

Contaminación ambiental y biodiversidad de fitoplancton en el Lago Cajititlán

Environmental Pollution and Phytoplankton Biodiversity in Lake Cajititlán

Contaminação ambiental e biodiversidade do fitoplâncton no Lago Cajititlán

Luz Adriana Vizcaíno-Rodríguez¹, Eduardo Juárez-Carillo², Juan Luís Caro-Becerra¹, Tonatiuh Abimael Baltazar-Díaz¹, Ramiro Luján-Godínez¹, Martha Alicia Lara-González²

¹ Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG).

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara.

Cita: Vizcaíno-Rodríguez LA, Juárez-Carillo E, Caro-Becerra JL, Baltazar-Díaz TA, Luján-Godínez R, Lara-González MA. Contaminación ambiental y biodiversidad de fitoplancton en el lago Cajititlán. *Rev. salud ambient.* 2017; 17(2):130-138.

Recibido: 18 de enero de 2017. **Aceptado:** 17 de abril de 2017. **Publicado:** 15 de diciembre de 2017.

Autor para correspondencia: Luz Adriana Vizcaíno-Rodríguez.

Correo e: adyvizcaino7@gmail.com

Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG).

Carretera Tlajomulco-Santa Fé, km 3,5, 595. Lomas de Tejeda Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. México. 45640.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

El Lago Cajititlán, enfrenta severos problemas de salud ambiental; por ello se emprendió un estudio de biodiversidad del fitoplancton, con la finalidad de detectar indicadores biológicos de contaminación y determinar la abundancia relativa de los géneros en dicho ecosistema. Las algas en el medio ambiente producen beneficios: como el oxígeno y la conversión de energía luminosa en química, reflejada en la acumulación de biomasa por medio de la fotosíntesis, o bien, daños colaterales como la producción de toxinas por algas *cianófitas*. Se establecieron 5 puntos de monitoreo y se recolectaron muestras con frecuencia mensual durante 2014. La identificación y clasificación morfológica se realizó por microscopía óptica. Este documento es el primero en describir las comunidades predominantes en el lago: *clorófitas*, seguido por *cianófitas* y la correlación evolutiva de los géneros, mediante el empleo de árboles filogenéticos.

El estudio proporcionó expectativas en el área de investigación ya que se identificaron especies con aplicación en salud ambiental y salud humana, *Scenedesmus* spp. y *Chlorella* spp. Especies que son fuente de biomoléculas de alto valor nutricional como proteínas y vitaminas, como *Monoraphidium* spp. De aplicación en la síntesis de biocombustibles, *Botryococcus* spp. Con aplicación terapéutica como productoras de antioxidantes, inmunomoduladores o productoras de toxinas, como *Pseudanabaena* spp. Se ha observado una fuerte relación entre las especies de *cianófitas* encontradas *Microcystis* spp.; *Anabaena* spp. y la muerte de peces durante el verano.

Palabras clave: fitoplancton; biodiversidad; morfología; árboles filogenéticos; *cianófitas*.

Abstract

Lake Cajititlán faces severe environmental health problems. A phytoplankton biodiversity study was undertaken to calculate biological contamination indicators and to determine the relative abundance of phytoplankton genera in its ecosystem. In the environment, algae produce both benefits such as oxygen and the conversion of light energy into chemicals, something which is reflected in the accumulation of biomass through photosynthesis collateral damage, such as the production of toxins: by Cyanophyta algae. Five monitoring points were established, and samples were collected monthly, in 2014. Phytoplankton identification and morphological classification were performed by microscopy. This paper is the first of its kind to describe the predominant communities in the lake chlorophytes, followed by cyanophytes and the evolutionary correlation of the genera using phylogenetic trees.

The study gave rise to expectations in different research fields since species with environmental health and human health applications (*Scenedesmus* spp. and *Chlorella* spp.), species which are sources of biomolecules with a high nutritional value as proteins and vitamins, such as *Monoraphidium* spp., a species with application in the synthesis of biofuels (*Botryococcus* spp.), and species with a therapeutic application as producers of antioxidants and immune modulators or as producers of toxins, such as *Pseudanabaena* spp., were identified. A strong correlation between the presence of the cyanophyte species found (*Microcystis* spp. and *Anabaena* spp.) and the death of fish during the summer was observed.

Keywords: phytoplankton; biodiversity; morphology; phylogenetic tree; cyanophytes.

Resumo

O Lago Cajititlán enfrenta graves problemas de saúde ambiental. Por esta razão, realizou-se um estudo sobre a biodiversidade do fitoplâncton com o objetivo de detectar indicadores biológicos de contaminação e determinar a abundância relativa dos gêneros no referido ecossistema. As algas produzem benefícios para o ambiente como o oxigênio e a conversão de energia luminosa em química, refletida na acumulação de biomassa a través da fotossíntese, ousão causadoras de danos colaterais como a produção de toxinas por algas cianofíceas. Estabeleceram-se 5 pontos de monitorização e recolheram-se a mostras com uma frequência mensal durante o ano de 2014. A identificação e a classificação morfológica foi realizada por microscopia ótica. Este artigo é o primeiro a descrever as comunidades predominantes no lago: clorófitas, seguidas por cianofíceas e a correlação evolutiva dos gêneros, mediante a aplicação de árvores filogenéticas.

