

---

## Informe de Evaluación de la Calidad del Agua del Lago de Coatepeque

27 de Noviembre de 2006

### I. ANTECEDENTES

El Lago de Coatepeque se localiza en el departamento de Santa Ana en las faldas del volcán del mismo nombre, cuenta con una superficie de 24.8 Km<sup>2</sup> y su elevación es de 740 metros sobre el nivel del mar (msnm); su cuenca tiene un área de 70.25 Km<sup>2</sup>. Esta cuenca presenta la característica particular de no tener drenaje superficial, el drenaje es subterráneo hacia las cuencas de los ríos Sucio y Suquiapa. Su profundidad máxima es de 115 metros y los paredones que lo circundan tienen alturas que varían entre 250 y 300 metros.

De octubre a noviembre del presente año, el Lago de Coatepeque ha experimentado una coloración verde turquesa. De acuerdo a los residentes de la zona en las últimas dos décadas el Lago de Coatepeque ha mostrado esta coloración. Se desconoce de la existencia de estudios que reporten de un evento similar. Las primeras alteraciones de color comenzaron en el mes de octubre, con manchas color turquesa, la cual se extendió a todo el lago a finales del mismo mes. La coloración normal del lago varía de azul cristalino a azul profundo.

El Lago de Coatepeque es un destino turístico nacional e internacional, es utilizado para la práctica de pesca deportiva, recreación; además es una fuente de abastecimiento de agua a la población y riego, por lo que, los cambios en sus características, podrían afectar el normal desarrollo de estas actividades.

Por lo anterior, hubo una preocupación general de los habitantes y de los visitantes de la zona y se solicitó al SNET el realizar una investigación científica para conocer las causas y consecuencias de dicho evento.

Es importante mencionar, que el 1 de octubre del 2005 el Volcán de Santa Ana expulsó cenizas y materiales preexistentes en el cráter, (bloques rocosos, fragmentos hidrotermalizados y arcillas) cuyos depósitos alcanzaron hasta 1 m de espesor en las cercanías del mismo. Debido a las lluvias del Huracán Stan que comenzaron a partir del 2 de octubre, parte de los materiales expulsados fueron arrastrados, hasta convertirse en los flujos de lodo (lahar) que bajaron por las quebradas de la ladera del volcán hasta el lago de Coatepeque, en la zona de Las Playitas. El lahar estaba formado por bloques de roca de hasta 2 m de diámetro inmersos en una matriz de arena-limo-arcillosa con gravas y guijarros angulosos.

Debido al impacto que estos flujos podían tener sobre la calidad del lago, el SNET realizó un primer monitoreo preliminar de la calidad de agua del lago en noviembre del 2005. Entre Julio–Agosto de 2006 se realizaron dos monitoreos mas, pero en ninguno de estos se observó alteración en la coloración normal el agua de lago.

## II. INVESTIGACION REALIZADA

El miércoles 10 de noviembre, se realizó una visita y una toma de muestras de agua, así como un muestreo biológico de recolección de algas que servirían para conocer el origen del cambio de color del agua.

La inspección visual permitió constatar que el color normal del lago (azul cristalino a azul profundo) en ese momento presentaba una coloración verde turquesa. Se observaron deposiciones blanquecinas sobre las rocas de la orilla del lago y en el fondo de las playas y muelles adyacentes, además se encontró un pez de aproximadamente 12 centímetros de longitud muerto en la orilla de un muelle.

