

# Relación entre el uso de la tierra y tamaño de la población sobre la calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala

MILTON LEONEL CHÁN SANTISTEBAN<sup>1,3</sup> & WAGNER PEÑA<sup>2</sup>

1. Ing. Profesor del Centro Universitario del Sur Occidente, Universidad de San Carlos; Guatemala. Teléfono: (502) 78726295, correo: miltonchan80@hotmail.com
2. Director de Tesis. Cátedra Gestión sostenible del suelo, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.
3. Parte del Trabajo de Investigación en DOCINADE, ITCR-2010. Presentado en el VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales, San Carlos Costa Rica.

Recibido: 16 julio 2014

Aceptado: 31 julio 2014

## RESUMEN

El uso de la tierra así como el tamaño de las poblaciones que habitan las cuencas inciden en la calidad del agua que drenan, por lo que es importante analizar estas relaciones para orientar el manejo de sus territorios y así mejorar la gestión del recurso hídrico. Con éste fin se seleccionaron tres microcuencas de la cuenca alta del Sis Icán, de la vertiente del Pacífico de Guatemala. Dos de los ríos observados se utilizan para el abastecimiento de municipios y el tercero tiene potencial para ese propósito. La calidad del agua se evaluó en dos puntos de cada río, uno ubicado en la cabecera y otro en la desembocadura, durante un año (2012). Las variables medidas fueron las siguientes: pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbiedad, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, manganeso, dureza, coliformes totales y coliformes fecales. Por otro lado se caracterizaron las cuencas de drenaje de cada punto de muestreo en relación al uso de la tierra y tamaño de la población para ello se midieron los porcentajes de cobertura de: bosque, cultivos permanentes y semipermanentes, pastizales y poblados a lo que se agregó el tamaño de la población. Para cada grupo de datos se aplicaron análisis de conglomerados y de componentes principales, cuyos resultados se compararon para analizar los comportamientos de la calidad del agua. Es evidente que las aguas de mejor calidad se asocian a áreas con cobertura de bosque y cultivos permanentes, mientras que las aguas más afectadas en su calidad se asocian con áreas cubiertas con cultivos limpios, pastizales, poblados, cultivos semipermanentes y poblaciones.

**Palabras clave:** Uso de la tierra, población, calidad del agua, Sis Icán, cuenca.

## ABSTRACT

**Relationship between land use and population size on the surface water quality at the upper basin of Sis Icán, Guatemala.** The land use and the size of the populations living in watersheds affect water quality draining, so it is important to analyze these relationships to guide management of their lands and improve water resource management. With this purpose they were selected three watersheds of the upper basin of Sis Icán, on the Pacific coast of Guatemala. Two of the rivers are used for municipal supply and the third has the potential for it. In the watersheds of these rivers there are agricultural and livestock activities, also there are urban and rural populations. Water quality was evaluated at two points of each river, one located in the head and one at the mouth, for one year. The variables measured were: pH, dissolved oxygen, dissolved oxygen percentage, electrical conductivity, turbidity, nitrates, nitrites, sulfates, iron, chlorine, manganese, hardness, total coliforms and fecal coliforms. On the other hand were characterized drainage basins each sampling point in relation to land use and population size were measured for this coverage percentages: forest, permanent and semi-permanent crops, pastures and towns to what is added population size. For each data set were applied cluster and principal components analysis, the results were compared to analyze the behavior of water quality. It was concluded that higher quality waters are associated with forest coverage areas and permanent crops, while the waters most affected in their quality are associated with areas covered with clean crops, pastures, villages, and towns semipermanent crops. We conclude that higher quality waters are associated with forest coverage areas and permanent crops, while the waters most affected in their quality are associated with areas covered with clean crops, pastures, towns, semipermanent crops and population size.

**Key words:** Land use, population, water quality, Sis Ican, basin.

## Introducción

En diferentes países se han realizado esfuerzos para identificar la relación entre uso de la tierra y la contaminación del agua, una muestra de ello son los trabajos realizados por Fisher et al (2000), Ometo et al (2000), Pan et al (2004) y Vanzela et al (2010). En éstos estudios se han aplicado métodos de información geográfica y de caracterización de la calidad del agua.

