

CALIDAD DEL AGUA

ARTÍCULO ORIGINAL

Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana río Platanitos, Guatemala

Land use and quality of surface water in the periurban river watershed Platanitos, Guatemala

M.Sc. Miguel Ángel Morales Cayax¹, Ph.D. Eddi Alejandro Vanegas Chacón¹, Dr.C. Nancy García Álvarez¹¹

¹ Universidad de San Carlos (USAC), Facultad de Agronomía, Guatemala.

¹¹ Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. Este trabajo presenta la caracterización de la variación espacial y temporal de parámetros de calidad del agua y determina la influencia del uso de la tierra sobre la misma; en el cauce del río Platanitos, Guatemala. Con el uso de herramientas de información geográfica se realizó el estudio cartográfico basado en el relieve, suelo y clima, sobreponiendo los usos actuales de la tierra para generar unidades de uso de la tierra. Se monitoreó la calidad física, química y bacteriológica del agua superficial del río en la parte alta, media y baja de la cuenca en el mes de abril, para la época seca, y en el mes de septiembre, para la época lluviosa, en los años 2012 y 2013. La información se sintetizó y analizó mediante el índice de calidad de agua de la Natural Sanitation Foundation (ICA-NSF), los resultados revelan una variación gradual desde la parte alta, media y baja, con valores superiores en la época seca; pero siempre indicando mala calidad del agua. Concluyendo el índice de calidad del agua es 61,63, 45,25 43,28 en época seca (agua de mediana calidad) y de 43,27, 39,49 y 32,58 en la estación lluviosa (agua de mala calidad), estos valores indican que el agua es de mala calidad. Al correlacionar el índice de calidad del agua con el uso de la tierra se encontró una alta correlación cuando el uso de la tierra es bosque mixto (0,96) y cobertura urbana (-0,94).

Palabras clave: Geomorfología, índice ICA-NSF, conflictos de uso.

ABSTRACT. Study based on relief this work presents the characterization of the spatial and temporal variation of water quality parameters and determines the influence of land use on same; in the mainstream, river Platanitos, Guatemala. Using geographic information systems tools mapping, soil and climate, overlaying existing land uses generating units land use. The surface water quality of the river in the upper, middle and lower part of the watershed was monitored in the months of April for the dry season and September for the rainy season in 2012 and 2013. Determinations of physical, chemical and bacteriological quality of surface water were performed. For data analysis the water quality index of ICA-NSF was used. Concluding that the water quality index ICA-NSF varies gradually from the upper, middle and lower part of the watershed from values of 61,63, 45,25 and 43,28 during the dry season and from 43,27, 39,49 and 32,58 in rainy season, these values indicate that the water is of poor quality. The water quality index ICA-NSF is highly correlated when land use is mixed forest (0,96) and coverage of urban use (-0,94).

Keywords: Geomorphology, ICA NSF index, conflicts of use.

INTRODUCCIÓN

Los diferentes usos que se da a la tierra producen cambios en la calidad y cantidad de las aguas superficiales, por ejemplo la deforestación de bosques para desarrollar agricultura produce contaminación difusa por exceso de nutrientes y pesticidas, la producción pecuaria incluye actividades que vierten aguas residuales y los proyectos urbanísticos descargan aguas de elevada actividad bacteriana. De esta manera los impactos causados por la explotación en un lugar determinado pueden manifestarse en otras aguas abajo. Actualmente a nivel mundial muchos de los trabajos sobre calidad del agua superficial se basan en aplicaciones del índice desarrollado

por "The National Sanitation Foundation" (NSF), constituyendo éste uno de los más utilizados, aunque ha sufrido modificaciones en varios países del mundo, como España, Brasil y Colombia (Samboni, *et al.*, 2007; Ometo *et al.*, 2000). Para su aplicación es necesario disponer de información histórica y sistemática sobre la calidad del agua, con el propósito de definir acciones para mejorarla y evaluar el impacto de las intervenciones del hombre en pro o en contra de los cuerpos de agua, en función del estado de indicadores físicos, químicos y biológicos (Behar, 1997; Fisher *et al.*, 2000). El análisis quimiométrico es una herramienta eficiente para la clasificación de

cuerpos de agua superficial (Herrera, 2009). El nivel de coliformes fecales en los ríos son indicadores de contaminación (Mora, 2010).

