

Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba

Canadian Water Quality Index for the Naranjo river watershed, Las Tunas province, Cuba

Dr.C. Carlos Balmaseda Espinosa¹, Dr.C. Yoandris García Hidalgo¹¹

¹Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹¹ Universidad de Las Tunas, Facultad de Agronomía, Las Tunas, Cuba.

RESUMEN. El uso de índices para valorar la calidad de las aguas facilita su comunicación y entendimiento por especialistas y público en general. Uno de los más empleados es el propuesto por *Canadian Council of Ministers of the Environment*, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) por la flexibilidad en la selección de las variables a considerar. En este trabajo se utilizó el CCME_WQI para evaluar la calidad de las aguas con fines de riego de fuentes superficiales y subterráneas de la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. Se utilizaron criterios de FAO y del Instituto de Ingeniería Agrícola de Cuba para definir los valores deseables. Los resultados muestran que las aguas son clasificadas como Pobres para el riego de cultivos agrícolas.

Palabras clave: CCME_WQI, índices de calidad de las aguas.

ABSTRACT. The use of indexes to value the water quality facilitates its communication and understanding by specialists and public in general. One of the most used is the index proposed by the Canadian Council of Ministers of the Environment (known as CCME_WQI) for its flexibility in the selection of the variables to be considered. In this paper the CCME_WQI was used to evaluate the water quality for irrigation of superficial and groundwater sources of Naranjo river watershed, Las Tunas province, Cuba. FAO directives and recommendations of the Institute of Agricultural Engineering of Cuba were used to define the desirable values. The results show that the waters are classified as Poor for irrigation.

Keywords: CCME_WQI, water quality index.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible de una región pasa por el cuidado y conservación de los recursos naturales, en los cuales el agua juega un rol fundamental al ser insustituible por otras sustancias. La sostenibilidad del agua tiene dos componentes fundamentales: disponibilidad y calidad. Ambos están íntimamente relacionados pues si la calidad es deficiente implica que habrá un decrecimiento en la disponibilidad, al igual que la abundancia de agua sin los requerimientos necesarios entraña déficit del recurso hídrico.

Es común que la evaluación de la calidad se realice a partir de un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas, dando como resultado grados de aptitud que solo son interpretables por especialistas en la materia. Sin embargo, por la importancia que tiene la calidad de las aguas para toda la sociedad es neces-

sario que los resultados se expresen de manera comprensible por profesionales y público en general (Samboni *et al.*, 2007).

Una manera de contribuir a la mejor interpretación y entendimiento de los datos de monitoreo de las aguas es a través del uso de índices de calidad, que son herramientas que permiten asignar un valor de calidad a partir del análisis de diversos parámetros, la idea es convertir los datos en información y esta en conocimiento. Según Fundación CEDDET (2012), estos índices:

- Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos.
- Tienen expresión numérica, por tanto pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.
- Son entendibles por el público, los medios y los usuarios.
- Poseen menos información que los datos brutos.

Por su naturaleza los índices pueden ser: fisicoquímicos, biológicos e hidromorfológicos; combinan diversas variables (aniones, cationes, pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, coliformes fecales y totales, disponibilidad de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, metales pesados, contenidos de nitrógeno y fósforo, algas, peces, macroinvertebrados, caudales ambientales, continuidad fluvial, entre otros.) y proporcionan una valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.

Diversos índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos tiene sus características propias y generalmente se alcanzan buenos resultados en las zonas en que se obtuvieron (Amado *et al.*, 2006; Sadiq y Tesfamariam, 2007; Sánchez *et al.*, 2007; Królak *et al.*, 2009; Lermontov *et al.*, 2009; Beamonte *et al.*, 2010; Gazzaz *et al.*, 2012; Srebotnjak *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2013).

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el *Canadian Council of Ministers of the Environment*, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) que fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas. Es una herramienta para generar resúmenes de los datos de calidad útiles tanto para técnicos como para políticos, así como para el público en general interesado en ese conocimiento. No es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas (CCME, 2001).

Este índice se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud. El alcance (F_1) define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando respecto al total de variables consideradas. La frecuencia (F_2) se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral (CCME, 2001).

