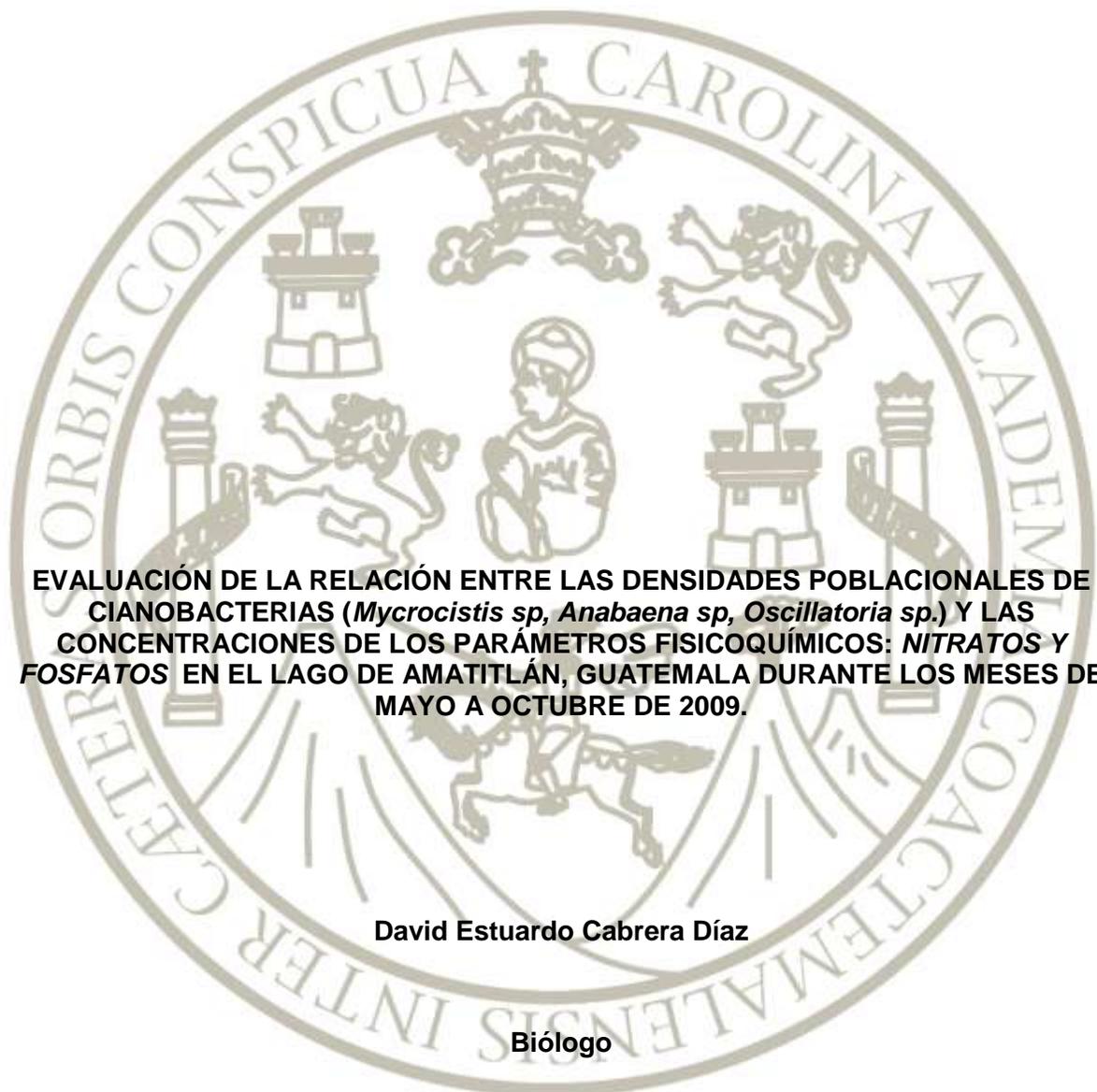


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



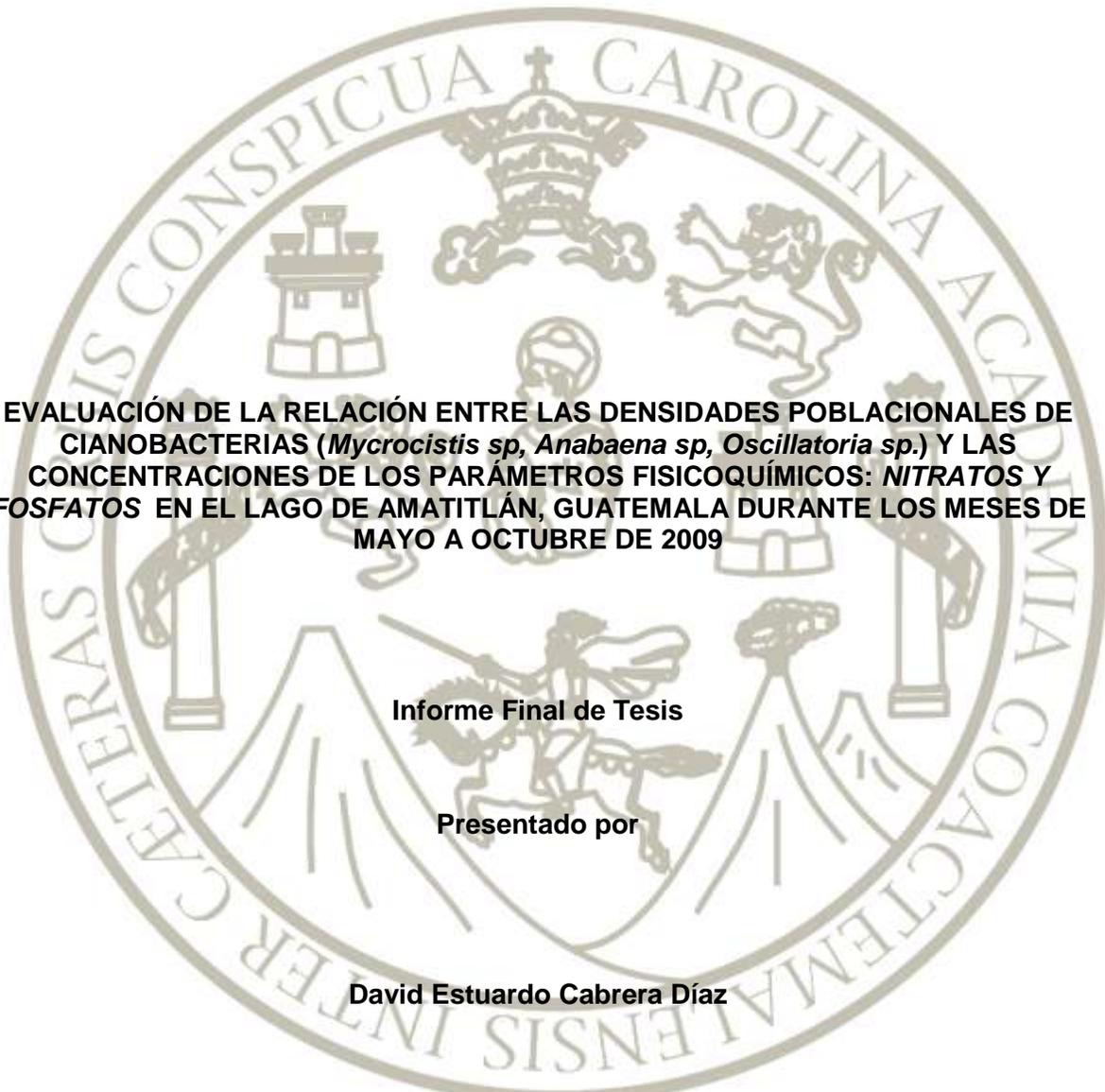
**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS DENSIDADES POBLACIONALES DE
CIANOBACTERIAS (*Mycrocystis sp*, *Anabaena sp*, *Oscillatoria sp*) Y LAS
CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: NITRATOS Y
FOSFATOS EN EL LAGO DE AMATITLÁN, GUATEMALA DURANTE LOS MESES DE
MAYO A OCTUBRE DE 2009.**

David Estuardo Cabrera Díaz

Biólogo

Guatemala, Mayo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure of a knight on horseback, holding a lance and a shield. Above the knight is a crown. The seal is surrounded by Latin text: "SACRATAE CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS".

**EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS DENSIDADES POBLACIONALES DE
CIANOBACTERIAS (*Mycrocistis sp*, *Anabaena sp*, *Oscillatoria sp.*) Y LAS
CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: NITRATOS Y
FOSFATOS EN EL LAGO DE AMATITLÁN, GUATEMALA DURANTE LOS MESES DE
MAYO A OCTUBRE DE 2009**

Informe Final de Tesis

Presentado por

David Estuardo Cabrera Díaz

Para optar al título de

Biólogo

Guatemala, Mayo de 2011

INDICE

Contenido	Página
I. Resumen	7
II. Introducción	9
III. Antecedentes	12
IV. Justificación	21
V. Objetivos	23
VI. Hipótesis	25
VII. Materiales y Métodos	26
VIII. Resultados	32
IX. Discusión de resultados	38
X. Conclusiones	44
XI. Recomendaciones	44
XII. Referencias	47

XIII. Anexos	52
Anexo 1. "Clasificación taxonómica de las cianobacterias"	53
Anexo 2. "Géneros de cianobacterias utilizados"	54
Anexo 3. "Vista aérea del lago Amatitlán"	55
Anexo 4. "Fotografía de Cámara de Sedgeway-Rafter"	56
Anexo 5. "Matriz de Resultados"	57
Anexo 6. "Fotografía de muestras de agua colectada en el punto Michatoya"	59
Anexo 7. "Fotografía de muestras de agua colectada en el punto Tacatón"	60
Anexo 8. " <i>Mycrocistis</i> y <i>Oscillatoria</i> en la cámara de conteo"	61
Anexo 9. " <i>Anabaena</i> en la cámara de conteo"	62
Anexo 10. "Ortofoto del lago de Amatitlán, Guatemala"	63

JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Dr. Oscar Cobar Pinto.

SECRETARIO: Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto.

VOCAL I: Licda. Lilian Raquel Irving Antillón.

