

Calidad química y microbiológica de las aguas del río San Juan, Artemisa (Cuba)

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL QUALITY OF THE WATER OF SAN JUAN RIVER, ARTEMISA (CUBA)

Beatriz ROMEU ALVAREZ¹, Heidi QUINTERO ALVAREZ², Jeny LARREA MURRELL¹, Nidia ROJAS HERNÁNDEZ¹, Mayra HEYDRICH PÉREZ¹

¹ Laboratorio de Ecología Microbiana, Departamento de Microbiología y Virología, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. CP 10400. Correo-e: bromeu@fbio.uh.cu

² Centro de Inmunoderivados, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos naturales proveen al ser humano de multitud de bienes y servicios indispensables para la vida diaria y el desarrollo de las sociedades. De ahí que recuperar y proteger los ecosistemas naturales sea esencial para atender los problemas de calidad de agua. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad química y microbiológica de las aguas del río San Juan mediante la determinación de parámetros organolépticos, físico-químicos y el empleo de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Se realizó la inspección visual de las condiciones de las zonas de muestreo así como de la muestra de agua colectada para realizar el análisis organoléptico. Se realizaron las determinaciones *in situ* de los parámetros físico-químicos pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos y oxígeno disuelto. Para la cuantificación de los microorganismos indicadores se empleó la técnica de filtración por membrana, empleándose los medios agar Lactosa TTC con Tergitol y agar Chromocult para coliformes. Los resultados obtenidos muestran que tanto las características organolépticas del agua así como los valores de parámetros físico-químicos evaluados corresponden con los establecidos en la Norma Cubana 22 (1999). Los valores de coliformes termotolerantes y *E. coli* se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma. El río San Juan mantiene los estándares adecuados para considerarse un ecosistema no contaminado por lo que sus aguas pueden ser utilizadas para la recreación.

Palabras clave: Calidad del agua, conductividad, coliformes, *Escherichia coli*.

ABSTRACT

Natural aquatic ecosystems provide to humans many natural services essential to the daily life and development of societies. Therefore recover and protect natural ecosystems is essential to solve water quality problems. The aim of this study was to evaluate the chemical and microbiological quality of the waters of the San Juan river by determining organoleptic, physico-chemical parameters and indicator bacteria of faecal contamination. Visual inspection of the sampling areas and the water samples for the organoleptic analysis and *in situ* determinations of physico-chemical parameters pH, temperature, conductivity, dissolved solids and dissolved oxygen were performed. For quantification of indicator microorganisms was used membrane filtration technique, using Lactose TTC agar media with Tergitoland Chromocult for coliforms agar. The results show that both the organoleptic characteristics of the water as well as the values of physico-chemical parameters assessed correspond with those in the Cuban standard 22 (1999). The values of coliforms thermotolerant and *E. coli* are below the maximum permissible limits laid down in this regulation. The San Juan River maintains appropriate standards to be considered an ecosystem not contaminated by what its waters can be used for recreation.

Keywords: Water quality, conductivity, coliforms, *Escherichia coli*.

INTRODUCCIÓN

El agua dulce limpia, segura y de calidad es esencial para la supervivencia de todos los organismos vivos y el funcionamiento de los ecosistemas, las comunidades y las economías. Pero la calidad del agua en el mundo está cada vez más amenazada por el aumento de la población humana, la expansión de las actividades industrial y agrícola y el peligro de que el cambio climático altere el ciclo hidrológico mundial (Russi y Brink, 2013).

Cada día, se vierten millones de toneladas de aguas residuales tratadas de forma inadecuada y desechos industriales y agrícolas a las aguas de todo el mundo. Cada año, lagos y ríos reciben una cantidad de contaminación equivalente al peso de toda la población mundial (aproximadamente 7000 millones de personas). Diversos estudios han calculado que el valor de las funciones que desempeñan los ecosistemas es dos veces mayor que el Producto Interno Bruto de la economía mundial. Se ha estimado que el papel que cumplen los ecosistemas de agua dulce en depurar el agua y asimilar residuos supera los 400000 millones de dólares. De ahí que recuperar y proteger los ecosistemas naturales sea esencial para atender nuestros problemas de calidad de agua (WWAP, 2014).

En la región occidental de Cuba, en el municipio La Palma, provincia Artemisa, se localiza el sector hidromineral Las Terrazas, el cual se encuentra dentro del área de desarrollo del centro turístico de igual nombre en la parte noreste de la Sierra del Rosario, reserva de la biosfera de Cuba. Las aguas del sector son representativas de la zona de saturación de los macizos carbonatados y emergen en el contacto con fallas paralelas y transversales a la Falla Pinar (Sainsbury, 2006; Peña, 2000).