O estudo gerou expectativas na área da investigação uma vez que se identificaram espécies com aplicação em saúde ambiental e em saúde humana, *Scenedesmus* spp. e *Chlorella* spp. Espécies que são fonte de biomoléculas de alto valor nutricional nomeadamente proteínas e vitaminas como a *Monoraphidium* spp. De aplicação a síntese de biocombustíveis, *Botryococcus* spp. Com aplicação terapêutica como produtoras de antioxidantes, imuno modeladores ou produtoras de toxinas, como a *Pseudanabaena* spp. Observou-se uma forte relação entre as espécies cianofíceas encontradas, *Microcystis* spp. e *Anabaena* spp., e a morte de peixes durante o verão.

Palavras-chave: fitoplâncton; biodiversidade; morfologia; árvores filogenéticas, cianofíceas.

INTRODUCCION

La laguna de Cajititlán es una cuenca endorreica, formada de escurrimientos procedentes de Cerro-Viejo y de descargas de aguas residuales de las poblaciones asentadas en su Ribera: Cajititlán, San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco, San Juan Evangelista, San Lucas Evangelista¹. Localizada en el Estado de Jalisco, México.

En forma recurrente durante el verano, se observa la muerte de peces que forman parte de la cadena trófica de la laguna y se especula sobre el estado que guarda la sobre producción de peces y su muerte natural o bien la presencia de contaminantes, microorganismos patógenos o comunidades de fitoplancton o sus toxinas como agentes causales de dicho evento².

Investigaciones recientes muestran que el lago presenta problemas de eutrofización: contiene altos niveles de materia orgánica, fosfato y nitrato, lo cual favorece la reproducción del fitoplancton³. El agua presenta coloración verde, debido a la presencia de algas con moléculas de clorofila y pigmentos accesorios, que les confiere la capacidad de transformar la energía luminosa en energía química.

Las algas se encuentran ampliamente distribuidas en océanos, aguas dulces, el suelo, la corteza de los árboles e incluso, establecen relaciones simbióticas con animales invertebrados marinos (esponjas, corales), hongos (líquenes); tal es el caso de *Pseudanabaena azolla* y el helecho acuático *Azolla*, en dicha relación simbiótica las algas son fuente de nitrógeno y carbono⁴. Presentan una estructura celular eucariota, por ello se clasifican como protistas. Existen microorganismos unicelulares (planctónicos), otros formadores de colonias que pueden alcanzar hasta 50 m con estructuras similares a una planta, los hay también filamentosos⁵. Pueden crecer en un medio inorgánico con presencia de luz, empleando CO₂ como fuente de carbono. Sin embargo, algunas requieren la adición de vitamina B₁₂. Sin olvidar los que pueden crecer en la oscuridad en presencia de compuestos orgánicos.

De acuerdo con la literatura, las algas fotosintéticas, hicieron posible la vida de los organismos aerobios dentro del planeta y se estima que producen el 75 % del oxígeno atmosférico, mediante fotosíntesis. Los pigmentos y las clorofilas son parte fundamental de dicho proceso⁶. La asimilación del carbono difiere dependiendo del tipo de

célula; por ejemplo, las cianobacterias y las algas rojas emplean la ruta metabólica de la ribulosa fosfato (ciclo de Calvin-Benson) y las bacterias verdes emplean la vía del ácido tricarbóxico^{7,8}.

Los cultivos de algas son considerados como eco-amigables, reciclan eficientemente contaminantes desde medios líquidos y gaseosos, incorporándolos a su metabolismo para la generación de biomasa. La biomasa de algas aporta una gran diversidad de productos con valor económico y aplicación en la industria alimentaria, sector salud, alimentación animal, fuente de compuestos orgánicos y biocombustibles⁹. Dentro de los cuales destacan los siguientes:

