

Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala

Milton Leonel Chán Santisteban¹ & Wagner Peña²

1. Profesor Titular del Centro Universitario del Sur Occidente, Universidad de San Carlos; Guatemala; miltonchan80@hotmail.com
2. Cátedra Gestión Sostenible del Suelo, UNED, AP 474-2050 San Pedro, Costa Rica; wpena@uned.ac.cr

Recibido 18-VII-2014 • Corregido 03-X-2014 • Aceptado 24-X-2014

ABSTRACT: In Guatemala 90 % of urban water has a rural origin and 70% of the sources are superficial. We selected three rivers of the upper basin of Sis Iacán (Chita, and Sacobá Ixconá-Sis; Pacific coast) to assess drinking water. The watersheds have agriculture and livestock farms, as well as urban and rural populations. Water quality was assessed in the origin and end of each river, in 2012. The variables measured were: NO₃, NO₂⁻, SO₄⁼, Fe, Cl, Mn, hardness, total coliforms and fecal coliforms. We applied the water pollution index, which is the average of the ratios between observed parameters and regulated standard values. We found statistically significant inputs for chemical and microbiological contaminants (total and fecal coliforms). The level of chemical contaminants does not compromise the quality of water for human consumption, but the biological contamination does.

Key words: Chemical pollution index; microbiological pollution; drinking water; Sis Iacán; basin; quality water; Guatemala.

RESUMEN: En Guatemala el 90% de las fuentes de abastecimiento del agua urbana son rurales (70% superficiales). Se eligieron tres ríos de la cuenca alta del Sis Iacán (Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá), vertiente del Pacífico, para evaluar la calidad del agua para consumo humano. En las tres microcuencas hay actividades agropecuarias y poblaciones urbanas y rurales. Se tomaron muestras en dos puntos de cada río, cabecera y desembocadura, en 2012. Las variables medidas fueron: NO₃⁻, NO₂⁼, SO₄⁼, Fe, Cl, Mn, dureza, coliformes totales y coliformes fecales. Se usó como índice de contaminación el promedio de los cocientes entre el valor observado y su respectivo límite máximo permitido. En los tres ríos existen aportes estadísticamente significativos de contaminantes químicos y coliformes totales y fecales. Aunque los contaminantes químicos no comprometen la calidad del agua para su consumo; los microbiológicos son una amenaza.

Palabras clave: Índice de contaminación química; contaminación microbiológica; agua para consumo humano; Sis Iacán; cuenca; calidad de agua; Guatemala.

La actividad productiva del hombre y el consumo de agua de las poblaciones humanas generan aguas residuales y producción de desechos, los que constituyen contaminantes que menoscaban la calidad del agua de los cuerpos superficiales. Sitios que han sido privilegiados con la disponibilidad de agua dulce aprovechable para diferentes usos corren peligro de limitar su potencial por la contaminación.

En Guatemala, las fuentes que abastecen las poblaciones humanas son aguas superficiales, 70% en áreas urbanas y 90% en el área rural (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo, CARE Internacional, Concejo Nacional de Desarrollo, y Organización Panamericana de la Salud, 1995). Por esta razón, es importante monitorear la calidad de estas

fuentes para identificar contaminantes e implementar acciones en busca de la sostenibilidad del recurso.

De acuerdo con el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente e Instituto de Incidencia Ambiental (2006), en Guatemala los principales ríos se encuentran contaminados por microbios, elementos tóxicos y sedimentos, cuyo origen principal son las descargas de los centros poblados.

González, Cabrera y Ayala (2006) afirman que los manantiales de agua utilizada para consumo humano requieren de protección física, sanitaria y desinfección, acciones que deben aplicarse a las fuentes superficiales que cumplen con ese propósito o tienen potencial para ello.

Para garantizar el uso sostenible del recurso hídrico es necesario conocer su comportamiento y respuesta ante diferentes intervenciones antrópicas, por lo que es necesaria la valoración de su calidad ante sus posibles usos (Gómez, Naranjo Martínez & Gallego, 2007).

La clasificación de la calidad de las aguas se basa en la comparación de datos de concentración de contaminantes, medidos en campo contra valores límite establecidos en instrumentos legales. Los estándares de calidad para ríos y otros cuerpos de agua se definen de acuerdo a sus posibles usos (Herrera, Rodríguez, Solís & Castro, 2009).

Para facilidad de interpretación y comparación temporal y espacial se utilizan índices de calidad de agua o bien índices de contaminación, que consisten en una expresión matemática que representa a todos los parámetros valorados para evaluar el recurso hídrico y cuya aplicación es específica para cada región o fuente en particular (Samboni, Carvajal & Escobar, 2007).

En el presente estudio se evaluó la calidad del agua de tres ríos de la cuenca alta del Sis Iacán, considerados con potencial para el consumo humano.