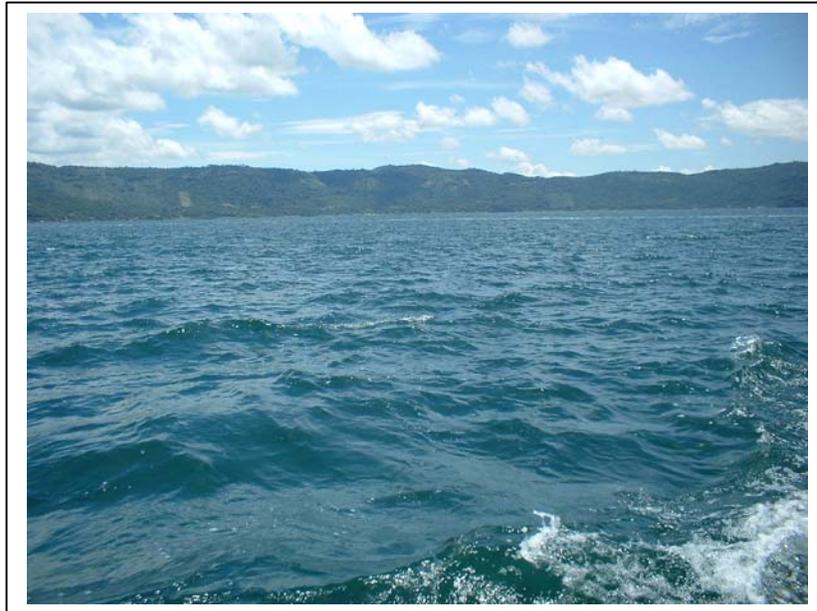


Figura No. 1 Fotografía del Lago de Coatepeque tomada en julio de 2006. (Color normal del lago).



Figura No.2 Fotografía del Lago de Coatepeque tomada en noviembre de 2006.  
(Coloración del Lago)

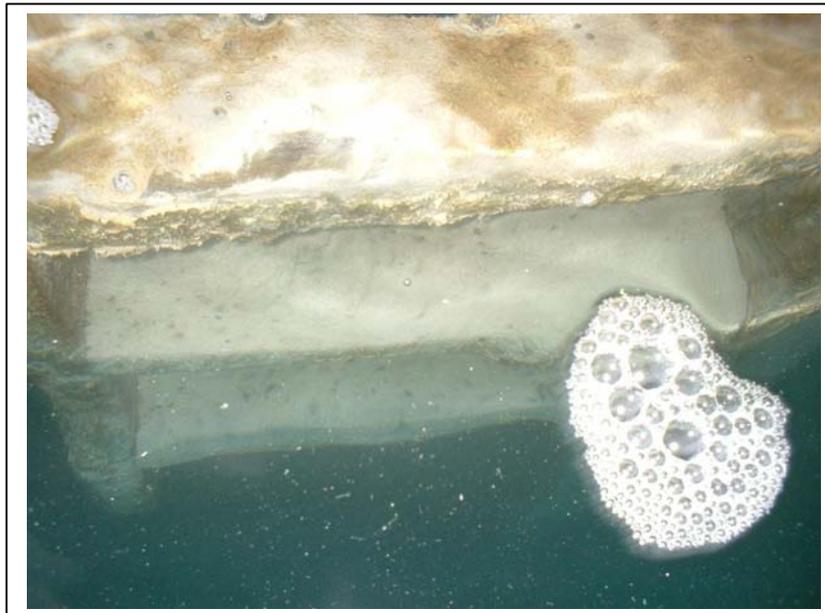


Figura No. 3 Fotografía de gradas de muelle con deposición blanquecina  
en el Lago de Coatepeque tomada en noviembre de 2006

