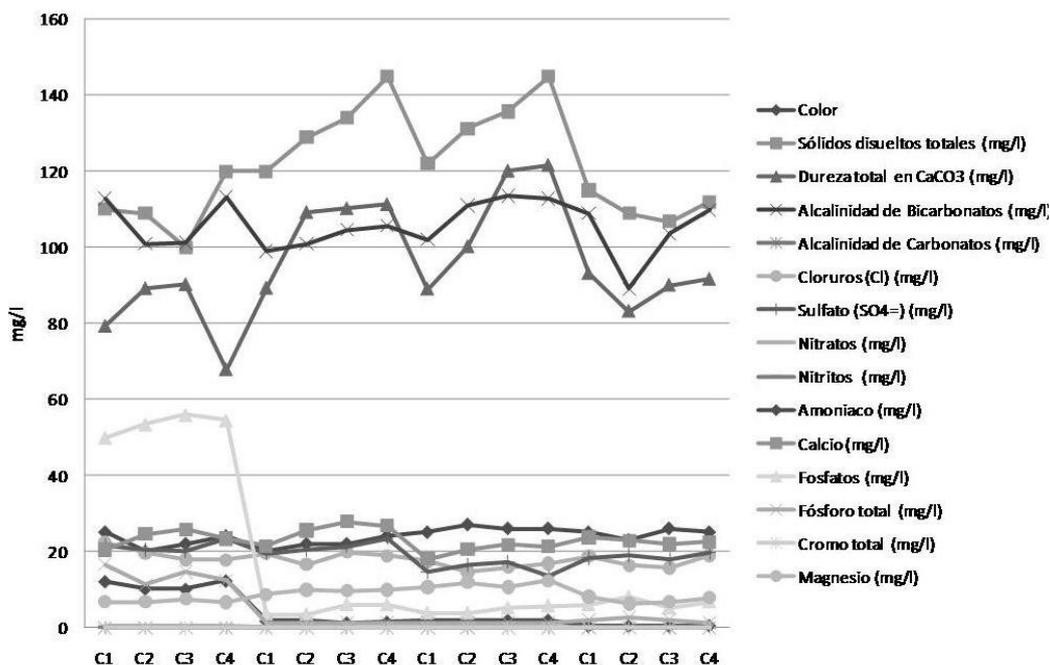


Figura 2. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos registrados en cada campaña estacional

Tabla 2. Valores registrados de parámetros microbiológicos en cada campaña estacional

Parámetros	Sitio 1				Sitio 2				Sitio 3				Sitio 4			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Bacterias aerobias, (APC-37°C, 24hs), UFC/ml	5100	4000	2500	5250	6000	5000	2500	6100	6800	10000	2500	7000	5000	40000	2000	7000
Bacterias Coliformes N.M.P., por 100 ml a 37°C 48hs.	1600	800	600	1320	160	70	100	420	1160	24000	900	1230	360	2400	100	560
Bacterias colifecales NMP, 100 ml	940	500	300	930	240	20	90	450	2140	230	900	2345	2140	500	40	2560
<i>Streptococcus faecalis</i> N.M.P. por 100ml.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clostridium</i> sp (desarrollo en 1ml).	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (desarrollo en 100 ml)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desarrollo de otros gérmenes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad (NTU)	20,88	36,1	10,90	18,3	21,30	20,8	15,90	26,98	20,30	30,2	18,90	24,50	16,2	9,26	19,90	18,9

De acuerdo a los datos registrados en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Fig 2) se calculó el índice de calidad de agua para cada uno de los sitios muestreados del Embalse Las Maderas (tabla 3).