Las Terrazas es una comunidad turística rural de desarrollo sostenible, ubicada a orillas del río San Juan, con una extensión de 5000 ha y una población cercana a los 1000 habitantes. La comunidad es fruto del proyecto de la UNESCO para las reservas de la biosfera iniciado en 1971 con el objetivo de vincular a las comunidades rurales con su entorno. La región donde se encuentra Las Terrazas sufrió una fuerte deforestación desde el período colonial debido a las minas de cobre cercanas, la silvicultura indiscriminada y las plantaciones cafetaleras.

El río San Juan constituye una de las principales atracciones del complejo, en el que se ubican los Baños del San Juan, conjunto de piscinas naturales de agua fresca para el disfrute turístico. Teniendo en cuenta la mineralización cuantitativa, las aguas de esta zona se consideran aguas mineromedicinales y de acuerdo al uso actual y prospectivo de las aguas, las mismas se clasifican como aguas de uso recreativo y terapéutico (Valenzuela y Bacaicoa,

1994). En los últimos años la afluencia de turismo, tanto nacional como internacional, a la zona de los Baños del San Juan se ha incrementado, lo cual podría ser un factor a incidir en la calidad de sus aguas.

Teniendo en cuenta estos aspectos el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad química y microbiológica de las aguas del río San Juan mediante la determinación de parámetros organolépticos, físico-químicos y el empleo de bacterias indicadoras de contaminación fecal.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ecosistemas fluviales muestreados

Las muestras se colectaron a partir de tres estaciones de muestreo del río San Juan ubicado en la provincia de Artemisa, Cuba. Las estaciones de muestreo seleccionadas en este ecosistema así como su localización por Geoposicionador Satelital (GPS) se describen en la tabla 1. Para la selección de las estaciones de muestreo se tomaron en cuenta los resultados de estudios previos en este ecosistema realizados por Larrea *et al.*, 2009. Las colectas se realizaron durante el período de un año, entre junio de 2013 y abril de 2014, dos en época lluviosa (junio y octubre) y dos en época poco lluviosa (febrero y abril).

Tabla 1. Estaciones de muestreo en el río San Juan, Artemisa, Cuba.

Estaciones de muestreo	Clave	Localización (GPS)	
Lago El Palmar	S1	22°50'42.35"	82°56'23.33"
Lago San Juan	S2	22°50'46.01"	82°56'27.09"
Baños del Río San Juan	S3	22°49'24.02"	82°55'35.08"

Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas en el horario de la mañana, a un metro de la orilla del río y 15 cm de profundidad. Estas se trasladaron al laboratorio en frascos plásticos ámbar, estériles y de 1 L, en nevera refrigerada (4°C), y fueron procesadas en un período de tiempo menor a las 12 h según la norma AFNOR (2001).

Propiedades organolépticas y parámetros físico-químicos

Se realizó una inspección visual de las condiciones de las zonas de muestreo así como de la muestra de agua colectada para realizar el análisis organoléptico del cuerpo de agua objeto de muestreo. Para el análisis organoléptico se consideró el olor, color, turbidez y transparencia de la muestra.

Además se midieron en todos los puntos de muestreo los parámetros físico-químicos: pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos (TDS, por sus siglas en inglés), y oxígeno disuelto (O_2D). Las determinaciones de estos parámetros se realizaron *in situ* con el uso de los multímetros Mettler Toledo FG2/EL2 (pH y T), MettlerToledo FG3/EL3 (conductividad, sólidos disueltos) y Meter Toledo FG4 (oxígeno disuelto). Las observaciones de campo realizadas durante la toma de muestra, el análisis organoléptico de las mismas y las mediciones *in situ* se registraron en la libreta de trabajo y se tomaron al menos dos fotografías del sitio de muestreo.