VOCAL II: Licda. Liliana Vides de Urizar

VOCAL III: Lic. Luis Antonio Galvéz Sanchinelli

VOCAL IV: Br. José Roy Morales Coronado

VOCAL V: Br. Cecilia Liska de León

David Estuardo Cabrera Díaz

Estudiante

MsC. Carlos Salazar

Asesor

Licda. Antonieta Rodas

Revisora

Dr. Sergio Melgar

Director de Escuela

Dr. Oscar Cobar

Decano de la Facultad

I. RESUMEN

Es sabido que los parámetros fisicoquímicos nitratos y fosfatos son los principales nutrientes que toman las cianobacterias para poder desarrollarse. En un lago eutrófico como es el de Amatitlán las concentraciones de estos dos nutrientes son elevadas, esto debido a que en su río tributario, el río Villalobos, las descargas domiciliarias e industriales de la mitad de la ciudad de Guatemala son vertidas sin un tratamiento previo. Otros factores que elevan la concentración de estos nutrientes son la escorrentía y la erosión que suceden dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.

En esta investigación, se realizaron conteos de densidades poblacionales de cianobacterias de los géneros *Mycrocistis sp*, *Anabaena sp* y *Oscillatoria sp*, además del análisis químico de nitratos y de fosfatos, para determinar el reactivo o nutriente limitante en el lago de Amatitlán durante la época lluviosa de 2009. Los resultados finales fueron sometidos a un análisis de varianza y posteriormente a una correlación de Pearson.

La metodología consistió en una toma de muestra mensual en los meses de Mayo a Octubre de 2009, en ocho diferentes puntos de monitoreo de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán -AMSA- sobre el lago de Amatitlán, en cada muestreo se extrajeron 3 litros de agua superficial, de los cuales dos fueron utilizados para el análisis de cada uno de los parámetros

fisicoquímicos, y uno para el análisis biológico de las densidades poblacionales de cianobacterias.

En el análisis de varianza, se encontró diferencia significativa entre los conteos de las densidades poblacionales de cianobacterias y el análisis químico de nitrato, con un valor de $p < 0.0001$. No se encontró diferencia significativa entre el análisis químico de fosfato y los conteos de cianobacterias, el valor de p obtenido fue de 0.2645. En base a estos resultados, únicamente se realizó la correlación de Pearson entre los conteos de cianobacterias y el análisis de nitrato, con un coeficiente de $r = 0.7037$.

Con la información recabada, se formuló un modelo de predicción del desarrollo de las densidades poblacionales de cianobacterias, tomando como nutriente limitante del crecimiento al nitrato; este modelo estadístico permite determinar las densidades poblacionales de las cianobacterias en el lago de Amatitlán cuando exista una concentración conocida de nitrato en el cuerpo de agua, o conocer la concentración de nitrato en una muestra con una densidad poblacional de cianobacterias conocida.

El modelo de predicción es el siguiente: $y = 47164x + 1997$

II. INTRODUCCIÓN

La eutrofización es un proceso de degradación ambiental producido mayormente por la influencia humana, consiste en el aumento de la concentración de nutrientes (concentraciones de nitratos como de fosfatos) en los lagos y estuarios. Dichos nutrientes provienen de los residuos sólidos y líquidos, producto de las actividades propias de los asentamientos humanos, y que son vertidos en cuerpos de agua lénticos. La cantidad de nutrientes se incrementa gradualmente en función al caudal y el aporte diario del flujo de entrada, es un fenómeno complejo que involucra factores climáticos, físicos y biológicos, ocasionando cambios en la diversidad y la abundancia de las especies. (Fontúrfel, 2003, p.77; *idem*, 2004, p.69)

El proceso de eutrofización puede terminar por convertir al cuerpo de agua en pantano o marismas y, eventualmente en tierra firme, ésto ocurre porque los nutrientes que ingresan masivamente al sistema generan una gran biomasa de organismos de vida generalmente efímera, que al morir se acumulan sobre el fondo. Debido a que estos organismos productores no son totalmente consumidos por los organismos degradadores, especialmente bacterias, se forma el suelo (Sosnovsky & Quirós, 2006, p. 116).

Los indicadores biológicos son atributos de los ecosistemas que se emplean para descifrar factores de su ambiente. Ejemplo de éstos son los niveles de contaminación, (Fontúrfel, 2004, p. 71; Puig, 2000; Peinador, 1999, p. 387). Inicialmente se utilizaron especies o asociaciones como indicadores de

eutrofización y posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización, como: poblaciones y comunidades, lo que resultó particularmente útil en estudios de contaminación de cuerpos de agua (Quiros, 2004, p. 15).

Una especie indicadora es aquel organismo (o restos del mismo) que ayuda a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual o pasado relacionado con el estudio de un ambiente. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales, entre los cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos); y cuanto más estrechos sean los límites de tolerancia de los organismos, mayor será su utilidad como indicadores biológicos.

Las especies bioindicadoras que se utilizan deben tener características muy particulares, deben ser: abundantes, muy sensibles a cambios en el medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, de poca movilidad y estar bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico. El grupo bioindicador de las cianobacterias se ha utilizado ya que cumple con las características deseadas para ser utilizado con este fin, ya que responden directamente a los cambios en las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos como nitratos y fosfatos (Fontúrbel, 2004, p.70; Puig, 2000; Peinador, 1999, p. 384 Gaylarde & Gaylarde, 1999, p. 210).

Este estudio fue realizado durante los meses de mayo a octubre de la estación lluviosa del año 2009 y se estimó la cantidad de cianobacterias presentes por litro de agua colectada en el lago de Amatitlán. Se utilizó un análisis de varianza,

ANDEVA, de dos vías como prueba estadística para estudiar simultáneamente ambos factores de variación: las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y los meses de estudio. También se realizó una prueba de intervalos múltiples de Duncan para comparar la concentración de cianobacterias entre los puntos de muestreo; y una prueba de correlación de Pearson (r) para determinar el tipo de relación que existe entre las variables: positiva, negativa o neutra, con un grado de significancia α menor a 0.05, y la probabilidad (p) menor 0.05 (Milton, 2007 p. 722).

III. ANTECEDENTES

A. EUTROFIZACIÓN

En ecología, el término eutrofización designa el enriquecimiento excesivo o desequilibrado de los nutrientes de un ecosistema acuático provocando un aumento en el crecimiento de las densidades poblacionales de fitoplancton (cianobacterias), en otras palabras, se refiere específicamente al aporte excesivo de nutrientes inorgánicos en un cuerpo de agua léntico¹ (Horne & Golman, 1994, p. 256). Este proceso también puede ser consecuencia de las características de la cuenca, del drenaje de las descargas de aguas residuales y de las actividades biológicas y antropológicas que en ella se desarrollan. El estado eutrófico de un lago depende principalmente de la carga de nutrientes, de su morfometría y del tiempo de permanencia del agua en el mismo (Dillon, 1975, p. 770, Wetzel, 2001, p. 615, Vollenweider, 1990, p. 84).

Los nutrientes que más influyen en el proceso eutrófico son el nitrógeno y el fósforo, en sus formas de nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) manteniendo una relación de 10:1, respectivamente. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fósforo, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce; pero en muchos otros el factor limitante es el nitrógeno (Camargo & Alonso, 2007, p. 8). Según Baker (1994, p. 627) en los últimos 20 ó 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado, como en el caso de los

¹ Cuerpo de agua léntico se define como: cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin fluir.

cuerpos de agua lénticos donde la mayor parte de este nutriente es llevado por los ríos tributarios.

En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica. Según Camargo y Alonso (2007, p.5), éste es más móvil que el fósforo y puede ser lavado a través del suelo o incorporarse a la atmósfera por evaporación del amonio (NH_4) o por desnitrificación².

El fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión de los suelos o disuelto por las aguas de escorrentía superficiales. En condiciones naturales ingresa a un sistema acuático menos de 1 Kg de fosfato por hectárea al año. Con los vertidos humanos esta cantidad aumenta considerablemente. Durante muchos años los jabones y detergentes fueron los principales causantes de este problema. En las décadas de los 60 y 70 el 65% del peso de los detergentes era un compuesto de fósforo, el tripolifosfato sódico, que se usaba para quelar los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} y Mn^{+2} . De esta forma se conseguía que estos iones no impidieran el trabajo de las moléculas surfactantes que son las que hacen el lavado. Estos detergentes tenían alrededor de un 16% en peso de fósforo, el resultado producido fue que los vertidos domésticos y de lavanderías contenían una gran proporción de ion fosfato (Rivas 2009).

² Desnitrificación: Proceso por el cual el Nitrato (NO_3^-) pasa por Nitrito (NO_2^-) hasta llegar a Nitrógeno atmosférico (N_2)

Existen dos tipos de eutrofización:

- a) La eutrofización natural, que es el proceso que se produce lentamente y de forma natural.
- b) La eutrofización de origen humano, en la que los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo en un grave problema de contaminación.

El nivel de eutrofización de un cuerpo de agua se suele medir evaluando el contenido de fitoplancton de la columna de agua combinándose con otros parámetros fisicoquímicos como el contenido de fósforo y de nitrógeno (Horne & Goldman, 1994, p 343).

Los cuerpos de agua eutrofizados, o que sufren de un proceso de eutrofización poseen un desbalance en cuanto a su equilibrio entre nitrógeno y fósforo, una relación de 10:1 respectivamente.

B. VARIABLES BIOLÓGICAS

a. Características de las Cianobacterias

Los géneros trabajados en la presente investigación pertenecen a la División Cianobacteria (ver clasificación según Cavalier- Smith 2002 en Anexo 1). Las formas más comunes son unicelulares cocoides o esferoidales, a veces agregadas en una cápsula mucilaginosa u organizadas en colonias filamentosas simples. Estos filamentos pueden aparecer agregados en haces, envueltos por mucílago o ramificados. Según Zalocar (2005, p. 216) las formaciones coloniales pueden llegar a medir de 2 mm a 10 mm. (Ver Anexo 2).

El citoplasma suele presentar estructuras reconocibles como los carboxisomas³, gránulos de glucógeno, gránulos de cianoficina, gránulos de polifosfato, vesículas de gas, estructuras que presentan algunas cianobacterias, y tilacoides, vesículas aplastadas formadas por invaginación de la membrana plasmática donde reside el aparato molecular de la fotosíntesis. Con medios más sofisticados se pueden reconocer agregados moleculares como ribosomas, microtúbulos no homólogos a los de los eucariotas. La envoltura está constituida, como en todas las bacterias gram-negativas, por una membrana plasmática y una membrana externa, situándose entre ambas una pared de mureína o peptidoglucano (Pizolon, 1996, p 244; Fabricius, 2000, p. 3).