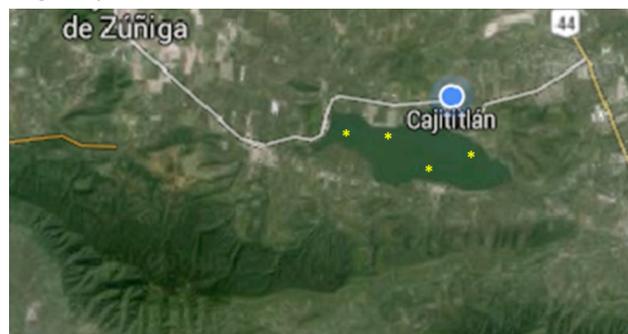
- Reducción del 68,4 % de la demanda biológica de oxígeno (DBO) por *Scenedesmus* sp.
- Remoción del 86 % de nitrógeno, 90 % de la demanda química de oxígeno (DQO) y 70 % de fósforo inorgánico, así como la remoción de metales: Fe, Zn, Mn, Ni, Cr, Cd, Cu, Co, en el tratamiento de aguas residuales con cultivos mixtos de *Scenedesmus* sp. y *Chlorella* sp.
- La obtención de biodiesel a partir de aceites de microalgas el cual disminuye el 78 % de emisión de CO₂⁹.
- Los géneros *Chlorella*, *Spirulina* y *Dunaliella* se comercializan como suplementos alimentarios. La última por su alto contenido de β-caroteno (empleado como colorante natural, en la industria alimentaria además de su poder antioxidante).
- En la alimentación animal se emplean diversos tipos de algas de los géneros *Arthrospira*, *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*, ya que mejoran la respuesta inmune, la infertilidad, el control de peso y producen una piel sana y brillante en mascotas.
- Otras de las aplicaciones potenciales se encuentran la producción de biofertilizantes, ácidos grasos poliinsaturados, pigmentos carotenoides y ficobiliproteínas (ficoeritrina y ficocianina)^{10,11}.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó durante 2014 en la Laguna de Cajititlán Jalisco-México, con muestreos mensuales en cinco estaciones de monitoreo: San Juan Evangelista, San Lucas Evangelista, Cuexcomatitlán (2 estaciones) y Cajititlán. Las muestras compuestas se recolectaron en la zona litoral del lago a una profundidad de 40 cm (figura

1). Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de biotecnología de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) y el laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura de la Universidad de Guadalajara (CUCBA).

Figura 1. Localización de los puntos de monitoreo en el Lago Cajititlán, 2014



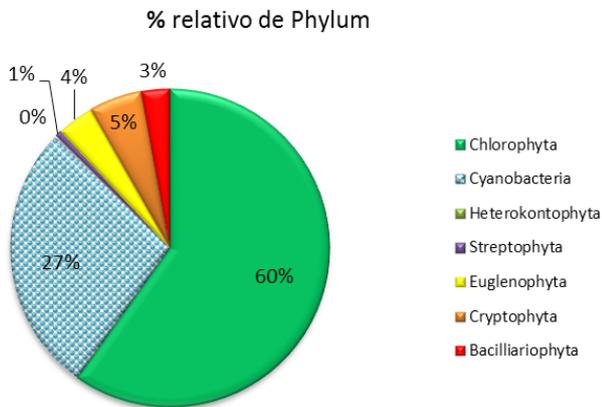
Análisis de morfología celular: las muestras se analizaron por triplicado. Se empleó un microscopio óptico compuesto marca: Motic, modelo AE2000 y microscopio óptico invertido marca: Motic, Modelo BA310 y 400 aumentos.

Alineamiento múltiple y construcción de árboles filogenéticos: se realizó una búsqueda en la base de datos del *National Center of Biotechnology Information (NCBI)*, se seleccionaron las secuencias del fragmento de rRNA 18S para las especies *clorófitas* y rRNA 16S para las *cianófitas*, tomando en cuenta registros caracterizados a nivel de género, priorizando secuencias completas. La longitud de las secuencias seleccionadas fue acortada una vez realizados los alineamientos múltiples, hechos mediante ClustalW¹² dentro del programa BioEdit¹³. El curado de los alineamientos también fue llevado a cabo dentro del mismo software. Los árboles filogenéticos fueron elaborados con el paquete MEGA6¹⁴ por los métodos de máxima verosimilitud y mínima evolución; se realizaron 1000 "bootstrap" como análisis estadístico de la consistencia topológica de los árboles. Debido a la conveniencia del método, a la mayor consistencia topológica obtenida y a la mejora en los valores de "bootstrap", se eligieron aquellos árboles construidos mediante el método de máxima verosimilitud.

RESULTADOS

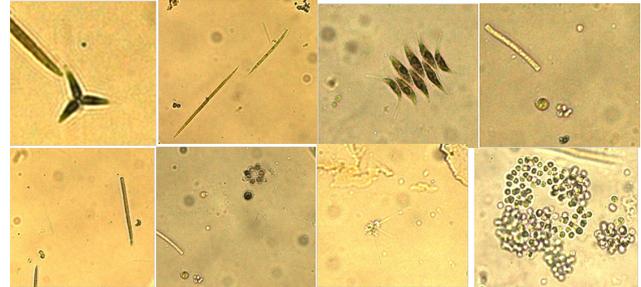
Clasificación: El 63 % de las algas fueron *clorófitas*, el 27 % *cianobacterias*, 5 % *criptófitas*, 4 % *euglenófitas* y 1 % *estreptófitas* (figura 2).

Figura 2. Porcentaje relativo de taxones de algas identificadas en el Lago Cajititlán, Jalisco-México durante 2014



De las especies identificadas como algas verdes o *clorófitas* se observaron los siguientes géneros: *Scenedesmus*, *Monoraphidium*, *Chlorella*, *Selenastrum*, *Kircneriella*, *Coelastrum*, *Coelosphaerium*, *Actinastrum*, *Planctonema*, *Tetraedron*, *Botryococcus*, *Tetrastrum* (figura 3).

