

ARTÍCULO ORIGINAL

Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala

Water Quality Index Application. Case study: Lake Izabal, Guatemala

M.Sc. Maritza Raquel Aguirre Córdón^I, D.Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón^{II}, Dr.C. Nancy García Álvarez^{III}

^I Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Izabal, Guatemala.

^{II} Universidad de San Carlos de Guatemala, Campus Central, Guatemala.

^{III} Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. La contaminación de los cuerpos superficiales de agua es un proceso incipiente debido a acciones antrópicas, entre las que destacan agricultura de exportación, ganadería y crecimiento desordenado de las áreas residenciales tanto a nivel urbano como rural. La cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, drena al Lago de Izabal, en una relación de superficies de 10:1; por su naturaleza navegable está sometido a procesos de degradación incipiente. Esta investigación, con base en registros históricos de características físico químicas del agua, evaluó para los años 2005 a 2014 el estado de la salud del Lago por el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (ICA-NSF). Se concluyó que la calidad del agua del Lago de Izabal se categoriza como buena.

Palabras clave: Recursos hídricos, contaminación, limnología.

ABSTRACT. The contamination of surface water bodies is an incipient process due to human actions among others, export agriculture, live-stock and sprawl of residential areas both urban and rural level. The basin of Lake Izabal and Río Dulce drains to Lake Izabal in an area ratio of 10: 1, by its nature navigable, is subjected to incipient degradation processes. This research based on historical records of physicochemical characteristics of water evaluated for the years 2005-2014, the state of health of Lake Izabal by the water quality index of the National Sanitation Foundation of the United States of America (ICA-NSF). It concluded that the water quality of the Lake Izabal is categorized as good.

Keywords: Water resources, pollution, limnology.

INTRODUCCIÓN

Una de las temáticas de actualidad entre académicos y miembros de las comunidades a nivel local es la contaminación del agua superficial, en especial la contaminación de lagos, lagunas y reservorios (Semiz y Aksit, 2013). La evaluación de la calidad del agua basada en el monitoreo espacial y temporal es fundamental para el estudio de la demanda y suministro del agua con múltiples fines, que a su vez, constituye un elemento primario de los planes de manejo sostenible a nivel de cuenca hidrográfica (Jaramillo, 2011). La calidad del agua superficial regularmente es estudiada a través de la cuantificación de características físico, químicas y biológicas del agua (Demin, 2013; García, 2013¹; Montalvo *et al.*, 2013). Sin embargo, exis-

ten agrupaciones de estas características denominados índices de calidad del agua, desarrollados bien con fines específicos de conformidad con los usos del agua, o como resultado de políticas de monitoreo y evaluación de la calidad del agua superficial a nivel de región o país (Babaei, 2011; Semiromi y Naderi, 2011; Ban *et al.*, 2014). Actualmente, el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos Americanos (ICA-NSF), es uno de los más ampliamente utilizados a nivel mundial (Coello *et al.*, 2013; Javid, 2014; Morales *et al.*, 2014). El ICA-NSF es un índice público ya que ignora tanto el tipo de uso que se le dará al agua, como el o los métodos utilizados para determinar las

¹ GARCIA, M.: Línea base de calidad de agua del Río Dulce, Livingston, Izabal. Guatemala. Tesis (presentada en opción al título de Licenciatura en Acuicultura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Centros de Estudios del Mar y Acuicultura, Guatemala, 2013.

características físico químicas y biológicas. Presenta además una cualificación general del estado del agua y resulta un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua (Poonam *et al.*, 2013). Este índice utiliza nueve características, como variables de respuesta, que son: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, turbiedad, coliformes fecales (de forma cuantitativa), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo total, nitratos y sólidos suspendidos totales (Oram, 2015). En Guatemala, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) es la institución gubernamental encargada de velar por la calidad del agua de los lagos y se apoya en entidades dedicadas a garantizar el desarrollo sustentable de las cuencas hidrográficas donde estos se albergan (IARNA-URL, 2012), por lo que se necesita realizar investigaciones con este propósito. El objetivo del trabajo consiste, por tanto, en aplicar el ICA-NSF, basado en registros históricos de variables físico químicas del agua del Lago de Izabal, para que se evalúe su calidad.

