MEDISAN 2010;14(2):175

ARTÍCULO ORIGINAL

Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba

Risk of pollution with cyanobacteria in three water reservoirs of Santiago de Cuba

Dr. C. Liliana M. Gómez Luna, [1] Beatriz Álamo Díaz [2] y Lic. José Carlos Rodríguez Tito [3]

[1] Doctora en Ciencias Biológicas. Profesora Titular. Laboratorio de Ecotoxicología. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
[2] Estudiante de Biología. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
[3] Licenciado en Química. Investigador Agregado. Centro de Toxicología y Medicina Experimental, Santiago de Cuba, Cuba.

Resumen

La gestión del riesgo de contaminación con cianobacterias es sin dudas un tema relevante, de gran impacto social. Es bien conocida la relación que existe entre las floraciones de estos microorganismos y serias afectaciones a la salud humana. Con el objetivo de proponer un modelo de gestión del riesgo por contaminación con cianobacterias en embalses de agua para consumo humano, se estudió la presencia de estos microorganismos en tres embalses que servician agua a más del 80% de la población de Santiago de Cuba (Chalóns, Paradas y Charco Mono) durante los meses de noviembre de 2008 y marzo de 2009. Se realizaron muestreos cualitativos y cuantitativos para la caracterización del fitoplancton y determinaciones de la densidad fitoplanctónica. Se identifican 73 especies fitoplanctónicas y 9 especies de cianobacterias potencialmente tóxicas. La densidad del fitoplancton osciló entre 5 y 25 $x10^4$ cél/mL^{-1}. Este estudio contribuye al diseño de una metodología para enfrentar el riesgo de la contaminación por cianobacterias, por lo que tiene impacto social y económico a nivel local.

Palabras clave: cianobacterias, cianotoxinas, floraciones algales, embalses, eutrofización

Abstract

The risk of pollution with cyanobacteria is undoubtedly an important topic of great social impact. It is very well-known the relation between the flowering of these microorganisms and the serious involvement to the human health. With the purpose of proposing an administration model of the risk of pollution with cyanobacteria in water reservoirs for the human consumption, the presence of these bacteria was studied in 3 reservoirs

(Chalóns, Paradas and Charco Mono), which supply more than 80 % of Santiago population, from November, 2008 to March, 2009. Qualitative and quantitative samplings were made to characterize the phytoplankton and determine its density, which ranged between 5 and 25x104 cel/mL-1. Seventy three species of phytoplankton and nine cyanobacteria potentially toxic were identified. This study contributes to the design of a methodology to face these risks of pollution.

Key words: cyanobacteria, cyanotoxins, waterweed flowering, reservoirs, eutrophyzation phytoplankton

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias son organismos fotoautótrofos ubicuos. Eventualmente pueden desarrollarse en grandes masas, denominadas florecimientos o «blooms», especialmente en cuerpos de agua eutróficos. Muchas especies tienen la capacidad de producir sustancias tóxicas que alteran notablemente las características organolépticas del agua y provocar graves daños a la salud humana e incluso, ocasionar la muerte.[1, 2] Los florecimientos de cianobacterias causan impacto social, ya que por sus efectos limitan la utilización de acuíferos y hasta el aprovechamiento de tierras aledañas. [3-5]

De manera general, las cianotoxinas se clasifican en cuatro grupos: neurotoxinas, hepatotoxinas, citotoxinas irritantes y toxinas gastrointestinales; sin embargo, muchos de sus efectos en comunidades acuáticas han sido poco estudiados, así como su incidencia en algunas regiones del planeta. [6]

Las toxinas cianobacterianas han sido tema de interés para la ciencia desde hace varias décadas; sin embargo, recientemente ha aumentado el interés por estas, debido a su incidencia y al aumento de los florecimientos causados por las condiciones climáticas globales. Conjugando estudios sistemáticos de campo, de laboratorio y epidemiológicos, se ha comprobado que las cianotoxinas provocan brotes agudos de gastroenteritis, congestión pulmonar, irritaciones cutáneas, alergias, lesiones hepáticas, e incluso, elevación en la incidencia de tumores y metástasis, de ahí el valor de la detección del riesgo. [7-10] Las cianotoxinas causantes de la mayoría de los episodios de cianotoxicidad son las microcistinas (hepatotoxinas), las cuales han sido muy estudiadas y se conoce su resistencia a los tratamientos convencionales de aguas potables, como la cloración; las miocrocistinas pueden llegar a causar graves problemas sanitarios y medioambientales, incluso a muy bajas concentraciones. Su presencia se asocia fundamentalmente a especies de *Microcystis, Anabaena, Aphanizomenom, Nodularia* y *Planktothrix* .[11-14]

