

Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el embalse San Roque (Córdoba, Argentina)

Ariana ROSSEN^{1,2}, María Inés RODRÍGUEZ², Ana Laura RUIBAL CONTI²,
María Susana FORTUNATO¹, Alejandra BUSTAMANTE², Marcia RUIZ², Carlos
ANGELACCIO² y Sonia KOROL¹

¹ Cátedra de Higiene y Sanidad. Facultad de Farmacia y Bioquímica. UBA. Junín 956 4° piso (1113). Tel (54 11) 49648258. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

² Centro de la Región Semiárida (CIRSA)- Instituto Nacional del Agua (INA). Av. Ambrosio Olmos N° 1142 (X5000JGT) Tel (54 351) 4682781. Córdoba, Argentina. Correo-e: arossen@ina.gov.ar

RESUMEN

El embalse San Roque se encuentra localizado en la cuenca alta del río Suquía a 35 km de la Ciudad de Córdoba, en la provincia de Córdoba, Argentina. Es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad y un importante ámbito para el desarrollo de múltiples actividades recreacionales. El vertido de efluentes cloacales sin tratamiento constituye la principal causa del deterioro de la calidad del agua del embalse.

En el presente trabajo se determinaron bacterias indicadoras de contaminación fecal y la incidencia de parámetros físico-químicos tales como oxígeno disuelto, temperatura, pH y demanda química de oxígeno, con el objetivo de evaluar el estado sanitario del embalse San Roque.

Se establecieron 3 estaciones de muestreo en el embalse, con una frecuencia de monitoreo mensual. La determinación de las bacterias aerobias mesófilas se realizó mediante la técnica de recuento en placa. Los recuentos de coliformes termotolerantes, estreptococos fecales y clostridios sulfito reductores se realizaron mediante la técnica del Número Más Probable. El número de coliformes termotolerantes osciló entre 3/100 mL y 1100/100 mL de acuerdo al sitio de muestreo y a las variaciones estacionales. El número de estreptococos fecales osciló entre 240/100 mL y 1500/100 mL, los valores de clostridios sulfito reductores se encontraron en el rango de 23 a 150 esporas/100 mL, mientras que la demanda química de oxígeno (DQO) fluctuó entre 5,8 y 55 mg/L. Los valores más elevados se hallaron en las muestras tomadas en la desembocadura del Río San Antonio donde se registran las mayores descargas de efluentes cloacales.

Palabras clave: embalse San Roque, indicadores bacterianos, contaminación fecal, estado sanitario.

INTRODUCCIÓN

La determinación de microorganismos indicadores de contaminación fecal y su grado de persistencia en aguas superficiales es fundamental para estimar la presencia de microorganismos patógenos, así como para establecer la relación causa-efecto de incidencia de enfermedades (WHO, 1994; Prüss, 1998). En general estas enfermedades son transmitidas por la

ruta fecal-oral como vía principal de infección, pero también afecciones de oídos, ojos, cavidad nasal y tracto respiratorio superior pueden ser adquiridas por contacto con aguas contaminadas (Kay et al., 1994). Existen estudios epidemiológicos que demuestran la correlación entre el número de coliformes termotolerantes y gastroenteritis en nadadores (Van Asperen, 1998; Prüss, 1998; Wade et al., 2006). Estos datos son utilizados para calcular estándares internacio-

nales de calidad, sin embargo no hay acuerdo acerca de cuáles son los organismos indicadores y cuál es el número de los mismos que permite establecer niveles guía adecuados para aguas de uso recreacional (Shibata et al., 2004; Falabella et al., 2006).

La selección de un organismo indicador tiene importantes consecuencias tanto para el manejo de las fuentes de aguas recreacionales, como para la determinación de la calidad del recurso. En nuestro país, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación ha establecido niveles guía para *Escherichia coli* y para enterococos como microorganismos indicadores de contaminación fecal en aguas recreacionales (SRHN, 2005) basado en las guías de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Otras guías de calidad de agua de organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud utilizan otros grupos de microorganismos indicadores (Hederra, 1996). En general, el grupo coliformes ha sido comunmente empleado como indicador del posible deterioro bacteriológico de las aguas.