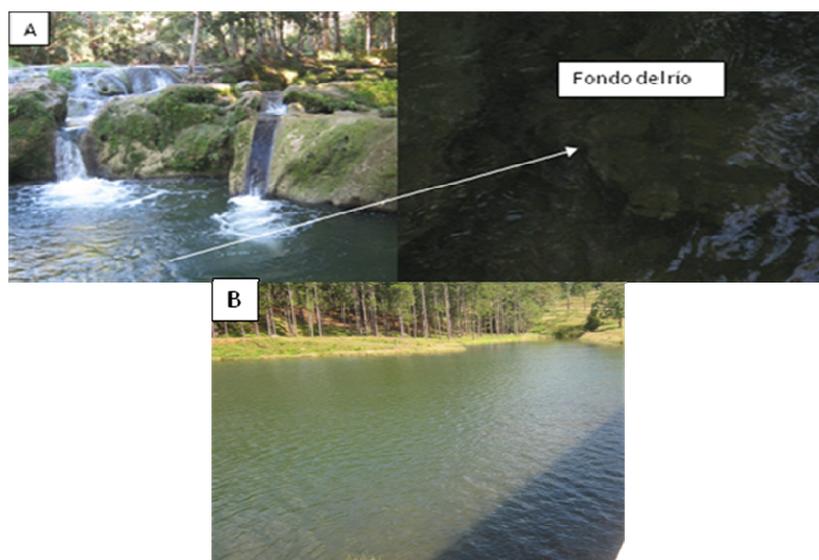


Figura 1. Río San Juan. A: Punto S3 (Baños de San Juan), donde se observa el agua clara y el fondo a tres metros de profundidad ; B: Punto S2 (Lago San Juan), donde se observa la coloración verdosa del agua.

Determinación de la concentración de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*

Para determinar la concentración de bacterias coliformes termotolerantes (CTE) y *E. coli* (EC) se utilizó la técnica de filtración por membrana (FM), con membranas estériles de nitrato de celulosa (Sartorius, con un tamaño de poro de $0,45 \mu m$ y $47 mm$ de diámetro), y un equipo de filtración Sartorius. Se utilizaron placas Petri plásticas estériles ($47 mm$) con los medios Agar Lactosa Tergitol (concentración final $0,095 \%$ peso/volumen) (MERCK) con cloruro de trifenil-2,3,5-tetrazolio (TTC) (concentración final $0,024 \%$ [peso/volumen]) (MERCK) y agar Chromocult para coliformes (MERCK) para la enumeración de los coliformes termotolerantes y *E. coli* respectivamente. Se siguió la metodología establecida por AFNOR (2001).

En el medio agar Lactosa Tergitol con TTC, se consideraron bacterias coliformes termotolerantes a las colonias amarillo-naranja con un halo amarillo alrededor después de $24 h$ a $44 \pm 0,5 ^\circ C$. En el caso de *E. coli* se consideraron como colonias de esta especie a las que presentaron una coloración azul oscuro o violeta en el agar Chromocult para coliformes después de $24 h$ de incubación a $37 \pm 0,5 ^\circ C$. El conteo se expresó como unidades formadoras de colonias (UFC) por $100 mL$. Se realizaron tres repeticiones por cada punto de muestreo.

Análisis estadístico

Para verificar la distribución normal y la homogeneidad de varianza de los datos de los muestreos en los ríos Almendares, Quibú y Luyanó, se realizó la prueba Kolmogorov – Smirnov y

Cochran – Bartlett respectivamente. Se emplearon datos transformados según $\log(x)$, a los cuales se les aplicó la prueba paramétrica Student-Newman-Keuls (SNK) para verificar si existían diferencias significativas entre los conteos de *E. coli* y coliformes termotolerantes en las diferentes estaciones de muestreo. En los casos en los que los datos no cumplieron con las premisas de normalidad y homogeneidad de varianza, se realizó la prueba no paramétrica Mann – Whitney U. Para los cálculos se utilizó el paquete estadístico Statistica 6.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis organoléptico

En los muestreos realizados al río San Juan se observaron aguas incoloras e inodoras. La turbidez fue prácticamente nula en los puntos evaluados, solamente en el punto S2 (Lago San Juan) se observaron partículas en suspensión al tomar la muestra, lo que daba apariencia de turbidez y además presentó una ligera coloración verdosa pero sin olor alguno (Figura 1). El punto de los Baños del San Juan (S3) fue el que presentó mejores propiedades organolépticas de los tres evaluados en el que las muestras fueron completamente transparentes. A una profundidad de tres metros todavía se observaba el fondo con claridad lo cual pone de manifiesto la limpieza de estas aguas. En todos los muestreos se observó abundante caudal en el río (Figura 1).

No existe una relación directa entre el color y el grado de contaminación pues al tratarse de un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su evaluación

absoluta. Los olores en el agua, generalmente son producidos por sustancias volátiles o gaseosas (H_2S , NH_3 , etc.), y suelen ser debidos a materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria y el tratamiento de aguas residuales. Por su parte, en cursos naturales de agua la turbidez produce una falta de penetración de la luz natural y por tanto modifica la flora y fauna subacuática (Aznar, 2000). Sin embargo, en el análisis organoléptico es importante estimar estos parámetros *in situ* debido a que estas propiedades cambian rápidamente con el tiempo por lo que es preferible una buena estimación cualitativa en campo, antes que un valor exacto medido en el laboratorio sobre muestras ya alteradas. Además, estas observaciones realizadas durante la toma de muestra suelen ser determinantes en el momento de interpretar los resultados después de un análisis más completo de las muestras (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

Tabla 2. Valores promedio de los parámetros químico-físicos medidos durante los muestreos en el río San Juan.