Según Miller (2007), el origen de la contaminación del recurso hídrico procede de actividades antrópicas y de procesos naturales. En este sentido, en Guatemala el IARNA (2006) atribuye a las descargas de los desagües de centros poblados el aporte de sedimentos y contaminación biológica a las corrientes superficiales. Relacionado con la temática, varios autores coinciden con este planteamiento, como por ejemplo Fisher y colaboradores (2002) encontraron que la contaminación con coliformes es efecto de la actividad pecuaria en la cuenca del río Oconee en Georgia, Pan y otros (2004) encontraron una relación significativa entre nutrientes y la actividad agrícola en Willamete-Oregón y Vanzela y colaboradores (2010) le atribuyen la reducción de la calidad del agua a la agricultura en la cuenca Tres Barras de Sao Pablo.

No obstante, de acuerdo con Quentin et al (2003) el reparto espacial de datos puede establecer una relación entre calidad del agua, salud y otros parámetros explicativos naturales o de carácter antrópico. Asimismo, otros autores han logrado avances en el tema, como Herrera y otros (2009), que utilizaron métodos de análisis multivariantes que les permitieron clasificar las aguas por su calidad en la cuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica. Estos criterios se aplicaron para analizar la relación entre el uso de la tierra y población con la calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala.

## Materiales y métodos

Se seleccionaron las microcuencas de los ríos: Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá, que se localizan en la cuenca alta del río Sis Icán, en la

vertiente del Pacífico de Guatemala, entre las coordenadas: 14° 30'29" y 14° 41'23" latitud norte y 91° 28'56" y 91° 31'58" longitud oeste. Con base a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (sf) en el área del estudio, para el año 2012 habitaban 23.493 personas y otras 94.257 vivían en la cuenca baja.

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, con muestreos mensuales en cada punto a excepción del mes de agosto de 2012.

Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos para valorar la calidad del agua. Los parámetros medidos fueron: pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbiedad, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, manganeso, dureza, coliformes totales y coliformes fecales. El pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto y conductividad eléctrica se midieron *in situ* por medio de laboratorio portátil con sondas específicas, la turbidez se midió con nefelómetro, 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, 1998).

Se calcularon los promedios aritméticos y límites de confianza al 95% para los parámetros de físicos y químicos de la calidad del agua y la media geométrica para los parámetros microbiológicos en cada punto de muestreo.

Por otro lado, se caracterizó el uso de la tierra en la cuenca de drenaje de cada punto de muestreo. Para el efecto, se hizo un análisis de fotogrametría y fotointerpretación con el uso de la ortofoto escala 1:10.000 (MAGA, 2006), para delimitar áreas con texturas similares. Al actualizar el uso de la tierra, se realizaron expediciones en las que se identificaron las coberturas existentes en el campo y se registraron sus ubicaciones. Con estos datos, se hizo el análisis de imágenes satelitales de 90 m<sup>2</sup> por pixel del año 2012, con lo que se verificó y actualizó el uso de la tierra. Se identificaron las siguientes

categorías: bosque, cultivos permanentes, cultivos semipermanentes, pastizales y poblados.

Para estimar el tamaño de la población se identificaron los poblados asentados en cada microcuenca, luego, se investigó la proyección de población por municipio de los centros poblados identificados (INE, s.f.) y se realizó un reparto proporcional de acuerdo a los datos obtenidos en el censo poblacional del año 2002 (INE, 2002).

Los grupos de datos conformados por las medias de los parámetros de calidad del agua por un lado y categorías de uso de la tierra en porcentajes y población por el otro, se estandarizaron. Luego se efectuaron análisis de componentes principales con rotación por el método Normalización Varimax con Kaiser y de conglomerados jerárquicos por el método Ward con distancia Euclidiana al cuadrado, para identificar las variables de importancia de cada serie, clasificar las aguas y las cuencas de

drenaje. Con los resultados obtenidos se hizo un análisis comparativo.

## Resultados y discusión

En el cuadro 1, se distinguen diferencias en las características de calidad de agua, uso de la tierra y poblaciones de cada área de drenaje evaluada. Sin embargo, los análisis multivariantes revelan mayores detalles.