Alcance:

$$F_1 = \frac{\# \text{ de variables fuera del rango}}{\text{Total de variables}} * 100$$

Frecuencia:

$$F_2 = \frac{\# \text{ de datos fuera del rango}}{\text{Total de datos}} * 100$$

Amplitud:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01(nse) + 0.01} \right) * 100$$

$$nse = \frac{\sum \text{Excursión}}{\text{Total de datos}}$$

$$\text{Excursión} = \left(\frac{\text{Valor excedido del rango}}{\text{rango}} \right) - 1$$

Índice canadiense de calidad de las aguas:

$$CCME_WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

A continuación se presentan varias investigaciones en las que se empleó el CCME_WQI:

- Lumb *et al.* (2006), monitorearon los cambios en la calidad de las aguas de cinco sitios en la subcuenca Mackenzie-Great Bear, en Canada. En cada uno se usó un grupo de variables o protocolos en dependencia de la disponibilidad de datos y de estándares regulatorios de los usos del agua.
- Tobin *et al.* (2007), hicieron una adaptación del índice para zonas forestales, encontrando que el alcance, la frecuencia y la amplitud varían significativamente entre estaciones del año.
- Terrado *et al.* (2010), emplearon el CCME_WQI por su flexibilidad para la selección de parámetros así como por la posibilidad que brinda en la modificación de los requisitos que debe reunir cada variable en dependencia del uso del agua. Ellos simulaban tres escenarios ambientales: descarga de aguas residuales urbanas, zonas con eutrofización y áreas de riesgo para los peces.
- Guzmán *et al.* (2011) y Mohebbi *et al.* (2013), emplearon el CCME_WQI para valorar aguas para riego y para consumo humano respectivamente. En ambos casos el índice fue modificado y calcularon subíndices por grupos de parámetros relacionados, que luego permitieron calcular una valoración global. De esa forma es posible determinar y comunicar más fácilmente qué variables son las que más influyen en la calidad del agua.
- Hurley *et al.* (2012), definieron los parámetros a emplear a partir de criterios de expertos y aseguran que este índice proporciona un medio invaluable para el monitoreo, comunicación y entendimiento de la calidad de las aguas de fuentes superficiales, además por su flexibilidad permite valorar la calidad para diferentes tratamientos tecnológicos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo de la provincia Las Tunas con el índice canadiense antes explicado por la flexibilidad que brinda en la selección de los parámetros que intervienen, las posibilidades que ofrece para clasificar de acuerdo a diversos criterios y la facilidad de su interpretación y comunicación por especialistas y público en general.

MÉTODOS

La cuenca estudiada se localiza entre las coordenadas: 20° 39' 00"-21° 01' 00" latitud norte y 76° 36' 30"-76° 52' 30" longitud oeste, en el municipio Majibacoa, provincia Las Tunas, Cuba. Su superficie es de 412,8 km² y representa el 7,8% de la cuenca del río Cauto de la cual es tributaria.

Toma de muestras

Se seleccionaron seis sitios de muestreo representativos de la cuenca, tres superficiales y tres subterráneos (Tabla 1). Los puntos se encuentran en la zona central de la cuenca y ninguno pertenece a la red de calidad del Instituto de Recursos Hidráulicos, sin embargo pueden ser utilizados por los pobladores de la zona estudiada para el riego de cultivos agrícolas.

TABLA 1. Identificación de los puntos de muestreo de las aguas

Código de la muestra	Muestras	Ubicación (X,Y) ¹
1	Pozo UBPC Waldemar Díaz	509298, 251788
2	Pozo Semiprotegido	504024, 250106
3	Pozo Las Parras	505872, 245758
4	Río Naranjo (Pto de muestreo 1)	502393, 245758
5	Río Naranjo (Pto de muestreo 2)	501370, 239885
6	Presa Blanca Rosa	504928, 252114

¹Las coordenadas están referidas a la Proyección Cónica Conforme de Lambert, Sistema de Coordenadas Cuba Sur.

