

Evaluación del estado trófico del Lago de Izabal, Guatemala

Evaluation of the trophic status of Lake Izabal, Guatemala

M.Sc. Maritza Raquel Aguirre Córdón¹, D.Sc. Eddi Alejandro Vanegas Chacón^{II}, Dr.C. Nancy García Álvarez^{II}

¹ 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. Las aguas superficiales son los principales cuerpos bióticos que reciben de forma continua efluentes contaminados de procesos de cambio de uso de la tierra, principalmente cuando bosques secundarios son convertidos en áreas agrícolas de agro exportación, por lo que reviste suma importancia el monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua. En el caso del Lago de Izabal, esto se ha instaurado bimestralmente por la Autoridad para el Desarrollo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y del Río Dulce (AMASURLI). En la investigación se evaluó el estado trófico del agua del lago basado en el índice de Carlson, utilizando el registro histórico de la concentración de fósforo total en muestras de 22 puntos de afluencias durante el período 2005-2014. Se concluyó que el Lago de Izabal se encuentra en un estado eutrófico y presenta una tendencia a mejorar su estado trófico en época lluviosa, siendo las zonas en estado trófico avanzado Río Polochic, por actividad agrícola intensiva; Jocoló, por la minería; y Playa Dorada por actividades habitacionales y turísticas.

Palabras clave: Calidad del agua superficial, índice de Carlson, Fósforo total.

ABSTRACT. The surface waters are the main biotic bodies that continuously receive polluted effluents due to change in land use, especially when secondary forests are converted into agricultural areas for exports purposes. Therefore, it is important to monitor the quality of surface water bodies, in the case of Lake Izabal, it was established bimonthly by the Authority for the Sustainable Development of the Basin Lake Izabal and Río Dulce (AMASURLI). This research evaluated the trophic status of the water of Lake Izabal based on the index of Carlson, the historical record of total phosphorus concentration in water samples on 22 points inflows to the lake was analyzed during the time series 2005 to 2014. It was concluded that Lake Izabal is in a eutrophic state and has a tendency to improve its trophic status during the rainy season, the areas with high trophic status are Río Polochic for intensive agricultural activities; Jocoló for mining; and Playa Dorada for tourism.

Keywords: Surface water quality, Carlson index, total phosphorus.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce ubicada en el nororiente de Guatemala tiene una extensión de 8161,44 km², donde se localizan 19 municipios de los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz e Izabal, con actividad agrícola de agro exportación (palma africana, caña de azúcar y banano) y ganadería extensiva (Hernández y Ebelyn 2010)¹. La cuenca drena al Lago de Izabal, siendo su principal afluente el Río Polochic y su drenaje el Río Dulce hacia el Mar Caribe; se trata de un lago poco profundo (promedio de 12 m) con un espejo de agua de 718 km² y resiliencia del agua estimada en 0,55 veces al año

(Brinson y Nordile, 1975 citado por Robledo *et al.*, 2014). El Lago de Izabal está sujeto a procesos tróficos, derivados a nivel de cuenca, por cambios de uso de la tierra e incremento de las actividades agrícolas y habitacionales (IARNA-URL, 2014), lo que debe reconocerse para realizar propuestas de gestión conducentes al manejo sostenible para garantizar su salud.

Uno de los indicadores más utilizados a nivel mundial en la evaluación del estado trófico de cuerpos superficiales de agua es el índice de Carlson (Frumin y Khuan, 2011), que utiliza indicadores tales como la transparencia, la concentración de fósforo

¹ HERNANDEZ, O. y B. EBELYN.: Proyecto Evaluación de la contaminación físico-química y bacteriológica en el agua del río Dulce y Lago de Izabal, 118 pp., Informe técnico Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, Informe inédito, Guatemala, Guatemala, [026-2006], 2010.

total y los niveles de clorofila en el agua. La concentración de fósforo total es la tradicionalmente empleada como índice de la calidad del agua y del estado trófico (García *et al.*, 2001; De Vicente y Cruz, 2003); ya que se considera el fósforo un nutriente limitante respecto a la productividad fitoplanctónica en los cuerpos superficiales de agua, como función de factores internos y externos al ecosistema acuático (Cude, 2001; Sondergaard, 2001; Lukawska-Matuszewska, 2013). Trabajos realizados por Pérez (2003)² en el Lago de Izabal coincidieron en que el fósforo resultó el nutriente limitante, calificando a ese cuerpo de agua como eupolitrófico, es decir en estado eutrófico pleno, lo que evidencia la importancia de investigar la evolución del estado trófico del lago para garantizar su conservación. Es por ello que, evaluar el estado trófico del Lago de Izabal mediante el índice de Carlson utilizando las concentraciones de fósforo total, destacando el uso de la tierra en las respectivas microcuencas, constituye el objetivo de este trabajo.