Según Peinador (1999. p. 392), la mayor abundancia de cianobacterias en aguas eutrofizadas, puede deberse a uno o varios factores: tal como la capacidad que tienen para desarrollarse en ambientes con bajas concentraciones de dióxido de carbono (CO₂); condiciones que se dan en aguas que poseen altas densidades de algas producto del enriquecimiento de nutrientes (nitratos y fosfatos), como la capa de mucílago que las recubre y por ser capaces de realizar una variante de la fotosíntesis conocida como: fotosíntesis oxigénica, ésta ha llegado a conformar la evolución de la biosfera terrestre, esta variable de la fotosíntesis necesita un reductor, una fuente de electrones, que en este caso es el agua (H₂O), al tomar el hidrógeno (H⁺) de la molécula de agua se libera oxígeno (O⁻²).

La explosión evolutiva y ecológica de las cianobacterias, hace miles de millones de años, dio lugar a la invasión de la atmósfera por este gas, que ahora la

³ Carboxisomas: Corpúsculos que contienen la enzima ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa. RuBisCO

caracteriza, sentando las bases para la aparición del metabolismo aerobio y la radiación de los organismos eucariotes.

El principal de los componentes fotosintéticos es la clorofila *a*, de color verde, otros pigmentos presentes en todos los organismos eucarióticos son los carotenoides, de color amarillo o anaranjado y que tienen un papel auxiliar en la captación de la luz, además de un papel protector.

Las cianobacterias, que no poseen cloroplastos, los carotenoides son sustituidos por otro tipo de pigmentos denominados ficobilinas ⁴, de naturaleza química diferente a los anteriormente mencionados (Fonturbel, 2003, p77; *idem* 2004, p.74; Camargo & Alonso, 2007, p8. Pizzolon, 1996. p. 103).

A través de distintos estudios realizados por especialistas conocidos como ficólogos y limnólogos, se sabe que los cambios en estas comunidades “delatan” el inicio de contaminación que pueda existir en un sistema acuático, lo cual se refleja en las modificaciones de la estructura poblacional y en la proliferación de especies asociadas a determinados aportes (Fabricius, 2000 p. 3).

C. CALIDAD DEL AGUA

Este término se refiere a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas; como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado

⁴ Ficobilinas: también llamadas ficobiliproteínas son como su nombre indica proteínas con grupos prostéticos tetrapirrólicos lineales (bilinas), que se encuentran unidos covalentemente a residuos decisteína específicos de las proteínas. (Buchanan, 2000, p. 189)

como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada y a la contaminación que contenga.

En el Lago de Amatitlán se destacan la erosión y el azolvamiento como consecuencia de las sedimentaciones arrastradas por su principal corriente surtidora o afluente, el río Villalobos. Es por esta razón que la sedimentación ha formado una especie de delta con una proporción aproximada de un tercio de kilómetro en la entrada de su principal afluente.

Este río conduce al lago un promedio de 500 millones de metros cúbicos de agua (m^3) por año, pero al mismo tiempo y como consecuencia de la erosión determinada por la deforestación, se lleva miles de metros cúbicos (m^3) de materia que causa sedimentación y erosión (García, 2002, p. 25). Es así como la calidad de los recursos hídricos para diversos usos se ve afectada en diferente grado, las causas del deterioro incluyen entre otras: la descarga a los cursos de aguas superficiales de líquidos cloacales y pluviales, el vertido de efluentes industriales con nulo o escaso tratamiento, el aporte del arrastre de suelo con contenido de plaguicidas, fertilizantes, vertido de desechos orgánicos pecuarios y otras sustancias, cuyas aguas experimentan cambios físicos y químicos, afectando no sólo la calidad del agua del lago sino también a las distintas comunidades que en ellos viven.

Un 70% del recurso hídrico del lago de Amatitlán es utilizado para riego y consumo humano (aguas domésticas) y consumo industrial (aguas de proceso);

en algunas ocasiones puede ser irrigada hacia las alcantarillas municipales o simplemente es descargada hacia los diferentes ríos tributarios de la cuenca, los cuales no poseen un tratamiento. A nivel general se establece que un 95% de las aguas domésticas y de proceso no tienen un tratamiento previo para ser descargadas a los diferentes ríos (García, 2002, p.20).

La constante descarga de desechos sólidos y líquidos en lagos y lagunas ha ocasionado el desarrollo de este complejo problema en cuerpos de agua de todo el mundo (Fontúrbel, 2003, p. 76) y el Lago de Amatitlán no es la excepción. En la actualidad la diversidad en calidad y cantidad de los desechos orgánicos sólidos y efluentes vertidos al lago de Amatitlán es tal que exige un análisis de múltiples variables fisicoquímicas y biológicas que interactúan entre sí.

En otro sentido, durante el proceso de eutrofización el mejor ejemplo de los cambios que se producen por la problemática del lago lo constituye la reacción del plancton, siendo las cianobacterias, uno de los mejores indicadores de polución, pudiendo ser peligrosas sus floraciones para el ganado y consumo humano (Fabricius, 2000 p. 4; Peinador 1999 p. 384, Pizolon, 1996, p. 241, Prospero 2000).

D. GEOGRAFIA

El lago de Amatitlán se encuentra ubicado en el valle de las Vacas o de la Ermita y pertenece al departamento de Guatemala, se sitúa entre tres sistemas de fallas: Mixco, Pinula y Jalpatagua. Forma el graben⁵ en donde se encuentran asentados los municipios de Guatemala, Mixco Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales y Amatitlán. Abarca un área de 382 kilómetros

⁵ Graben: Sistema que se halla entre dos fallas geológicas.

cuadrados y está integrada por 14 municipios de los cuales siete⁶ tienen mayor impacto en la degradación de los recursos naturales (Gonzales, 2003, p. 24). Su elevación es de **1,188 metros sobre el nivel del mar. En el sistema del Universal Transversal Mercator (UTM por sus siglas internacionales) se localiza entre las zonas 15 y 16** (Salguero, 1995 p. 196).

E. GEOMORFOLOGIA, TOPOGRAFIA E HISTORIA

La formación de los suelos de la cuenca se dio al inicio de la época terciaria (hace 65.5 millones de años) en la que grandes subsidencias formaron una topografía de gradas con grandes depresiones y alzamientos formando así el graben que se extiende en dirección NNE – SSO por casi 40 km. Está delimitado hacia el Este y Oeste por las fallas de Santa Catarina Pinula y Mixco. Hacia el sur, convergiendo en una estructura de colapso en forma concéntrica (Caldera de Amatitlán) la cual ha sido parcialmente afectada por estructuras y fallas preexistentes que pertenecen a los sistemas de Mixco y Santa Catarina Pinula (De la Cruz, 1982, p. 25).

La topografía de la cuenca se caracteriza por un relieve muy fuerte y un subsuelo muy suelto y permeable. Forma un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena volcánica de la Época Cuaternaria con alturas hasta 4000 msnm, paralela a la costa pacífica.

⁶ Estos son: Villa Canales, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Amatitlán, Mixco, Santa Catarina y Guatemala.

En su climatología, hay predominancia de vientos de Noreste-Sureste, donde su temperatura media anual de la cuenca es bastante estable. La época más lluviosa es en los meses de junio a septiembre.

La altura sobre el nivel del mar, varía desde los 2400 hasta los 1188 m, ambos puntos ubicados en el municipio Amatitlán (De la Cruz, 1982, p. 18; Escobar, 1997, p. 59).

Anteriormente, el lago constituyó esencialmente una fuente de recursos de pesca durante el período hispánico, su cuenca fue la región predominantemente productora de la cochinilla, principal elemento de exportación cuando ese colorante no había sido substituido por los químicos industriales que se introdujeron con posterioridad (Gonzales, 2003, p. 59).

IV. JUSTIFICACION

El aumento en las concentraciones de nitratos y fosfatos inciden de manera directa sobre el proceso de eutrofización del lago de Amatitlán, las causas de esto son tanto industriales, como demográficas y geográficas. Una de estas causas es el llamado azolvamiento ocasionado por la erosión y que provoca una pérdida en la capacidad de retención del agua (Escobar 1997). Por otro lado, la sobrepoblación humana en la ciudad capital de Guatemala y los municipios circunvecinos han producido un incremento en la construcción de urbanizaciones. Estos asentamientos humanos se han establecido dentro de la cuenca del Lago de Amatitlán de una forma aleatoria y no tecnificada lo cual genera descargas de aguas residuales no tratadas que afectan de manera directa al proceso eutrófico de este lago. Esta problemática ha permitido que todas las descargas residuales urbanas e industriales sean recibidas por el lago sin un previo tratamiento (Rosales, 1999, p. 99; García, 2002, p. 26).

Reyna en 1998 estimó que la Empresa Municipal de Agua -EMPAGUA- extrae de la cuenca, por lo menos el 35% de agua que abastece a la capital, mientras que las poblaciones cercanas, de Villa Nueva, Villa Canales y Petapa se abastecen de sus aguas subterráneas. Si esta agua no es debidamente tratada puede llegar a presentar un riesgo alto para la salud de los guatemaltecos.

En investigaciones recientes elaboradas en la Autoridad de Manejo de la Cuenca del lago de Amatitlán -AMSA-, se ha observado que las concentraciones de nitrato (NO_3^-) y fosfato (PO_4^{3-}) a partir del año 2005 han bajado considerablemente en el lago; sin embargo, los conteos de cianobacterias que se han realizado dentro de las muestras de agua del Lago de Amatitlán no son directamente proporcionales a dicha disminución (AMSA, 2008, p. 24-35).

En este estudio se evaluó la relación existente entre las densidades poblacionales de cianobacterias (géneros *Mycrocystis sp*, *Anabaena sp* y *Oscillatoria sp*) y cómo estos crecimientos son afectados por las concentraciones de nitrato, así como de las concentraciones de fosfato (parámetros fisicoquímicos), presentes en el Lago de Amatitlán.

Con los resultados encontrados se pretende generar una línea base de interpretación de la tendencia de los parámetros fisicoquímicos y las conductas de las densidades poblacionales de cianobacterias en el Lago de Amatitlán, para posteriormente organizar estrategias de manejo y control sobre las floraciones que ocurren en este cuerpo de agua.

V. OBJETIVOS

A. GENERAL

Evaluar la relación existente entre las densidades poblacionales de cianobacterias de los géneros *Mycrocistis sp*, *Anabaena sp* y *Oscillatoria sp*. con las concentraciones de nitrato, como con las concentraciones de fosfato durante los meses de lluvia comprendidos entre mayo y octubre del año 2009 en el Lago de Amatitlán.

B. ESPECIFICOS

1. Determinar la correlación entre las concentraciones de nitratos en las muestras de agua colectadas en Lago de Amatitlán y las concentraciones de cianobacterias.
2. Determinar la correlación entre las concentraciones de fosfatos en las muestras de agua colectadas en Lago de Amatitlán y las concentraciones de cianobacterias.
3. Explicar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y su relación con las densidades poblacionales de cianobacterias presentes en el lago de Amatitlán durante los meses de mayo a octubre de 2009, basándose en los resultados de las concentraciones de los nitratos así como de fosfatos y los conteos de las densidades poblacionales de cianobacterias.

