



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**Fitoplancton de la Laguna de Cajititlán, Jalisco, México**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**BIÓLOGA**

PRESENTA

**PATIÑO HERNÁNDEZ VIOLETA MONSERRAT**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. MARTHA MARTÍNEZ GARCÍA**

Los Reyes Iztacala, Estado de México, 2018





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi hijo **Emilio Said**,*

*A quien robe incontables horas de juegos, risas y descubrimientos, por centrarme en mis estudios. Porque a pesar de tu corta edad lograste comprender mi ausencia en ciertos momentos, por tu apoyo y amor. Todos mis logros serán los tuyos y viceversa. Y cada uno de mis esfuerzos, luchas y agradecimientos siempre serán dedicados a ti.*

*A mis Padres **Rocío Hernández y Alfonso Patiño**,*

*Por su apoyo y motivación incondicional, por dedicarme su vida, tiempo y ser las guías en mi camino, su amor y comprensión, sin ustedes simplemente este logro no habría sido posible. Mi eterno amor y gratitud.*

*A mis **hermanos David, Rocío, Cesar y sobrinos**,*

*Por ser parte de mi vida y compartir con ustedes todo mi cariño. Porque juntos formamos una increíble familia. Que el tiempo nos permita seguir compartiendo momentos de alegría y éxito en nuestras vidas.*

*A **José Luis**,*

*Por tu apoyo en todas las situaciones adversas tanto personales como académicas durante todos estos años, porque te convertiste en mi compañero y amigo; por tu cariño, confianza y dedicación.*

*A mi equipo **Rikistikis**,*

*Por todos los momentos, aprendizajes y experiencias adquiridas en su compañía, por las confidencias y por haber hecho más ameno este difícil trayecto que es la carrera. Mis mejores amigos.*

*Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme aceptado ser parte de ella y brindarme la oportunidad de estudiar esta tan maravillosa carrera que es la Biología, a todos los docentes que brindaron conocimiento y apoyo, así como, a todas las personas que conforman el Laboratorio de Bioquímica Molecular de la Fesl por haberme permitido ser parte del equipo y por la armonía vivida en mi estancia.*

*Agradezco también a mi Asesora de Tesis la Dra. Martha Martínez García por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos, además de la confianza y paciencia para guiarme durante gran parte de mi trayecto en la carrera.*

*Agradezco también a los profesores M. en C. Gloria Garduño Solórzano; Dr. Jorge Eduardo Campos Contreras; M. en C. Alejandro Cruz Monsálvo Reyes y por último M. en C. Rafael Emiliano Quintanar Zúñiga, por su tiempo y dedicación en el proceso de realización de mi trabajo de Tesis, gracias infinitas.*

## Índice

RESUMEN .....	- 3 -
INTRODUCCIÓN .....	- 3 -
OBJETIVOS .....	- 8 -
<i>General</i> .....	- 8 -
<i>Particulares</i> .....	- 8 -
MATERIALES Y MÉTODOS .....	- 9 -
<i>Área de estudio.</i> .....	- 9 -
<i>Colecta del material biológico.</i> .....	- 10 -
<i>Determinación taxonómica.</i> .....	- 11 -
<i>Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).</i> .....	- 11 -
<i>Condiciones limnológicas.</i> .....	- 11 -
<i>Cuantificación y Análisis estadísticos.</i> .....	- 11 -
<i>Estado trófico.</i> .....	- 11 -
RESULTADOS .....	- 13 -
<i>Colecta y determinación taxonómica</i> .....	- 13 -
<i>Condiciones limnológicas.</i> .....	- 15 -
<i>Cuantificación y Análisis estadístico</i> .....	- 15 -
<i>Estado trófico</i> .....	- 16 -
DISCUSIÓN .....	- 18 -
<i>Descripción de las especies.</i> .....	- 21 -
CONCLUSIÓN .....	-39-
LITERATURA CITADA .....	-40-