El conocimiento sobre la presencia de cianobacterias y cianotoxinas ha estado fuertemente limitado por la falta de métodos adecuados para la detección y vigilancia. En muchos casos ha sido evidente la incapacidad de prevenir y hacer frente a una intoxicación masiva por cianobacterias tóxicas, debido, fundamentalmente, al desconocimiento del fenómeno por las instituciones involucradas y a la falta de investigaciones rigurosas que demuestren la existencia de cianobacterias toxigénicas y cianotoxinas. Los resultados que se exponen a continuación forman parte de los primeros estudios desarrollados en la provincia de Santiago de Cuba.

MÉTODOS

Con el objetivo de proponer un modelo de gestión del riesgo por contaminación con cianobacterias en embalses de agua para consumo humano, se estudió la presencia de estos microorganismos en tres presas que abastecen de agua a más de 80% de la población de Santiago de Cuba, desde noviembre de 2008 hasta marzo de 2009, para lo cual se realizaron muestreos cualitativos y cuantitativos y se establecieron tres estaciones de muestreo para un primer estudio de riesgo, considerando en primer lugar un punto de la Red Cal, establecida por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos; un segundo punto cercano a la toma de agua y un tercero donde existían evidencias de espuma o condiciones favorables para la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. Las coordenadas satelitales fueron establecidas por estación de muestreo, mediante la tecnología de sistemas globales de posicionamiento (GPS, en inglés).

Se tomaron muestras de agua en cada uno de los 3 puntos de muestreo en horas de la mañana (9:00-10:00 am), entre 15-30 cm de profundidad (**tabla 1**) y se realizaron muestreos para análisis cualitativos con red de plancton de 10 µm, con arrastre vertical por sumersión. Posteriormente, dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio en completa oscuridad, con las medidas sépticas pertinentes. Se procedió de inmediato a su recuento y análisis, en fresco, y se realizaron determinaciones de variables fisicoquímicas y biológicas según métodos estandarizados.

Tabla 1. *Embalses según puntos de muestreo*

Embalse	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
Charco Mono	20° 04′ 53′′N 076° 00′ 23′′W	20° 04′ 51′′N076° 00′ 31′′W	20° 04′ 57′′N075° 59′ 49′′W
Paradas	20° 01′ 62′′N 075° 54′ 10′′W	20° 02′ 31′′N 075° 53′ 28′′W	20° 01′ 91′′N 075° 53 55′′W
Chalóns	20° 04′ 27′′N 075° 48′ 92′′W	20 °04′ 31′′N 075°48′ 85′′W	20°04′ 25′′N 075°48′ 82′′W

Identificación y cuantificación del fitoplancton: Se hizo un análisis preliminar, así como la identificación con el microscopio óptico, además de observar y fotografiar 5 réplicas por muestra. Se efectuó recuento celular directo mediante una cámara de recuento hematológico Neubauer mejorada y se expresó en número de células/mL^{-1}.

Se efectuaron, además, observaciones en fresco, tanto de las muestras recogidas en frascos como aquellas tomadas con la red, y después de incubación durante 7 días en condiciones de luz continua DAY LIGHT, PHILIPS 40 W (TLT 40 W/54 RS), a una intensidad de 58,59 $\mu E\ m^{-2}s^{-1}$ y una temperatura de 20 ± 2°C.

Las especies fitoplanctónicas fueron identificadas, para lo cual se tomó, al menos, 5 alícuotas de cada muestra y se utilizaron varias claves dicotómicas y criterios taxonómicos, además de consultas online con las bases Infoseek, AlgaeBase y Algaterra y con la galería de especies fitoplanctónicas del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por su sigla en inglés) de Estadios Unidos.

RESULTADOS

Se identifican 73 especies fitoplanctónicas en los tres embalses estudiados, las que pertenecen a 58 géneros. De estas, 21 (33%) pertenecen a la división Chlorophyta, 23

(31%) a Heterokontophyta, 24 (29%) a Cyanophyta, 3 (4%) a Euglenophyta y 2 (3%) a Dynophyta.