El embalse San Roque se encuentra localizado en la provincia de Córdoba (Argentina) y representa la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Córdoba y un importante ámbito para el desarrollo de múltiples actividades recreacionales. En la cuenca sur del Embalse se encuentra una de las ciudades turísticas más importantes, Villa Carlos Paz (60.000 habitantes). Asimismo en la cuenca norte se encuentran las ciudades de Cosquín y Tanti, las cuales también incrementan su población durante los meses de verano. Los líquidos cloacales llegan al lago por descargas directas o por filtración de los sistemas sépticos individuales (pozos absorbentes) instalados en la región. Debido a estas descargas se ha deteriorado la calidad de agua llevando al embalse a un estado altamente eutroficado (Ruibal et al., 2000; Granero et al., 2004).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el estado sanitario del lago San Roque a través de la cuantificación de indicadores bacteriológicos de contaminación fecal: coliformes termotolerantes, estreptococos fecales y clostridios sulfito reductores; y evaluar parámetros físico-químicos tales como oxígeno disuelto, pH, demanda química de oxígeno (DQO), temperatura y turbidez.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El embalse San Roque (31 22' S, 64 27' W), se localiza en el Valle de Punilla entre las Sierras Grande y las Sierras Chicas en la Provincia de Córdoba (Argentina) a 600 m sobre el nivel del mar. El embalse tiene como función principal abastecer de agua potable a la población de la ciudad de Córdoba, proveer agua para riego y para la generación de energía hidroeléctrica.

El embalse pertenece a la cuenca alta del Río Suquía y recibe el aporte de 4 tributarios: los ríos San Antonio y Cosquín, y los arroyos Los Chorrillos y Las Mojaras, siendo el río San Antonio y el río Cosquín los de mayor caudal. El embalse desemboca en el río Suquía. A nivel de cota de vertedero, la superficie del lago es de 16 Km², con un volumen máximo de 190 Hm³ y una profundidad media de 13 m. En la costa sur del Embalse se asienta la ciudad de Villa Carlos Paz.

La región se encuentra bajo el dominio de un clima templado con una marcada estacionalidad de las precipitaciones las cuales se concentran (80%) en el periodo primavera-verano (Septiembre-Marzo). La media anual promedio de los últimos 10 años fue de 850 mm.

Muestras

Se establecieron 3 estaciones de muestreo en el Embalse: Centro del embalse (C), Dique (D) y Desembocadura del Río San Antonio (DSA) (Figura 1), con una frecuencia de monitoreo mensual. El periodo que abarcó el presente estudio fue de Mayo a Diciembre de 2006.

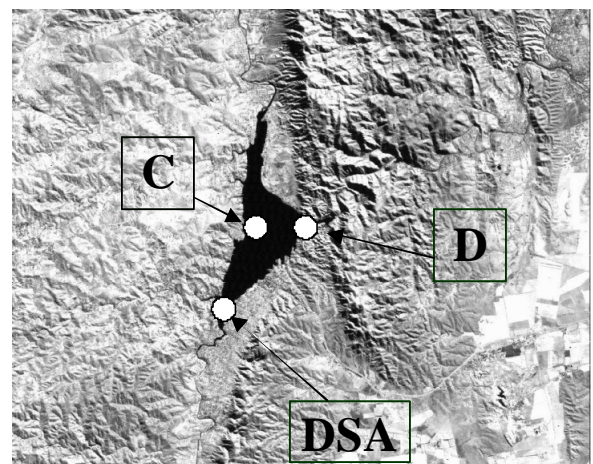


Figura 1. Cuenca del Embalse San Roque. Sitios de muestreo Centro (C), Dique (D) y Desembocadura del Río San Antonio (DSA).