Tabla 3: Índice de calidad de agua calculado para los sitios muestreados

SITIOS	ICA
1	58 En este sitio la cantidad de fósforo total son significativamente superiores a los valores aconsejados por las normas europeas de de calidad de agua
2	70
3	64
4	64

Con respecto a los resultados obtenidos en la determinación de agrotóxicos previo a los bioensayos con semillas de *Lactuca sativa*, tanto en la Campaña de verano como en la de invierno, no se detectó la presencia de los mismos. Los análisis se realizaron por Método de Cromatografía en capa fina, para plaguicidas organoclorados y organofosforados. Estos resultados obtenidos con el análisis de los

análisis fisicoquímicos y microbiológicos permiten caracterizar el agua del embalse e interpretar los efectos ecotoxicológicos en las semillas de *Lactuca sativa*. En las siguientes figuras 3 y 4 se muestra el efecto de las diferentes muestras de agua del Dique Las Maderas evaluadas en la prolongación de la radícula y en la germinación de las semillas de *Lactuca sativa*. La evaluación de la germinación y longitud radicular se realizó a las 96 horas, tiempo menor a las 120 horas sugeridas por el IDRC/IMTA (2004) y coincidente con el tiempo establecido por Iannacone et al. (2000) para esta especie. Los ensayos previos mostraron muy buen desarrollo radicular y de hipocótilo en ese lapso. El porcentaje de germinación promedio de los tratamientos fue de 94,08 y 95,9% en el testigo, indicando que no hubo ningún efecto de toxicidad del agua sobre la germinación, siguiendo los criterios de Poi de Neiff y Ramos (2001), que consideran aguas tóxicas cuando los porcentajes de germinación se encuentran entre 75 y 90% con respecto al testigo. Para la longitud radicular, todos los tratamientos dieron diferencias significativas con respecto al testigo. En la mayoría de las muestras de aguas del embalse se registró un crecimiento 12,3% mayor en promedio que el testigo. Esto podría atribuirse a la presencia de material orgánico e inorgánico (vegetación y sedimentos) presente en el embalse, que estimuló el crecimiento.

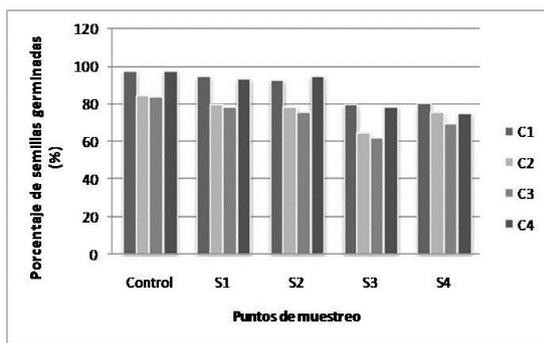


Figura 3. Porcentaje promedio de germinación de semillas de lechuga en los tratamientos (muestras de agua) comparados con el testigo

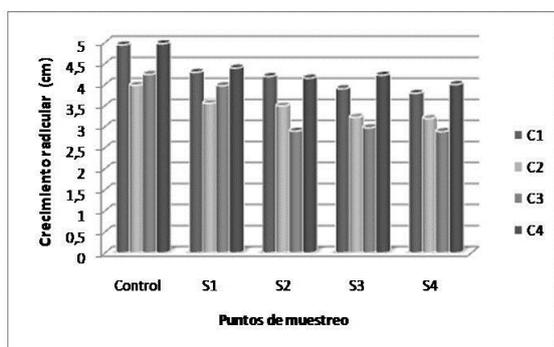


Figura 4. Longitud radical promedio de lechuga (Mm) en los tratamientos (muestras de agua) comparados con el testigo

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos hacer una aproximación de la calidad del agua del embalse estudiado durante los meses de muestreo:

Sitio 1

Uso como Agua Potable: Tratamiento potabilizador necesario. Dudosa para consumo.

Uso en Agricultura: Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.

Uso en Pesca y Vida Acuática: Dudosa la pesca sin riesgos de salud.

Uso Industrial: No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

Uso Recreativo: Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias. Dudosa para contacto con el agua.

Sitio 2.

Uso como Agua Potable; Dudoso su consumo sin purificación. Tratamiento potabilizador necesario.