El muestreo del agua se hizo en dos momentos, vinculados a los períodos húmedos y secos (septiembre de 2011 y enero de 2012, respectivamente), según la NC 93-02:85. El volumen tomado por cada fuente fue de 2,5 litros para facilitar la realización del análisis, según el Manual de Técnicas Analíticas elaborado por Paneque *et al.* (2005). Las muestras se preservaron de acuerdo a las recomendaciones de APHA (1998).

Determinación de las propiedades físico-químicas de las aguas

Las determinaciones de pH, temperatura y conductividad eléctrica se realizaron “*in situ*”, mediante un potenciómetro (pH metro manual de lectura digital marca Pocket-Sized chino), un medidor de temperatura y un conductímetro modelo HI-8424, marca HANNA, con su escala calibrada para leer directamente conductancias. Los resultados se expresan en unidades de pH a la temperatura de 25°C, con una precisión de $\pm 0,05$ unidades.

Las determinaciones de elementos mayoritarios (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, sodio, calcio y magnesio)

se hicieron según métodos estandarizados para el análisis físico-químico en el laboratorio de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de la provincia Las Tunas.

Para valorar la posible variación temporal de la calidad de las aguas en correspondencia con los momentos de muestreo se realizó un análisis de varianza simple con el programa STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1.

Índice canadiense de calidad de las aguas (CCME_WQI)

Para el cálculo del índice de calidad de las aguas y su evaluación se empleó una aplicación en Excel creada por la división de manejo del recurso agua de los gobiernos de Newfoundland y Labrador en Canadá (WRMD, 2005). Se prepararon cinco protocolos para el cálculo del CCME_WQI, ellos fueron: (i) todas las muestras; (ii) separación de los datos por períodos de muestreo, es decir, húmedo y seco; (iii) separación de los datos por origen de las aguas, o sea, superficiales y subterráneas. Finalmente se emplearon los criterios de la Tabla 2 para la clasificación de las aguas después de calculado el índice.

TABLA 2. Criterios para la clasificación de las aguas

CCME_WQI	Clasificación	Descripción
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia virtual de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80-94	Buena	La calidad del agua está protegida con algunas amenazas o daños de poca magnitud. Las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
65-79	Regular	La calidad del agua es usualmente protegida pero ocasionalmente es amenazada o dañada. Las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseados.
45-64	Marginal	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada. Las condiciones con frecuencia se apartan de los niveles naturales o deseados.
0-44	Pobre	La calidad del agua está casi siempre amenazada o dañada. Las condiciones usualmente se apartan de los niveles naturales o deseados.

Niveles deseados para las aguas de riego

En Cuba no existen normas para la clasificación de las aguas con propósitos de riego¹, por tanto los niveles deseados o umbrales que definen la calidad de las aguas de riego (Tabla 3) se obtuvieron de dos fuentes principales: el manual de FAO para la calidad del agua en la agricultura (Ayers y Westcot, 1987) y el Reglamento para la operación y mantenimiento de sistemas de riego y drenaje (IAgric, 2012).

TABLA 3. Niveles deseables o umbrales empleados para calcular el CCME_WQI

Variables	Unidad	Niveles deseables							
		Ayers y Westcot ¹		Ayers y Westcot ²		IAgric ¹		IAgric ²	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0	3	0	0,7	0	0,75	0	0,75
pH	U	6	8,5	6,5	8,4	NA ³	NA	NA	NA
Calcio	me/L	0	20	0	20	NA	NA	NA	NA
Sodio	me/L	0	40	0	3	0	3	0	3
Magnesio	me/L	0	5	0	5	NA	NA	NA	NA
Potasio	me/L	0	2	0	2	NA	NA	NA	NA
Sulfatos	me/L	0	20	0	20	NA	NA	NA	NA
Cloruros	me/L	0	30	0	3	0	4	0	4
Bicarbonato	me/L	0	10	0	1,5	NA	NA	NA	NA
Nitratos	mg/L	0	10	0	5	NA	NA	NA	NA
Coliformes Totales	NMP/1000 mL	NA	NA	NA	NA	0	1000	0	1000
RASx ⁴	U	NA	NA	NA	NA	0	8	0	16

Ayers y Westcot¹: valores normales en aguas de riego, Tabla 2, pág. 11, Obra citada.