Son varios los autores que establecen relaciones entre el uso de la tierra y la calidad del agua superficial¹ (Jiménez y Vélez, 2006). En el valle agrícola de Willamette de ese país, localizado en la eco-región de Oregón, Pan *et al.* (2004), determinaron que la correlación entre el porcentaje de uso agrícola de la tierra y las variables químicas del agua varían entre las escalas espaciales y temporales; este mismo autor encontró que las variables de orden físico (diámetro de sustratos erosionables y corriente a alcanzar en la pendiente) se correlacionaron significativamente con el porcentaje de uso agrícola a lo largo de la red de corriente, pero no a nivel de cuenca. También Vanzela *et al.* (2010), demostraron que las áreas ocupadas por bosques y pastizales favorecieron el aumento de la mejora de algunos atributos de calidad del agua, mientras que las áreas con cultivos agrícolas, presentaron una reducción de esta en la cuenca Tres Barras, Marinópolis, en Sao Pablo, Brasil. En Guatemala se atribuye la mala calidad del agua a las descargas de los desagües de centros poblados y al aporte de sedimentos lo que propicia la contaminación biológica de las corrientes superficiales (Padilla *et al.*, 2010; Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente, 2006). Las estrategias para la gestión sostenible de la cuenca deben priorizar la disminución de la carga contaminante dispuesta (García, 2013). Los conflictos entre la aptitud de uso obtenida y el uso actual en el territorio, están asociados fundamentalmente con prácticas agropecuarias inadecuadas, no acordes con los factores edafo-geomorfológicos. Por la importancia de este tema se presenta el siguiente trabajo cuyo objetivo radica en determinar el uso de la tierra y de la calidad del agua, para su utilización como orientadores de manejo de la microcuenca periurbana río Platanitos, para mejorar la gestión del recurso hídrico y del ambiente.

MÉTODOS

La Sub-cuenca del río Platanitos, forma parte de la cuenca del Río Villalobos. Se localiza, entre las coordenadas de 90°32' y 90°40' longitud oeste y 14°28' y 14°34' latitud Norte. Comprende 5354,70 hectáreas, constituyendo aproximadamente el 14,70% de la extensión total de la cuenca del Lago de Amatitlán; presenta una altura máxima de 2 300 metros sobre el nivel del mar en la parte más alta y 1 300 en su punto más bajo.

Para identificar adecuadamente el uso de la tierra se realizó una caracterización a partir del estudio del relieve, suelos y climas presentes en la microcuenca, apoyados en el software ArcGIS, con este ensamble cartográfico se pudo conocer los atributos de cada unidad, que definen diferentes usos de la tierra, adicionalmente se identifica la cobertura actual, utilizando imágenes de satélite y haciendo una clasificación supervisada según Priego *et al.*, (2010). Se realizó la sobre posición del mapa de unidades geomorfológicas con el mapa de cobertura actual

para obtener las unidades de uso de la tierra, que detalló las características geomorfológicas, climáticas y el uso específico de la tierra para cada unidad así como su extensión porcentual y en hectáreas (Bautista y Mendoza, 2011²; Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación–Banco Interamericano de Desarrollo, 2000)³.