Las especies más frecuentes de cianobacterias en los embalses fueron *Microcystis* spp., *Aphanothece minutissima* y *Oscillatoria chalybea*. Quedaron identificadas 21 especies, de las cuales 9 fueron consideradas tóxicas por diferentes autores: *Microcystis viridis, Oscillatoria chalybea, Oscillatoria limosa, Oscillatoria tenuissima, Anabaena torulosa, Planktothrix* sp, *Lyngbya* sp *y Synechococcus* sp, *Gomphosphaeria* sp que representan 43% del total de cianobacterias (**tabla 2**). Los embalses de mayor vulnerabilidad según la presencia de cianobacterias son Chalóns y Charco Mono, con mayor diversidad total y de especies tóxicas. [15, 16]

Tabla 2. *Especies de cianobacterias presentes en los embalses Chalóns, Charco Mono y Paradas de Santiago de Cuba.*

Géneros	**Chalóns**			**Paradas**			**Charco Mono**		
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Cyanophyta	9	6	5	5	4	5	15	15	7
1. Anabaena sp.		X					X	X	
*2. Anabaena torulosa**							X	X	
3. Anacystis sp.	X						X	X	
4. Aphanocapsa delicatissima							X	X	
5. Aphanothece minutissima	X	X	X	X	X	X	X		X
6. Chroococus dispersus				X					
7. Chroococus limneticus	X			X	X	X	X	X	X
8. Gloeocapsa sp.	X					X	X	X	X
9. Gomphosphaeria sp.*	X								
*10. Lyngbya sp.**							X	X	
11. Microcystis sp.				X	X	X		X	X
*12. Microcystis viridis**	X	X	X				X	X	
*13. Oscillatoria chalybea**	X	X	X	X	X	X	X	X	
*14. Oscillatoria limosa**		X					X	X	
*15. Oscillatoria tenuissima**	X						X	X	X
*16. Planktothrix sp.**		X	X				X		
17. Pseudoanabaena limnetica			X						
18. Radiocystis geminata								X	
19. Raphidiopsis sp.									X
20. Spirulina sp.							X	X	
*21. Synechococcus sp.**	X						X	X	X
No. especies tóxicas (*)	5	4	3	2	2	2	8	7	2

En el estudio, si bien solo se incluyen noviembre y marzo, meses comprendidos en el período de seca, se destaca la diversidad encontrada en Charco Mono, donde se identificaron 56 especies: (17 Cyanophyta, 17 Heterokontophyta, 2 Euglenophyta, 19 Chlorophyta y una Dynophyta); en Chalóns 34 (12 Cyanophyta, 3 Heterokontophyta, 3 Euglenophyta, 13 Chlorophyta y 3 Dynophyta) y en Paradas 23 especies (5 Cyanophyta, 8 Heterokontophyta, 9 Chlorophyta y una Dynophyta).

Al analizar la concentración de fitoplancton, los embalses con menos valores resultaron Paradas y Charco Mono, con máximas densidades en Chalóns (**figura 1**).

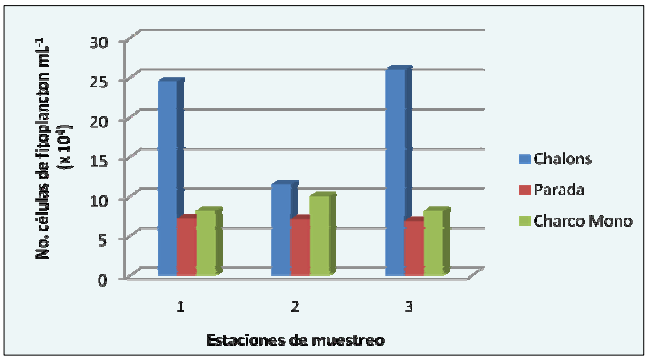

Figura 1. *Concentración de fitoplancton en 3 los embalses*

Los resultados de las determinaciones fisicoquímicas en los 3 embalses (**tablas 3a,b,c**), muestran la heterogeneidad en cuanto a calidad de las aguas, las que pudieran clasificarse como oligotróficas; sin embargo, para la clasificación de dichos embalses se necesita un análisis integrado.