La determinación de las estaciones de muestreo responde a la morfología del embalse en la que el Centro, el área cercana al Dique y la desembocadura del Río San Antonio, presentan características heterogéneas. Las muestras de la desembocadura del río San Antonio, Centro y Dique se tomaron en superficie (0,2 m). La toma de las muestras se realizó de acuerdo a las normas IRAM 29012-2 (1996) y 29012-3 (2003). Para realizar las determinaciones bacteriológicas las muestras se recolectaron en envases estériles. Posteriormente, fueron conservadas a 4 °C y remitidas al laboratorio para su posterior análisis.

Análisis físico-químico

Con el fin de determinar las características físico-químicas de las muestras extraídas en el embalse San Roque, se utilizó una sonda multiparamétrica (Horiba modelo U-10) para el registro *in situ* de la temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad y pH. La demanda química de oxígeno (DQO) fue analizada en el laboratorio por el método de reflujó cerrado de acuerdo a lo establecido por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Análisis bacteriológico

Las determinaciones bacteriológicas se efectuaron de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Los recuentos de coliformes termotolerantes, estreptococos fecales y clostridios sulfito reductores se realizaron mediante la técnica del Número Más Probable, utilizando caldo Mac Conkey, caldo azida-dextrosa y agar tripeína-sulfito-neomicina (TSN) respectivamente. Para el recuento de las bacterias aerobias mesófilas se empleó la técnica de recuento en placa utilizando agar tripeína soja. Todos los medios de cultivo fueron provistos por Biokar Diagnostics (Beauvais, France).

RESULTADOS

Análisis físico-químico

Los resultados obtenidos del análisis físico-químico se presentan en la Tabla 1. La temperatura registrada se encontró dentro del rango esperable para cada estación del año, 8 a 14 °C en invierno y 20 a 24 °C en primavera (Bustamante et al., 2002). Lo mismo se halló con relación al pH, el cual se mantuvo entre los valores medios registrados en monitoreos previos, el mismo se mantuvo cercano a 8, caracterizando a estas aguas como predominantemente alcalinas.

Los niveles de la demanda química de oxígeno (DQO) fluctuaron entre 7,9 y 55 mg/L. Los valores más elevados se hallaron en la desembocadura del río San Antonio donde se descargan los efluentes cloacales sin tratamiento previo.

Los valores de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 7,2 mg/L y 12,0 mg/L encontrándose los niveles más bajos en el mes de Agosto para todas las muestras. Las concentraciones halladas se encuentran dentro de los límites aceptables para un curso de agua, las mismas son compatibles con la vida acuática y además posibilitarían al curso de agua asimilar la carga orgánica que recibe sin sufrir una depleción apreciable en los niveles de oxígeno disuelto. La actividad fotosintética juega un rol importante en el mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto, en monitoreos anteriores se han realizado estudios sobre

la comunidad fitoplanctónica, demostrándose la presencia de varios géneros de algas que varían sus concentraciones medias máximas de acuerdo a las condiciones locales del embalse (Rubial Conti et al., 2000; Rodríguez et al., 2005).

Análisis bacteriológico

Los recuentos de bacterias aerobias mesófilas se presentan en la Figura 2. Se puede observar que en la estación Centro (C) y Dique (D) los valores hallados tuvieron un promedio de $3,3 \times 10^3$ UFC/mL y no hay diferencias entre los sitios de monitoreo. Se destaca que los valores de los recuentos obtenidos para el sitio Desembocadura (DSA) fueron mayores en todas las muestras analizadas. Durante el mes de Octubre se observó en todas las estaciones de muestreo un marcado aumento en el número de los microorganismos hallados, consecuentemente con el aumento de la temperatura del agua (Tablas 1, 2 y 3). Esto puede de-

Tabla 1. Valores físico-químicos hallados según los sitios de monitoreo: Centro, Dique, Desembocadura del río San Antonio