Se monitoreó la calidad del agua superficial del río en la parte alta, media y baja de la microcuenca; los muestreos se realizaron en dos épocas: en el mes de abril para la época seca y el mes de septiembre para la época lluviosa en los años 2012 y 2013. Para la identificación, toma de muestras y transporte al laboratorio para los análisis, se utilizaron los métodos normalizados para el análisis de agua potable y residuales según Franson, (1992); la Comisión Guatemalteca de Normas (1986) y Ott, (1978). Los análisis físico-químicos y bacteriológicos se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, donde fueron evaluados los siguientes parámetros: olor, color, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO, DQO, fosfatos, nitratos, pH, coliformes fecales y coliformes totales siguiendo las técnicas del “Standard methods for the examination of water and wastewater” de la APHA (2005). Para la interpretación de la calidad de agua se utilizó el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF) desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica Delphi de investigación de la “Rand Corporation’s” (Ball *et al.*, 1980), que tiene la característica de ser un índice multiparámetro, reconociendo nueve variables: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, DBO5, Nitratos, Fosfatos, Desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Totales y representando el comportamiento de cada variable por medio de curvas como “Relaciones Funcionales” o “Curvas de Función” (Brown *et al.*, 1970; Brown & McClelland, 1973). En esa técnica los niveles de calidad del agua tienen un rango de 0 a 100 que es localizada en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas (Oram, 2013). Para calcular el índice de calidad del agua agregado, el ICA-NSF usa una suma lineal ponderada, el resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente (Fernández, 2007). Esto encaja con el concepto público general de valoraciones.

En la actualidad el índice usa un promedio aritmético ponderado (Samboni *et al.*, 2007).

$$WQI = \sum S_i \times W_i$$

donde:

WQI -índice de Calidad de Agua;

S_i- Subíndice del Parámetro *i*;

W_i-Factor de Ponderación para el Subíndice *i*.

¹ CRUZ, P. y E. CANTELLANO: Calidad del agua en la Laguna Coyuca, Guerrero y geovisualización de los paisajes asociados, 103pp., Tesis (en opción al título de Biología), Facultad de Estudios Superiores de Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), DF, México, 2013.

² BAUTISTA, F. y M. MENDOZA: Ordenamiento ecológico del territorio: un enfoque basado en la evaluación de la aptitud del territorio a escala regional en Infiernillo, Michoacán, 306pp., Ed. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno de Michoacán y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

³ MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN–BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: Mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala, Memoria Técnica de la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE), Guatemala, 2000

Para establecer el grado de asociación entre los diferentes usos de la tierra y la calidad del agua se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los porcentajes de cobertura correspondientes entre: agricultura anual, pastizales, agricultura permanente, urbana y bosque mixto y los valores del índice de calidad de agua en la parte alta, media y baja de la microcuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis geográfico generó información de las unidades de uso de la tierra presentes en cada sección de la microcuenca (Tabla 1), identificándose cinco unidades de relieve, tres tipos de suelo y tres microclimas para cada combinación y describiéndose el uso actual del suelo, con su respectiva extensión y valor porcentual.

TABLA 1. Unidades de uso de la tierra por localidades de la microcuenca río Platanitos

Segmento y Municipios	Geografía (relieve/suelo/clima)	Uso de la tierra	Área en ha	Porcentaje
Parte alta San Lucas, Santa Lucía, y Magdalena Milpas Altas	Montaña y Altiplanicie /Andisoles/ Húmedo Templado (BB´2)	Agricultura Anual	368,61	6,92
		Pastizales	152,47	2,85
		Agricultura Permanente	468,80	8,77
		Urbano	94,04	1,75
		Bosque Mixto	931,64	17,45
		Total Parte Alta	2023,30	37,79
Parte Media Villa Nueva	Montaña, Pie de Monte y Lomeríos /Andisoles y Alfisoles/ Húmedo Semi Cálido (BB´)	Agricultura Anual	151,20	2,82
		Pastizales	94,27	1,75
		Agricultura Permanente	252,38	4,72
		Urbano	132,59	2,43
		Bosque Mixto	139,27	2,60
		Total Parte Media	775,30	14,48
Parte Baja Villa Nueva y Petapa	Lomeríosy Planicie /Alfisoles/ Semi Seco Semi Cálido (CB´)	Agricultura Anual	489,19	9,15
		Pastizales	201,77	3,77
		Agricultura Permanente	411,87	7,71
		Urbano	1168,59	21,88
		Bosque Mixto	278,07	5,20
		Total Parte Baja	2556,10	47,74
Área Total Micro Cuenca Río Platanitos			5354,70	100,00

Los resultados de los análisis físico, químico y bacteriológico del agua superficial de la parte alta, media y baja de la cuenca, se integran con valores promedio para las dos épocas del año, estos promedios son requeridos para calcular posteriormente el índice de calidad de agua.