4. Determinar de manera indirecta a través de los conteos de cianobacterias el estado eutrófico del lago del lago de Amatitlán, Guatemala.

VI. HIPÓTESIS

Las densidades poblacionales de los géneros de cianobacterias (*Mycrocistis sp*, *Anabaena sp* y *Oscillatoria sp*) presentes en el lago de Amatitlán están correlacionadas directamente con las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de nitrato y fosfato, analizados independientemente, durante los meses de mayo a octubre (época lluviosa) de 2009.

VII. MATERIALES Y METODOS

A. UNIVERSO

1. POBLACION

Cianobacterias de los géneros *Mycrocistis*, *Anabaena* y *Oscillatoria* del lago de Amatitlán.

2. MUESTRA

Ocho contenedores de un litro de agua por punto de muestreo, durante seis meses.

B. MATERIALES

1. Equipo de Toma de Muestra

- Frascos de plástico con tapadera de rosca de 1 Litro. (-AMSA-)
- Una lancha a motor fuera de borda (-AMSA-)
- Lugol para la conservación de las muestras (-AMSA-)

2. Equipo de Laboratorio

- Microscopio (-AMSA-)
- Cámara de Conteo de Sedgeway-Rafter (-AMSA-)
- Pipeteador (-AMSA-)

- Micropipetas de 2 cm³ (-AMSA-)
- Contador de células manual (-AMSA-)

3. Equipo de cómputo

- Un computador personal, con Microsoft Excel ® para manejar los datos.

C. METODOS

1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental a utilizar será en base a puntos de muestreo y meses, es decir un diseño estratificado (Milton, 2007, p. 722).

a. Unidad experimental

Muestras de agua colectadas en el lago de Amatlán. Las muestras fueron tomadas en los puntos de muestreo que la Autoridad de Manejo Sostenible de la Cuenca de Amatlán –AMSA-, monitorea constantemente debido a la cercanía de las poblaciones humanas alrededor del lago de Amatlán (ver Anexo 2, 3 y 4).

b. Número de réplicas

- c. Se obtuvieron cinco conteos ⁷ por cm³ de muestra tomada, el promedio de estos datos fue utilizado para estimar el valor por unidad experimental (APHA, 2005, p. 10-14).

d. Arreglo temporal de las unidades experimentales

⁷Para evitar sesgo estadístico (pseudo replicación) luego de cada conteo la muestra fue descartada.

Un muestreo mensual durante los meses de mayo a octubre del año 2009 en cada uno de los ocho puntos de monitoreo de -AMSA- en el lago de Amatitlán.

e. Análisis estadístico

Con la matriz de datos recabada (ver Anexos 4 y 5) se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

1. Análisis de Varianza de dos vías entre los meses de muestreo, para estudiar conjuntamente los meses de estudio, las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y una prueba de intervalos múltiples de Duncan, para determinar si existe diferencia significativa entre los puntos de monitoreo y las densidades poblacionales de cianobacterias (Villalpando, 2001, p. 80).
2. Correlación de Pearson (r), para establecer el grado de asociación entre las variables de concentración de los parámetros fisicoquímicos en estudio y los conteos de cianobacterias. Este análisis puede interpretarse como representativo o positivo si se obtiene un valor mayor a 0.5, una correlación menor no será tomada como representativa, siempre y cuando la probabilidad (p) sea menor a un valor de alpha igual a 0.05 (Milton, 2007, p. 722).
3. Regresión lineal, para obtener los modelos matemáticos que pueden predecir el comportamiento de las densidades poblacionales de

cianobacterias con las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos.

2. RECOLECCION DE DATOS

Se tomaron las muestras de 1 litro de agua en forma manual sobre la superficie del espejo de agua (aproximadamente a 15 cm. de profundidad) en el lago de Amatitlán, a cada muestra tomada se le añadió 15 cm³ de Lugol⁸ para conservar y teñir las cianobacterias dentro de las muestras de agua colectadas.

3. ANALISIS DE DATOS

Cada muestra fue identificada con: fecha, hora y punto de colecta.

a. Análisis Microbiológico

Para analizar la muestra de agua, se vertió 1 cm³ de agua colectada por punto de monitoreo del lago de Amatitlán en la cámara de conteo de Sedgewick-Rafter (ver Anexo 5) cuya capacidad es de 1 cm³, posteriormente se observó en un microscopio óptico a 100 X.

Este procedimiento fue realizado cinco veces, solamente se tomaron en cuenta los géneros de cianobacterias. La media obtenida de los conteos de cianobacterias fue la concentración de cianobacterias presentes por litro de agua colectado (u/L) en el lago de Amatitlán en cada uno de los meses de estudio o monitoreo.

⁸ Lugol: Solución de Yodo (I) en equilibrio con una solución de Yoduro de Potasio (KI), permite teñir el almidón dentro de los cloroplastos de las cianobacterias al mismo tiempo que funciona como agente preservante mientras las muestras son procesadas en el laboratorio de calidad de agua.

La fórmula utilizada fue (APHA, 2005, p. 10-25):

$$\frac{\text{conteo columna a} + \text{conteo columna b} + \text{columna c}}{150} \times 1000$$

Donde cada una de las columnas fueron seleccionadas completamente al azar, cada una tiene 50 celdas, por lo que el promedio es sobre 150, luego se multiplica por el factor de 1000 para obtener el valor en 1000 unidades por litro.

b. Análisis Físicoquímico

2. Fosfatos (PO_4^{3-})

Se utilizó el método del ácido ascórbico (APHA, 2005, p. 4-3), el cual se determina haciendo reaccionar el fosfato con molibdato amónico en medio ácido. Esto origina un complejo que, en presencia de ácido ascórbico (reductor), da una coloración azul que queda fijada con tartrato de antimonio y potasio. Se cuantifica con ayuda de un espectrofotómetro a 885 nanómetros (nm). Se obtiene así una curva de calibrado que nos da directamente el contenido de fosfato expresado en mg/l.

3. Nitratos (NO_3^-)

Se utilizó el método del salicilato de potasio (Rodier 1981) el cual se basa en la reacción de los nitratos con el salicilato sódico dando paranitrosalicilato sódico de color amarillo que se determina por colorimetría a 415 nm. Se obtiene así una curva de calibrado que nos da directamente el contenido de nitrógeno nítrico expresado en mg/l.

C. ÁREA DE ESTUDIO

Lago de Amatitlán, localizado en el municipio de la Ciudad de Guatemala (ver Anexo 10

VIII. RESULTADOS

A. Concentración de Nitratos y Cianobacterias

Al realizar el análisis de varianza, entre los conteos de las densidades poblacionales de cianobacterias y las concentraciones de nitratos se encontró que sí existe diferencia significativa entre ambos factores. Posteriormente se realizó un análisis de *Pearson*, donde se encontró una correlación positiva y mayor a 0.5, permitiendo realizar la regresión lineal y el modelo matemático predictivo (ver Tabla 1 y Figura1).

Tabla 1. “Comparación de valores de *Pearson (r)* entre las variables estudiadas”

	Conteo(org/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)
Conteo(org/L)	1	-----	-----
Nitrato(mg/L)	0.703141364	1	-----
Fosfato(mg/L)	0.164340747	-0.003646048	1

Fuente: Datos experimentales

Mediante el análisis de regresión se obtuvo una ecuación de la recta con $(y = 47164x + 1997)$ con un valor de p menor a 0.0001 (ver Tabla 1 y Figura 1), dado lo anterior es posible determinar la concentración de cianobacterias (y) que hay en una muestra de un litro de agua del lago de Amatitlán, Guatemala con una concentración conocida de nitrato (x)

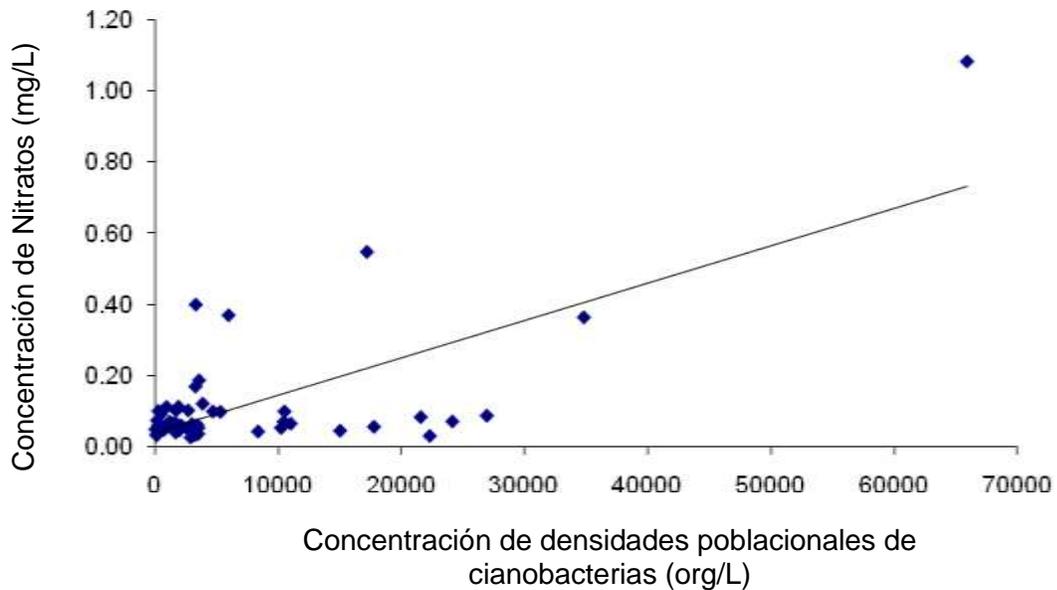


Figura 1. “Tendencia de la concentración de nutriente nitrato (mg/L) vs conteo de cianobacterias (org/L)”

Tabla 2. “Correlación Conteo de cianobacterias vs concentración de nitrato”

	<i>Coefficientes</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 5%</i>
Intercepción	0.04007494	-0.00399531	0.08414519
Pendiente	1.0483E-05	7.3366E-06	1.3629E-05