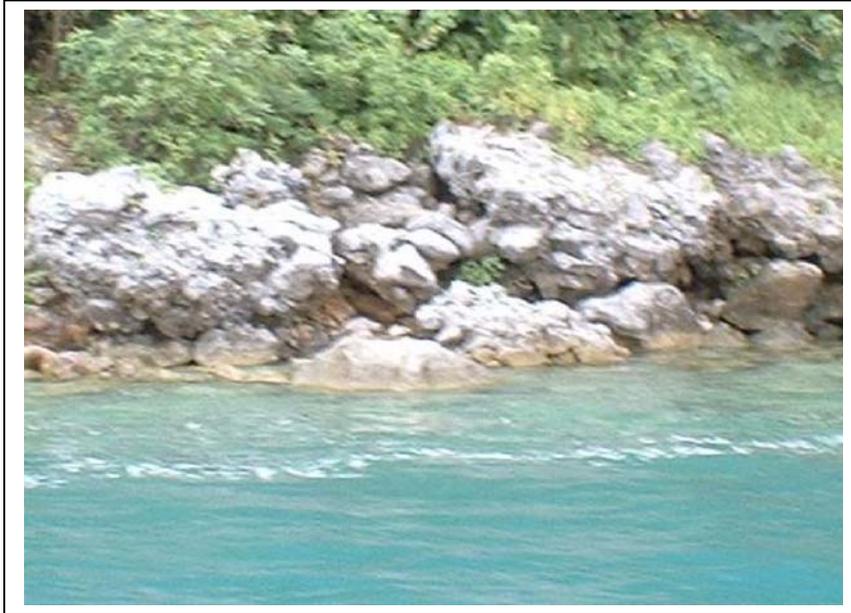


Figura No.4 Fotografía de rocas con deposición blanquecina en el Lago de Coatepeque tomada en noviembre de 2006



Figura No. 5 Fotografía pez muerto. Lago de Coatepeque tomada en noviembre de 2006

El muestreo de calidad de agua se inició a las 10 a.m. del día miércoles 10 de noviembre. Las condiciones climáticas prevalecientes durante las primeras horas del muestreo fue: cielo nublado, con temperaturas que oscilaban entre 26°C y 29°C y ausencia de vientos.

Los dos sitios definidos para la toma de muestras en el espejo de agua del lago fueron el centro del lago y el sitio llamado aguas termales cerca del embarcadero del ferry (Figura No.6).



FIGURA No. 6 Sitios de toma de muestra en el Lago de Coatepeque.

En cada uno de los sitios de muestreo, se midieron los parámetros de calidad de agua in situ utilizando el equipo (Troll 9050, un disco Secchi) para medir la

transparencia, y se recolectó un total de 22 muestras de agua para realizar los análisis físicos, químicos bacteriológico y biológicos, en el laboratorio.

Las muestras fisicoquímicas se recolectaron a una profundidad de 5, 28 y 70 metros de la superficie en el centro del lago y a 2 metros de profundidad en el sitio de aguas termales y para la toma de muestras biológicas se realizaron dos arrastres de plancton con una red de muestreo a baja velocidad durante un tiempo promedio de media hora en ambos sitios.

Para mantener un control de calidad en las muestras recolectadas; así como, cumplir con los procedimientos estándar, se tomaron los correspondientes “blancos de muestras” y “blancos de temperatura” que permiten constatar la posibilidad de existencia de contaminación durante el proceso de muestreo y permiten detectar errores sistemáticos o casuales que se produzcan desde el momento en que se toma la muestra hasta el análisis.



Técnico del SNET, recolectando muestras para análisis de calidad de agua



Biólogo realizando la colecta de plancton en los sitios de muestreo.

Los parámetros de calidad de agua medidos en campo son: temperatura de la muestra, temperatura ambiente, pH (acidez o basicidad), conductividad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, potencial redox y turbidez.

En el Laboratorio de Calidad de Agua del SNET se realizaron los análisis de las muestras para determinar Conductividad, Turbidez, pH, Sodio, Potasio,

Calcio, Magnesio, Dureza, Alcalinidad, Carbonatos, Bicarbonatos, DQO, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Fósforo Total, Fósforo de Ortofosfatos, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfuro, Ácido Sulfídrico, Sulfatos, Boro, Sílice, Fenoles, Cloruros.