Ayers y Westcot²: niveles deseados para aguas de riego sin ninguna restricción, Tabla 1, pág. 9, Obra citada.

IAgric¹: niveles para aguas sin riesgo de alcalinización si la conductividad eléctrica está entre 0,4 y 1,6 dS/m.

IAgric²: niveles para aguas sin riesgo de alcalinización si la conductividad eléctrica es mayor que 1,6 dS/m.

NA³: No Aplica, o sea, no se considera en el cálculo.

RASx⁴: Relación de Adsorción de Sodio ajustada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis de varianza simple realizado a las variables consideradas para el cálculo del CCME_WQI indica que solo para el pH hay diferencias significativas en un nivel de confianza del 95% entre los dos periodos de muestreo (seco y húmedo), es decir, existe variabilidad temporal en los datos de pH analizados. No encontrar variabilidad en el resto de los factores analizados pudiera estar relacionado con que solo se poseen datos de dos campañas de muestreo.

En la Tabla 4 se presenta entre paréntesis la cantidad de

variables con valores fuera de los niveles deseables en cada uno de los protocolos considerados en el cálculo del CCME_WQI, así como los factores que más datos tienen por encima de los umbrales definidos. La mayor incidencia está en la conductividad eléctrica, los contenidos de sodio, cloruros y bicarbonatos, esto coincide con los resultados de la caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca realizada por García y Balmaseda (2012), que las clasificaron como bicarbonatadas-cloruradas-sódicas. En el caso de los umbrales de (IAgric, 2012), hay que agregar a las mencionadas, los coliformes totales.

TABLA 4. Cantidad de variables con valores fuera de los niveles deseables y las que más datos tienen por encima de los umbrales definidos

Protocolos	Ayers y Westcot ¹	Ayers y Westcot ²	IAgric ¹	IAgric ²
Todas	(6) NO ₃	(7) CE, Na, HCO ₃	(5) Coliformes, Na	(5) Coliformes, Na
Seco	(4) NO ₃	(6) CE, Na, Cl, HCO ₃	(5) CE, Coliformes, Na, Cl	(5) CE, Coliformes, Na, Cl
Húmedo	(6) NO ₃	(7) CE, Na, HCO ₃	(5) Coliformes, Na	(4) Coliformes, Na
Superficiales	(1) NO ₃	(5) CE, Na, HCO ₃	(5) Coliformes, Na	(4) Coliformes, Na
Subterráneas	(6) Mg	(7) CE, Na, Cl, HCO ₃	(5) CE, Coliformes, Na, Cl	(5) CE, Coliformes, Na, Cl

La Figura 1 muestra los índices calculados en cada una de las variantes estudiadas. Como era de esperar los valores más altos del CCME_WQI se obtuvieron cuando los niveles deseados son los de aguas normales para riego pues son los menos exigentes. Al emplear los niveles deseables definidos por Ayers y Westcot (1987), para aguas de riego sin ninguna restricción el índice baja considerablemente, prácticamente en todos los protocolos estudiados el agua es clasificada como Pobre, esto se debe a que los umbrales de CE, Sodio, Cloruros y Bicarbonatos son varias veces inferiores a los de aguas normales como se puede apreciar en

la Tabla 3. Balmaseda y García (2013), obtuvieron resultados similares cuando analizaron aptitud para el riego de las fuentes de abasto de la cuenca estudiada, en todos los casos las clasificaron como No aptas.

Los criterios de IAgric (2012), aportan índices más bajos aún que los dos criterios anteriores, eso es debido a que prácticamente en todos los protocolos el alcance es 100% y las frecuencias sobrepasan el 67% (Tabla 5). Por otra parte los contenidos de sodio y de coliformes totales provocan desviaciones altas.