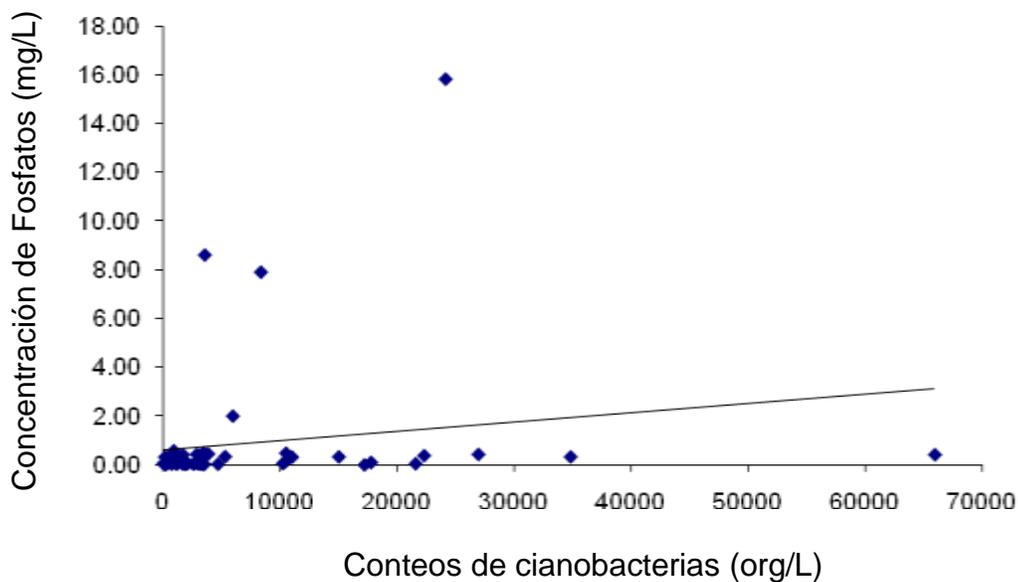
Fuente: Datos experimentales

Al observar la figura 1 se observa que el tipo de relación existente entre las concentraciones del nutriente nitrato y los conteos de las densidades

poblacionales de cianobacterias es una relación directamente proporcional; esto quiere decir que, si aumenta la concentración del nutriente nitrato habrá un incremento en las densidades poblacionales de cianobacterias. Se obtuvo un valor $r = 0.7031$, aproximadamente un 70% de las densidades poblacionales de cianobacterias se hallan asociadas o limitadas por la presencia de este nutriente en las aguas del lago de Amatitlán, Guatemala.

B. Concentración de fosfato y conteos de las densidades poblacionales de cianobacterias.

Al realizar el análisis de varianza se obtuvo un $p = 0.2645$, mayor al estadístico de prueba α (0.05), por lo que se rechazó como dato significativo⁹. Posteriormente se realizó la correlación de *Pearson* obteniendo un valor de r menor al 0.5 ($r = 0.1643$), con lo cual se descarta para realizar la regresión lineal (ver tabla 1). Los resultados se resumen en la Figura 2.



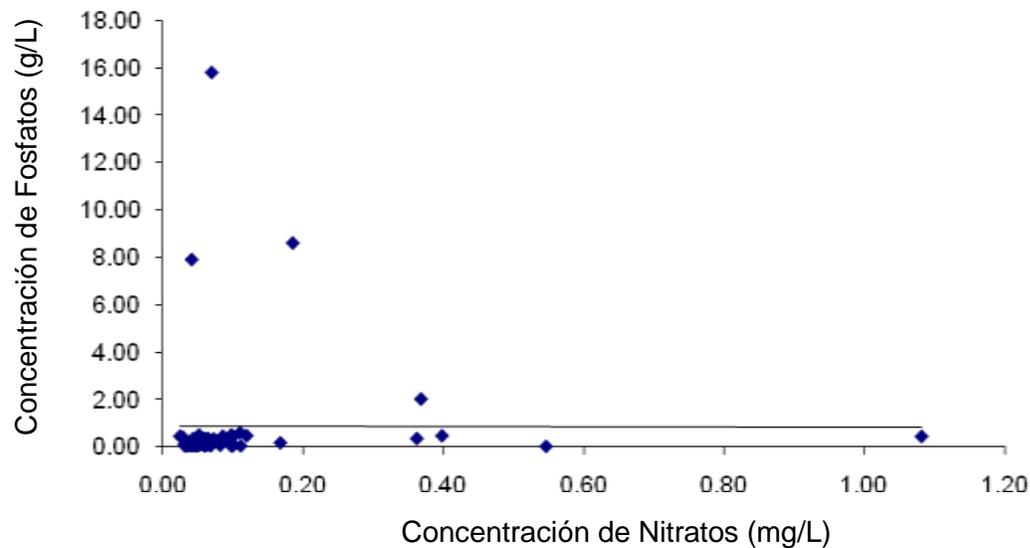
Fuente: Datos experimentales

⁹ Para ser significativo en el análisis: $p < \alpha$, $p < 0.05$

Figura 2."Tendencia de concentración de Fosfatos (mg/L) vs Conteo de Cianobacterias (u/L)"

C. Comportamiento entre las concentraciones de nitratos y fosfatos (nutrientes)

Se realizó un análisis de varianza para determinar una posible interacción entre nitratos y fosfatos, dando como resultado un valor de $p= 0.7820$ mayor al estadístico de prueba $\alpha=0.05$, además de un análisis de *Pearson*, $r = -0.036$, descartándolo como dato significativo. En la Figura 3, se puede observar que no existe una relación entre ambas variables fisicoquímicas medidas (nitratos y fosfatos), lo cual comprueba que los nutrientes actúan independientemente uno del otro.



Fuente: Datos experimentales

Figura 3. Correlación entre las concentraciones de nitratos y fosfatos.

D. Meses y la concentración de los nutrientes.

A pesar de que se observa en la Figura 4 que las concentraciones de los nutrientes se comportan de manera diferente durante los meses de estudio, al realizar el análisis de varianza no se observó diferencia significativa ni interacciones entre los nutrientes y los meses de estudio, ya que el valor *alpha* fue mayor a 0.05. Con este resultado no es posible establecer estadísticamente los meses de mayor contaminación.

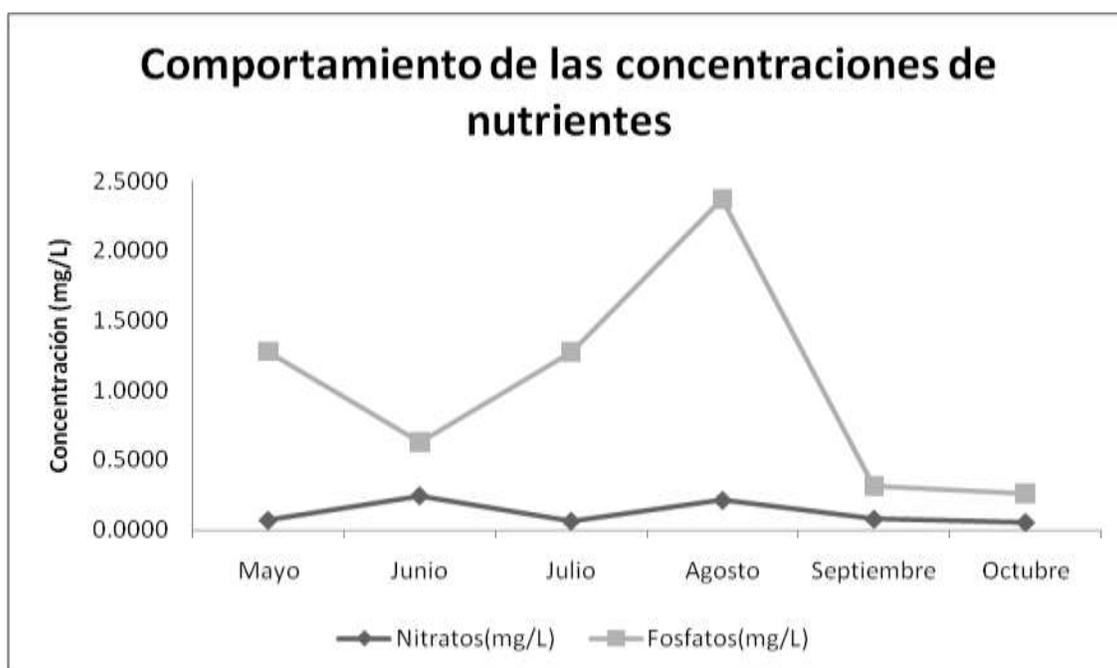


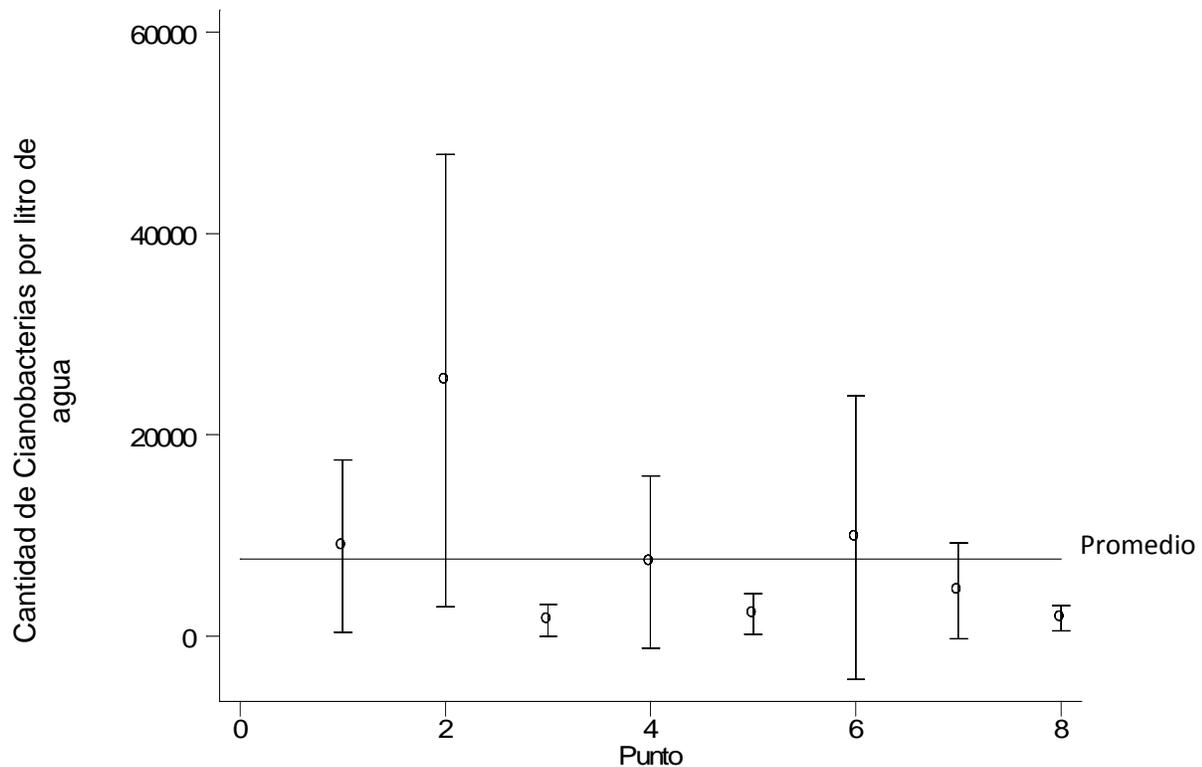
Figura 4. Comportamiento de los nutrientes durante la época de estudio.