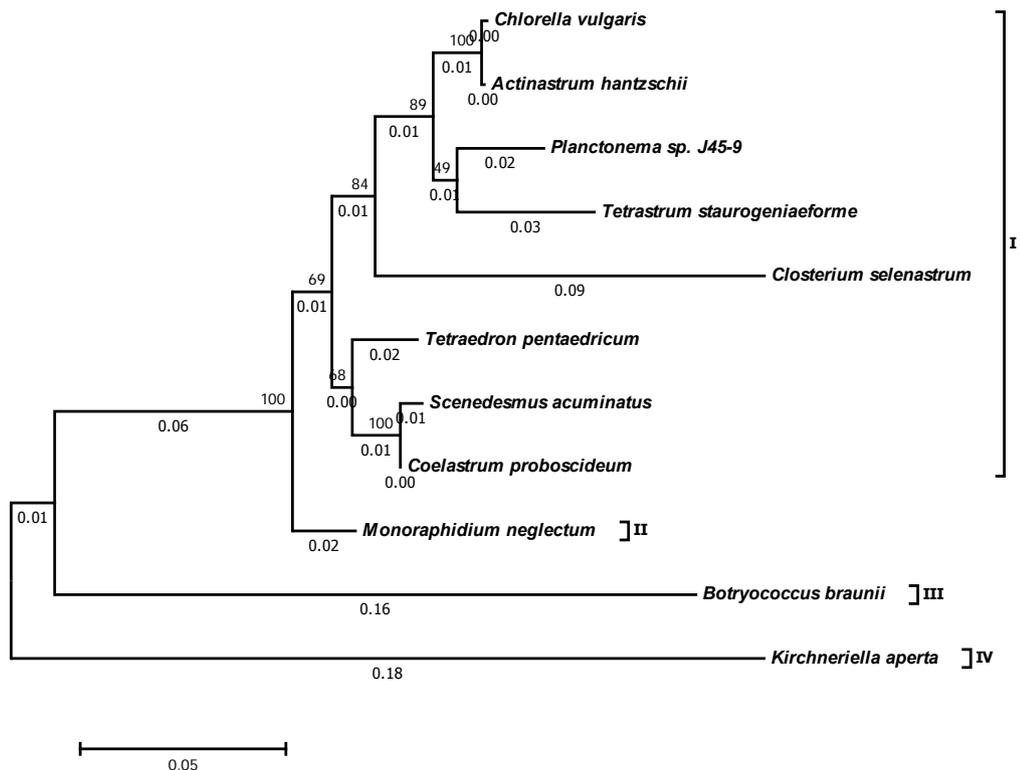
Figura 3. Identificación morfológica de *clorófitas* recuperadas a partir del lago de Cajititlán, Jalisco-México de izquierda a derecha: *Actinastrum* sp., *Cylindros permopsis raciborskii*, *Scenedes musacuminatus*, *Oscillatoria* sp., *Cylindros permopsis raciborskii* con *Kirchneriella* *obesa*, *Coelastrum* sp., *Golenkinia* sp. y *Dictiosphaerium* sp.



La figura 4 muestra el árbol filogenético de *clorófitas*, se agrupan en 2 ramas principales y divergentes, de acuerdo a las distancias estadísticas se engloban en cuatro grupos.

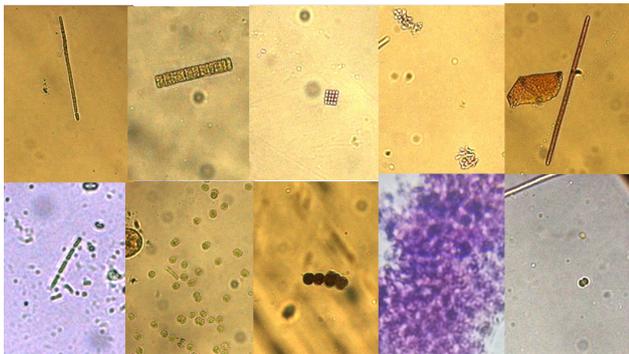
El segundo lugar de prevalencia en el lago correspondió a las *cianófitas*, bacterias gram negativas, con capacidad de fijar nitrógeno (N₂) y acumular glucógeno a partir del cual obtienen ATP en condiciones de oscuridad, por medio del ciclo oxidativo de las pentosas fosfato.

Figura 4. Árbol filogenético basados en el rRNA18S de especies *clorófitas*, identificadas en el Lago Cajititlán, 2014