MÉTODOS

La cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce ubicada en el nororiente de Guatemala en los municipios de Alta Verapaz, Baja Verapaz e Izabal tiene una extensión de 8 161,44 km² y alberga el lago más grande del país con un espejo de agua de 718 km². Es un sistema abierto con un afluente principal, el Río Polochic y un drenaje, el Río Dulce hacia el Mar Caribe. Basado en los registros de variables físico químicas del agua del Lago de Izabal, conducidos por la Autoridad para el Desarrollo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y del Río Dulce (AMASURLI), se evaluó para el periodo 2005-2014 la calidad del agua del lago, utilizando el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos Americanos (ICA-NSF). Se consideraron 22 puntos diferentes de muestreo, de los cuales cuatro corresponden al centro del lago y 18 a las principales desembocaduras de los afluentes, considerando el uso de la tierra (Figura 1).

El estudio representó el promedio de evaluaciones bimestrales de calidad del agua en época seca (diciembre, febrero y abril) y época lluviosa (junio, agosto y octubre), por año y por punto de muestreo. El ICA-NSF utiliza una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de 0 a 100, donde los valores entre 0 y 25 representan una calidad muy pobre; 25 y 50 mala; 50 y 70 regular; 70 y 90 buena y entre 90 y 100 muy buena. Debido a que AMASURLI solo evalúa cinco de los nueve indicadores del ICA-NSF, se determinó la calidad del agua del lago en función del potencial de hidrogeno (pH), la temperatura y el oxígeno disuelto (por sonda multiparamétrica marca Orión Star A329 portátil), los nitratos y el fósforo total (por espectrofotometría visible utilizando un espectrofotómetro Nova 60). El cálculo del ICA-NSF se realizó a través del sistema online "Calculadora" del Water Research Center,

desarrollado por Oram (2015). Una vez determinado el valor numérico se asignó la categorización cualitativa y se procedió a sintetizar y discutir el estado de la calidad del agua del lago por punto de muestreo y año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la época seca el 10,5% de los monitoreos indicaron una calidad de agua excelente, destacándose los puntos de muestreo Centro 0, Centro III, Polochic Cobán, Polochic Bujajal y Río Sauce, sin embargo, no hay un punto que mantenga esa categoría en todos los años evaluados. El 84% de los monitoreos fue clasificado de buena calidad destacándose los puntos de Centro I, Centro II, Río Túnico, Sehoc, Escoria, San Marcos, Punta Brava, Finca Paraíso. Adicionalmente, el 5,5% de los mismos presentaron una calidad del agua regular, siendo El Estor, Canal de Salida de la Compañía guatemalteca de níquel y Río Oscuro (Tabla 1) los más relevantes. En época lluviosa se observó una leve tendencia a disminuir la calidad del agua, 4,3% de los monitoreos indicaron una calidad de agua excelente, mientras que en el 86,3% se consideró buena, destacándose los puntos de muestreo Centro I, Centro II, Centro III, El Estor, Canal entrada Compañía guatemalteca de níquel, Playa Dorada, San Marcos, Las Cañas, Punto Brava, Finca Carolina y Finca Paraíso; en el 9,4% de los monitoreos el agua presentó una calidad catalogada de regular (Tabla 2).

La calidad del agua proveniente del afluente Río Oscuro, tanto en época seca como lluviosa se clasificó como regular; es necesario destacar que dicho río es uno de los drenes del área de conservación del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, con preponderancia vegetativa de (*Pachira aquatica*), (*Erythrina berteroa*) e (*Inga spuria*), con agua caracterizada por pH bajo, oxígeno disuelto bajo y alto contenido de nutrientes lo que coincide con lo expresado por Pérez (2013)².

Como se observa en términos generales la calidad de agua del Lago de Izabal, tanto en época seca como lluviosa, es categorizada como buena. No obstante, es importante mencionar que variables de respuesta como turbiedad, coliformes fecales (de forma cuantitativa), DBO y sólidos suspendidos totales, no fueron incluidos en el cálculo del ICA-NSF, porque actualmente no son parte de las variables de respuesta evaluadas por AMASURLI.