Fuente: Datos experimentales

E. Puntos de monitoreo y las concentraciones de cianobacterias

Al realizar el análisis de intervalos múltiples de Duncan se encontró diferencia entre los puntos de muestreo con cianobacterias, el punto "Michatoya"

fue donde se reportó la mayor concentración de densidades poblacionales de cianobacterias, y por ello fue utilizado como control, le siguen los puntos: Centro Oeste, Villalobos, Oxigenador X, Tacatón, Centro Este, Oxinedor II y Playa de Oro. (Ver Figura 5).



Clave	
Punto 1	Villalobos
Punto 2	Michatoya
Punto 3	Oxigenador II
Punto 4	Oxigenador X
Punto 5	Centro Este
Punto 6	Centro Oeste.
Punto 7	Tacatón
Punto 8	Playa de Oro

Figura 5. "Densidades poblacionales de cianobacterias y puntos de muestreo"

Fuente: Datos experimentales

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Correlación positiva del nitrato (NO_3^-) con las densidades poblacionales de cianobacterias.

Se obtuvo una correlación del 70% entre nitratos y las densidades poblacionales de cianobacterias. El crecimiento y desarrollo de éstas dependió de la presencia y abundancia de este nutriente en las aguas del lago durante la época lluviosa de 2009. Se sabe que ríos, lagos o embalses se eutrofizan cuando sus aguas se enriquecen con nutrientes, principalmente: nitratos y fosfatos, los cuales pueden tener diferentes concentraciones y debido a esto representar el factor limitante en el sistema. Un factor o nutriente limitante no necesariamente es el que existe en mayor concentración, sino el que afecta directamente el desarrollo de las poblaciones en el lugar. En este caso, las poblaciones de cianobacterias demostraron una correlación de 70% con la concentración de nitratos, lo que sugiere que este factor ejerce un efecto sobre las dinámicas poblacionales de las cianobacterias, en el lago de Amatitlán. Se sugiere que el nitrato disponible en las aguas del lago de Amatitlán, funciona como un factor limitante.

La entrada de nitratos se puede deber a diferentes factores tales como: avance de la frontera agrícola, descargas de aguas residuales sin tratamiento primario o secundario que son vertidas directamente a los ríos tributarios del lago, y la descomposición de las cianobacterias en el lago. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato (Rivas, 2009, p. 310), sin embargo en este estudio se encontró que el nitrato fue el factor limitante; ya que fue este nutriente el que las

poblaciones de cianobacterias seleccionaron como fuente de principal de fijación durante la época de estudio.

B. Correlación Negativa del fosfato (PO_4^{-3})

Durante la época lluviosa de 2009 no se encontró relación entre los conteos de las densidades poblacionales de cianobacterias y las concentraciones de fosfatos en el lago de Amatitlán. Acorde a los resultados encontrados (análisis de varianza y correlación de Pearson) no existió durante la época de estudio una dependencia hacia este nutriente, sin embargo con esta información no puede descartarse que el fosfato pueda limitar en algún momento el crecimiento de las poblaciones de cianobacterias o bien colimitar junto con el nitrógeno el crecimiento y desarrollo de éstas.

C. Falta de correlación entre nitratos y fosfatos,

Se puede observar que el comportamiento entre los nutrientes no muestra un patrón ni una tendencia (figura 3 y 4 respectivamente). Lo anterior se ve reflejado en los resultados del Análisis de varianza y de la correlación de Pearson obtenidos en esta investigación (tabla No.1). Este resultado es de esperarse ya que ambos nutrientes no dependen uno de otro (Camargo & Alonso 2007, p. 12). La hipótesis propuesta en esta investigación es verdadera para la correlación entre las densidades poblacionales de cianobacterias y el nutriente nitrato; pero no es verdadera para la correlación entre las densidades poblacionales de cianobacterias y el nutriente fosfato.

D. Concentraciones de nutrientes en los meses de estudio y en los puntos de monitoreo.

En la Figura No. 4 se observa que en el mes de Agosto existió una mayor concentración de fosfatos, sin embargo esto no fue estadísticamente representativo ya que no se observó la misma alza para los nitratos, por lo tanto no fue posible determinar el mes más contaminado.

En cuanto a los puntos de muestreo, se puede observar en la Figura No. 5 que los valores más altos de conteos de cianobacterias durante los meses de estudio se encuentran en los puntos: Michatoya, Centro O, y Villa lobos. Lo anterior se puede deber a la circulación de las aguas del lago de Amatitlán; los puntos “Villalobos y Michatoya” son el afluente y el efluente respectivamente del lago, lo cual hace obvia las diferencias de concentraciones de nutrientes con respecto a los demás puntos de estudio; el “Centro O” es el punto medio entre la desembocadura del río “Villalobos y la entrada del río Michatoya”, lo cual por proximidad le afecta de manera directa, los puntos “Oxigenador II” y “Centro Este” son los más bajos, se sugiere que no se ven afectados por la proximidad ni el movimiento de las aguas (ver anexo No.3).

E. Proceso Eutrófico del lago

El término “*eutrófico*” proviene del griego y quiere decir “bien nutrido”. Acorde a las concentraciones de nitratos como de fosfatos (Dillon, 1974, p. 768, Elder, 1985, p.725) y utilizando indirectamente a las poblaciones de cianobacterias como indicadores se puede catalogar el lago de Amatitlán como un cuerpo de agua *eutrofizado*. En este tipo de lago la producción primaria, es decir el

crecimiento de algas y cianobacterias, es desmedida ya que no existe la relación balanceada entre los nutrientes de 10 (nitrógeno):1 (fósforo) que se mantiene en los lagos del tipo oligotrófico y mesotrófico¹⁰. Una vez esta relación se altera o modifica por efectos naturales o humanos los cuerpos lénticos empiezan a experimentar un proceso de eutrofización, siendo esto un indicador de contaminación de agua. La relación entre nitrógeno y fósforo durante la época de estudio fue de 1 (nitrógeno):3 (fósforo), lo cual indica una desproporción en cuanto a los nutrientes. A lo que se sugiere catalogarlo como un cuerpo eutrofizado, es decir un cuerpo de agua eutrófico.

El crecimiento de las densidades poblacionales de cianobacterias como de otros componentes del fitoplancton ocasionan en las zonas superficiales, una disminución en la transparencia del agua y, en las zonas profundas, una disminución del oxígeno disuelto, alterando el estado de la calidad deseable de agua, además del aspecto estético ya que los cuerpos de agua dejan de ser atractivos.

Junto con estos factores fisicoquímicos, se debe de tener en cuenta que en algunos casos se produce una invasión de especies adaptadas a las aguas contaminadas e interacciones alelopáticas, en este caso una producción de sustancias inhibitoras del crecimiento como por ejemplo las cianotoxinas, lo que

¹⁰ Un lago con una calidad de agua deseable es catalogado como *oligotrófico*, un lago con una calidad de agua menor a la de un *oligotrófico* es llamado *mesotrófico*. Se sugiere ingresar al sitio: <http://www.mlswa.org/lkclassif1.htm> para mayor obtener mayor información.

desencadena una alteración de la biodiversidad ligada al medio acuático (Wetzel 2001).

F. Otros factores a tomar en cuenta, la cobertura forestal y las aguas residuales sin tratamiento

Es importante mencionar que la cobertura forestal sirve de protección al cauce de los ríos, previniendo el escurrimiento superficial y deteniendo la carga contaminante que consigue a su paso por las áreas agrícolas vecinas al cauce. De igual forma, puede originar un proceso erosivo que trae como consecuencia el lavado de los suelos, elevando las concentraciones de nitrógeno que llegan a los cuerpos de agua, deteriorando su calidad físico-química (Soto, 1998, p. 109). Lamentablemente, esto ocurre alrededor de la cuenca, ya que los cerros son talados para ser utilizados como campo para siembra, o bien para servir de basureros clandestinos.

X. CONCLUSIONES

1. Existe correlación entre el nitrato y las concentraciones de cianobacterias del lago de Amatitlán durante la época lluviosa de 2009, que comprendió los meses de mayo a octubre, con un valor de 0.70 de acuerdo al análisis de *Pearson*.
2. No existe correlación entre el fosfato y las concentraciones de cianobacterias del lago de Amatitlán durante la época lluviosa de 2009, que comprendió los meses de mayo a octubre, con un valor de 0.16 de acuerdo al análisis de *Pearson*.
3. Existe diferencia significativa entre las concentraciones de Cianobacterias y los puntos de Monitoreo con un valor de $p = 0.0037$.
4. Ambos nutrientes: nitratos y fosfatos, son independientes entre sí, no presentan algún grado de relación, se reporta un valor de $r^2 = -0.036$.
5. No existe diferencia significativa entre los nutrientes y los meses de estudio, se reporta un valor de $p = 1.19$.
6. El punto "Río Michatoya" presenta mayores concentraciones de nutrientes en los meses de mayo a octubre de 2009.

7. El lago de Amatitlán se encuentra en un estado avanzado de eutrofización, se sugiere ser catalogado como un lago eutrófico, debido a que el incremento desmedido de las poblaciones de cianobacterias son los indicadores de una mala calidad de agua.

XI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar este mismo diseño de investigación en todos los puntos de monitoreo disponibles dentro del lago para complementar la información durante al menos un año, esto con el fin de abarcar tanto la temporada seca como la lluviosa. Al mismo tiempo realizar comparaciones entre la zona litoral y las zonas profundas del lago.
2. Se recomienda correlacionar las variables temperatura y precipitación, esto para determinar la cantidad de nitrógeno atmosférico que puede entrar al sistema por precipitación pluvial y los cambios de temperatura que pueden deberse al cambio climático.
3. Se sugiere Implementar tecnologías adecuadas para la remoción de nitrógeno de las aguas residuales, como por ejemplo plantas de tratamiento específicas para remover el nitrógeno del agua, antes de entrar al lago.
4. Se recomienda realizar estudios de vegetación, suelos y estudios demográficos para consolidar material científico y técnico que respalde una buena educación ambiental para sensibilizar a las comunidades aledañas al lago de Amatitlán.
5. Realizar un inventario sobre la biodiversidad de zooplancton, ictiofauna y avifauna del lago de Amatitlán, para determinar la cadena trófica del ecosistema y

analizar de mejor manera el impacto que tienen las densidades poblacionales de cianobacterias sobre la biodiversidad del lago de Amatitlán.