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis físico, químico y bacteriológico del agua superficial de la parte alta, media y baja de la cuenca.

TABLA 2. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua en tres localidades y dos épocas de la microcuenca río Platanitos

Indicador	Unidad de medida	Indicadores Físicos					
		Parte Alta		Parte Media		Parte Baja	
		Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa
Olor		Ligero a Materia orgánica	Ligero a Materia orgánica	Ligero a Materia orgánica	Ligero a Materia orgánica	Ligero a Materia orgánica	Ligero a Materia orgánica
Color	Unid. Pt-Co	36,00	45,00	108,00	85,00	124,00	90,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	109,00	198,00	85,00	186,00	244,00	4,00
Sólidos sedimentables	cm ³ /litro en 1 hora	00,20	00,50	00,20	00,20	00,20	410,00
Indicadores Químicos							
D.B.O. / ₅	mg/L	2,00	13,00	8,00	71,90	7,00	96,00
D.Q.O.	mg/L	17,00	21,00	153,00	131,00	136,00	185,00
Fosfatos	mg/L	3,60	33,00	5,30	26,00	6,40	44,60
Nitratos	mg/L	3,00	32,00	5,00	22,00	6,00	34,00

Indicador	Unidad de medida	Indicadores Físicos					
		Parte Alta		Parte Media		Parte Baja	
		Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa
pH	unidades	7,72	7,75	7,22	7,58	7,30	7,40
Indicadores Biológicos							
Número más probable de gérmenes	Coliformes/ 100 cm ³	>16*19 ³	>16*19 ⁹	>16*19 ⁵	>16*19 ⁹	>16*19 ⁷	>16*19 ⁹

Los valores promedio de cada parámetro de calidad de agua fueron analizados en las gráficas individuales que presenta la metodología de la Natural Sanitation Foundation (NSF), la integración de todos los factores permite en forma integrada expresar la calidad del agua por medio de un índice (Tabla 3).

TABLA 3. Índice de calidad del agua ICA-NSF, en la cuenca del río Platanitos

Unidad de la microcuenca	ICA-NSF Época seca	ICA-NSF Época lluviosa
Parte alta	61,63	43,27
Parte media	45,45	39,49
Parte baja	43,28	32,58

Para alcanzar el objetivo de este estudio se realiza un análisis de correlación entre los diferentes usos de la tierra presentes en la microcuenca y los valores de índice de calidad de agua (Tabla 4).

TABLA 4. Correlación lineal entre los diferentes usos de la tierra y la calidad del agua en los tres segmentos de la cuenca

Uso del suelo	Época seca	Época lluviosa
Agricultura Anual	0,0604755	-0,49872538
Pastizales	-0,05698935	-0,59692291
Agricultura Permanente	0,62273965	0,08947946
Urbano	-0,61522763	-0,94749683
Bosque Mixto	0,96294159	0,65566607

En la parte alta de la microcuenca se encuentran las geoformas: Altiplanicie y Montañas presentando una extensión de 2023,30 ha. (37,79%), ubicados los municipios de San Lucas, Santa Lucia y Magdalena Milpas Altas; presenta un clima Húmedo templado (BB'2) y suelos Andisoles. Las cubiertas predominantes son el Bosque Mixto 17,45%, agricultura permanente 8,77% y urbano 1,75%. El índice de calidad del agua es 61,63 en época seca (agua de mediana calidad) y 43,27 en época lluviosa (agua de mala calidad). En la parte media de la microcuenca se localizaron las siguientes geoformas: pie de monte, lomeríos y planicies, con una extensión de 775,30 ha (14,48%) en ella está ubicado el municipio de Villa Nueva, presenta clima Húmedo semi cálido (BB') y suelos Andisoles y Alfisoles. Las cubiertas predominantes son agricultura permanente 4,7%, urbano 2,43% y pastizales 1,75%. El índice de calidad del agua es 45,45 en