Adicionalmente se realizaron análisis microbiológicos en un laboratorio privado.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS<sup>1</sup>

- Los análisis de los parámetros físicos y químicos realizados en campo y laboratorio muestran un cambio en la composición de las aguas del lago con relación a los muestreos realizados durante julio-agosto del presente año. Lo anterior, puede deberse a varios factores, entre ellos, ingreso de aguas termales, la incorporación de los compuestos existentes en el fondo del lago, los cuales contienen un alto volumen de suelos, cenizas, etc.
- La transparencia del agua ha disminuido en un promedio de 2.2 metros en comparación con el muestreo realizado en julio del presente año.. Es importante mencionar que existen estudios anteriores que reportan transparencias mucho mayores con las cuales la transparencia actual del lago ha disminuido de 6.7 a 17,9 metros. Lo anterior indica que el Lago de Coatepeque ha disminuido notablemente su transparencia en los últimos años.
- Las muestras recolectadas eran transparentes a simple vista y no presentaban la coloración turquesa que se observaba en el lago.
- El pH del agua del lago es predominantemente alcalino y reporta una leve disminución de su valor en centésimas.

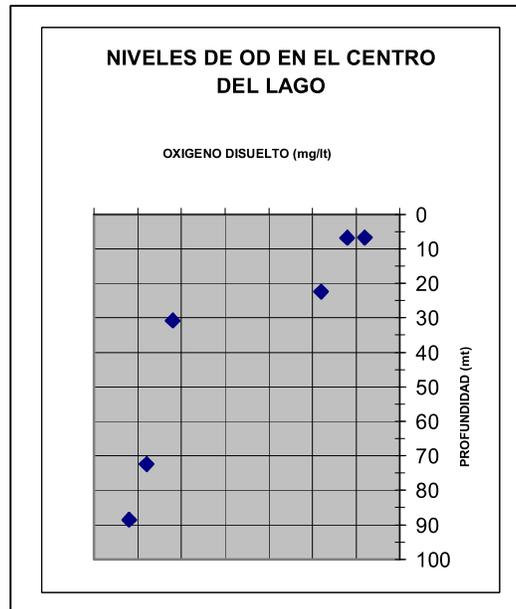
Se observa un incremento de la cantidad de sales o compuestos inorgánicos dentro de las aguas del lago, debido a que las conductividades se han incrementado en un 34%, variando su valor de 1,71 a 2,20 miliSiemens por centímetro por parte, de esto se debe a que los niveles de sodio se han incrementado también en un 68% su valor con respecto a los datos de julio del presente año.

- Los valores de Potencial de Oxidación Reducción oscilan de 186 a 240 unidades.

---

<sup>1</sup> Resultados químicos y bacteriológicos en Anexo 1

- El Oxígeno disuelto varía a una profundidad de 28 metros en el centro del lago como se observa en la siguiente gráfica.



Grafica No. 1 Niveles de Oxígeno disuelto en el centro del Lago de Coatepeque

- Los niveles de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal han incrementado sus valores a los reportados normalmente para los muestreos realizados durante el presente año.
- Los niveles de fósforo son similares en ambos sitios de muestreo respecto a los resultados reportados en julio del presente año, los cuales se encuentran alrededor de 0.01 mg/L. Según reportes científicos valores mayores de 0.01 mg/L de P total, permite el desarrollo de cianofitas.<sup>2</sup>
- Los niveles de boro en el lago julio del 2006 se reportan de 2.35 mg/L y en el presente muestreo ha disminuido a 0.01 mg/L. Lo anterior, puede obedecer a una transformación del elemento de estado disuelto a sólido o al consumo de dicho elemento por el florecimiento de las algas verde azules por ser un micro nutriente.
- No existe presencia de bacterias de Coliformes fecales en las muestras recolectadas.