XII. REFERENCIAS

1. American Public Health Association. 2005 "Standard Methods for the examination of Water and Wastewater".
2. AMSA. 2008. "Comparación de la abundancia de cianobacterias indicadoras de contaminación en el lago Amatitlán, durante la época de estiaje y de lluvias." Pp. 69
3. Baker L. 1994. "Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs" American Chemical Society, Washington, DC. Pp 627.
4. Buchanan B. et al. 2000. "Biochemistry and Molecular Biology of plants. Rockville (USA): American Society of Plant Physiologist.
5. Camargo J y Alonso A . 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los sistemas acuáticos. Ecosistemas 16 (2). Mayo 2007.
6. Conservation 2001. 1986. Fairfield Osborn Symposium. Rockefeller University, New York
7. De la Cruz R. 1982 "Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge". Guatemala. Instituto Nacional Forestal. -INAFOR-
8. Dillon PJ y F.H Rigler. 1974 "The phosphorus Chlorophyll Relationship in lakes" Limnol. Oceanogry 19:767-772
9. Elder J.F. 1985. "Nitrogen and phosphorus Speculation flux ina a large Florida river-wetland System. Water Resources 21:724-732

10. Escobar V. 1997 "Plan de Manejo Integrado de la Subcuenca del Lago de Amatitlán." 2005. Tomo A.
11. Fabricius A. 2000 "Las algas, indicadores de la calidad del agua". Interciencia, UNRC, Río Cuarto, 4(4)."Fac. de Ciencias Exactas, Dpto. de Ciencias Naturales, UNRC.
12. Fontúrbel F. 2003 "Algunos Criterios Biológicos sobre el proceso de Eutrofización a orillas de seis localidades del Lago Titikaka". Ecol. apl., vol.2, no.1, p.75-79.
13. Fontúrbel F. 2004. "Un ejemplo de la necesidad de la conservación de ecosistemas: la eutrofización localizada en el lago Titikaka (Departamentode La Paz, Bolivia)" [disponible en la web desde <http://www.biologia.org/revista/pdfs/78.pdf>. fecha de visita 28 de Abril de 2008]
14. García H. 2002. "Cuantificación de la calidad del agua del rio Villalobos en Época seca y lluviosa en un periodo de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlán" TESIS para optar al grado de Maestro en Recursos Hidráulicos, calidad del Agua. Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniera Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.
15. Gaylarde P & Gaylarde C. 1999. " Algae and cianobacteria on painted surface in southern Brazil, Revista Microbiología 1999, 30:209-213
16. Gonzales B. 2003. "Amatitlán, ayer y hoy". TESIS para optar al grado de Maestro en docencia universitaria, Departamento de

posgrado, facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala.

17. Horne J, & Goldman C . 1994. "Limnology" Editorial McGraw-hill. Pp 453.
18. Milton J. 2007. "Estadística para Biología y Ciencias de la Salud" 3ed ampliada. Editorial Mc. Graw-Hil interamericana. Madrid, España. 722 Pp.
19. Peinador M. 1999. "Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica" Rev. biol. trop, set. 1999, vol.47, no.3, p.381-391.ISSN 0034-7744.
20. Pizolon L. 1996. "Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales" INTERCIENCIA 21(6): 239-245.
21. Prosperi, et al. 2000. "Evaluación de la contaminación y eutrofización de aguas superficiales de la provincia de Córdoba "Fac. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Laboratorio de Hidrobiología.
22. Puig A. 2000. "Bioindicadores" [web en línea] disponible desde: <<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Bioindic.html>> [ultima fecha de acceso 20 de Abril de 2000]Quiros 2004. "Cianobacterias y en lagos y Embalses de Argentina, documento no.2, Serie de documentos de trabajo del área de sistemas de producción acuática." Departamento de Producción agrícola, facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

23. Quirós R. 2004. "2do. Documento sobre el trabajo del sistema de producción acuática, FAUBA. Universidad de Buenos Aires. 23 Pp.
24. Reyna E. 1998. "Manejo integrado de la cuenca del lago de Amatitlán". Guatemala, Guatemala.
25. Rivas. Z, *et al.* 2009. "Nitrógeno y Fosforos Totales de los ríos al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. Interciencia. Vol. 34. No.5: 308-314
26. Rodier, J." Análisis de las Aguas, Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar". Ediciones Omega Barcelona 1981.
27. Rosales J. 1999. "Contaminación del Lago de Amatitlán por desechos Industriales" Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ingeniera Industrial, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniera Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala.
28. Rosales J. 1999. "Contaminación del Lago de Amatitlán por desechos Industriales" Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ingeniera Industrial, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniera Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala.
29. Salamanca E. et al. 2005. "Algas como indicadores de contaminación". Colombia. Editorial Universidad del Valle. 164 Pp.
30. Salguero C. 1995. "Sistemas Lacustres de Guatemala" Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial Universitaria. Pp. 196.

31. Sosnovsky 2006. "El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra" *Ecología Austral* 16:115-124. Diciembre 2006, Asociación Argentina de Ecología.
32. Soto R. 1998. "Estudio de la dinámica sucesional de las diferentes comunidades vegetales. Informe técnico ICLAUM, Maracaibo Venezuela. Pp. 110.
33. Villalpando J, *et. al.* 2001. "Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias" *Agrociencia* 35: 79-86. 2001.
34. Vollenweider R. 1990. "Eutrophication: conventional and non conventional considerations and comments on selected topics. *Mem.Ist. Itial. Idrobiol.*47: 77-134
35. Zalocar Y, y Forastier M. 2005. "Biodiversidad de Cyanophyceae (Cyanobacteria) y especies toxigénicas del litoral fluvial argentino" *INSUGEO, Miscelánea*, 14: 213 – 228.

XIII. ANEXOS

Anexo No.1**“Clasificación Taxonómica de las Cianobacterias según Cavalier-Smith 2002”****Reino Bacteria****Subreino Negibacteria**

Infrareino Glycobacteria

División **Cianobacteria**

Subdivisión Phycobacteria

Clase Chroobacteria

Orden Chroococcales

Microcystis spp

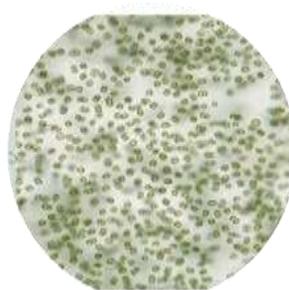
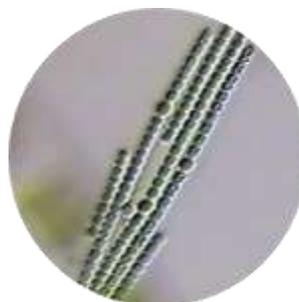
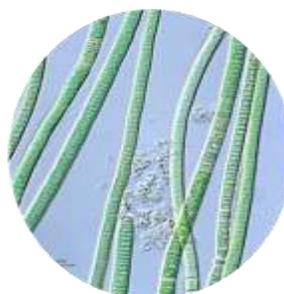
Orden Oscillatoriales

Oscillatoria spp

Clase Hormogoneae

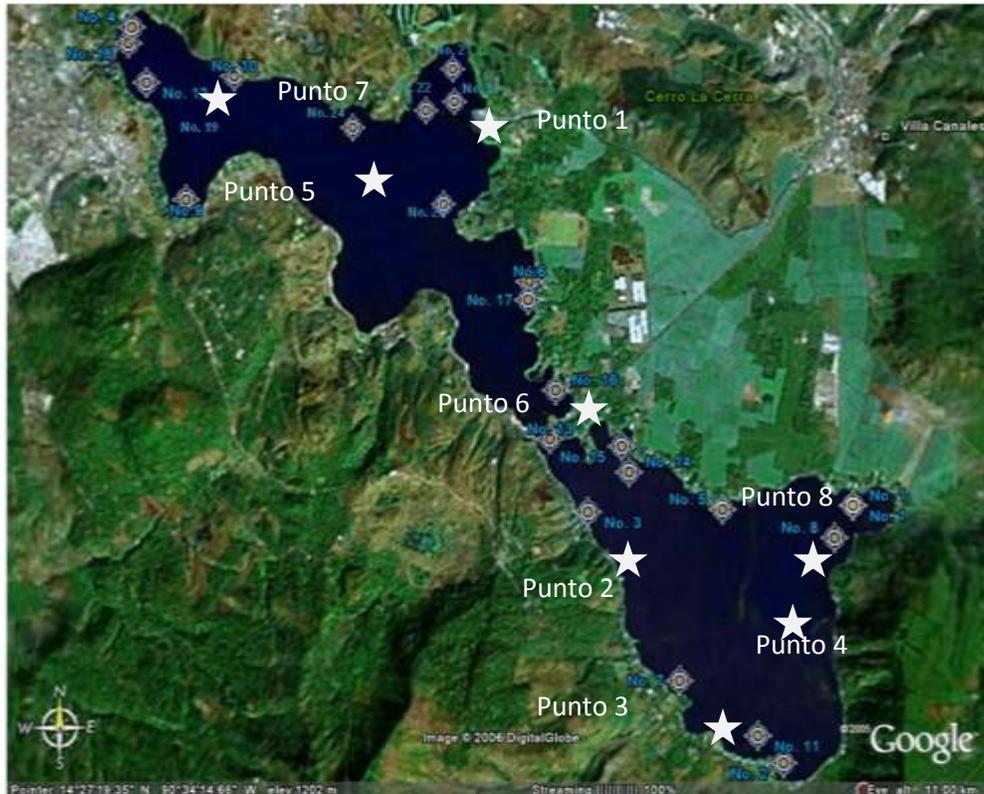
Orden Nostocales

Anabaena spp

Anexo No. 2**“Géneros de cianobacterias a utilizar”****GENERO****FOTOGRAFIA*****Microcystis sp.****Aumento: 100X****Anabaena sp.****Aumento: 100X****Oscillatoria sp.****Aumento: 100X**Fotos: David Cabrera*

Anexo 3.

“Vista aérea del lago de Amatitlán con los ocho puntos de monitoreo establecidos por -AMSA-”



Punto de Muestreo	Referencia	Longitud	Latitud
1	Desembocadura Río Villa Lobos	761270	1602075
2	Inicio Río Michatoya	757711	1602810
3	Oxigenador II	766219	1598277
4	Oxigenador X	762247	1599368
5	Centro Lado Este	765166	1595894
6	Centro Lado Oeste	760265	1601798
7	Tacaton	764084	1597760
8	Entrada Bahía Playa de Oro	761503	1602842

Fuente: Autoridad para el Manejos Sostenible de la cuenca del lago de Amatitlán, -

AMSA-

Anexo 4.