época seca y 39,49 en época lluviosa (aguas de mala calidad). En la parte baja de la microcuenca se hallaron las geoformas: lomeríos y planicies, con una extensión de 2556,10 ha (47,74%) donde están ubicados los municipios de Villa Nueva y Petapa. Esta parte presenta un clima semi-seco, semi-cálido (CB') y suelos Alfisoles y Mollisoles. Las cubiertas predominantes son uso urbano 21,88%, la agricultura anual 9,15% y la agricultura permanente 7,71% del total de la microcuenca. El índice de calidad del agua es 45,45 en época seca y 39,49 en época lluviosa (aguas de mala calidad).

El análisis bacteriológico mostró valores elevados de gérmenes en época seca y lluviosa en los tres sitios de la microcuenca que la hacen de forma general no apta para el consumo humano.

Los resultados de correlación entre los usos de la tierra y el índice de calidad del agua, demostraron que existen altas correlaciones entre dicho índice y la cobertura de bosque mixto (0,96), al igual que con la cobertura de uso urbano (-0,94), evidenciando la relación directa entre la cobertura boscosa y la calidad del agua y el incremento de contaminación por la presencia antrópica en los centros urbanos.

Este estudio demostró que es necesario manejar la parte alta de la cuenca con criterios de conservación, acorde con la vocación de los suelos (Andisoles), manteniendo el recurso bosque y promoviendo la agricultura permanente considerando que en la parte media y baja debe fomentarse el ordenamiento territorial, para definir el proceso de urbanización y el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico para ser incorporados a la agricultura de riego.

CONCLUSIONES

- La cobertura vegetal predominante en la parte alta de la cuenca correspondió a bosque mixto 17,45%, agricultura permanente 8,77% y urbano 1,75%; en la parte media: agricultura permanente 4,7% urbano 2,436% y pastizales 1,75 y en la parte baja: uso urbano 21,88%, la agricultura anual 9,15% y agricultura permanente 7,71%.
- El índice calidad del agua tuvo una tendencia descendente en ambas épocas, desde la parte alta de la cuenca hacia la parte baja, detectándose un valor menor en la época lluviosa.
- De forma general las aguas del río Platanitos presentaron una mala calidad, por lo que no es apta en ninguno de sus segmentos para el consumo humano aunque puede ser utilizada para el riego de la mayoría de los cultivos que se desarrollan en la zona.