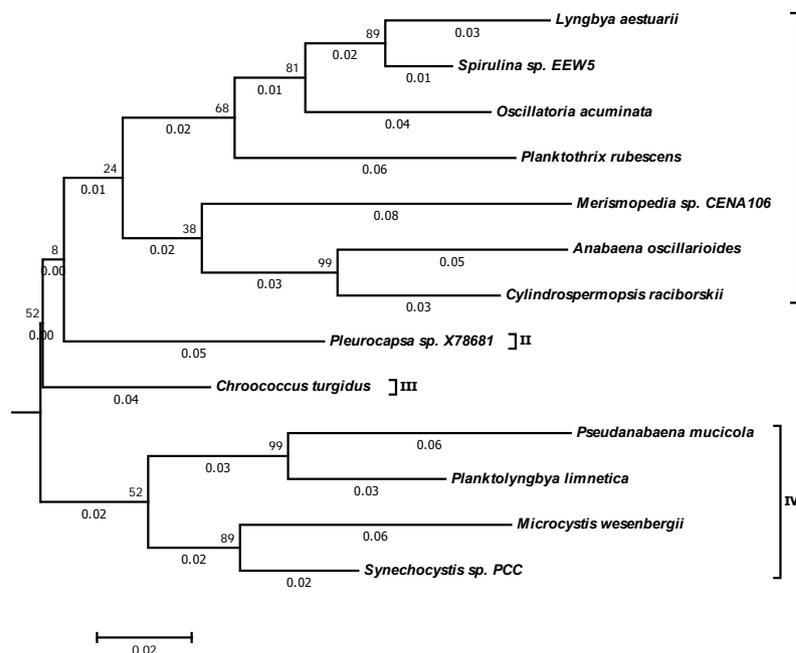
Las cianófitas encontradas se identificaron dentro de los siguientes géneros: *Pseudanabaena*, *Chroococcus*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Planktolyngbya*, *Lyngbya*, *Spirulina*, *Anabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Oscillatoria*, *Pleurocapsa*, *Synechocystis*, *Plankthothrix*. En este grupo se detectó una gran diversidad de indicadores biológicos de contaminación ambiental (figura 5).

Figura 5. Características morfológicas de cianobacterias recuperadas a partir el Lago de Cajititlán Jalisco. *Oscillatoria* sp., *Merismopedia* sp., *Pleurocapsa* sp., *Plankthothrix* sp., *Pseudanabaena* sp., *Synechocystis* sp., *Anabaena* sp., *Microcystis* sp. y *Synechococcus* sp.



A partir de esta información y la base de datos del NCBI, se seleccionaron 13 secuencias del rRNA 16S pertenecientes a dichas especies, la figura 6 muestra los resultados: dos ramas principales y divergentes, de acuerdo a las distancias estadísticas se engloban en cuatro grupos y dos especies fuera de las agrupaciones.

Figura 6. Árboles filogenéticos basados en el rRNA16S de especies cianófitas. Los valores de "bootstrap" se muestran sobre cada división de las ramas y las distancias en la parte inferior



Por otro lado, del taxón euglenófitas, se identificaron los géneros: *Trachelomonas*, *Strombomonas*, *Lepocinclis* y *Euglena* (figura 7). En el taxón Heterocontófitas, se identificó el género *Mallomonas* y del taxón Estreptófitas se identificó el género *Closterium* (figura 8).

Figura 7. Características morfológicas de *Euglena* sp. y *Phacus* sp. pertenecientes a la familia *Euglenaceae*, recuperados del Lago Cajititlán Jalisco- México, 2014



Figura 8. *Coscinodiscus* sp. y *Aulacoseira granulata*, diatomeas recuperadas del Lago Cajititlán Jalisco-México durante el verano de 2014



DISCUSION

Respecto de las *clorófitas* en el grupo I, se encontraron especies con efecto benéfico para la salud ambiental y humana, por ejemplo, el género *Chlorella*; de acuerdo con la literatura se emplea en el tratamiento de aguas residuales ya que elimina nitrógeno amoniacal y fósforo, fija CO₂ y acumula lípidos, por ello se estudia en la producción de biodiesel¹⁵. *Actinastrum*, es fuente de alimento para crustáceos, y por ende parte de la cadena trófica¹⁶. *Tetraedron* sintetiza lípidos de alto peso molecular mono y poliésteres de 50 carbonos¹⁷. Por otra parte, *Scenedesmus* tiene capacidad de eliminar materia orgánica y componentes tóxicos en aguas residuales, es empleado en la elaboración de alimentos funcionales por su alto contenido de proteínas, vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados¹⁷.

En el grupo II se clasificó a *Monoraphidium*, dicha alga es abundante en lagos de México y es fuente importante de proteínas¹⁸. El grupo III *Botryococcus* tiene la capacidad de sintetizar y liberar lípidos utilizables para la obtención de hidrocarburos¹⁹. Y finalmente en el grupo IV, *Kirchneriella*, tiene capacidad de eliminar cobre en el tratamiento de aguas²⁰.

Otro género de importancia es *Dictiosphaerium* (el cual no aparece en el árbol ya que no se encontró su secuencia reportada en *NCBI*), que es sensible al bromuro de duodecil-etil-dimetil-amonio, sustancia empleada para control de algas en cuerpos de agua. Se emplea en la elaboración de biosensores, que detectan la presencia de herbicidas que inhiben la actividad del fotosistema II del proceso de fotosíntesis. Se han detectado variedades sensibles y resistentes a cromo (VI)²¹.

Las *cianófitas* termófilas proliferan en los meses cálidos produciendo florecimientos algales, su muerte y descomposición origina un desarrollo masivo de microorganismos quimio-heterotróficos, lo cual tiene un efecto catastrófico sobre los animales del lago al agotar el suministro de oxígeno⁵, de acuerdo con el árbol filogenético (figura 5).