MÉTODOS

Basado en los registros de calidad del agua del Lago de Izabal, aportados por la Autoridad para el Desarrollo Sustentable de

la Cuenca del Lago de Izabal y del Río Dulce (AMASURLI) se evaluó el estado trófico del Lago para el periodo 2005-2014. Se utilizó el índice de Carlson para determinar las concentraciones de fósforo (Moreno *et al.*, 2010).

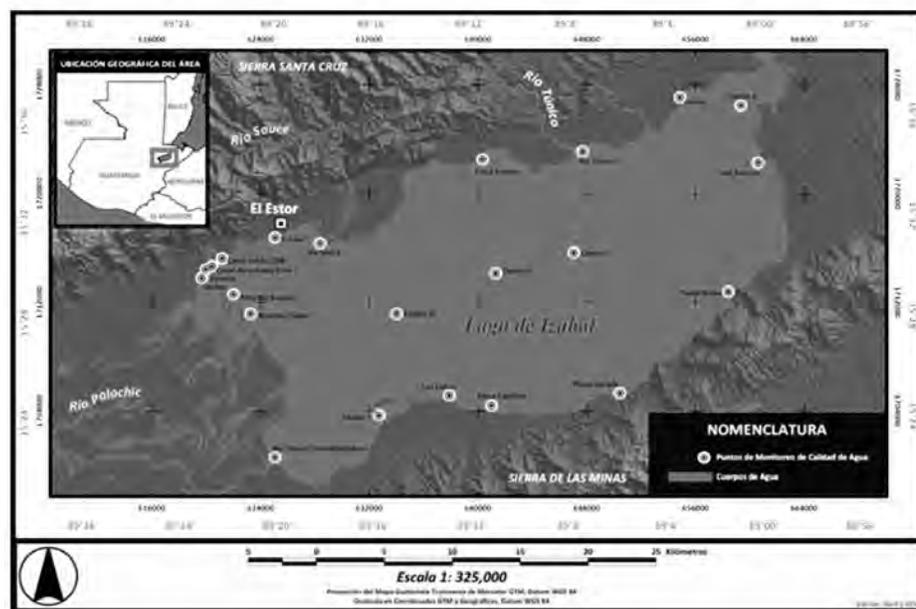
$$TSI\ Pt = 14,42 \cdot \ln(Pt) + 4,15$$

donde:

TSI Pt = Índice trófico con base al fósforo total;

Pt = Fosforo total (Pt) (µg/L).

Los resultados del índice son expresados en forma numérica en escala de 0 a 100. Estado oligotrófico < 30; E. mesotrófico: 30 - 60; E. eutrófico: 60 - 90; e hipertrófico 90 - 100. Se consideraron 22 puntos de muestreo, de los cuales 4 puntos corresponden al centro del lago y 18 puntos a las principales desembocaduras de los afluentes del lago, considerando el uso de la tierra. Se evaluó el estado trófico bimestralmente en época seca (diciembre, febrero y abril) y en época lluviosa (junio, agosto y octubre), por año y por punto de muestreo (Figura 1). Una vez establecido el valor numérico del índice de Carlson, se realizó una descripción cualitativa del estado trófico del Lago por año y punto de muestreo.



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

FIGURA 1. Puntos de muestreo y principal uso de la tierra. Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, Guatemala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del estado trófico en época seca permitió identificar que en los años 2006, 2007 y 2009 el lago se mantuvo en un estado 100% eutrófico. En los últimos dos años del muestreo se observó una mejoría en cuanto a su estado trófico, ya que en el 2012 el lago presentó un 90,91% de estado eutrófico y 9,09% de mesotrófico, mientras que en el 2013 incrementó su estado mesotrófico a

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.

36,36% y más aún en el 2014. Así mismo, en esta época, como se observa en la Tabla 1, se determinó que el 3% de los puntos analizados (Polochic Bujajal, Polochic Cobán, Río Oscuro, Río Sauce, Sechoc y Escoria), se encontraban en estado hipertrófico, lo que corresponde a un estado crítico para un ecosistema acuático basado en la riqueza de nutrientes (Roldán y Ramírez, 2008). Este resultado se asocia a que los primeros cuatro puntos tienen mayor influencia de actividad agrícola de agro exportación y los otros dos por la actividad minera y habitacional.

En la época lluviosa, durante los años 2007 y 2010 el lago se mantuvo 100% eutrófico. En el 2006, 2011, 2012, 2013 y 2014, como muestra la Tabla 2, el lago mejoró su estado de eutrófico

a mesotrófico. En esta época el 2% de los puntos evaluados en el Lago presentaron un estado hipertrófico, en los puntos Río Sauce y Polochic Bujajal.

Los resultados que se presentan pueden asociarse a que en épocas secas se agudizan los procesos de eutrofización (Ozen *et al.*, 2010), mientras que en la época lluviosa o se acelera el proceso de recambio de agua del lago, o pueden existir variaciones en las poblaciones de bacterias heterotróficas (Lugioyo, 2007). De manera general, al analizar los 22 puntos de muestreo durante los 10 años de monitoreo, el Lago de Izabal se clasifica como eutrófico, resultado concordante con otras investigaciones (Pérez *et al.*, 2004³; Santiago y Vignatti, 2009).