Puntos de muestreo	Parámetros				
	T (°C)	pH	TSD (mg/L)	C (μS/cm)	O ₂ D (mg/L)
S1	25,5	7,42	664,57	1288	6,80
S2	25,3	7,35	651,25	1238	6,20
S3	23,6	7,65	775,0	1449	6,14

T: temperatura; TSD: sólidos disueltos; C: conductividad; O₂D: oxígeno disuelto.

En el caso del río San Juan los resultados obtenidos en el análisis organoléptico de sus aguas muestran el buen estado de este cuerpo de agua y que cumple con las características de un ecosistema no contaminado. Las propiedades físicas del agua, entre las que se encuentran sus características organolépticas, pueden alterarse fácilmente cuando este elemento se ve sometido a una fuerte acción antrópica. De ahí que aunque estos parámetros no suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, su alteración es un indicio de que la autodepuración de un ecosistema natural no está siendo correcta.

El río San Juan se encuentra dentro del área de desarrollo del centro turístico "Las Terrazas", en la parte noreste de la Sierra del Rosario por lo que resulta muy importante que estos parámetros organolépticos no sufran alteraciones en aras de preservar el desarrollo turístico en la zona, ya que muchas de las actividades recreativas que se llevan a cabo se desarrollan en torno a las aguas del río.

Otro elemento que ha influido en el mantenimiento de las características organolépticas de las aguas de este río es que en esta zona son muy pocos los asentamientos poblacionales que pueden encontrarse y no existe la influencia de ninguna industria.

Parámetros físico-químicos

Los valores de los parámetros físico-químicos evaluados se mantuvieron dentro de lo establecido por la Norma Cubana 22 (1999) (Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores), como se muestra en la tabla 2.

La temperatura media anual en esta zona es de 24,4°C y el promedio anual de lluvias de 2013,9 mm. Las rocas predominantes en La Sierra del Rosario son las de tipos calizas duras de las formaciones de Artemisa y Polier. Los suelos más comunes son los ferralíticos, pardos, arcillosos y arenosos (Leiseca, 2012).

La temperatura de las aguas osciló entre 23,6 y 25,5 °C lo que las clasifica en hipotermales de acuerdo a la clasificación de Castany (1971). Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros autores como Larrea *et al.* (2009) en un estudio realizado en este mismo ecosistema dulceacuícola. La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados, aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos (Aznar, 2000). De ahí que la estabilidad de este parámetro en este ecosistema demuestra que durante el período de estudio no se produjo un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, lo que suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor.

El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando queremos determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua. Es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas (ej. NH_4^+ , PO_4^{3-} y Mg^{2+}); la movilidad de metales pesados tales como cobre, que es tóxico para muchos microorganismos; así como también afecta o regula la estructura y función de macromoléculas y organelos tales como ácidos nucleicos, proteínas estructurales y sistemas de pared celular y membranas. Variaciones en pH pueden tener entonces efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas (Fuentes y Massol-Deyá, 2002; Díaz-Solano *et al.*, 2011). Por su parte los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Por ejemplo, aguas para el consumo humano, con un alto contenido de

sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas (Aznar, 2000). En el caso del río San Juan ambos parámetros mantuvieron los valores recomendados para aguas de buena calidad y ponen de manifiesto el buen estado de este ecosistema.

La conductividad de los sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. En el presente trabajo, aunque los valores se mantuvieron dentro de los rangos recomendados se debe señalar que el valor de este parámetro depende del sitio de estudio y el momento en que se realizan los muestreos. Los valores de conductividad obtenidos durante la presente investigación fueron más elevados que los informados por Larrea *et al.* (2009). Este incremento pudo deberse al aumento en las precipitaciones que ocurrió en la zona durante el mes de julio de 2013. La estación meteorológica informó un promedio de 242,1 mm de precipitaciones en tanto los otros meses se mantuvieron entre 24 y 38 mm de precipitaciones. Las lluvias fuertes y frecuentes pueden ser capaces de arrastrar hacia el río materia procedente de la tierra y de otras fuentes pudiendo así alterar la concentración de sales en este ecosistema.

El oxígeno disuelto se mantuvo entre 6,1 y 6,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ lo cual se encuentra dentro de lo permitido en

la NC 22 (1999) mostrando la buena calidad de las aguas de este río. Este es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de: fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica (Fuentes y Massol-Deyá, 2002). Un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad del agua. Los niveles de oxígeno disuelto en el agua deben mantenerse por encima de 4,0 mg/L ya que valores por debajo de este valor límite pueden afectar la supervivencia de los organismos vivos presentes en el ecosistema. Este parámetro es una medida directa de la calidad del agua.