<sup>2</sup> Cianobacterias, Microorganismos del Fitoplancton, y su Relación con la Salud Humana <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/440/cap4.html>

- El análisis biológico realizó una identificación microscópica de plancton<sup>3</sup> en cada una de las muestras recolectadas y se encontró en ambas muestras presencia de fitoplancton<sup>4</sup>, específicamente las taxas Cianofitas (algas azul-verdes) y Pirrofitas (dinoflagelados); específicamente las especies *Microcystis aeruginosa* y *Ceratium hirundinella*.
- Se encontraron otros grupos que conforman el fitoplancton en menor cantidad como Diatomeas, pero no Clorofilas. Las diatomeas se encontraron muy esporádicamente, identificando solamente un par de especies.

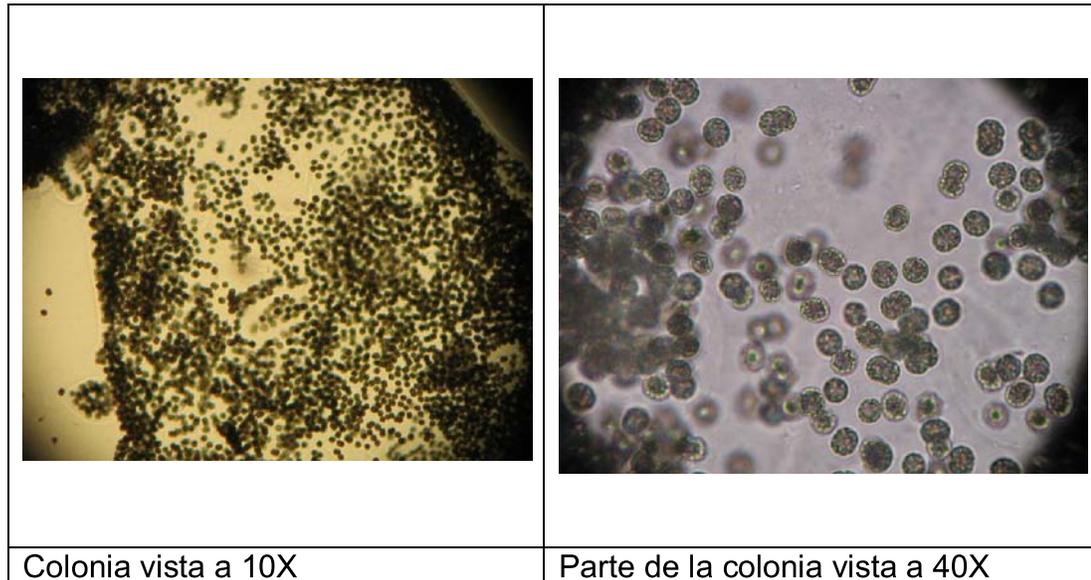


Figura No.7 Fotografías de Cianofita *Microcystis aeruginosa*.

<sup>3</sup> Comprende los organismos que viven suspendidos en las aguas y que, por carecer de medios de locomoción o ser estos muy débiles, se mueven o se trasladan a merced de los movimientos de las masas de agua o de las corrientes. Generalmente son organismos pequeños, la mayoría microscópicos

<sup>4</sup> El fitoplancton representa el primer eslabón de la cadena alimenticia; junto con las plantas superiores que habitan las aguas dulces, constituyen los organismos **productores**.

	
<p>Panorámica, vista a 10X. Se puede observar una larva de Crustáceo</p>	<p>Dos especies de <i>Ceratium</i> <i>hirundinella</i>, vista a 40X</p>

Figura No. 8 Fotografías de Dinoflagelado *Ceratium hirundinella*.

#### IV. ANALISIS DE RESULTADOS

La disminución de la transparencia del agua produce una disminución del ingreso de luz a los estratos más profundos del lago y disminuye la producción de plancton como estrato, base para el desarrollo de vida acuática por lo que puede alterar la cadena alimenticia de los estratos superiores.

El aumento de turbidez en el lago se debe a la presencia de las algas verde azules presente en los distintos estratos del lago.

Se determinó que existió la floración de la cianobacteria ***Microcystis aeruginosa*** y que al momento de la colecta de agua en el campo, ésta estaba en su etapa de final del proceso de afloramiento. También se detectó la floración en menor cantidad de dinoflagelados. Ambas especies forman parte del fitoplancton y producen toxinas dañinas al ser humano y animales.