El análisis de componentes principales para los parámetros de calidad del agua (cuadro 2), muestra la existencia de tres componentes principales que explican el 93 % de la variabilidad: el primer componente tiene alta correlación con la turbidez, porcentaje de oxígeno disuelto, concentraciones de nitritos, cloro, coliformes totales y coliformes fecales; variables relacionadas con la contaminación orgánica y fecal originaria de poblaciones humanas y de actividad pecuaria. El

CUADRO 1

### Caracterización media de la calidad del agua, límites de confianza al 95%, uso de la tierra y la población por área de drenaje de puntos de muestreo en la cuenca alta del Sis Itán, Guatemala

Variable	Ch-1	Ch-2	IS-1	IS-2	S-1	S-2
Turbiedad (UNT)	2,95 ± 1,65	4,74 ± 1,52	5,32 ± 2,60	6,23 ± 2,96	3,59 ± 1,12	4,10 ± 1,40
pH	7,51 ± 0,13	7,77 ± 0,12	7,46 ± 0,17	7,77 ± 0,14	7,53 ± 0,16	8,01 ± 0,13
OD (mg l <sup>-1</sup> )	7,85 ± 0,14	7,33 ± 0,09	7,48 ± 0,19	7,34 ± 0,23	7,62 ± 0,18	7,28 ± 0,19
OD (%)	96,7 ± 0,7	95,3 ± 0,7	94,0 ± 1,7	94,7 ± 1,9	95,3 ± 1,6	95,9 ± 1,9
cE (μS cm <sup>-1</sup> )	6,70 ± 0,38	9,35 ± 0,38	5,23 ± 0,46	7,28 ± 0,42	6,33 ± 0,47	6,94 ± 0,44
NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	1,86 ± 1,02	1,80 ± 0,78	1,38 ± 1,33	1,58 ± 1,12	1,28 ± 0,93	1,56 ± 1,06
NO <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	0,006 ± 0,003	0,024 ± 0,011	0,008 ± 0,002	0,021 ± 0,008	0,008 ± 0,004	0,009 ± 0,004
SO <sub>4</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	61,09 ± 52,22	52,00 ± 50,75	32,46 ± 27,77	57,18 ± 50,32	48,55 ± 40,25	60,36 ± 58,28
Fe (mg l <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,04	0,16 ± 0,16	0,05 ± 0,04	0,10 ± 0,05	0,04 ± 0,03	0,13 ± 0,07
Cl (mg l <sup>-1</sup> )	0,06 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,06 ± 0,03	0,08 ± 0,06	0,06 ± 0,05	0,07 ± 0,04
Mn (mg l <sup>-1</sup> )	0,20 ± 0,08	0,22 ± 0,09	0,25 ± 0,10	0,23 ± 0,09	0,25 ± 0,10	0,23 ± 0,11
Dureza (mg l <sup>-1</sup> )	46,82 ± 10,46	52,09 ± 9,78	34,46 ± 5,03	50,64 ± 7,98	35,55 ± 4,47	49,27 ± 8,94
C. T. UFC (100 ml) <sup>-1</sup>	21,09 ± 10,74	527,64 ± 4,10	484,59 ± 2,96	971,55 ± 1,95	122,87 ± 9,43	319,26 ± 7,62
C.F. UFC (100 ml) <sup>-1</sup>	5,10 ± 3,66	86,34 ± 3,06	74,20 ± 1,91	151,45 ± 1,52	19,28 ± 4,65	50,06 ± 4,38
Bosque (%)	59,48	10,26	1,35	0,48	0,00	0,00
C. Permanentes (%)	40,52	71,73	98,65	74,76	100,00	55,51
C. Semipermanentes (%)	0,00	2,98	0,00	0,76	0,00	1,49
Cultivos anuales (%)	0,00	1,68	0,00	2,36	0,00	0,00
Pastizales (%)	0,00	8,39	0,00	18,29	0,00	37,86
Poblados (%)	0,00	4,95	0,00	3,34	0,00	5,14
Población (habitantes)	0	7735	0	9326	213	6371

Notas: Ch= Río Chitá, IS = Río Ixconá Sis, S= Río Sacobá. 1 = Cabecera, 2= Desembocadura.