Sitio de monitoreo	Mes	DQO (mg/L)	pH	OD (mg/L)	Temperatura (°C)
Centro (C)	May-06	10,8	8,0	8,6	14,2
	Jul-06	25,3	8,4	10,9	14,0
	Ago-06	15,8	8,0	7,2	13,0
	Oct-06	16,2	7,7	12,1	21,6
	Dic-06	4,4	6,9	7,7	24,5
Dique (D)	May-06	21,2	8,0	7,7	14,1
	Jun-06	7,9	8,4	ND	13,6
	Jul-06	16,7	8,3	11,1	14,0
	Ago-06	17,8	7,9	6,0	12,8
	Oct-06	12,0	7,9	11,4	23,1
Desembocadura del río San Antonio (DSA)	Dic-06	25,4	7,2	7,3	24,5
	May-06	55,4	10,1	ND	15,1
	Jun-06	12,8	8,5	ND	13,6
	Jul-06	21,2	8,1	ND	14,2
	Ago-06	16,2	8,0	6,6	14,4
Oct-06	29,1	7,5	10,7	23,9	
Dic-06	13,2	6,6	9,3	20,7	

ND: No determinado

berse al comienzo del periodo de estratificación térmica en el embalse (Rodríguez et al., 2005).

El número de coliformes termotolerantes hallado osciló entre 3/100 mL y 1100/100 mL de acuerdo al sitio de muestreo y a las variaciones estacionales. En la Figura 3A, se puede observar que durante los meses de invierno los niveles de coliformes termotolerantes, en las muestras tomadas en los sitios de muestreo C y D, no presentan diferencias marcadas. En el mes de Agosto, los niveles de coliformes del sitio D aumentaron respecto del muestreo del mes anterior. En el caso del sitio de muestreo en la DSA los niveles

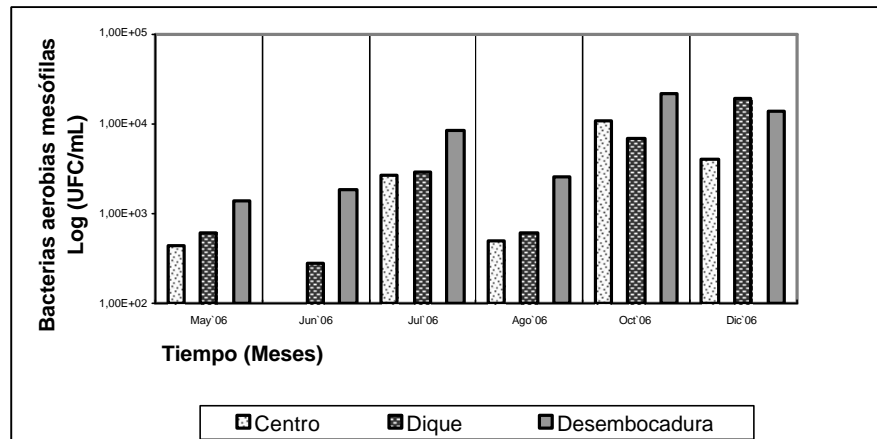
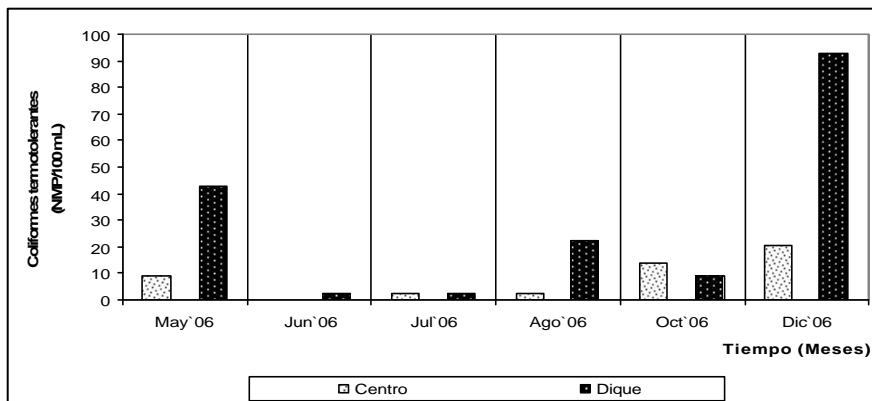


Figura 2. Recuentos de bacterias aerobias mesófilas para cada sitio de muestreo.

bacterianos fueron 10 veces mayores que los hallados en los sitios C y D (Figura 3B). Se puede señalar que en todos los sitios de muestreo, los valores se mantuvieron altos durante los meses de invierno.