En el grupo I se clasificó en cuatro grupos:

- *Lyngbya*: tiene capacidad de producir potentes cianotoxinas y neurotoxinas²².
- *Planktothrix*: produce floraciones algales y microcistina²³.
- *Merismopedia*: agente etiológico de enfermedades gastrointestinales y dérmicas, y lipopolisacáridos, producen irritación de la piel.

- *Anabaena*: productora de sustancias neurotóxicas, anatoxina-a, saxitoxina y microcystina, con grandes daños en el sistema nervioso, hígado e incluso la muerte de animales que se alimentan de las plantas con las cuales hacen simbiosis. Forma parte del plancton y vive en zonas de agua estancadas²⁴.
- *Cylindrospermopsis*: produce floraciones algales, tiene capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, es resistente a la depredación por el zooplancton y produce saxitoxinas y cilindrospermopsina²⁵.
- *Spirulina*: es una especie que actualmente se comercializa debido a su alto contenido de proteínas y ficobiliproteínas.

Grupo II: *Pleurocapsa* forma asociaciones con cianobacterias, tolera altas temperaturas y medios alcalinos.

Grupo III: *Chroococcusturgidos* sintetiza lípidos y los exporta fuera de su célula²⁶.

Grupo IV:

- *Pseudanabaena*: es productora de ficobiliproteínas, con empleo potencial en el tratamiento de cáncer cérvico uterino, dichas moléculas tienen valor terapéutico como inmunomodulador y su habilidad de revertir el fenotipo de multiresistencia a fármacos de diversas líneas tumorales²⁷.
- *Mycrocystis*: es género de cianobacterias muy importantes debido a su prevalencia en lagos y ambientes eutrofizados, con capacidad de producir floraciones algales y sintetizar endotoxinas, cuando se encuentra en ambientes eutrofizados, con alta disponibilidad de nutrientes: fosfatos, nitratos, pH alcalino, entre otros factores. Forma colonias irregulares rodeadas de mucílago, con 3 planos de división, con dimensiones desde microscópicas hasta macroscópicas. Las formas vegetativas tienen la capacidad de producir vesículas de gas (aerotopos) que les permiten desplazarse a través de la columna de agua en busca de las condiciones de luz necesarias²⁸.
- *Synecocystis*: es el primer organismo fotosintético, del cual se secuenció el genoma completo. Fue aislado por primera vez a partir de lagos. Tienen la capacidad de transformarse espontáneamente, integrando ADN extraño en su genoma mediante recombinación homóloga. Se reporta en estudios del metabolismo de pigmentos, fotosíntesis entre otros procesos celulares. Crece en ambientes minerales y presencia de luz, así como en presencia de glucosa como fuente de carbono y obscuridad²⁹.

Respecto de las *euglenófitas*, *Euglenas* sp., es un protozooario flagelado, que vive en agua dulce y es capaz de realizar fotosíntesis, además de emplear fuentes de carbono orgánico, por ello puede crecer en un medio mineral con presencia de luz o en un medio con componentes orgánicos, habita en la columna de agua o fondo de lagos o ríos³⁰. *Phacus* sp., es un alga unicelular, móvil mediante un flagelo, presenta un periplasma central donde acumula los nutrientes, tiene una gran cantidad de plastos verdes, una mancha ocular roja donde se encuentran foto-receptores que le permiten seguir la intensidad luminosa. Miembro de la familia *Euglenaceae*, es abundante en agua dulce con alto contenido de materia orgánica³¹. *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová es una ameba.

Entre las diatomeas, se observaron los géneros *Coscinodiscus* y *Aulacoseira* (figura 8). El género *Coscinodiscus*: forma parte del fitoplancton marino, se asocia a ambientes con alto contenido de nutrientes, son importantes en estudios de evolución ya que son considerados ancestros clásicos³².

Aulacoseira granulata: es una de las diatomeas más comunes que habita en aguas lentas de lagos y superficie de rocas, puede formar grandes poblaciones en aguas eutróficas. Morfológicamente es cilíndrica y forma colonias mediante la unión célula-célula unidas por diminutas espinas que rematan en el borde celular, en su interior es posible observar cloroplastos con pigmentos de clorofila y gotas de aceite que le permiten flotar y colocarse en la columna de agua en función de la intensidad luminosa que requiere³³.

La principal contribución de este trabajo fue generar evidencias de la biodiversidad de especies de fitoplancton en el Lago Cajititlán. Sin embargo, es necesario continuar con actividades de investigación que permitan establecer un modelo de aprovechamiento sustentable para especies con importancia biotecnológica.

Por fortuna, los géneros predominantes en el Lago Cajititlán, corresponden a *clorófitas*, que se han adaptado al nivel de eutrofización, la temperatura, el pH, la luz incidente que prevalecen en el Lago. Su contribución con el medio ambiente y la cadena trófica: son productoras de oxígeno, pueden eliminar materia orgánica, e inorgánica, son alimento para el zooplancton, y potencialmente son fuente de proteínas y aceites esenciales para la industria de alimentos.