En la Figura 1 también se puede apreciar que separar las aguas de acuerdo a los períodos de muestreo no implica diferencias significativas en los valores del CCME_WQI para los criterios más exigentes, corroborando el análisis de varianza que se había realizado a las variables individuales que intervienen en el cálculo. Por otra parte las aguas superficiales tienen índices superiores a las subterráneas, llegando las primeras a ser marginales de acuerdo a Ayers y Westcot (1987), para aquellas sin ninguna restricción,

esto pudiera estar relacionado con que el origen de los altos contenidos de sales es provocado por la geología de la zona (Monteagudo, 2008).

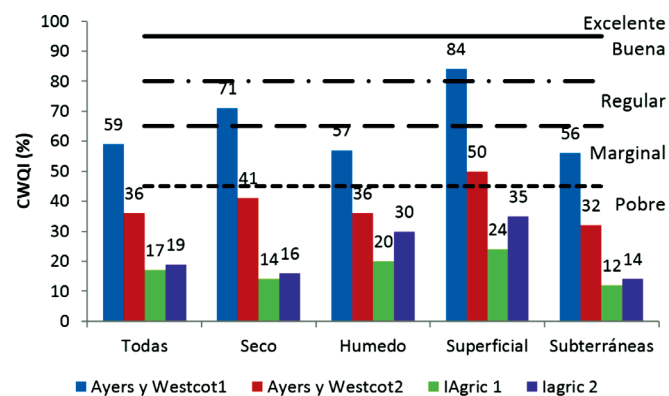


FIGURA 1. Índice de calidad de las aguas (CCME_WQI).

TABLA 5. Valores del alcance y la frecuencia

Protocolos	Ayers y Westcot ¹		Ayers y Westcot ²		IAgric ¹		IAgric ²	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Todas	60	17	70	51	100	82	100	75
Seco	40	13	60	50	100	90	100	83
Húmedo	60	20	70	52	100	73	80	67
Superficiales	10	7	50	45	100	73	100	67
Subterráneas	60	27	70	57	100	90	100	83

CONCLUSIONES

- La calidad del agua empleada para el riego en la cuenca del río Naranjo es Pobre o Marginal de acuerdo a los niveles deseables para aguas de riego sin ninguna restricción utilizados para calcular el CCME_WQI.
- Los bajos valores del CCME_WQI en algunos sitios de muestreo son indicativos del impacto negativo que puede producir

en los suelos y cultivos el uso de estas aguas en el riego.

- La flexibilidad en el uso de variables, la sencillez del cálculo y la facilidad de su interpretación hacen del CCME_WQI una herramienta eficiente para la comunicación de la información referida a la calidad del agua, tanto para especialistas como para la sociedad en general, pues permite estudiar las tendencias espaciales y temporales de la calidad del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, J.Á.; RUBIÑOS, E.P.; GAVI, F.R.; ALARCÓN, J.J.C.; HERNÁNDEZ, E.A.; RAMÍREZ, C.A.: “Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción”, *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 75: 71–83, 2006.

APHA: *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Ed. American Public Health Association, t. 20, Washington, EUA, 1998.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.: “La calidad del agua en la agricultura”, *Estudio FAO. Riego y Drenaje*, 29(1), 1987.

BALMASEDA, C.; GARCÍA, Y.: “Calidad para el riego de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas”, *Revista Cultivos Tropicales*, 34(4): 68–73, 2013.

BEAMONTE, E.C.; MARTÍNEZ, A.C.; FERRER, E.V.: “Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain)”, *Ecological Indicators*, 10(5): 1049 – 1054, 2010.

CANADA, CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT WINNIPEG: *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0*, [en línea] Canada, 2001. Disponible en: <http://www.ccme.ca/sourcetotap/wqi.html>[Consulta: 30 de enero de 2013].

CANADA, DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION, GOVERNMENT OF NEWFOUNDLAND & LABRADOR: *Site Specific Water Quality Index 1.0 calculator [WQI(SS) 1.0]*, [en línea] Canada, 2005. Disponible en: [http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/wqi\(ss\).xls](http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/wqi(ss).xls)[Consulta: 30 de enero de 2013].