CUADRO 2

**Matriz de componentes principales para parámetros de calidad del agua en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala**

Variable	Componente		
	1	2	3
Turbiedad	0,936	-0,246	0,129
pH	0,108	0,201	0,956
Oxígeno disuelto	-0,572	0,207	-0,783
Porcentaje de oxígeno disuelto	-0,722	0,670	0,127
Conductividad eléctrica	0,316	0,698	0,460
Nitratos	0,018	0,947	0,030
Nitritos	0,820	0,379	0,306
Sulfatos	-0,286	0,722	0,419
Hierro	0,356	0,361	0,800
Cloro	0,687	0,573	0,405
Manganeso	0,214	-0,954	0,095
Dureza	0,252	0,788	0,535
Coliformes totales	0,940	-0,040	0,223
Coliformes fecales	0,944	-0,011	0,231
Varianza explicada (%)	36,25	33,10	23,16
Valor de Eigen	5,07	4,63	3,24

segundo componente tiene alta correlación con la conductividad eléctrica, concentraciones de nitratos, sulfatos, manganeso y dureza; variables que pueden relacionarse con la actividad agrícola de la zona. El tercer componente se correlaciona con el pH y concentraciones de oxígeno disuelto y hierro.

Al efectuar el análisis de componentes principales para las variables de uso de la tierra y de población (cuadro 3), se encontró la conformación de tres componentes que explican el 97% de la variabilidad. El primer componente se encuentra correlacionado con los usos de pastizales y cultivos limpios, usos que diferencian las áreas de drenaje de las cabeceras con las de las desembocaduras. El segundo componente se correlaciona con cultivos semipermanentes, poblados y población. El tercer componente principal se ve dominada por los usos de bosque y cultivos permanentes, cuyos valores relativos son mayores en las cabeceras de las cuencas de los tres ríos.

Al comparar la conformación de los componentes principales de las dos series de datos, se nota que el primero y segundo componente