La categorización de la calidad del agua del Lago, como buena, puede relacionarse con la de contaminación incipiente, reportada por Robledo *et al.* (2014a), quienes utilizaron, para emitir ese criterio, el Índice holandés. Estos mismos autores evaluaron la calidad del agua del Lago mediante relaciones temporales y espaciales de variables físico químicas y biológicas determinando un efecto significativo de época y posición respecto al oxígeno disuelto y transparencia; de igual forma, basados en análisis de presencia y ausencia de E. Coli, encontraron una mayor cantidad de puntos muestreados positivos durante la época seca, con predominio de los ubicados en la orilla del Lago (Robledo *et al.*, 2014b).

² PÉREZ, J.: Carga de nutrientes y sedimentos en el río Polochic y su impacto sobre la integridad ecológica del Lago de Izabal. Tesis (presentada en opción al título de Maestría en Estudios Ambientales), Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 2003.

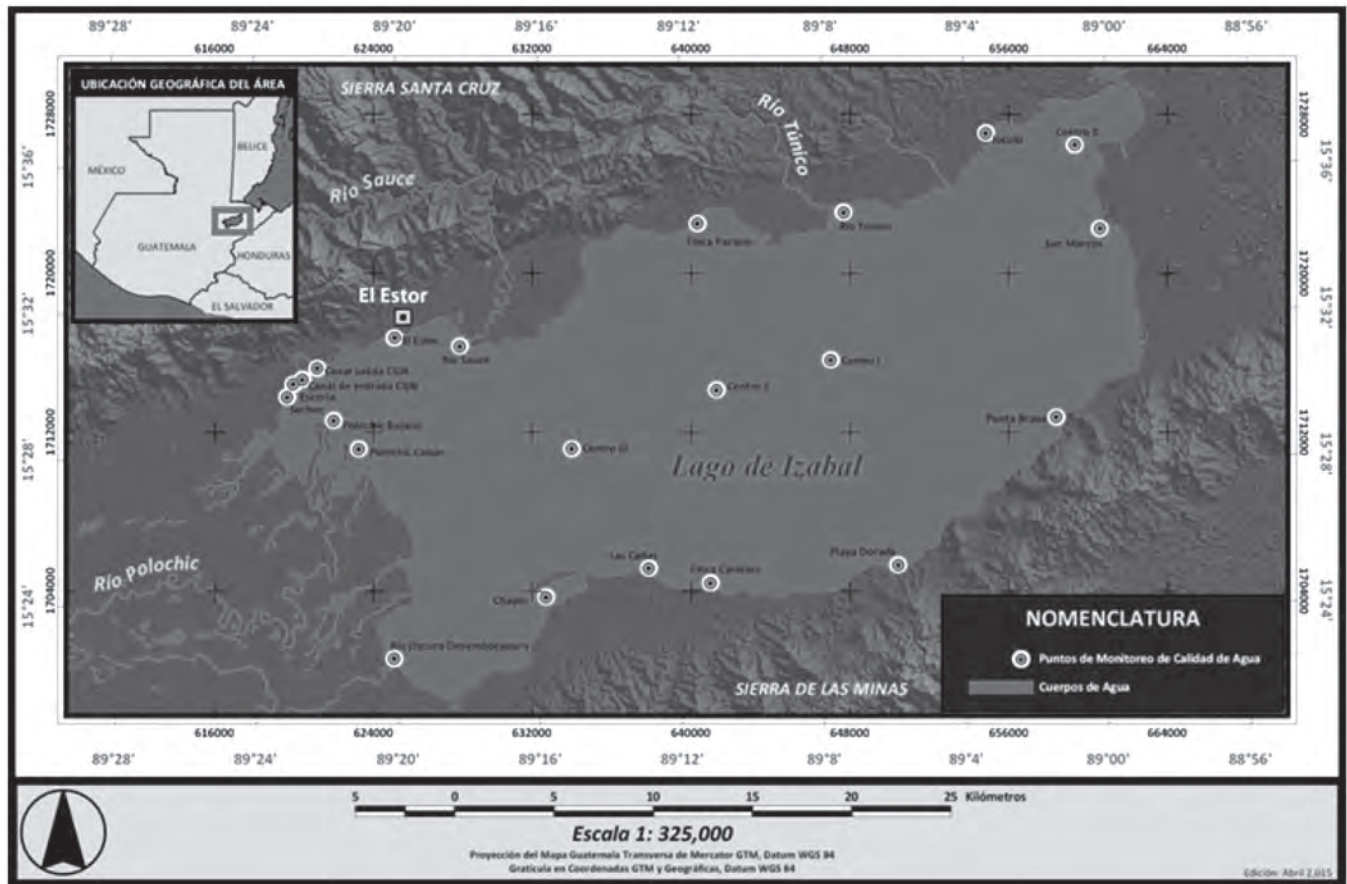


FIGURA 1. Puntos de muestreo, Lago de Izabal, Guatemala.

No.	Puntos de muestreo	Uso de la Tierra	No.	Puntos de muestreo	Uso de la Tierra
1	Centro del Lago 0		11	Río Oscuro	Conservación natural
2	Centro del Lago I		12	Chapín	Palma africana y poblacional
3	Centro del Lago II		13	Jocoló	Caña de azúcar y habitacional
4	Centro del Lago III		14	Río Túnico	Banano
5	Río Sauce	Agricultura anual y habitacional	15	Playa Dorada	Habitacional y turismo
6	El Estor	Habitacional	16	Sechoc	Minería
7	Canal de entrada Compañía	Minería	17	Escoria	Minería
	Guatemalteca de níquel		18	San Marcos	Ganadería extensiva
8	Canal de entrada Compañía	Minería	19	Las Cañas	Ganadería extensiva
	Guatemalteca de níquel		20	Punta Brava	Habitacional
9	Polochic Bujajal	Caña de azúcar y ganadería extensiva	21	Finca Carolina	Ganadería extensiva
10	Polochic Cobán	Ganadería extensiva, agricultura anual y habitacional	22	Finca Paraíso	Turismo

TABLA 1. Calidad del agua del Lago de Izabal según ICA-NSF, época seca, periodo 2005-2014

Puntos de muestreo	Años									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centro 0	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro I	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro II	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro III	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Sin datos	Bueno	Regular	Regular
Río Sauce	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
El Estor	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Sin datos	Bueno	Regular	Bueno
Canal de entrada Compañía guatemalteca de níquel	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Canal de salida Compañía Guatemalteca de níquel	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Excelente