Calidad microbiológica

Las concentraciones de CTE y EC en los puntos muestreados del río San Juan no sobrepasaron los límites establecidos por la NC 22 (1999). En los puntos S1 (Lago El Palmar) y S2 (Lago San Juan) las concentraciones tanto de CTE como de EC estuvieron por debajo de 10^2 UFC/100 mL y en el punto S3 (Baños del San Juan) por debajo de 10^3 UFC/100 mL (Figura 2), lo que pone de manifiesto la buena calidad de las aguas de este río ya que en todos los puntos los valores de microorganismos indicadores estuvieron por debajo de los límites establecidos en la norma cubana tanto para contacto directo como indirecto. Los resultados obtenidos concuerdan con los informados por autores como Carballo *et al.* (2011) y Larrea *et al.* (2009) en estudios realizados en este ecosistema dulceacuícola.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación fecal debido a que estos forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades en él. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo de amplia diversidad en términos de género y especie. La presencia de estos microorganismos indica la existencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen coliformes termotolerantes que están presentes en la microbiota intestinal, siendo *E. coli* la más representativa, con un 90-100 % (Larrea *et al.*, 2013).

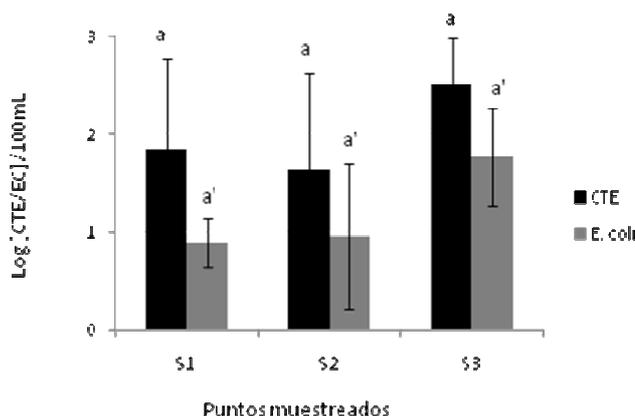


Figura 2. Concentraciones promedio de coliformes termotolerantes (CTE) y *E. coli* (EC) en el río San Juan durante el período evaluado. Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los valores de las concentraciones de los microorganismos indicadores (prueba Tukey *a posteriori* ($p < 0,05$)). Las barras de error indican la desviación estándar del promedio de las concentraciones de los microorganismos indicadores durante el año de estudio. Puntos de muestreo: S1-Lago El Palmar, S2-Lago San Juan, S3-Baños del río San Juan.