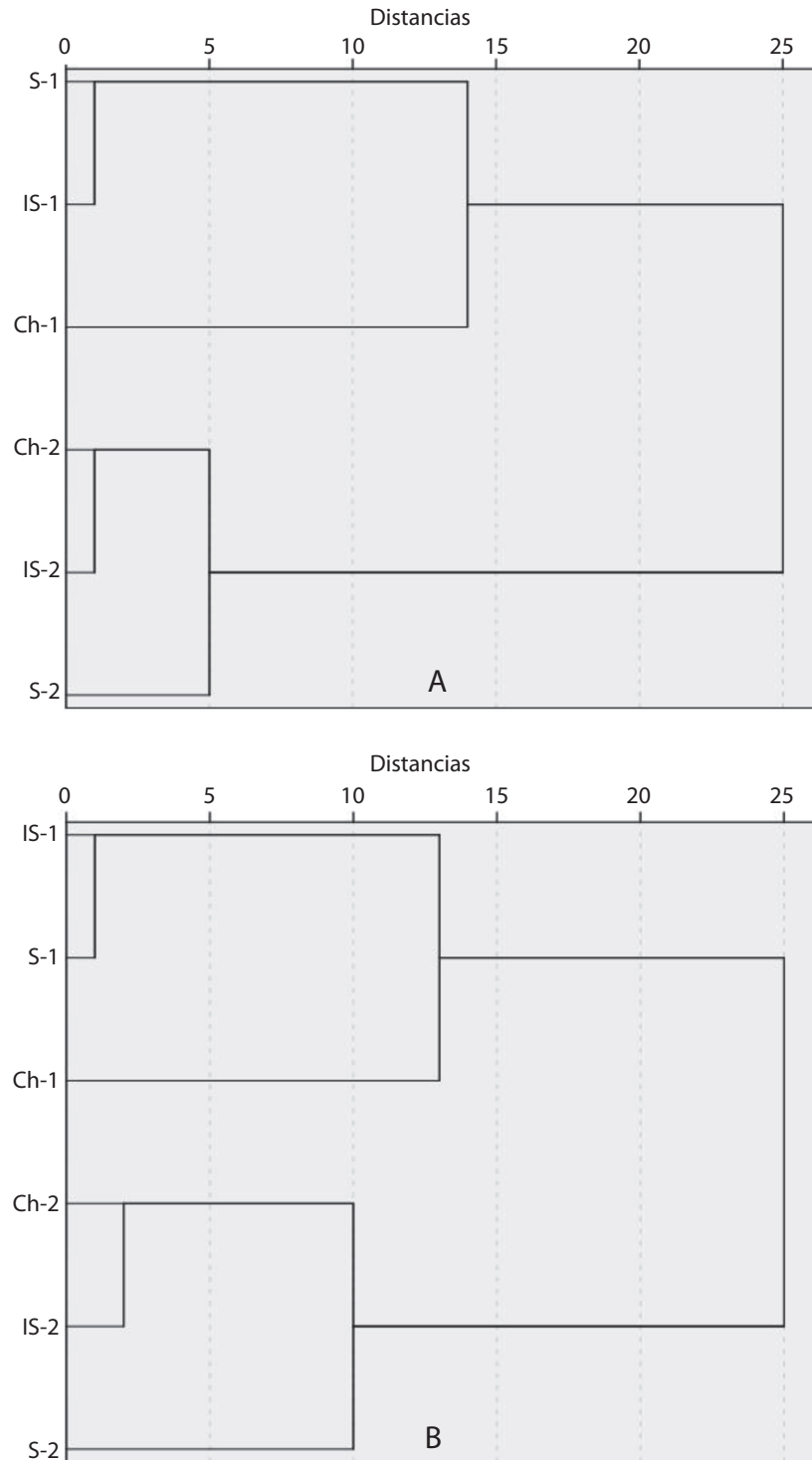
CUADRO 3

**Matriz de componentes principales para el uso de la tierra y población en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala (2012)**

Variable	Componente		
	1	2	3
Bosque	-0,344	-0,229	-0,909
Cultivo Permanente	-0,423	-0,052	0,900
Cultivo Semipermanente	0,200	0,888	-0,095
Pasto	0,951	0,285	0,005
Cultivo Limpio	0,973	0,051	-0,052
Poblados	-0,085	0,887	0,326
Población	0,509	0,794	0,044
Varianza explicada (%)	35,08	33,50	25,09
Valor de Eigen	2,46	2,35	1,75

principal del uso de la tierra y población se relacionan en forma directa con el primer componente principal de la calidad del agua, ya que a los usos de pastizales y poblados así como al tamaño de las poblaciones se les puede atribuir la contaminación por coliformes, coliforme fecal, nitritos, cloruro y turbidez. Los tres componentes principales consideran cultivos, en el primero con cultivos limpios, en el segundo con cultivos semipermanentes y en el tercero con cultivos permanentes, todos ellos se pueden relacionar con el segundo componente principal de calidad del agua, cuyas variables de mayor correlación corresponden a sales y nutrientes.

El análisis de conglomerados jerárquicos de los parámetros de calidad del agua (figura 1A), separa dos grupos grandes que corresponden, por un lado a los puntos de muestreo de las cabeceras de los tres ríos y, por otro, los ubicados en las desembocaduras. Estos grupos difieren en características físicas, químicas y microbiológicas, ya que los puntos de las cabeceras presentan promedios menores en turbidez, pH, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, manganeso, dureza, coliformes totales y fecales. Entre los puntos de muestreo de las cabeceras se distingue el del río Chitá, con valores menores de coliformes totales y de coliformes fecales en comparación con los otros dos y entre los puntos de las desembocaduras se distingue la calidad del agua del río



**Figura 1.** Dendrogramas obtenido a través de análisis conglomerados aplicado en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala. Notas: Ch= Río Chitá, IS = Río Ixconá Sis, S= Río Sacobá. 1 = Cabecera, 2= Desembocadura. **A.** parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad del agua. **B.** uso de la tierra y población.

Sacobá, que muestra valores menores de nitritos, coliformes totales y de coliformes fecales.