METODOLOGÍA

Para la evaluación se seleccionaron los ríos: Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá, cuyas microcuencas se localizan en la cuenca alta del río Sis Iacán, sobre la vertiente del Pacífico de Guatemala entre las coordenadas: 14°30'29" y 14°41'23"N y 91°28'56" y 91°31'58"W. Las aguas de estos ríos son aprovechadas para el abastecimiento de poblaciones importantes, como Zunilito y Mazatenango o presentan potencial para ello. Con base a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística en Guatemala [INE] (sf) para el año 2012, en el área del estudio habitaban 23.493 personas y otras 94.257 vivían fuera de ellas aguas abajo.

En cada río se establecieron dos puntos de muestreo, uno ubicado en la cabecera y otro en la desembocadura. El monitoreo de los ríos se efectuó entre febrero de 2012 y enero de 2013, período en que se efectuaron 11 muestreos de agua en cada punto con una frecuencia mensual, con excepción del mes de agosto de 2012.

Se realizaron análisis químicos y microbiológicos para valorar la calidad del agua. Los parámetros químicos medidos fueron las concentraciones de: nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, manganeso y dureza total (ppm). También se analizaron los parámetros microbiológicos, principalmente de coliformes totales y de coliformes fecales (UFC/100 ml). Los parámetros químicos se midieron por medio de análisis espectrofotométrico, a excepción

de la dureza que se midió por el método de titulación EDTA. Para los análisis microbiológicos se aplicó la metodología de la membrana filtrante (Clesceri, Greenberg & Eaton, 1998).

La calidad química del agua se ponderó por medio del índice de contaminación del agua (WPI), utilizado por Nikolaidis, Mandalos y Vantarakis (2008) y Milijašević, Milanović, Brankov y Radovanović (2011), que es el promedio de la relación entre el valor observado (E_i) y su límite máximo permitido (M_i) de acuerdo con la Comisión Guatemalteca de Normas [COGUANOR] (2010):

$$WPI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{M_i}}{n}$$

Para los valores del índice de contaminación del agua (WPI), coliformes totales y coliformes fecales se efectuaron pruebas de hipótesis, en las que se buscó demostrar que los resultados obtenidos en los puntos de muestreo ubicados en las cabeceras de los ríos, fueron menores a los encontrados en los puntos de muestreo ubicados en las desembocaduras respectivas. Para el efecto, se aplicó una prueba de *t de Student* con un nivel de confianza de 95%, por medio del programa GenStat Discovery Edition 4.

Previo al análisis estadístico, las variables coliformes totales y fecales se transformaron por medio de la función: en donde, z es el valor transformado sometido al análisis estadístico y x es el número de coliformes totales o fecales (UFC/100 ml).

RESULTADOS

En la figura 1 se aprecian los resultados de valores del índice de contaminación del agua (WPI) para los seis puntos muestreados entre febrero de 2012 a enero de 2013. Los valores oscilan entre 0,1 y 0,5 WPI.

En el cuadro 1 se detallan los resultados de las pruebas de hipótesis con un nivel de confianza del 95% para los índices de contaminación de agua (WPI), en los tres casos se encontró que los valores de los puntos de monitoreo ubicados en las partes altas fueron estadísticamente menores que los índices de contaminación obtenidos en la desembocadura de los ríos.

En relación a las mediciones de coliformes totales y de coliformes fecales se encontró contaminación por microbios, incluso en los puntos de muestreo ubicados en las cabeceras de los ríos. En los tres ríos se evidencian

CUADRO 1

Probabilidades determinadas en las pruebas de hipótesis para la comparación de índice de contaminación del agua (WPI), coliformes totales y coliformes fecales entre dos puntos de muestreo en tres ríos de la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala

Río	Chitá	Ixconá-Sis	Sacobá
Índice de contaminación del agua (WPI)	0,032*	0,028*	0,004**
Coliformes totales (UFC(100 ml) ⁻¹)	0,001**	0,018*	0,052 ^{ns}
Coliformes fecales (UFC(100 ml) ⁻¹)	<0,001**	0,006**	0,037*

Notas: ^{ns}=no significativo * = significancia (p<0,05) ** = alta significancia (p<0,01)