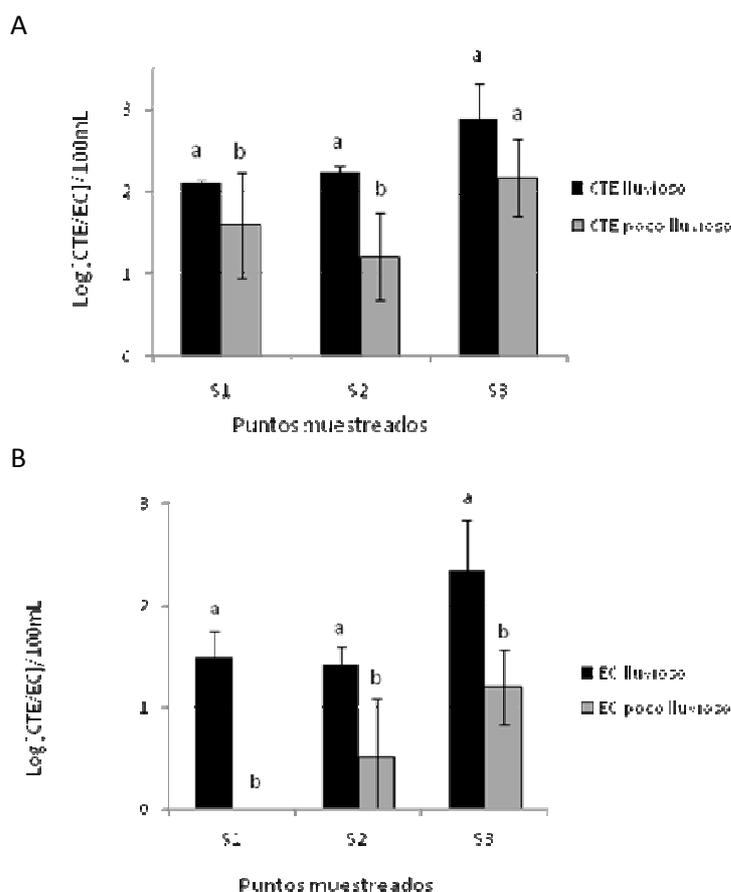


Figura 3. Logaritmo de las concentraciones de (A) coliformes termotolerantes y (B) *E. coli* en el río San Juan, Artemisa, durante el período lluvioso y poco lluvioso en cada punto de muestreo durante el período febrero 2013 - abril 2014. Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas para la prueba t de Student para comparar las concentraciones de CTE y EC entre un período y otro en cada punto de muestreo. Las barras de error indican la desviación estándar del promedio de las concentraciones de los microorganismos indicadores durante el período estudiado. Puntos de muestreo: S1-Lago El Palmar, S2-Lago San Juan, S3-Baños del río San Juan.

Entre los coliformes termotolerantes también pueden encontrarse de forma menos frecuente las especies *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estas últimas aunque forman parte de los coliformes termotolerantes, su origen normalmente es ambiental (fuentes de agua, vegetación y suelos), y solo ocasionalmente forman parte de la microbiota normal (Larrea *et al.*, 2013). Como puede apreciarse en la figura 2 en los tres puntos evaluados la concentración de estos microorganismos es superior a la de *E. coli* por lo que probablemente el origen de los mismos sea ambiental y su llegada al agua del río corresponda al escurrimiento natural que tiene lugar durante los periodos lluviosos. Esta reserva se caracteriza por una red de drenaje superficial bastante denso, así como muchas cañadas de escurrimiento

estacional (Leiseca, 2012), lo que favorece la llegada de materia orgánica y microorganismos a las aguas sin que esto afecte la capacidad de autodepuración de este río lo que permite mantener el equilibrio de este ecosistema natural.

En el caso de *E. coli*, se plantea que esta especie bacteriana tiene un tiempo de sobrevivencia en su hábitat primario de dos días (Winfield *et al.*, 2003). Se ha sugerido que la mitad de la población de *E. coli* reside en el hábitat primario del hospedante y la otra mitad en el ambiente externo (hábitat secundario) (Faustet *et al.*, 1975). De acuerdo con esto, *E. coli* crece y se divide en su hábitat primario, pero tiene una proporción neta negativa de crecimiento en el hábitat secundario, con una supervivencia de aproximadamente un día en agua (Faustet *et al.*, 1975), 1,5 días en sedimentos (Gerba *et al.* 1976) y tres días en el suelo (Temple *et al.*, 1980). Estos estimados implican que *E. coli* no vive en ambientes inertes, pero que el continuo volumen transferido de fuentes humanas y animales mantienen una estable población fuera del hospedante animal (Winfield *et al.*, 2003). En el caso del río San Juan es muy probable que el origen de *E. coli* sea animal y por tanto la presencia de esta bacteria en las aguas de este ecosistema puede deberse al aporte de materia fecal de animales de vida salvaje de acuerdo a lo planteado por Obiri-Danso y Jones (1999) o debido al arrastre de áreas de suelos adyacentes a las aguas de los ríos según lo planteado por Wyeret *et al.* (1998) y Kay *et al.* (1999a) en estudios realizados en Reino Unido.

La baja concentración de estos microorganismos indicadores en este ecosistema dulceacuícola pone de manifiesto la ausencia de la acción antrópica en el mismo a través de vertimientos de aguas residuales de origen doméstico.

Comportamiento de CTE/EC en período lluvioso y poco lluvioso

La relación de las precipitaciones con el aumento de contaminantes de origen animal y humano es muy importante a la hora de llevar a cabo un estudio microbiológico de las aguas de un ecosistema dulceacuícola (Hillet *et al.*, 2006). En Cuba, los meses de Mayo a Octubre (período lluvioso) se caracterizan por presentar altos acumulados de precipitaciones con respecto a los meses de Noviembre a Abril, correspondientes al período poco lluvioso.

Existen diversos informes que coinciden en que las precipitaciones tienen un aporte negativo en la calidad bacteriológica de las aguas, y esto se debe en gran parte a las escorrentías, las cuales pueden arrastrar heces de animales y/o humanas con un alto contenido de bacterias patógenas o también a la infiltración de aguas residuales (Llipet *al.*, 2001; Boehm y Soller, 2011).

En el río San Juan se encontraron diferencias significativas tanto entre las concentraciones de los coliformes termotolerantes como de *E. coli* entre ambos períodos. En un estudio realizado por Larrea y cols. (2009) sobre la calidad microbiológica de las aguas de este río, y la influencia de las precipitaciones sobre esta, observaron un aumento significativo en la concentración de coliformes termotolerantes y *E. coli* en el período lluvioso, resultado muy similar al encontrado en el presente trabajo (figura 3).