A)



B)

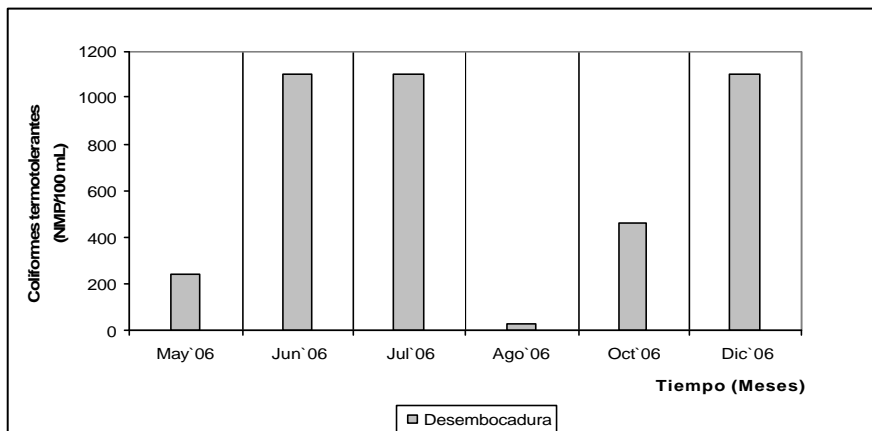


Figura 3. Recuento de coliformes termotolerantes: A) Centro y Dique; B) Desembocadura.

Estos resultados pueden tener relación con el hecho que los coliformes termotolerantes son buenos indicadores de contaminación fecal reciente ya que son más vulnerables a las condiciones ambientales y se mantienen cercanos a las fuentes de emisión (Nuzzi y Buhrans, 1997; Noble et al., 2003). En la mayoría de las muestras obtenidas en el sitio de muestreo de la desembocadura (DSA), el número de coliformes termotolerantes hallado fue superior al límite establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para aguas recreacionales (200 coliformes termotolerantes/100 mL), USEPA, 2000.

Los resultados obtenidos del número de estreptococos fecales se presentan en la Figura 4. Se obtuvieron valores altos en todos los puntos de muestreo (240/100 mL y 2500/100 mL). Cabe destacar que en general se han obtenido valores similares para las muestras

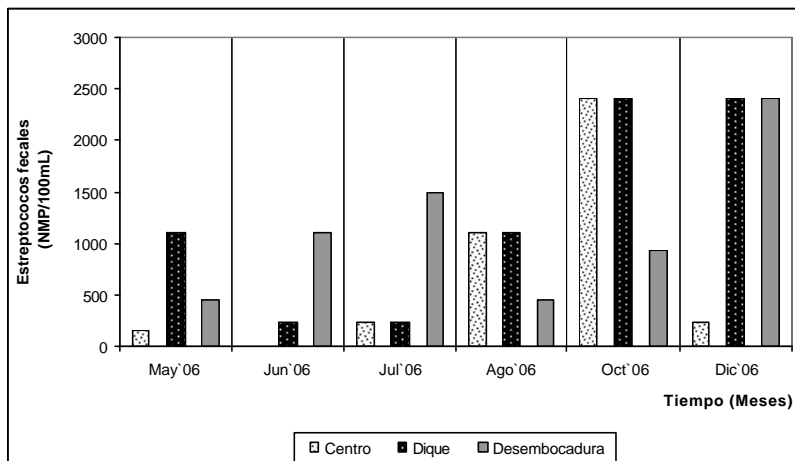


Figura 4. Recuento de estreptococos fecales para cada sitio de muestreo.

tomadas en los sitios de muestreo C y D, indicando que las variaciones ambientales han influido en forma homogénea sobre la superficie del lago. Sin embargo, se observa que en el mes de Octubre con el aumento de la temperatura, los valores hallados en C y D (2400/100 mL) fueron marcadamente mayores que los hallados en las muestras de la DSA (930/100 mL).