Las toxinas son liberadas para eliminar la competencia de consumo de nutrientes por otras especies del plancton del lago. A lo anterior, se debe la escasa presencia de diatomeas y la no presencia de clorofitas y otras bacterias como las Coliformes fecales.

El afloramiento de estas algas se debe a varios factores, pero principalmente a la disponibilidad de fósforo en el agua, una vez se consume este inicia un proceso de decaimiento de la concentración de algas en el cuerpo de agua, las cuales al morir se sedimentan.

El color turquesa del agua es debido a las pocas células presentes que se ubicaron en el fondo del muestreo de noviembre; por otra parte, la coloración blanquecina en las rocas y muelles es el residuo de las algas al morir.

El incremento en la disponibilidad de nutrientes en el lago a inicios del mes de octubre, debió ser superior a las condiciones normales de los últimos años; lo anterior, puede relacionarse con varios factores, entre ellos el flujo de escombros que bajó desde las faldas del volcán de Santa Ana hacia el Lago debido a las lluvias del huracán Stan, el cual acarrió una significativa cantidad de suelos ricos en nutrientes, entre ellos fósforo.

Adicionalmente al depósito de nutrientes en el fondo del lago se suma el hecho que las variaciones de temperatura en el perfil del lago varían por pocos grados según mediciones realizadas durante los muestreos con la sonda de profundidad. Lo anterior, muestra que el gradiente térmico es débil, y se producen por consiguiente cambios poco notorios. La circulación vertical es irregular y rara vez es total a menos que desciendan mucho la temperatura de la superficie.

El proceso de mezclado de aguas se vio acelerado por la presencia de vientos Nortes débiles de 24 kilómetros por hora para finales del mes de octubre, lo que permitió un mayor mezclado de las aguas del lago.

La combinación de ambos factores, parece haber sido determinante en la ocurrencia de este mega afloramiento de *Microcystis aeruginosa*, una de las principales especies de la Cianofitas identificadas para nuestro país, y que resulta ser bastante tóxica.

La microcistina es la toxina producida por la *Microcystis aeruginosa*, dicha toxina se puede biodegradar en el ambiente por fotólisis de forma natural en el agua. La microcistina generalmente es producida en la etapa final de vida de la *Microcystis aeruginosa*.

El efecto tóxico de estas bacterias es el hombre es el bloqueo de proteínas fosfatasa por enlace covalente y produce hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.

La vía más común de intoxicación por cianotoxinas en el hombre y el ganado es debido al consumo de agua de bebida.

La absorción a través de la piel no es común debido a que difícilmente penetra membranas celulares.

Las toxinas de los dinoflagelados por otra parte, son producidas por distintas especies de estas algas microscópicas y pueden pasar a peces que se alimentan de ellas, acumulándose. Son un problema sanitario serio cuando, por causas medioambientales, se producen crecimientos exponenciales en las poblaciones de dinoflagelados. Pero para el caso del lago este fue mínimo.

Las toxinas de ambas especies son bastante termoestables, de modo que no son destruidas eficientemente por el procesado industrial ni por el cocinado; para el caso de las microcistinas presentan una vida media de dos semanas en condiciones extremas de pH 1 y temperatura de 40 °C.