Las *cianófitas* ciertamente producen oxígeno a través de la fotosíntesis, sin embargo, su abundancia y presencia representa un alto riesgo para la laguna sobre todo en

los meses cálidos, debido a que tienen la capacidad de proliferar, sintetizar y acumular moléculas tóxicas en su interior, que son liberadas al medio ambiente tras su muerte. Las bacterias aerobias, responsables de degradar los restos celulares de las *cianófitas* consumen el oxígeno disuelto en el agua y liberan las toxinas, de esta forma los peces mueren por anoxia o bien por los efectos tóxicos (efecto que se observa recurrentemente durante el verano).

Por otro lado, el realizar esta investigación nos permitió explorar el potencial que tienen los cultivos de *cianófitas*, para la biosíntesis de biomoléculas con capacidad antioxidante, y con efecto citotóxico (ficobiliproteínas) para el tratamiento de células cancerosas, el efecto benéfico de *clorófitas* en la remoción de contaminantes y la capacidad de producir biocombustibles por especies ya adaptadas a las condiciones ambientales de la localidad.

Respecto del taxón *Euglenozoa*, el cual es agrupado dentro del zooplancton, tienen capacidad de fijar CO₂, remover nutrientes orgánicos o inorgánicos, además de ser alimento para peces.

Las diatomeas son consideradas las células primitivas, con capacidad de realizar fotosíntesis, por lo tanto, su principal participación se encuentra en el ciclo biogeoquímico del carbono, su cubierta constituida por sílice, se emplea en la elaboración de filtros y la producción de agentes abrasivos (nanotecnología), cremas exfoliantes, pesticidas, entre otros.

El conocimiento generado, abre la posibilidad de aislar especies endémicas adaptadas a las condiciones ambientales de la laguna y establecer cultivos para su aprovechamiento sostenible, ya sea a nivel industrial o en la elaboración de biofiltros o plantas de tratamiento locales.

Por otro lado, es necesario continuar los estudios que permitan tomar las medidas necesarias para controlar los niveles de cianobacterias en el lago, ya que dadas las condiciones climatológicas y de nutrientes pueden llegar a ser las responsables directas de la muerte de peces.

CONCLUSION

En la Laguna de Cajititlán, se encontró predominancia de algas verdes, cuyo impacto es benéfico para el medio ambiente y la biorremediación: *Chlorella* y *Scenedesmus*, este último en cultivos mixtos con *Monoraphidium*, es fuente de proteínas, vitaminas y aceites esenciales; para la industria alimentaria, con aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. Cabe mencionar,

la presencia de *Dictiosphaerium* en la laguna, indicó la ausencia de herbicidas como contaminantes. A su vez, se encontró gran diversidad de indicadores biológicos de contaminación, con capacidad de producir florecimientos algales: *Anabaena*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Merismopedia*, entre otras, lo cual pone a la Laguna en una situación de extrema fragilidad, ya que el segundo género predominante correspondió a las *cianófitas*. Es necesario continuar con los estudios y tomar las medidas necesarias para disminuir el impacto de estas poblaciones en la calidad de agua del Lago.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos la colaboración de la Red de Cajititlán, que fue quien aportó la necesidad e inspiración necesaria para llevar a cabo los estudios realizados.