Polochic Bujajal	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Polochic Cobán	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Río Oscuro	Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
Chapín	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Jocoló	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
Río Túnico	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Playa Dorada	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Sechoc	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Escoria	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
San Marcos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Las Cañas	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Excelente	Bueno
Punta Brava	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Finca Carolina	Sin datos	Sin datos	Excelente	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Finca Paraíso	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno

TABLA 2. Calidad del agua del Lago de Izabal según ICA-NSF, época lluviosa, periodo 2005-2014

Puntos de muestreo	Años									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centro 0	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro I	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro II	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Centro III	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Río Sauce	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
El Estor	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Canal de entrada Compañía guatemalteca de níquel	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Canal de salida Compañía guatemalteca de níquel	Bueno	Bueno	Excelente	Regular	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Polochic Bujajal	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Polochic Cobán	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Río Oscuro	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
Chapín	Excelente	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
Jocoló	Sin datos	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular
Río Túnico	Sin datos	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Playa Dorada	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Sechoc	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Excelente	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Excelente
Escoria	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Excelente	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
San Marcos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Las Cañas	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Punta Brava	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Finca Carolina	Sin datos	Sin datos	Bueno	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno
Finca paraíso	Sin datos	Bueno	Bueno	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Bueno	Bueno	Bueno