Uso en Agricultura: Utilizable en mayoría de cultivos.

Uso en Pesca y Vida Acuática: Pesca y vida acuática óptima. Límite para peces muy sensitivos.

Uso Industrial: Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación. No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

Uso Recreativo: Cualquier tipo de deporte acuático.

Sitio 3

Uso como Agua Potable: Dudosa para consumo. Requiere tratamiento potabilizador.

Uso en Agricultura: Utilizable en mayoría de cultivos.

Uso en Pesca y Vida Acuática: Límite para peces muy sensitivos.

Uso Industrial: No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

Uso Recreativo: Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

Sitio 4.

Uso como Agua Potable: Dudosa para consumo. Requiere tratamiento potabilizador

Uso en Agricultura: Utilizable en mayoría de cultivos.

Uso en Pesca y Vida Acuática: Límite para peces muy sensitivos.

Uso Industrial: No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

Uso Recreativo: Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

Considerando que los resultados obtenidos son válidos para el periodo de estudio y que las condiciones ambientales son variables, para permitir acciones apropiadas de manejo, por el riesgo sanitario que implica la presencia de descargas, se recomienda un control periódico más intensivo, durante lapsos de tiempo que abarquen distintas condiciones hidrométricas y climáticas, en las zonas que resultaron aptas para uso recreativo.

4 CONCLUSIONES

- El porcentaje de germinación promedio de los tratamientos y del testigo fue cercano al 96% indicando que no presentaron toxicidad alguna que pudiera inhibir el proceso de germinación.

- Las muestras de aguas del embalse analizadas en los bioensayos con *Lactuca sativa* L. presentaron altos valores del índice de germinación, lo cual indicaría que no son fitotóxicas y resultan de buena calidad para ser utilizadas con fines de riego.

Según las normas USEPA y de acuerdo a los resultados obtenidos, las zonas son aptas desde el punto de vista de la calidad bacteriológica del agua, para la instalación de centros recreativos con uso frecuente.

Calidad de Agua Ambiente. Documento electrónico.<http://www.mecon.gov.ar/hidricos/calidad/index.html>

5 BIBLIOGRAFIA

Dutka, B.J., 1989, Methods for Microbiological and Toxicological Analysis of Water, Wastewaters and Sediments: National Water Research Institute (NWRI), Environment Canada. Burlington, Ontario.

Emilian, F; Lajmanovic, R; Acosta, M; Boneto, S.1999. Variaciones temporales y espaciales de Coliformes y de Escherichia coli en aguas recreativas fluviales (Río Salado, Santa Fe, Argentina). Relación con los estándares de calidad. Rev. Arg. Microbiol. 31: 142-156.

Iannacone, J.; Alvarino, L.; Caballero, C.; Sánchez, J. 2000. Cuatro ensayos ecotoxicológicos para evaluar lindano y clorpirifos. Gayana (Concepción). Vol. 64. N° 2. p.139-146.

IDRC/IMTA. 2004. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Editado por Gabriela Castillo. 202 p.

Infostat. 2002. InfoStat, versión 1.1. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 266 p.

Ortega, M. C.; Aguado, M. T.; Ordovás, J.; Moreno, M. T.; Carmona, E. 2000. Propuesta de bioensayos para detectar factores fitotóxicos en sustratos y enmiendas. Actas de Horticultura. 32: 363-376.

Poi de Neiff, A.; Ramos, A. 2001. Utilización de bioensayos para el estudio ecotoxicológico de los ríos Salado y Negro (Chaco. Argentina). www.unne.edu.ar/cyt/2001/6-Biologicas,

Pommepuy, M; Guillaud, J; Dupray, E; Derrien, A; Le Guyader, F; Cormier, M. 1992. Enteric bacteria survival factors. Water Sci. Technol.12:93-103.

Subsecretaría de Recursos Hídricos. República Argentina. 2002 Niveles Guías Nacionales de