## V. CONCLUSIONES

- La coloración turquesa del Lago de Coatepeque fue ocasionada por el afloramiento de cianofitas.
- El Lago de Coatepeque presentó un evento de florecimiento de Algas verde azules de la especie *Microcystis aeruginosa* y Dinoflagelados específicamente *Ceratium hirundinella*, ambos nocivos a la salud del ser humano y animales.
- Los sedimentos blanquecinos sobre las rocas y los muelles son originados por la muerte de las algas verde azules.
- Este incremento de algas, se debió al incremento en la disponibilidad de nutrientes (que alimentaron las algas) en el lago.
- El incremento en la disponibilidad de nutrientes se debió al flujo de escombros que bajó desde las faldas del volcán de Santa Ana hacia el Lago de Coatepeque debido a las lluvias del Huracán Stan. El flujo arrastró una significativa cantidad de suelos ricos en nutrientes, entre ellos el fósforo. Estos nutrientes se depositaron en el fondo del lago.
- La ocurrencia de vientos nortes débiles los días 28 y 29 de octubre en la zona del Lago de Coatepeque, ocasionaron una disminución en la temperatura de la superficie del espejo de agua. Lo cual permitió que el agua del fondo circulara hacia la superficie, trayendo consigo los nutrientes que alimentaron las algas y facilitaron su florecimiento.

- Adicionalmente, el Lago de Coatepeque presenta una química de agua distinta a la de los meses anteriores, presentado incremento grande sodio y una ausencia del boro presente hasta los meses anteriores.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda no utilizar el agua del lago para consumo humano sin tratamiento previo, como mínimo dos semanas después de desaparecida la coloración turquesa que ha sido observada.
- Para el caso que se utilice el agua del Lago de Coatepeque para uso de consumo se puede tratar sus aguas para eliminar las microcistinas por procesos de coagulación-filtración, oxidación con cloro y ozono y, por último la adsorción con carbón activado. El cloro y el hipoclorito de calcio en una concentración de 1 mg/L eliminaron cerca del 95% de las toxinas en 30 minutos. Por otro lado el hipoclorito de sodio a la misma concentración solo removió el 40% y con de 5 mg/L o más, del 70 al 80%.
- Evitar el uso de agua para abrevadero de ganado como mínimo dos semanas después de desaparecida la coloración turquesa que ha sido observada.
- No consumir alimentos provenientes del Lago de Coatepeque como mínimo dos semanas después de desaparecida la coloración; lo anterior, obedece a que la toxina es termoresistente.
- Se recomienda suspender todas las actividades que generen un contacto directo con el agua del lago o ingestión accidental, hasta un mínimo de dos semanas después que desaparezca la coloración turquesa del lago.
- Se recomienda a la sociedad civil usuaria del Lago de Coatepeque, organizarse para detectar en forma temprana y dar aviso a las autoridades competentes de eventos similares.
- Se recomienda a la sociedad civil residente y usuaria en la cuenca del Lago de Coatepeque, organizarse para definir medidas orientadas a la protección ambiental de la misma debido a que las *Microcystis* sp. son típicas de cuerpos de agua que van de eutróficos<sup>5</sup> a hipertróficos; por lo anterior este evento puede repetirse y es necesario tomar medidas adecuadas para su manejo.

---

<sup>5</sup> Se define como un Cuerpo Eutrófico aquel rico en nutrientes.

## VII. BIBLIOGRAFIA

Desikachary, T.V.. "Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research".  
New Delhi. 1959 pp. 686

Dodge, J.D. 1985. Atlas de dinoflagelados. Farrand Press. London. 119 pp.

FIAES, "Limnología de los Lagos de Ilopango y Coatepeque". Fundación  
Lago de Ilopango, Fundación Lago de Coatepeque, 1996.

McCurcheon, Molly, "Contaminación Antropogénica y Volcánica en el Lago  
de Coatepeque". Tesis presentadas para obtener el grado de  
Geólogo de la Universidad de OHIO 1998.

Menjivar, Rodolfo "Informe de Identificación de Plancton en el Lago de  
Coatepeque". Consultoría elaborada para el SNET. Noviembre de  
2006.

Moreno Grau, "Toxicología Ambiental". Editorial Mc Graw Hill España 2003

Patrick, R. & C.W. Reimer. 1966. "The diatoms of the United States". The  
Academy of Natural Sciences of Philadelphia. N° 13. Vol. 1. 213 pp.