CONCLUSIONES

- La calidad del agua del lago presentó una leve tendencia a la disminución en la época lluviosa.
- La calidad del agua proveniente del afluente Río Oscuro, uno de los afluentes del Lago, se clasificó como regular, tanto en época seca como lluviosa.
- La aplicación del índice ICA-NSF mostró que el agua del Lago de Izabal puede ser considerada integralmente como buena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABAEI, F.; A. HASSANI; A. TORABIAN; A. KARBASSI & F. HOSSEINZADEH: "Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran", *Water Science & Technology*, ISSN: 0273-1223, 64(12): 2483-2491, 2011.
- BAN, X.; W. QIUZHEN; B. PAN; Y. DU & Q. FENG: "Application of composite water quality identification index on the water quality evaluation in spatial and temporal variations: a case study in Honghu Lake, China", *Environmental Monitoring & Assessment*, ISSN: 01676369, 186(7): 4237-4247, 2014.
- COELLO, J.; R. ORMAZAL; R. DÉLEY; C. RECALDEL y A. RIOS: "Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho - Parque Nacional Sangay-Ecuador", *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, E-ISSN: 1682-3087, 16(31): 58-69, 2013.
- DEMİN, P.: "Caracterización preliminar de la calidad del agua en la cuenca superior del río Del Valle Catamarca", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, ISSN-p: 0370-4661, 45(1):53-61, 2013.
- IARNA-URL: *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*, 440pp., Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar., Serie Perfil Ambiental No. 12. ISBN: 978-9929-587-71-7, Guatemala, 2012.
- JARAMILLO, S.; F. MOLINA y T. BETANCUR: "Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, ISSN: 1692-3324, 10(19): 33-45, 2011.
- JAVID, A.; K. YAGHMAEIAN; E. ABBASI & A. ROUDBARI: "An evaluation of water quality from Mojen River, by NSFQI index", *Journal of Ecological Engineering*, ISSN: 2299-8993, 15(3):1-6, 2014.
- MONTALVO, J.; I. GARCÍA; E. PERIGÓ; O. ALBURQUERQUE y N. GARCÍA: "Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey", *Revista Cubana de Química*, ISSN: 0258-5995, 25(2):123-133, 2013.
- MORALES, M.; E. VANEGAS y N. GARCÍA: "Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana río Platanitos, Guatemala", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 4(4): 19-23, 2014.
- ORAM, B.: *Calculating NSF Water Quality Index*, Water Research Center: *Monitoring the Quality of Surfacewaters*, [en línea] 2014, Disponible en: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>[Consulta: 25 de agosto de 2015].
- POONAM, T.; B. TANUSHREE & C. SUKALYAN: "Water quality indices important tools for water quality assessment: a review", *International Journal of Advances in Chemistry*, ISSN: 2310-2977, 1(1): 15-28, 2013.
- ROBLEDO, J.; E. VANEGAS y N. GARCIA: "Aplicación del Sistema Holandés para la evaluación de la calidad del agua. Caso de estudio Lago de Izabal, Guatemala", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 4(2): 15-21, 2014a.
- ROBLEDO, J.; E. VANEGAS y N. GARCIA: "La calidad del agua del lago de Izabal, Guatemala. Relaciones temporales y espaciales de variables físico-químicas y biológicas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 23(4): 28-32, 2014b.
- SEMIROMI, B. & M. NADERI: "Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran", *Water Science & Technology*, ISSN: 02731223, 64(12): 2483-2491, 2011.
- SEMİZ, G. & C. AKSIT: "Water quality, surface area, evaporation and precipitation of Lake Burdur", *Journal of Food Agriculture & Environment*, E-ISSN: 1459-0263, 11(1):751-753, 2013.

Recibido: 27/02/2015.

Aprobado: 14/03/2016

Publicado: 19/04/2016

Maritza Raquel Aguirre Cordón, Maestro en Ciencias, Programa de Estudios de Postgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Izabal, Guatemala. Tel: (502) 40528634. Correo electrónico: aguirremaritza@yahoo.com
Eddi Alejandro Vanegas Chacón. Correo electrónico: vanegaseddi@yahoo.com.br
Nancy García Álvarez. Correo electrónico: ngarcia@unica.cu