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Imagen satelital de la Laguna de Cajititlán .....	<b>9</b>
<b>Figura 2</b> Cyanophyta de la Laguna de Cajititlán, Jalisco .....	<b>34</b>
<b>Figura 3.</b> Chlorophyta y Charophyta observadas en el sistema lagunar .....	<b>36</b>
<b>Figura 4.</b> Microfotografías (MEB) de cada grupo taxonómico de Bacillariophyta observados en el sistema lagunar de Cajititlán, Jalisco.....	<b>38</b>
<b>Cuadro 1.</b> Índice sapróbico de Sládecek, conforme la calidad del agua basados en parámetros relacionados a la materia orgánica, DBO, OD, H <sub>2</sub> S y cantidad de bacterias coliformes.....	<b>5</b>
<b>Cuadro 2.</b> Coordenadas geográficas de cada estación de muestreo para los tres periodos.....	<b>10</b>
<b>Cuadro 3.</b> Registro de la ficoflora del área de estudio, con base en la clasificación determinada por Guiry & Guiry (2018).....	<b>13</b>
<b>Cuadro 4.</b> Características fisico-químicas en la estación de colecta junio 2016...	<b>15</b>
<b>Cuadro 5.</b> Cuantificación y abundancia para cada <i>taxa</i> registrados para la temporada de febrero 2017 (Temporada de secas). .....	<b>16</b>
<b>Cuadro 6.</b> Análisis del índice de saprobiedad de área de estudio (dato de la valencia sapróbica y abundancia de cada <i>taxón</i> ). .....	<b>17</b>
<b>Cuadro 7.</b> Registro de los géneros correspondientes al fitoplancton de la Laguna de Cajititlán Jalisco reportados por Lujan <i>et al.</i> (2014).....	<b>19</b>

## RESUMEN

La preocupación global sobre la calidad de agua, se centra en el incremento progresivo de la eutroficación de los ambientes acuáticos, debido a altas concentraciones de materia orgánica, así como florecimientos de especies nocivas que interfieren en el uso y las condiciones organolépticas. La presencia de contaminantes de carácter orgánico en aguas dulces se denomina en términos ecológicos saprobiedad, la cual evalúa los ecosistemas en cuanto al nivel trófico. El conocimiento de las comunidades fitoplanctónicas en ecosistemas acuáticos de México, permiten mitigar posibles contingencias ambientales, principalmente en sistemas eutroficionados. Los florecimientos algales nocivos (FANs) se caracterizan por presentar un incremento en biomasa de células fitoplanctónicas, son especies nocivas que afectan directamente en el desarrollo de la biota acuática, sin embargo, algunos *taxa* son capaces de producir toxinas como *Microcystis*, *Planktothrix*, *Synechococcus*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Nostoc* y *Oscillatoria* géneros reportados para México. De esta manera, los FANs representan una problemática para otros organismos en el medio acuático y para el ser humano. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue dar a conocer por primera vez las comunidades de fitoplancton a nivel de especie formadores de florecimientos algales nocivos que proliferan en la Laguna de Cajititlán Jalisco y que además se estipula están relacionadas con los registros de hepatoenteritis y mortandad masiva de peces registradas en la región. La interpretación con base en la composición fitoplanctónica del estado trófico de la laguna de Cajititlán, se llevó a cabo mediante la determinación de los *taxa* de acuerdo a las observaciones en microscopía óptica y de barrido (MEB) basados en distintas claves taxonómicas. La cuantificación, análisis estadístico de Diversidad de Shannon-Wever y el valor de saprobiedad se determinó para el periodo de sequía 2017. En total se registraron 44 especies de las cuales 25 géneros forman parte de nuevos registros para la laguna. Con base a la composición fitoplanctónica, el estado trófico de la Laguna en temporada de sequía se ubicó en un subnivel de betamesosaprobiedad lo que indica que es un sistema medianamente contaminado. También se observó que para esta temporada se presenta una baja biodiversidad. En general, el ecosistema está conformado por siete especies potencialmente nocivas, haciendo énfasis en el registro de *Cylindrospermopsis raciborskii* una cyanoprokariota no reportada para el país, sintetizadora de saxitoxinas y cilindrospermopsinas, la cual se observó que puede proliferar en la laguna de Cajititlán en cualquier periodo y en altas concentraciones de aproximadamente  $1 \times 10^5$  org/ml, sin embargo, también se registró la presencia de *taxa* relacionados en la depuración de nutrientes en aguas residuales, representadas por los géneros *Scenedesmus*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium* y *Chlorella*.