Tabla 3a. *Resultado de análisis fisicoquímicos en el embalse Chalóns*

Parámetros	**Chalóns 1**	**Chalóns 2**	**Chalóns 3**
pH	8,4	8,3	8,1
Cloruros (mg/L^{-1})	57,54	55,89	55,89
Nitrógeno amoniacal($mg.L^{-1}$)	0,12	0,09	0,14
Nitritos (mg/L^{-1})	0,02	0,03	0,01
Dureza Total (mg/L^{-1})	260,15	197,21	180,43
Dureza cálcica (mg/L^{-1})	117,49	69,23	50,35
Dureza magnésica (mg/L^{-1})	142,66	127,98	130,08
Hierro (mg/L^{-1})	0,15	0,07	0,21
Cobre (mg/L^{-1})	0,04	0	0,04
Sílice (mg/L^{-1})	46,21	49,09	39,47
Sulfatos (mg/L^{-1})	27,03	31,86	31,86
Fosfatos (mg/L^{-1})	0	0	0
Oxígeno disuelto (OD): (mg/L^{-1})	7	4,8	7,8

Tabla 3b. *Resultado de análisis fisicoquímicos en el embalse Parada*

Parámetros	**Parada 1**	**Parada 2**	**Parada 3**
pH	7,9	8	7,6
Cloruros (mg/L^{-1})	47,13	47,13	46,03
Nitrógeno amoniacal($mg.L^{-1}$)	0,095	0,095	0,19
Nitritos (mg/L^{-1})	0	0	0
Dureza Total (mg/L^{-1})	193,02	201,41	193,02
Dureza cálcica (mg/L^{-1})	109,09	113,29	102,8
Dureza magnésica (mg/L^{-1})	83,93	88,12	90,22
Hierro (mg/L^{-1})	0	0	0
Cobre (mg/L^{-1})	0	0	0
Sílice (mg/L^{-1})	18,04	18,04	18,04
Sulfatos (mg/L^{-1})	49,24	58,9	71,93
Fosfatos (mg/L^{-1})	0	0	0
Oxígeno disuelto (OD): (mg/L^{-1})	8,5	8,5	8,7

Tabla 3c. *Resultado de análisis fisicoquímicos en el embalse Charco Mono*

Parámetros	Charco Mono 1	Charco Mono 2	Charco Mono 3
pH	7,6	7,7	7,7
Cloruros (mg/L^{-1})	13,45	11,95	12,95
Nitrógeno amoniacal(mg/L^{-1})	0	0	0
Nitritos (mg/L^{-1})	0,07	0,07	0,07
Dureza Total (mg/L^{-1})	111,40	111,46	111,46
Dureza cálcica (mg/L^{-1})	83,62	79,33	79,33
Dureza magnésica (mg/L^{-1})	27,98	32,13	32,13
Hierro (mg/L^{-1})	0,29	0,18	0,06
Cobre (mg/L^{-1})	0	0	0
Sílice (mg/L^{-1})	4,47	5,20	5,20
Sulfatos ((mg/L^{-1})	17,54	15,25	13,03
Fosfatos (mg/L^{-1})	0	0	0
Oxígeno disuelto (OD): (mg/L^{-1})	5,1	5,2	6,7

DISCUSIÓN

Los embalses Chalóns, Paradas y Charco Mono brindan agua a más de 80 % de la población de Santiago de Cuba (480 000 habitantes) y son alimentados por ríos en los que corren los residuales de pequeñas poblaciones cercanas (Boniato, El Cobre, Cañas, entre otros), por lo que existen posibilidades de un aumento creciente de la eutrofización de sus aguas.

En relación con el riego de contaminación con cianobacterias tóxicas, los tres estanques fueron clasificados como áreas potenciales para la ocurrencia de floraciones de estos microorganismos, si bien Chalóns es el más vulnerable, considerando las concentraciones de fitoplancton que se obtienen, los resultados de los análisis fisicoquímicos y la diversidad de cianobacterias.

Las floraciones de cianobacterias se asocian a varias causas: aumento de la carga de nutrientes, de la intensidad luminosa, ascenso de la temperatura del agua, incremento de la residencia de esta y disminución de la turbulencia. Como consecuencia, estas le confieren al agua un olor desagradable, aumenta el pH, provoca anoxia en los sistemas acuáticos y se obstruyen las válvulas y filtros, de modo que se identifica el riesgo por posible intoxicación. [17]

Algunas de las especies identificadas en los embalses contienen tanto anatoxinas (neurotoxinas) como microcistinas (hepatotoxinas).[18] La más frecuente, *Microcystis* sp. es casi siempre tóxica, aunque también se presentan cepas no tóxicas en raras ocasiones.