Los niveles de clostridios sulfito reductores oscilaron entre 23 a 150 esporas/100 mL (Figura 5). Si bien los valores son relativamente bajos en la mayoría de los sitios de muestreo, cabe señalar que dichos valores siempre fueron más altos en las muestras tomadas en la Desembocadura (DSA).

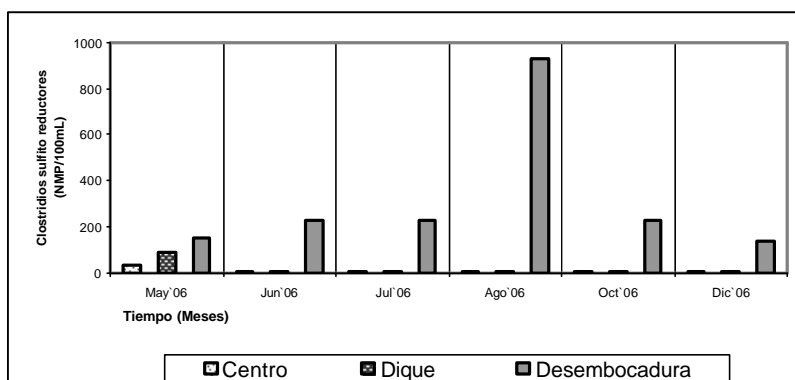


Figura 5. Recuento de clostridios sulfito reductores para cada sitio de muestreo.

Los resultados hallados en este trabajo concuerdan con el hecho que el número de clostridios sulfito reductores se encuentra alrededor de 10^5 - 10^6 UFC/g en las heces humanas, este número es comparativamente menor al de otras bacterias presentes como por ejemplo estreptococos fecales y *E.coli*, los cuales se encuentran en heces humanas en concentraciones de 10^8 UFC/g. Por otro lado, en las condiciones aeróbicas del agua, los clostridios sulfito

reductores no son capaces de multiplicarse. Más aún, los nutrientes aportados por las descargas cloacales pueden favorecer el desarrollo de otros microorganismos indicadores que aumentan significativamente respecto de los clostridios sulfito reductores (Shibata et al., 2004).

DISCUSIÓN

Se ha observado que los valores más elevados de los indicadores de contaminación fecal se hallaron en la desembocadura del río San Antonio (DSA) donde se descargan efluentes cloacales, lo que constituye un riesgo para la población dado que en

esta zona se desarrollan actividades recreativas tales como natación, deportes acuáticos y pesca.

Cabe destacar que el estudio se realizó durante el periodo de sequía y comienzo de la estación húmeda (Mayo-Diciembre). En esta época la cota del lago es baja, y las precipitaciones son mínimas, por lo tanto hay un efecto de concentración de las bacterias presentes. Por otro lado, la carga aportada al lago por los efluentes cloacales es menor que durante los meses estivales cuando se produce la mayor afluencia turística.

El hecho de encontrar un mayor número de estreptococos fecales en relación con el número de

coliformes termotolerantes puede deberse a su mayor capacidad de sobrevivir en el ambiente. Resultados similares fueron obtenidos por Folabella et al., (2006) en muestras de agua provenientes de la Laguna de Los Padres (Buenos Aires, Argentina). En este sentido, es importante considerar que la variabilidad en las condiciones ambientales puede afectar en distinto grado la supervivencia de los grupos bacterianos, de tal forma que utilizar un sólo grupo como indicador de contaminación fecal no permitiría tener una buena estimación de la calidad higiénica del agua. Por tal motivo, consideramos que los estreptococos fecales en combinación con los coliformes termotolerantes permiten tener una mejor evaluación de la contaminación fecal y de su difusión en el ambiente.