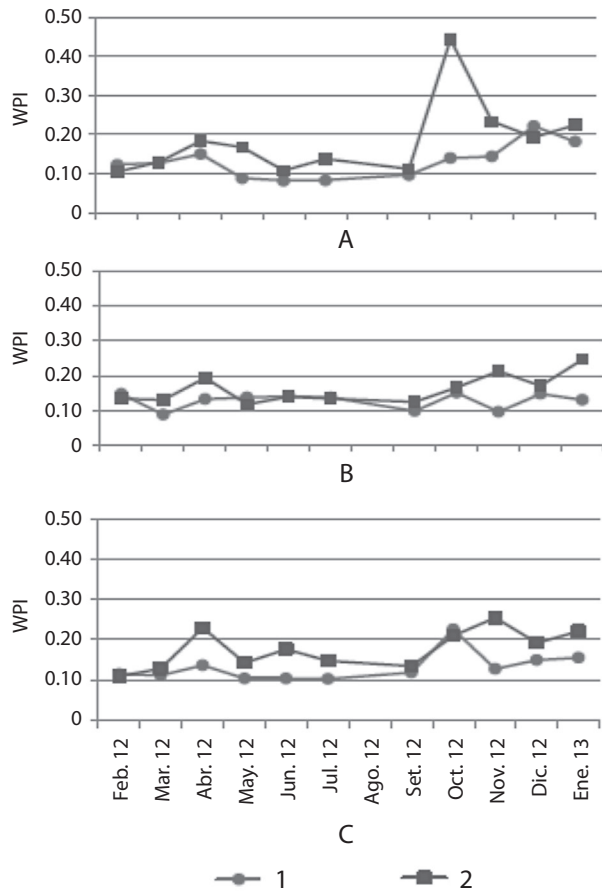


Fig. 1. Índice de contaminación del agua (WPI) en los ríos Chitá (a), Ixconá-Sis (b) y Sacobá (c). Notas: 1 = Cabecera, 2 = Desembocadura.

concentraciones mayores de coliformes totales y de coliformes fecales en las desembocaduras de los ríos al compararlos con las existentes en los puntos de muestreo ubicados en las respectivas cabeceras (Fig. 2).

Las pruebas de hipótesis (Cuadro 1) demuestran que los niveles de unidades formadoras de colonias por 100ml de coliformes totales son estadísticamente

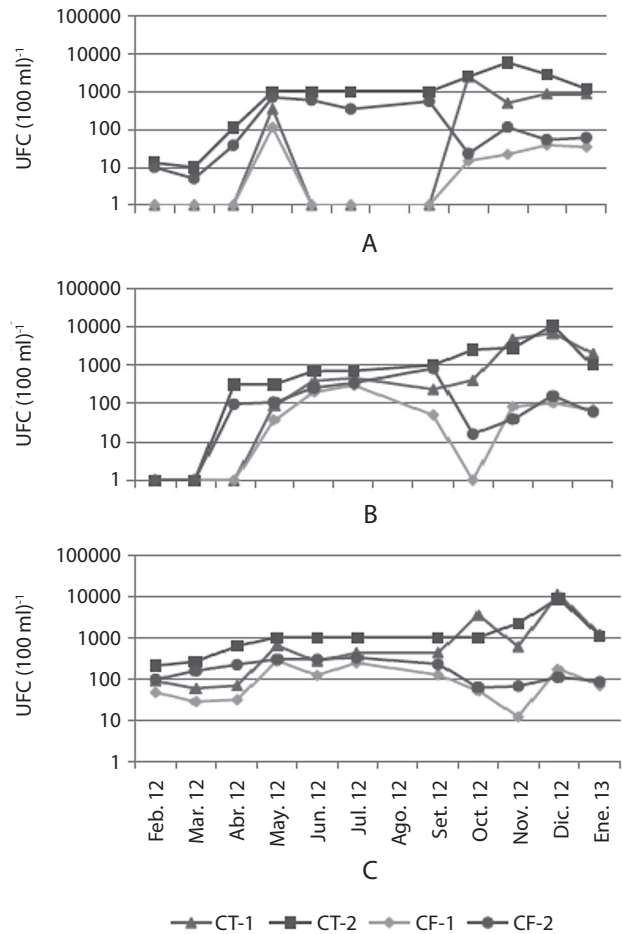


Fig. 2. Cantidad de coliformes totales y de coliformes fecales en los ríos Chitá (a), Ixconá-Sis (b) y Sacobá (c), en unidades formadoras por cada 100 ml. Notas: CT-1= coliformes totales en la cabecera, CT-2 = coliformes totales en la desembocadura, CF-1 = coliformes fecales en la cabecera, CF-2 = coliformes fecales en la desembocadura.

menores en los puntos de muestreo ubicados en las partes altas que los que se ubicaron en las desembocaduras de los ríos Chitá e Ixconá-Sis, con un nivel de confianza del 95%; mientras que para el caso del Sacobá no

se evidenciaron diferencias estadísticas significativas. Por otro lado también se determinó que los niveles de unidades formadoras de colonias de coliformes fecales por 100ml en los puntos de observación ubicados en las partes altas de los ríos fueron estadísticamente menores que las observadas en los puntos bajos para los tres casos con un nivel de confianza del 95%.