BIBLIOGRAFÍA

- Vizcaíno-Rodríguez L, Brena-Becerril A, Caro-Becerra J, Luján-Godínez R. Algasea Popoche en la Ribera de Cajititlán, ¿Legitimidad o reconocimiento? Las investigadoras del SNI. México DF: Ediciones La Biblioteca S.A. 2015. pp. 687-95.
- Vizcaíno R. Lago de Cajititlán, tradición, biodiversidad e impacto ambiental. IX Congreso de Humedales y XV curso taller internacional de rehabilitación de la Laguna de Zapotlán. Guzmán Jalisco. México: Universidad de Guadalajara. 2015.
- Lujan-Godínez R, Preciado-Quiroz R, Vizcaíno-Rodríguez L, et ál. Governance actions to recover de Cajititlán Wetland. En: 5 Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía. Ciencia e Innovación Tecnológica: Estrategias para la solución de Problemas Nacionales. Zapopan, Jalisco. México. 2015.
- Hernández-Pérez A, Labbé J. Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía 2014; 49:157-73.
- Graham L, Wilcox W. Algae and Society: Pound Algae. Hoboken Nueva Jersey, USA; Phycological Society of America. 2012. pp. 9-12.
- Novelo E, Ponce M, Ramírez R. Las Microalgas de la Cantera Oriente 2005; 71-80. [citado 7 de septiembre de 2016] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272887835_Las_microalgas_de_la_Cantera_Oriente.
- Stanier R, Ingraham J, Wheelis M, Painter P. Microbiología Segunda Edición. México D.F.: Reverté, S.A. 2005.1996. pp. 368-98.
- Peña-Vázquez E, Maneirob E, Pérez-Condec, C, Moreno-Bondic. M. Micro algae fiberoptic biosensors for herbicide monitoring using sol-gel technology. Biosensor and Bioelectronics 2009; 24(12):3538-43.
- Hernández-Pérez A, Labbe J. Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía 2014; 49(2):153-73.
- Nitumaic K, Buruah G, Chandra Dev G. et ál. Ankistrodes musfalcatu: a promising candidate for lipid production, its biochemical analysis and strategies to enhance lipid productivity. J. Microbiol. Biotech. Res. 2011; 1(4):148-57.
- Oyededeji A, Abowei J. The classification, distribution, Control and Economical importance of Aquatic Plants. International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2012; 1(2):118-28.
- Thompson J, Higgins D, Gibson T. Clustal W. Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weightmatrixchoice. Nucleic Acids Research 1994; 22(22):4673-80. [citado 5 de octubre de 2016] Disponible en: <http://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>.
- Hall T. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 1999; 41:95-8. [citado 9 de septiembre de 2016] Disponible en: <http://doi.org/citeulike-article-id:691774>.
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, et ál. MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. Molecular Biology and Evolution 2013; 30(12):2725-29. [citado 17 de Julio de 2016] Disponible en: <http://doi.org/10.1093/molbev/mst197>.
- Songtham W, Rathanasthien B, Mildenhall D. New species of algae Actinastrumlagerheimand Closteriumnitzschex Ralfsfrom Middle Miocene Sediments of Chiang Muanbasin, Phayao, Thailand, with tropical pollencomposition. Science Asia 2004; 30:171-81.
- Guillén A. Banco de imágenes microscópicas Ibéricas 2010 [citado el 27 de septiembre de 2016] Disponible en: <http://www.biodiversidadvirtual.org>.
- Scenedesmus Algae. Encyclopededia Britannica [citado el 27 de agosto de 2016] Disponible en: <https://global.britannica.com/science/Scenedesmus>.
- Nieves-Soto M, Cortés-Altamirano R, Gutiérrez-Corona C, Pacheco-Marges M. Producción de Fitoplanctona bajo costo. 1. Aislamiento y cultivo de Monoraphidium sp. (Chlophyceae) en un sistema estático en medio F y Cuatro a base de Fertilizantes Agrícolas. Anales del Instituto de Ciencias del Mar México y Limnología (UNAM) 1994; 21:19-27.
- Largeau C, Casadevall E, Bercaloff C, Dhamelincoourt P. Sites of accumulation and composition of hydrocarbons in Botryococcus braunii. Phytochemistry 1980;19:1043-51.
- Olenina I, Hajdu S, Edler L, et ál. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. 2006; 106:106-44.
- Sanchez-Fortún S, Marvá F, Dórs A, Costas E. Inhibition of growth and photosynthesis of selected green microalgae as tools to evaluate toxicity of dodecyl ethyl dimethyl-ammonium bromide. Ecotoxicology 2008; 17(4):229-34.
- Carmichael W, Evans W, Yin Q, et ál. Evidence for paralytic hell fish poisons in the fresh water cyanobacterium Lyngbyawollei (Farlow ex Gomont) comb. nov. Appl. Environ. Microbiol. 1997; 63(8):3104-10.

23. Komárek J, Komarcová J. Taxonomic review of the cyanoprokaryotic genera *Planktothrix* and *Planktothricoides*. *Czech Phycology Olomouc*. 2004; 4:1-18.
24. Guillén A. Anabaena 2010 [citado el 15 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Anabaena-img163.html>.
25. Reis M. Contribución al Conocimiento de ecología, toxicología y filogenia de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cianobacteria). Tesis sometida a la Universidad Federal de Río de Janeiro. Centro de Ciencias de la Salud. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Doctor en Ciencias. Rio de Janeiro: Universidad de Rio de Janeiro. Centro de Ciencias de la Salud. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho 2003; 1-14.
26. Marva-Ruiz, F. Adaptación de microorganismos fotosintéticos del plancton de aguas continentales al cambio ambiental brusco: contaminantes de origen antropogénico y condiciones naturales extremas. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. Departamento de Producción Animal. Tesis Doctoral. 2008; 1-237.
27. Vargas-Rodríguez A, Gallegos R, Vega Barrita M, Cruz OA. Efecto in vitro de las ficobiliproteínas en el tratamiento del Carcinoma Cervicouterino. *Rev. del Centro de Inv. (Mex.)* 2006; 7(25):4-12.
28. Komárek J, Komárková J. Review of the European *Microcystis* morphospecies (Cyanoprokaryotes) from nature. *Czech Phycology Olomouc*. 2002; 2:1-24.
29. The microbial Cell Project on the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC6803. [citado el 15 de septiembre de 2016] Disponible en: <http://synechocystis.asu.edu/>.
30. Libanjccu. Euglena. Ecured. [citado el 8 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Euglena>.
31. Guillén A. *Phacuspyrum*. Mundo microscópico 2010. [citado el 05 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Phacus-pyrum-img270.html>.
32. Hernández-Becerril D. Morfología y taxonomía de algunas especies de diatomeas del género *Coscinodiscus* de las costas del Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 2000; 48(1): 7-18.
33. Bicudo D, Tremarin P, Almeida P, et ál. Ecology and distribution of *Aulacoseira* species (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil. *Diatom Research*. 2016; 31:1-17.