El mismo análisis aplicado a las características de uso de la tierra y población de las áreas de drenaje (figura 1B), agrupa a las cuencas de las cabeceras y a las cuencas de las desembocaduras, pues en las zonas altas predominan los cultivos permanentes y bosque, mientras que en la cuenca baja de las desembocaduras aparecen otros usos como: cultivos anuales, cultivos semipermanentes, pastos y poblados. Entre las microcuencas altas se separa la del Chitá, que es la única que presenta alta proporción de bosque (59%) y entre las cuencas de las desembocaduras se distingue la cuenca del río Sacobá, que en relación a las otras dos, presenta mayor proporción de pastizales y menor población.

Si se comparan las agrupaciones formadas en los dos análisis de conglomerados, se nota la coincidencia la cuenca de drenaje con mayor proporción de bosque con el agua de mejor calidad (cabecera del Chitá). En las cabeceras del Ixconá-Sis y del Sacobá, en las que predominan los cultivos permanentes, la calidad del agua es menor que la del Chitá pero mejor que todos los puntos ubicados en las respectivas desembocaduras, esto puede deberse a que la actividad humana se incrementa debido a la predominancia de cultivos permanentes y que a diferencia de la cuenca alta del Chitá no existen áreas importantes de bosque, lo que se refleja en el incremento de concentraciones de coliformes y totales y fecales.

Los puntos con mayor contaminación son los de las desembocaduras, en cuyas cuencas las proporciones de pastizales, cultivos anuales, poblados y tamaños de población difieren de las áreas de drenaje de las cabeceras. Entre éstos se distinguen los que corresponden a las desembocaduras de los ríos Chitá e Ixconá-Sis, que son aguas de menor calidad física, química y microbiológica, además que poseen áreas de drenaje en dónde se asientan las mayores poblaciones humanas y de cultivos anuales, lo que supone la mayor actividad antrópica en el área de estudio.

## Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que en la cuenca alta del Sis Icán las aguas de mejor calidad se asocian a áreas con mayor cobertura de bosque y cultivos permanentes, mientras que las aguas de menor calidad se asocian con áreas cubiertas con mayor proporción de cultivos anuales, cultivos semipermanentes, pastizales, poblados, cultivos semipermanentes y poblaciones mayores. Se recomienda continuar con estudios relacionados con la calidad de los ríos, especialmente la eutrofización de las aguas superficiales, la infraestructura natural de las microcuencas y la vulnerabilidad por causa de la pérdida del recurso suelo.

## Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento 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 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 a doctor Milton Leonel Chán Santisteban en el Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE, ITCR cohorte 2010). Además, se agradece la participación de los asesores Dr. Bernard Herrera (UNAM, México) y del Dr. Roger Muñoz (UNED, UNA).

## Referencias

- Clesceri, LS. (1998). *Standard methods for the examination of water and waste water*. United States, American Public Health Association.
- Fisher, D. S., et al. (2000). *The relationship of land uses practices to surface water quality in the upper Occonee watershed of Georgia*. Forest ecology and management. 128, 39-48.

- Herrera Murillo, J., et al. (2009). *Aplicación de técnicas quimiométricas 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. (2002). *Censo INE 2002 por lugar poblado (En línea)*. Guatemala. Consultado 18 sep. 2012. Disponible en: [http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=269](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=269)
- Instituto Nacional de Estadística. (s.f.). *Guatemala: estimaciones de población total por municipio período 2008-2020 (al 30 de junio) (en línea)*. Guatemala. Formato xls. Obtenido desde: <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>
- Miller, T. G. (2007). *Ciencia ambiental, desarrollo sostenible un enfoque integral*. México: Thomson.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *Ortofotos 2006 (En línea)*. Guatemala. Consultado 10 sep. 2012. Disponible en: [http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=267](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=267)
- Ometo, J. P., et al. (2000). *Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south east Brazil*. Freshwater biology, 44, 327-337.
- Pan, Y., et al. (2004). *Linkages among land use, water quality, physical habitat conditions and lotic diatom assemblages: A multispatial scale assessment*. Hydrobiologia, 515, 59-73.
- Quentin, E., et al. (2003). *Geomática aplicada a la relación entre la calidad del agua y salud humana en las localidades del estado de México*. México, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vanzela, LS; et. al. (2010). *Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14 (1), 55-64.