- CEDDET: Herramientas y experiencias de proyectos aplicados (Índices e Indicadores de calidad de agua), [en línea] 2012. Disponible en: [http://www.cursosceddet.org/course/\[Consulta: 24 de noviembre de 2012\]](http://www.cursosceddet.org/course/[Consulta: 24 de noviembre de 2012]).
- CUBA, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.: *Reglamento para la operación y mantenimiento de sistemas de riego y drenaje*, 50pp., Cuba, 2012.
- GARCÍA, Y.; BALMASEDA, C.: “Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3): 29–34, 2012.
- GAZZAZ, M.N.; YUSOFF, M.K.; ARIS, A.Z.; JUAHIR, H.; RAMLI, M.F.: “Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors”, *Marine Pollution Bulletin*, 64(11): 2409 – 2420, 2012.
- GUZMÁN, G.C.; THALASSO, F.; RAMÍREZ, E.M.L.; RODRÍGUEZ, S.N.; GUERRERO, A.L.B.; AVELAR, F.J.G.: “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México”, *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2): 89–102, 2011.
- HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A.: “Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality”, *Water Research*, 46(11): 3544 – 3552, 2012.
- KRÓLAK, E.; MAŁGORZATA, S.; MAŁGORZATA, K.: “The usefulness of various indices in the assessment of water quality of a lowland river”, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 9(2–4): 271 – 280, 2009.
- LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; SOARES, M.A.M.: “River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil”, *Ecological Indicators*, 9(6): 1188 – 1197, 2009.
- LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T.: “Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mackenzie River basin, Canada”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 113(1): 411–429, 2006.
- MA, Z.; SONG, X.; WAN, R.; GAO, L.: “A modified water quality index for intensive shrimp ponds of *Litopenaeus vannamei*”, *Ecological Indicators*, 24(0): 287 – 293, 2013.
- MOHEBBI, M.R.; SAEEDI, R.; MONTAZERI, A.; VAGHEFI, K.A.; LABBAFI, S.; OKTAIE, S.; ABTAHI, M.; MOHAGHEGHIAN, A.: “Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI)”, *Ecological Indicators*, 30(0): 28 – 34, 2013.
- MONTEAGUDO, V.Z.: *Geoquímica de las aguas subterráneas de Las provincia de Las Tunas*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Química), Instituto Superior Pedagógico de Las Tunas, Cuba, 2008.
- NC 93-02:85.: *Norma cubana de agua potable*, Vig. 1985.
- PANEQUE, V.M.; CALDERÓN, M.; CALAÑA, J.M.; BORGES, Y.; CARUNCHO, M.: *Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales*, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2005.
- SADIQ, R.; TEFAMARIAM, S.: “Probability density functions based weights for ordered weighted averaging (OWA) operators: An example of water quality indices”, *European Journal of Operational Research*, 182(3): 1350 – 1368, 2007.
- SAMBONI, N.E.; CARVAJAL, Y.; ESCOBAR, J.C.: “Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua”, *Ingeniería e Investigación*, 27: 172–181, 2007.
- SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M.F.; VICENTE, J.; RUBIO, A.; GARCÍA, M.G.; TRAVIESO, L.; BORJA, R.: “Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution”, *Ecological Indicators*, 7(2): 315 – 328, 2007.
- SREBOTNJAK, T.; CARR, G.; SHERBININ, A.; RICKWOOD, C.: “A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data”, *Ecological Indicators*, 17(0): 108 – 119, 2012.
- TERRADO, M.; BARCELÓ, D.; TAULER, R.; BORRELL, E.; CAMPOS, S.; BARCELÓ, D.: “Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(1): 40 – 52, 2010.
- TOBIN, A.; KHAN, A.A.; KHAN, H.; MOORES, L.; TAYLOR, J.: “Forestry Water Quality Index – A planning tool for the assessment and communication of the impacts of forestry activities on water quality”, *The Forestry Chronicle*, 83(2): 207–214, 2007.

Recibido: 1 de octubre de 2013.

Aprobado: 20 de marzo de 2014.

Carlos Balmaseda Espinosa, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Apartado 18-19, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: cbalma@unah.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de los equipos e instrumentos obedece únicamente a propósitos de identificación y referencia para los lectores, no existiendo ningún compromiso promocional con sus fabricantes.