“Cámara de de conteo Sedgeway- Rafter”



Foto: David Cabrera

Para los conteos de cianobacterias con la cámara de Sedgeway-Rafter se promedia la cantidad de cianobacterias presentes en 1 mL de agua de muestra siguiendo la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Conteo columna a} + \text{conteo columna b} + \text{conteo columna c}}{150} * 1000$$

Cada columna de conteo tiene 50 celdas, dando el total de 150, luego se multiplica por 1000 para obtener la cantidad de organismos que existe en 1000 mL

Anexo 5.**“Matriz de Resultados”**

Punto_de_Monitoreo	Mes	Variables		
		Conteo(u/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)
Villalobos	Mayo	8367	0.04	7.90
Villalobos	Junio	5970	0.37	2.01
Villalobos	Julio	3573	0.19	8.60
Villalobos	Agosto	24133	0.07	15.80
Villalobos	Septiembre	10511	0.10	0.49
Villalobos	Octubre	1080	0.06	0.34
Michatoya	Mayo	17773	0.06	0.11
Michatoya	Junio	17200	0.55	0.01
Michatoya	Julio	21564	0.08	0.06
Michatoya	Agosto	65908	1.08	0.43
Michatoya	Septiembre	26933	0.09	0.44
Michatoya	Octubre	2880	0.03	0.44
Oxigenador II	Mayo	2999	0.06	0.06
Oxigenador II	Junio	3234	0.03	0.04
Oxigenador II	Julio	140	0.03	0.06
Oxigenador II	Agosto	267	0.06	0.04
Oxigenador II	Septiembre	2593	0.05	0.05
Oxigenador II	Octubre	233	0.04	0.04
Oxigenador X	Mayo	3513	0.05	0.49
Oxigenador X	Junio	3307	0.40	0.46
Oxigenador X	Julio	22300	0.03	0.39
Oxigenador X	Agosto	3867	0.12	0.46
Oxigenador X	Septiembre	11020	0.06	0.33
Oxigenador X	Octubre	167	0.07	0.33
Centro E	Mayo	4700	0.10	0.04
Centro E	Junio	3513	0.04	0.03
Centro E	Julio	120	0.03	0.09
Centro E	Agosto	3453	0.06	0.05
Centro E	Septiembre	267	0.10	0.04
Centro E	Octubre	1173	0.07	0.04
Centro O	Mayo	1707	0.10	0.43
Centro O	Junio	34807	0.36	0.34
Centro O	Julio	15020	0.04	0.34
Centro O	Agosto	5307	0.10	0.35
Centro O	Septiembre	470	0.09	0.30
Centro O	Octubre	1330	0.07	0.34

Continúa anexo 5.

Punto_de_Monitoreo	Mes	Variables_a_medir		
		Conteo(u/L)	Nitratos(mg/L)	Fosfatos(mg/L)
Tacaton	Mayo	1667	0.04	0.05
Tacaton	Junio	740	0.05	0.04
Tacaton	Julio	1987	0.05	0.06
Tacaton	Agosto	1900	0.11	0.03
Tacaton	Septiembre	10447	0.07	0.14
Tacaton	Octubre	10233	0.05	0.07
Playa de Oro	Mayo	927	0.11	0.59
Playa de Oro	Junio	3280	0.17	0.16
Playa de Oro	Julio	2104	0.06	0.07
Playa de Oro	Agosto	2692	0.10	0.07
Playa de Oro	Septiembre	1633	0.07	0.10
Playa de Oro	Octubre	33	0.05	0.06

Anexo 6.

“Muestra de agua colectada en “Michatoya” (Punto 2), Agosto de 2009”.



Foto: David Cabrera

Anexo 7.

“Muestra de agua colectada en “Tacatón” (punto 7), Septiembre de 2009”.



Foto: David Cabrera

Anexo 8.

“*Mycrocistis sp* y *Oscillatoria sp* en la cámara de Conteo de Sedgeway-Rafter”.

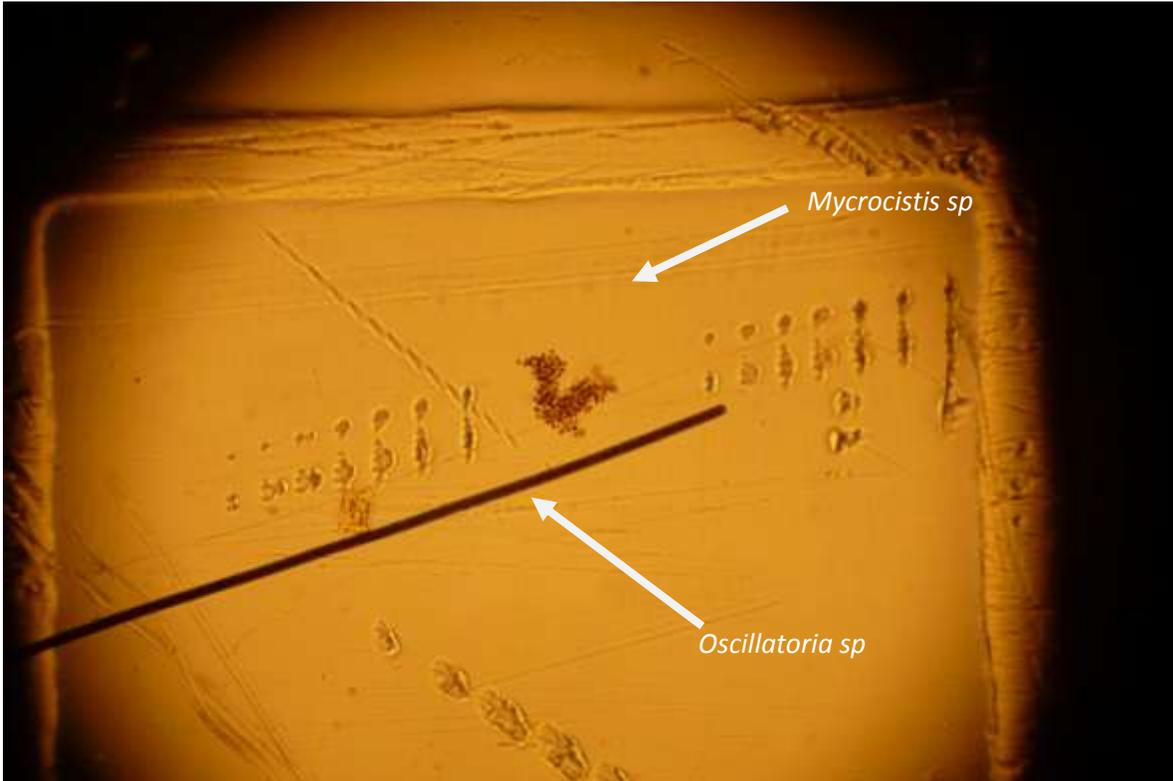


Foto: David Cabrera

Aumento: 100x

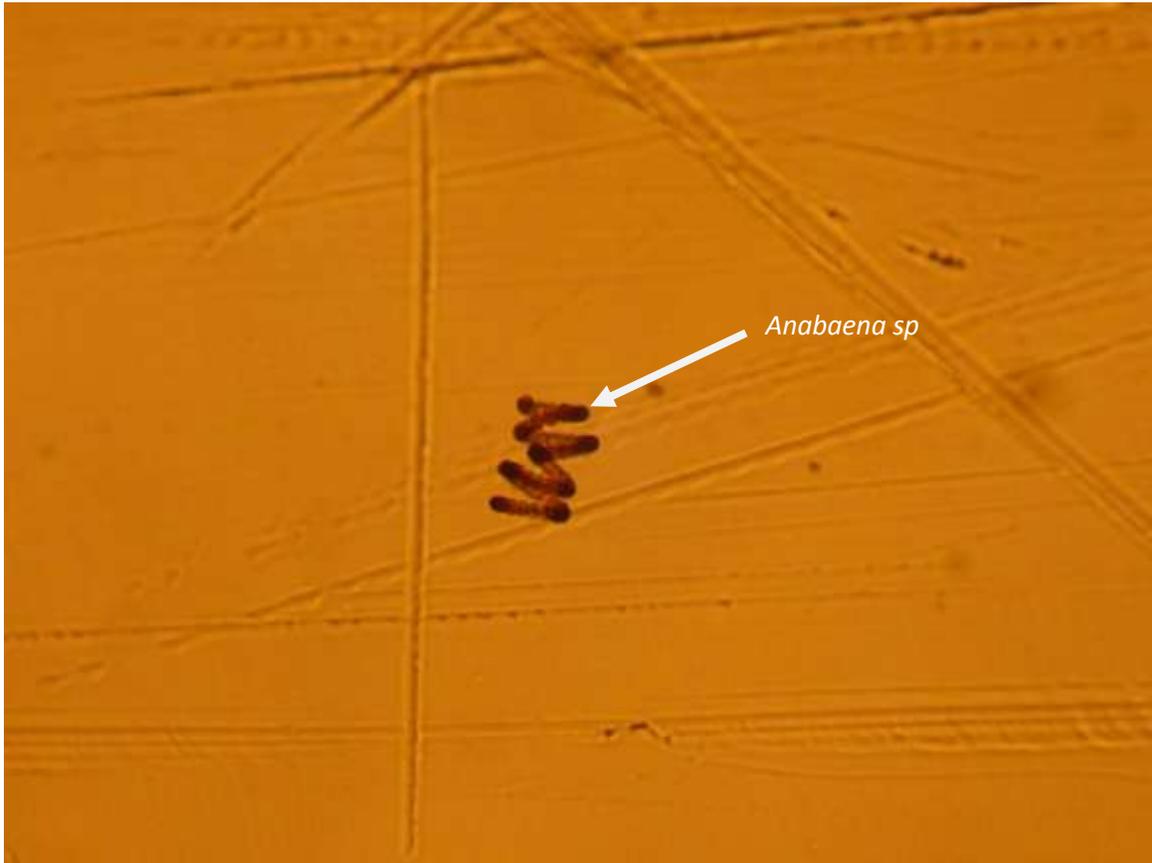
Anexo 9.**“*Anabaena* sp en la cámara de conteo de Sedgeway- Rafter”**

Foto: David Cabrera

Aumento: 100x

Anexo 10.**“Ortofoto del lago de Amatitlán, Guatemala.”**

Cortesía: Ing. Sergio Díaz