Según los valores de nitrógeno y fósforo totales, los embalses clasifican como oligotróficos; sin embargo, excede la concentración de fitoplancton de 1500 $cél/mL^{-1}$, considerada por Biagini como límite inferior para clasificar a un cuerpo de agua como politrófico. [19]

Una primera fase de la gestión de riesgos de contaminación por cianobacterias en embalses de abasto de agua es la identificación o detección del peligro; en este caso, la presencia de cianobacterias. Es importante considerar que mientras no se conozcan las

condiciones para la proliferación de cianobacterias en un acuatorio, no habrá un conocimiento claro de los factores que conllevan al predominio de las cepas tóxicas sobre las no tóxicas.

Las especies y géneros de estos microorganismos no están libres de toxicidad, teniendo en cuenta las cambiantes condiciones ambientales. A medida que las investigaciones avancen y abarquen más regiones en todo el mundo, se encontrarán más especies tóxicas, de modo que es prudente esperar cierto potencial tóxico en cualquier población de cianobacterias y establecer medidas de control que garanticen un cuidado adecuado no solo de la calidad del agua, sino del riesgo que representa la presencia de cianobacterias tóxicas en estos embalses. [6]

A partir de los resultados obtenidos, se propone una metodología para la gestión de riesgo por contaminación con cianobacterias en embalses de agua (**figura 2**). El estudio realizado corresponde a la fase de detección del riesgo, en próximas etapas hay que profundizar en la caracterización y en una evaluación integrada del riesgo que permita una gestión adecuada.

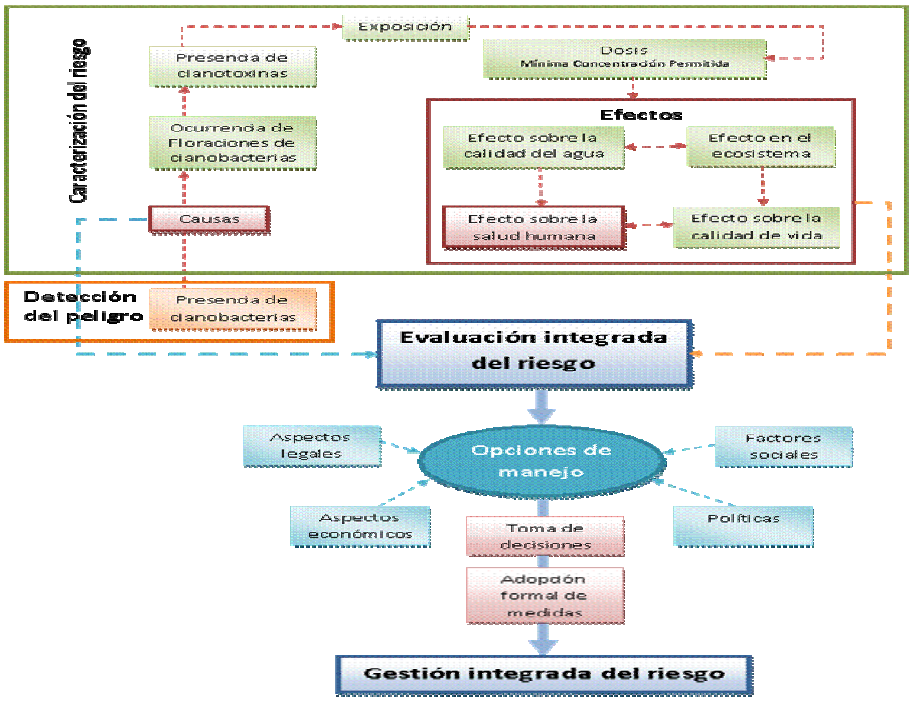

Figura 2. *Diagrama de etapas concebidas para la gestión del riesgo de contaminación por cianobacterias en embalses de agua para consumo humano.*

Se hace necesario capacitar a los actores clave e involucrarlos en dar solución a la problemática identificada.

Los 3 embalses de agua estudiados, los cuales son vulnerables a la ocurrencia de floraciones de estos organismos, presentaron riesgo por contaminación con cianobacterias y cianotoxinas, donde Chalóns resultó el más susceptible, por lo que se hace inminente la coordinación entre actores clave como: las dependencias provinciales del Instituto de Recursos Hidráulicos, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio

Ambiente, el Ministerio de Salud Pública y el Gobierno, así como un análisis del marco legal existente concerniente a la contaminación por cianobacterias y cianotoxinas. Es preciso desarrollar métodos para la pronta detección de florecimientos específicos de cianobacterias, lo que conlleva acciones correctivas, como un adecuado tratamiento del agua o el desplazamiento de la toma de esta, para evitar así el suministro de un producto de riesgo a los consumidores.