DISCUSIÓN

En los seis puntos de muestreo se obtuvieron valores de WPI menores a uno, lo que indica que no se superaron los límites máximos permitidos establecidos por la COGUANOR (2010) para los parámetros medidos, por lo que las aguas podrían considerarse aptas para su consumo, desde el punto de vista químico. Pero los resultados de las pruebas de hipótesis demuestran que existe un proceso de aporte de contaminantes químicos en los tres ríos, por lo que la calidad química del agua en las desembocaduras es menor que la obtenida en las cabeceras.

En todos los puntos de observación se encontró contaminación del agua por coliformes totales y coliformes fecales en consecuencia las aguas no son aptas para su consumo desde el punto de vista microbiológico, sin desinfección previa.

Los resultados de las pruebas de hipótesis demuestran que existe un proceso de contaminación por coliformes totales en los ríos Chitá e Ixconá Sis. El tamaño de la cuenca y longitud de río Sacobá son menores que los del Chitá e Ixconá Sis, en consecuencia el agua tiene menor exposición al ambiente, lo que explica la ausencia de diferencias significativas para coliformes totales, grupo que incluye bacterias de origen ambiental y fecal.

En el caso de coliformes fecales, las pruebas estadísticas demuestran que las concentraciones son significativamente menores en las cabeceras de los tres ríos, lo que significa que en las desembocaduras el agua tiene menor calidad desde el punto de vista microbiológico. Estos resultados revelan un proceso de contaminación por heces fecales, cuyos posibles orígenes son las poblaciones que se asientan en las cuencas y la actividad ganadera.

En evaluaciones similares, Gómez et al. (2007) encontraron coliformes fecales en cabeceras y partes bajas los ríos evaluados y similitud en cuanto los grados de contaminación mientras que Leandro, Coto y Salgado (2010) encontraron mayor contaminación en puntos de muestreo ubicados en puntos inferiores de los ríos y tendencia al incremento de coliformes fecales. Estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio.

Aunque los niveles obtenidos de contaminantes químicos no comprometen la calidad del agua para su consumo, los aportes de microbios si lo hacen. Al considerar la existencia de poblaciones crecientes en las tres microcuencas (INE, sf), la contaminación por microbios fecales es la principal amenaza para estos recursos hídricos

Los resultados evidencian la necesidad de intervenir con acciones preventivas y correctivas contra la contaminación química y microbiológica, como la protección de la ribera del río, control y manejo de la contaminación originaria de poblaciones y ganadería.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala (SENACYT) por el financiamiento, al Centro Universitario del Sur Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el apoyo logístico y respaldo al proyecto de investigación, y a la Cooperación de los Países Bajos por el apoyo en las primeras etapas de la investigación a través del proyecto FIGAL.

Este artículo forma parte del tema de tesis del candidato al grado de doctor en el Programa de Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, cohorte ITCR-2010. Presentado en el VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales, 11-15 noviembre 2013, San Carlos, Costa Rica.

REFERENCIAS

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo, CARE Internacional, Concejo Nacional de Desarrollo, y Organización Panamericana de la Salud. (1995). *Análisis del sector agua potable y saneamiento en Guatemala*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/guatemala/guatemala.html>
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (Eds). (1998). *Standard methods for the examination of water and waste water* (20th ed). United States of America: United Book Press Inc.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2010). *Agua para consumo humano (agua potable). Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001*. Guatemala: MINECO.
- Gómez Marín, A. M., Naranjo Fernández, D., Martínez, A. A., & Gallego Suárez, D. J. (2007). Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota-Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3735-3749.

- González Cortez, J. A., Cabrera González, A. & Ayala Gómez, J. M. (2006). Flujo, calidad del agua y uso potencial de los manantiales de la microcuenca Atécuaro, Morelia, Michoacán, México. *Biológicas*, 8,31-46.
- Herrera Murillo, J., Rodríguez Román, S., Solís Torres, L. D., & Castro Delgado, F. (2009). Aplicación de técnicas químimétricas para clasificar la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 22 (4), 75-85.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente e Instituto de Incidencia Ambiental (2006). *Perfil ambiental de Guatemala 2006*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Instituto Nacional de Estadística (s.f.). *Guatemala: estimaciones de la población total por municipio 2008-2020 (al 30 de junio)* [Excel]. Guatemala: INE. Recuperado de <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>
- Leandro, H., Coto, J. M., & Salgado, V. (2010). Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del río Virilla. *Uniciencia*, 24, 69-74.
- Milijašević, D., Milanović, A., Brankov, J., & Radovanović, M. (2011). Water quality assessment of the borska reka river using the WPI (water pollution index) method. *Archives of Biological Sciences*, 63(3), 819-824.
- Nikolaidis, C., Mandalos, P., & Vantarakis, A. (2008). Impact of intensive agricultural practices on drinking water quality in the evros region (ne greece) by gis analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143(1-3), 43-50.
- Samboni, N. E, Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físico químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.