El aumento significativo en las concentraciones de estos indicadores en período lluvioso está relacionado con el incremento en el promedio de las precipitaciones en esta zona. Durante los meses de lluvia, en el período evaluado, la Estación Meteorológica de Sierra del Rosario informó un promedio de precipitaciones de 242,1 mm, sin embargo durante los meses de febrero y abril correspondientes al período poco lluvioso solo informó un promedio de 31,5 mm de lluvia observándose claramente la diferencia en las precipitaciones entre una época y la otra lo que tuvo un efecto directo sobre las concentraciones de microorganismos indicadores en el tramo del río evaluado.

Autores como Linet *al.* (2004) observaron un incremento en los conteos bacterianos asociados a la temperatura del agua y a la época de lluvia en el río Mhlathuze en Sudáfrica. Por su parte, Emiliani y González (1998) asociaron el aumento de coliformes termotolerantes al nivel hidrométrico en la Laguna Bedetti, Santa Fé (Argentina), el cual constituyó un indicador de las fuentes dispersas de contaminación, especialmente durante el período de lluvia.

Los resultados obtenidos demuestran que para la evaluación de la calidad de un ecosistema no solo será importante considerar las concentraciones de los microorganismos indicadores, sino también deberán tenerse en cuenta otros factores que pueden incrementar o disminuir las concentraciones de estos en el ecosistema como son las precipitaciones.

Consideraciones generales

Actualmente, el consumo de agua a nivel mundial crece más aceleradamente que la población. La escasez de agua, la sobre explotación de las fuentes de abasto y la contaminación del recurso hídrico son problemas acuciantes para un importante número de países o amplias regiones del planeta, constituyendo una fuerte limitante para su desarrollo y una fuente de afectaciones a la salud de sus habitantes (Russi y Brink, 2013).

Por ello, prevenir la contaminación de los recursos hídricos a través de la reducción o la eliminación de contaminantes en el nacimiento de los ríos es casi siempre la manera más barata, fácil y eficaz de conservar la calidad del agua. El río San Juan posee varias piscinas naturales que se mantienen llenas de agua durante todo el año, incluso en época de poca lluvia, aspecto que se pudo corroborar en los muestreos realizados a la zona en los que se observó caudal abundante todo el año en las estaciones de muestreo evaluadas. Estas características lo hacen un ambiente ideal para el desarrollo del turismo ecológico de tipo sustentable lo que ha tenido un impacto positivo en la autonomía y autogestión de la localidad Las Terrazas. Las ganancias generadas por la actividad turística se invierten en el cuidado del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de la población de la zona. Por estas razones es importante mantener el monitoreo de las aguas de esta zona ya que el incremento de visitantes al complejo turístico podría influir negativamente en la calidad de las aguas de este río y alterar así su calidad.

La prevención de la contaminación debe ser una prioridad en cada uno de los retos pendientes a los que se enfrenta el mundo: la mejora de la calidad del agua, el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio sobre agua y sanidad y la lucha contra el cambio climático. Además, para atender nuestros problemas de calidad del agua, es esencial recuperar y proteger los ecosistemas naturales, estableciendo y aportando sus necesidades básicas de calidad y cantidad de agua. La protección y recuperación de los ecosistemas se debe ver como un elemento clave en la lucha por conseguir una calidad del agua duradera. Como comunidad mundial, debemos redirigir nuestra atención a mejorar y preservar la calidad del agua, un reto que exige avanzar con decisión a nivel internacional, nacional y local.

CONCLUSIONES

El río San Juan mantiene los estándares adecuados para considerarse un ecosistema no contaminado y sus aguas pueden ser utilizadas para la recreación. No obstante, se debe mantener un control estricto de la calidad de sus aguas ya que producto de las actividades recreativas que se llevan a cabo en el mismo, en el tramo correspondiente a los Baños del San Juan, podría verse amenazada la integridad físico-química y microbiológica de este ecosistema acuático natural.

BIBLIOGRAFÍA

1. AFNOR - Association Française de Normalisation (2001) Qualité de l'eau. Analyses biochimiques et biologiques – Analyses microbiologiques. Tome 4. Agence Française de Normalisation, Paris, France.