El laboratorio de ecotoxicología desarrolla investigaciones para un adecuado monitoreo de especies de cianobacterias potencialmente tóxicas, pero se hace necesario el reconocimiento del fenómeno y su efecto nocivo sobre la salud por las instituciones de salud del territorio y la población, por lo que apremia el desarrollo de un programa de instrucción orientado a los diferentes actores y sectores involucrados, para garantizar la gestión integrada del riesgo de contaminación por cianobacterias y cianotoxinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arce O. Eutrofización de cuerpos de agua. Química del agua <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/Eutrofizacion.pdf> [consulta:22 agosto 2009].

2. Cavalli V, Cidral JR, Nilson R. Contagem de cianobactérias do gênero *Microcystis* e determinação de microcistinas pelo método de imunoensaio competitivo no controle de tratamento de água para abastecimento. In Blumenau, 2005:10.

3. Pizzolon L, Tracanna B, Prosperi C, Guerrero J. Cianobacterial blooms in argentinean inland waters. Lakes and Reservoirs 1999;4:101-5.

4. Campos V, Lisperguer S, Weckesser J, Vera A, Muñoz D. Cianobacterias y riesgos potenciales de toxicidad en aguas continentales de Chile. Boletín Micológico 2005; 20: 73-81.

5. Quesada D, Carrasco Cirés S. Cianobacterias en aguas de consumo y recreo: un problema de todos. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2006:1-10.

6. Codd GA. Cyanobacterial toxins: occurrence, properties and biological significance. Wat Sci Rech1995; 32*:*149-56.

7. Almeida VPS, Cogo K, Tsai SM, Moon DH. Colorimetric test for the monitoring of microcystins in cyanobacterial culture and environmental samples from southeast–Brazil. Brazilian Journal of Microbiology 2006:192-8.

8. Carmichael WW, Callow JA. The cyanotoxins in advances. Botanical Research 1997:22-4.

9. Falconer IR. Potential impact on human health of toxic cyanobacteria. Phycologia 1996; 35:15-22.

10. Joshimsen EM, Carmichael WW, Cardo DM, Cookson ST, Holmes CEM, Antunes BdCM, et al. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. N Engl J Med 1998; 338:873-78.

11. Briand E, Yépremian C, Humbert JF, Quiblier C. Competition between microcystin- and non-microcystin-producing *Planktothrix agardhii* (cyanobacteria) strains under different environmental conditions. Environmental Microbiology 2008; 10:3337-48.

12. Akin Oriola GA, Lawton LA. Detection and quantification of toxins in cultures of Microcystis aeruginosa (PCC 7820) by HPLC and protein phosphatase inhibition assay effect of blending varios collectors at bulk. African Journal of Science and Technology 2005; 6:1-10.

13. Morais J, Augusto M, Vale M. Cyanobacteria hepatotoxins, microcystins: bioavailability in contaminated mussels exposed to different environmental conditions. European Food Research & Technology 2008; 227:949-52.

14. Boaru DA, Drago N, Welker M, Bauer A, NicoarÄƒ A Schirmer K. Toxic potential of microcystin-containing cyanobacterial extracts from three Romanian freshwaters. Toxicon 2006; 47:925-32.

15. Pizzolon L. Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentals. Interciencia 1996; 21:239-45.

16. Chorus I, Bartram J. Toxic Cyanobacteria in Water. A guide to the public health consequences, monitoring and management. London and New York: WHO, 1999.

17. Pérez DS, Soraci AL, Tapia MO. Cianobacterias y cianotoxinas: rol de las micriocistinas en la salud humana y animal y su detección en muestras de agua. Analecta Veterinaria 2008; 28:48-56.

18. Forján Lozano E, Domínguez Vargas MJ, Vílchez Lobato C, Miguel R, Costa C, Reis MP. Cianoalerta: estrategia para predecir el desarrollo de cianobacterias tóxicas en embalses. Ecosistemas 2008; 17:37-45.

19. Biagini M. Valutazioni dell inquinamen 1to delle acque correnti per mezzo del fitoplnacton. Biologi Italiani 1980; 10(20):20.

Recibido: 27 de octubre de 2009
Aprobado: 2 de noviembre del 2009

Dr. C. Liliana M. Gómez Luna. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Avenida de las Américas s/n, esquina I, CP 90400, Santiago de Cuba, Cuba.
Dirección electrónica: lilianag@cnea.uo.edu.cu