TABLA 1. Estado trófico del Lago de Izabal. Época Seca. Serie histórica 2005 a 2014

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

TABLA 2. Estado trófico del Lago de Izabal. Época Lluviosa. Serie histórica 2005 a 2014

Puntos muestreados	Años muestreados									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centro 0	Sin datos	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Centro I	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Centro II	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Centro III	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Río Sauce	Hipertrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Hipertrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Eutrófico
El Estor	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Canal entrada Compañía Guatemalteca de níquel	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Canal salida Compañía Guatemalteca de níquel	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Polochic Bujajal	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Hipertrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Polochic Cobán	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

¹ PÉREZ, J.; B. OLIVA y K. Herrera.: Proyecto Calidad fisicoquímica y bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal, 124 pp, Informe técnico Dirección General de Investigación, Informe inédito, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, [sn]. 2004.

Puntos muestreados	Años muestreados									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Río Oscuro										
Desembocadura	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Chapín	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico		Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Jocolo	Sin datos	Mesotrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Río Túnico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Playa Dorada	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Sehoc	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Escoria	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
San Marcos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Las Cañas	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Punta Brava	Sin datos	Mesotrófico	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Finca Carolina	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Finca Paraíso	Sin datos	Eutrófico	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

CONCLUSIONES

- El estado trófico del Lago presenta una tendencia de mejora en época lluviosa.
- Las áreas con mayor carga de nutrientes están asociadas a las desembocaduras de los ríos Polochic, Sauce y Oscuro con

mayor actividad agrícola de agro exportación; ríos Sehoc y Escoria, con actividad minera; y Playa Dorada, a las áreas habitacionales con influencia de turismo.

- El Lago de Izabal, según el índice de Carlson, se clasifica en estado eutrófico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUDE, C.: "A tool for evaluating water quality management effectiveness". *Journal of the American Water Resources Association*, E-ISSN: 1752-1688 37, 1: 125-137, 2001.
- DE VICENTE, I. y L. CRUZ: "Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra". *Limnetica*, ISSN: 0213-8409 22, 22(1-2): 165-181, 2003.
- FRUMIN, G. y Z. KHUAN: "Trophic status of fresh-water lakes in China". *Russian Journal of General Chemistry*, ISSN: 10703632, 81(13): 2653-2657, 2011.
- GARCÍA, G.; F. PARRA; F. GUERRERO y J. LUCENA: "Sedimentation and phosphorus fractions and temporal variation in the C:P ratio in La Concepción reservoir, southern Spain". *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, ISSN: 0028-8330, 35(1): 711-723, 2001.
- IARNA-URL: *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo. Guatemala: 440pp.*, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Serie Perfil Ambiental No. 12. ISBN: 978-9929-587-71-7. Guatemala. 2014.
- LUGIOYO, G.; M. MIRAVET, R. Pérez; C. Álvarez y G. ESPINOZA: "Evaluación del estado trófico de las aguas oceánicas adyacentes al sur de Cuba a partir de indicadores microbiológicos y fitoplanctónicos". *Revista de Investigaciones Marinas*, ISSN: 02521962, 28(3): 201-207, 2007.
- LUKAWSKA, K.; R. VOGT y R. XIE: "Phosphorus pools and internal loading in a eutrophic lake with gradients in sediment geochemistry created by land use in the watershed". *Hydrobiologia*, ISSN: 00188158, 713(1): 183-197, 2013.
- MORENO, D.; J. QUINTERO y A. LÓPEZ: "Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia". *Contactos*, ISSN: 0186-4084, 78(1): 25-33, 2010.
- OZEN, A.; B. KARAPINAR; I. KUCUK; E. JEPPESEN y M. BEKLIÖGLU: "Drought-induced changes in nutrient concentrations and retention in two shallow Mediterranean lakes subjected to different degrees of management". *Hydrobiologia*, ISSN: 00188158, 646(1): 61-72, 2010.
- 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, 2014.
- ROLDAN, G. y RAMIREZ, J.: *Fundamentos de limnología neotropical*, Ed. Universidad de Antioquia, ISBN: 958714144X, Antioquia, Colombia, 2008.
- SANTIAGO, E. y A. VIGNATTI: "Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga del embalse Casa de Piedra". *BioScriba*, ISSN: 1850-4639, 2(1): 41-51, 2009.
- SONDERGAARD, M.; J. JENSEN y E. JEPPESEN. "Retention and Internal Loading of Phosphorus in Shallow, Eutrophic Lakes". *The Scientific World*, ISSN: 1532-2246, 1: 427-442, 2001.

Recibido: 27/02/2015.

Aprobado: 09/10/2015.

Publicado: 13/01/2016.

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.uh.edu