2. Aznar, A (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental.* 2(23):12-19.
3. Boehm, A.B. y J.A. Soller (2011) Risks Associated with Recreational Waters: Pathogens and Fecal Indicators. In R. A. Meyers, *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology.* Ed Springer, New York City.
4. Carballo, M. E., M. Heydrich, N. Rojas, I. Salgado, B. Romeu, A. M. Manzano, J. Larrea, O. Domínguez, A. Martínez, M. I. Sánchez, M. Cruz, G. Guerra, M. Rojas y M. Ramos (2011) Impact of microbial and chemical pollution in Cuban freshwater ecosystems: strategies for environmental recovery. *Biotecnología Aplicada.* 28 (4): 276-279.
5. Castany G. (1971). *Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas.* Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
6. Díaz-Solano, B. H., M. V. Esteller y S. E. Garrido Hoyos (2011) Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. *Hidrobiológica.* 21(1):49-62.
7. EmilianiF. y S.M. González (1998) Calidad bacteriológica de la laguna Bedetti (Santo Tomé, provincia Santa Fé, Argentina) y variables ambientales asociadas. *Rev. Argentina Microbiol.* 30 (3):30-38.
8. Faust M.A, A.E Aotaky y M.T Hargadon (1975) Effect of physical parameters on the *in situ* survival of *Escherichia coli* MC-6 in an estuarine environment. *Appl Microbiol.* 30:800-806.
9. Fuentes F. y A. Massol-Deyá (2002) *Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos.* Ed Univ. de Puerto Rico, Puerto rico, 100 pp.
10. Gerba C.P. y J.S. McLeod (1976) Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Appl Environ Microbiol.* 32:114-120.
11. Hill, D. D., W. E. Owens y P. B. Tchounwou (2006). The impact of rainfall on fecal coliform bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). *Int J Environ Res Public Health.* 3(1): 114–117.
12. Kay, D., M. D.Wyer, J. Crowther y L. Fewtrell (1999) Faecal indicator impacts on recreational waters: budget studies and diffuse source modelling. *J. Appl. Microbiol. Symp. Suppl.* 85: 70S–82S.
13. Larrea J.A., M. Rojas, B. Romeu, N. Rojas y M. Heydrich(2013) Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura *Rev CENIC Ciencias Biológicas.* 44(3): 24-34.
14. Larrea J.A., M. Rojas, M. Heydrich, B. Romeu, N. Rojas y D Lugo (2009) Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas del complejo turístico “Las Terrazas”, Pinar del Río (Cuba). *Hig. San. Ambient.* 9: 492-504.
15. Leiseca, M (2012) Las Terrazas y su entorno. *Cultura y desarrollo.* 7: 54-60.
16. Lin, J., P.T. Biyela, T. Puckree y C.C. Bezuidenhout (2004). A study of the water quality of the Mhlathuze River, KwaZulu-Natal (RSA): Microbial and physico-chemical factors. *Water SA.* 30 (1): 17-22.
17. LlipE.K., R.Kurz, R. Vincent, C. Rodríguez-Palacio, S.R. Farrah y J.B.Rose (2001) The effects of seasonal variability and weather on microbial fecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries.* 24 (2): 266-276.
18. Norma Cubana 22 (1999) Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. *Requisitos higiénicos sanitarios.* 1ª ed. Oficina Nacional de Normalización. Cuba.
19. Obiri-Danso, K. y K. Jones (1999) The effect of a new sewage treatment plant on faecal indicator numbers, campylobacters and bathing water compliance in Morecambe Bay. *J. Appl. Microbiol.* 86: 603–614.
20. Peña B (2000) Caracterización de Sistemas Hidrominerales en el Distrito Físico Geográfico Pinar del Río. Tesis de Maestría en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
21. Russi D. y P. Brink (2013). *Natural Capital Accounting and Water Quality: Commitments, Benefits, Needs and Progress. A Briefing Note. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB).* United Nations Environment Programme. Ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 75352 Paris 07 SP, France.
22. Sainsbury, B (2006) Cuba: Country Guide. Lonely Planet. p. 217. ISBN 978-1-74059-746-3.
23. Temple K.L., A.K. Camper y G.A. McFeters (1980) Survival of two enterobacteria in feces buried in soil under field conditions. *Appl Environ Microbiol.* 40:794-797.
24. Valenzuela A. y S. M. Bacaicoa (1994) Curas balnearias y climáticas. *Talasoterapia y Helioterapia.* Ed. Complutense, Madrid, 688 pp.
25. Winfield M.D. y E.A. Grosman (2003) Role of Nonhost Environments in the Lifestyles of *Salmonella* and *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol.* 69:3687-3694.
26. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2014) *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy.* Ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 75352 Paris 07 SP, France.
27. Wyer, M. D., D.Kay, J.Crowther, J., A. Whittle *et al* (1998) Faecal-indicator budgets for recreational coastal waters: a catchment approach. *J. Chartered Inst. Water Environ. Manage.* 12: 414–424.