Dada la importancia del recurso hídrico en la economía de la región, es fundamental contar con índices locales de calidad bacteriológica del agua para poder diseñar estrategias que contemplen el

control de la calidad del recurso hídrico y la protección de la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, (2005). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.
- Bustamante, A.; Lopez, F.; Bonetto, C. y Granero, M. (2002). Limnology of Mountains Rivers and transport of phosphorus and nitrogen to an enriched reservoir (Córdoba, Argentina). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 1779-1782
- Folabella, A.M.; Escalante, A.H.; Deza, A.; Perez Guzzi; Zamora A.S. (2006). "Indicadores bacterianos de calidad de agua recreacional en la Laguna de Los Padres (Buenos Aires, Argentina)". Trabajo presentado en el 1^o Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, Argentina
- Granero, M; Bustamante, A; López, F y Ruiz, M. (2004). Hypolimnion water quality and its relationship to internal P loading in an eutrophicated water body: San Roque reservoir (Córdoba, Argentina). *J. Hydr. Res.* 42(3): 310-315.
- Hederra, R. (1996). "Manual de Vigilancia Sanitaria". Serie HSP/UNI/ Manuales Operativos PALTEX. Org. Pan. de la Salud. Washington.
- Kay, D.; Fleisher, J.M.; Godfree, A.F.; Jones, F; Salmon, R.; Shore, R.; Wyer, M.D. y Zelenauch-Jacquotte, R. (1994). Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing: results from randomized exposure. *Lancet* 344: 905-909.
- Prüss, A. (1998). Review of epidemiological studies on health effect from exposure to recreational water. *Inter. J. Epidemiol.* 27: 1-9.
- Noble, R.T.; Moore, D.F.; Leecaster, M.K.; McGee, C.D. y Weisberg, S. B. (2003). Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recreational water quality testing. *Wat. Res.* 37(7): 1637-1643.
- Normas IRAM 29012-2: 1996 Calidad del medio ambiente. Agua. Muestreo. Directivas generales sobre técnicas.
- Normas IRAM 29012-3: 1998 Calidad ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la preservación y manipulación de las muestras.
- Nuzzi, R. y Buhrans, R. (1997). The use of enterococcus and coliforms in characterizing bathing-beach waters. *J. Environ. Health.* 60: 16-22.
- Rodríguez M.I.; Ruiz M.; Vilchez G.; Ruibal Conti, A.L.; Bustamante M.A.; Angelaccio C.M. (2005) "Programa de monitoreo del embalse San Roque". Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata Nov 29-Dic 2. Salto Grande, Entre Ríos.
- Ruibal Conti A. L.; Bustamante, A, López F.; Granero M.; Berra C. y Gomez N. (2000). "Monitoreo Ambiental y Caracterización Limnológica de un cuerpo de Agua eutroficado: Lago San Roque (Córdoba)". *Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua:* 40-45
- Shibata, T.; Solo-Gabriele, H.M.; Fleming, L.E y Elmir, S. (2004). Monitoring marine recreational water quality multiple microbial indicators in an urban tropical environment. *Wat. Res.* 38(13): 3119-3131
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Diciembre 2005. Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. República Argentina. (http://hidricos.obraspublicas.gov.ar/calidad_del_agua_actividades.htm)
- Suarez Pita., M. (2002). Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* 49(1): 38-43.
- U.S.Environmental Portection Agency. (2000). Bacterial water quality standards for recreational water. (freshwater and marine waters). EPA/823/R-98/003.
- Van Asperen. I.A.; Medema, G.; Borgdorff, M.W.; Sprenger, M. Y Havelaar, A. (1998). Risk of gastroenteritis among triathletes in relation to faecal pollution of fresh waters. *International Epidemiological Association,* 27: 309-315.
- Wade, T.; Calderon. R.L.; Same, E.; Beach, M.; Brenner, K.P.; Williams, A.M. y Dufour, A. (2006). Rapidly measured indicators recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. *Environ. Health Perspectives* 114: 24-28.
- World Health Organization (WHO) "Guidelines for Recreational Water Environments" (2003). Coastal and Fresh Waters. Vol. 1, Chapter 4: Faecal Pollution and Water Quality. Geneva.