- Se encontró una alta correlación entre el porcentaje de uso de la tierra bosque mixto (0,96) y cobertura de uso urbano (-0,94), con el índice calidad del agua.
- Los resultados evidenciaron la posibilidad de utilizar el conocimiento de uso de la tierra y el índice de calidad del agua como orientadores de manejo de la micro-cuenca, para mejorar la gestión del recurso hídrico y del ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION): *AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation): "Standard Methods for the examination of water and wastewater"* 21th Edition, ISBN: 0875530478, USA, 2005.
- BALL, R. & R. CHURCH: "Water Quality Indexing and Scoring", Division, American Society of Civil Engineers, *Journal of the Environmental Engineering*, ISSN: 0733-9372 e-ISSN: 1943-7870 Vol. 106 (EE4): 757-771, 1980.
- BEHAR, G. R.; M. ZUÑIGA y O. ROJAS: "Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Calí y Meléndez", *Revista Ingeniería y Competitividad*, ISSN 0123-3033, e-ISSN 2827-8284 Vol. 1 (1): 17-27, 1997.
- BROWN, R.; N. McCLELLAND; R. DEININGER & R. TOZER: "A Water Quality Index-Co we dare?" *Water and Sewage Work*, ISBN: 1482224259, October: 339-343, 1970.
- BROWN, R. & N. McCLELLAND: Water Quality Index-Application in the Kansas River Basin, In: 46th Conf., Water Poll, Fed., URL: http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_nsf. Cleveland, Ohio, USA, 1973.
- COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS (COGUANOR): "Norma Guatemalteca obligatoria para agua potable. Guatemala, Vig. 1986.
- FERNANDEZ, P: *Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial. Capítulo III [en línea]*, Disponible en: <http://www.Unipamplona.edu.co/>. [Consulta: mayo 18 2007].
- FISHER, D.S.; J.L. STEINER; D.M. ENDALE; J.A. STUEDEMANN; H.H. SCHOMBERG; A.J. FRANZLUEBBER & S.R. WILKINSON: "The relationship of land use practices to surface water quality in the upper Oconee watershed of Georgia", *ELSEVIER, Forest Ecology and Management*, ISSN: 0378-1127. 128: 39-48, 2000.
- FRASON, M.A.H.: *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, Díaz de Santos Editores, ISBN-13: 978-8479780319, Madrid, España, 1992.
- HERRERA, J.; S. RODRIGUEZ; D. FLORES y F. CASTRO: "Aplicación de técnicas químio-métricas para clasificar la calidad del agua superficial de la micro-cuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica", *Revista Tecnología en Marcha*, ISSN: 0379 3962, Vol. 22 (4): 75-85, 2009.
- INSTITUTO DE AGRICULTURA RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE: *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*, 250pp., Ed. Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), ISBN: 9992267658 Guatemala, 2006.
- JIMENEZ, M. A. y V. VELEZ: "Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial" *Avances en Recursos Hidráulicos*, ISSN: 0121-5701, Vol. 14 (2): 53-70, 2006.
- MORA, J. y G. CALVO: "Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa", *Revista Tecnología en Marcha*, ISSN: 0379 3962, Vol. 23 (5): 34-40, 2010.
- OMETO, J.P.; L.A. MARTINELLI; M.V. BALLESTER; A. GESSNER; A.V. KRUSCHE; R.L. VICTORIA, & M. WILLIAMS: "Effects of land use of water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil", *Freshwater Biology*, ISSN: 1365-2427, Vol. 44 (2): 327-337, 2000.
- ORAM, B.: *Monitoring the quality of surface water, The water Quality Index, [en línea]*, Disponible en: www.water-research.net/watqualindex/htm. [Consulta: mayo 28 2013].
- OTT, W.: *Environmental Indices, Theory and Practices*, A. A Science, ISBN: 0250401916 9780250401918, Ann Arbor, Michigan, USA, 1978.
- PADILLA, T.; GARCÍA, N. y W. PÉREZ: "Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, Vol. 19 (3): 43-46, 2010.
- PAN, Y; A. HERLIHY; P. KAUFMANN; J. WIGINGTON; J. VAN SICKLE y T. MOSER: "Linkages among land- use, water quality, physical habitat conditions and lotic diatom assemblages: A multi-spatial scale assessment", *Hydrobiology*, ISSN: 2161-5063, DOI: 10.1002/iroh.200490002, 515: 59-73, 2004.
- PRIEGO, Á.; G. BOCCO; M. MENDOZA y A. GARRIDO: *Propuesta para la generación semi-automatizada de unidades de paisaje, fundamentos y métodos*, 108pp., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ISBN: 978-968, DF, México, 2010.
- SAMBONI, N. E.; Y. CABAJAL y J.C. ESCOBAR: "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua", *Revista Ingeniería e Investigación*, ISSN: 1405 7743, 27 (3): 172-181, 2007.
- VANZELA, L.; F. HERNÁNDEZ y R. FRANCO: "Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Maripolis", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, On-line version* ISSN 1807-1929, 14 (1), 55-64, 2010.

Recibido: 4 de mayo de 2013.

Aprobado: 10 de julio de 2014.

Publicado: 24 de octubre 2014

Miguel Ángel Morales Cayax, Estudiante DOCINADE, UNED Costa Rica, Profesor, Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, USAC, Guatemala, Tel. (502) 57087326, Correo electrónico: miguelm612@hotmail.com