**Palabras clave:** Eutroficación, fitoplancton, florecimiento algal, toxicidad, *Cylindrospermopsis raciborskii*.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas significativos a nivel mundial sobre la calidad de agua, radica actualmente en el incremento progresivo de la eutroficación de los ambientes acuáticos. Efectos asociados con la alta concentración de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de la actividad agrícola y de efluentes con descargar de aguas negras que generan alteraciones en la biodiversidad acuática, como el incremento en la abundancia de algunos microorganismos, generando así florecimientos de especies nocivas que interfieren en el uso y las condiciones organolépticas (Prosperi *et al.*, 2005).

El estado trófico es una categorización dada a los ambientes acuáticos, es un concepto fundamental en la ordenación y entendimiento de los mismos; comprende la relación establecida entre la cantidad de nutrientes en un acuífero y el incremento de la materia orgánica. Se denomina eutroficación, al proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes. Estos eventos están normalmente asociados a fuentes antropogénicas de aportación de nutrientes, por ejemplo, la agricultura es uno de los factores de eutroficación de las aguas superficiales (Zapata, 2015).

Dada la compleja interacción entre las numerosas variables que intervienen en la eutroficación de un cuerpo de agua, se llegó a la conclusión de que es imposible establecer una delimitación estricta entre las distintas clases tróficas; se establecieron algunos criterios para clasificarlos en función a las características fisicoquímicas de los lagos (Bridgewater, 2007). El estado **oligotrófico** corresponde a una baja productividad en biomasa fitoplanctónica, poca concentración de nutrientes y alta transparencia del agua; el estado **eutrófico** a una alta productividad en biomasa fitoplanctónica (algal), alta concentración de nutrientes y a poca transparencia del agua. Como una condición intermedia se encuentra el estado **mesotrófico**, que corresponde a un nivel levemente productivo, con mediana concentración de nutrientes y que pueden favorecer un mayor desarrollo de los organismos acuáticos; los ambientes **hipertróficos** propician unas comunidades planctónicas próximas a las de los sistemas altamente contaminados por el vertido de aguas residuales muy ricas en materia orgánica (Wetzel, 2001).

La presencia de contaminantes de carácter orgánico en aguas dulces se denomina en términos ecológicos saprobiedad, de manera que a mayor acumulación de materia orgánica (tanto soluble como particulada) en el agua, mayor grado de saprobiedad. Este sistema evalúa los ecosistemas en cuanto al nivel trófico en el que se encuentra, así como la demanda biológica de oxígeno (DBO) y por la presencia de especies bioindicadores que habitan en este tipo de ambientes (Cuadro 1). En general es una relación entre la calidad del agua y el contenido de

materia orgánica presente en ella, reflejado en la composición de especies de la comunidad del cuerpo de agua (Sládecek, 1973).

Cuadro 1. Índice sapróbico de Sládecek conforme al sistema la calidad del agua, se distingue en 10 subniveles basados en parámetros relacionados a la materia orgánica como el DBO, OD, H<sub>2</sub>S y cantidad de bacterias coliformes.

<b>NIVEL</b>	<b>SUBNIVEL</b>	<b>Si</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	Cataróbica	-1	Aguas subterráneas
	Xenosapróbica	0	Aguas no contaminadas
	Oligosapróbica	1	Aguas poco contaminadas
	β-mesosapróbica	2	Aguas medianamente contaminadas
	α-mesosapróbica	3	Aguas muy contaminadas
Limnosaprobiedad	Polisapróbica	4	Aguas severamente contaminadas
	Isosapróbica	5	Aguas de alcantarilla, dominio de ciliados
	Metasapróbica	6	Pozos sépticos, zona de H <sub>2</sub> S, dominio de flagelados
	Hipersapróbica	7	Aguas industriales, descomposición fuerte, bacterias
Eusaprobiedad	Ultrasapróbica	8	Aguas abióticas, no tóxicas

El panorama de los ecosistemas acuáticos en México es de gran interés, no sólo por proveer una impresionante diversidad, sino también porque el conocimiento de las comunidades fitoplanctónicas permiten mitigar posibles contingencias ambientales, principalmente en sistemas eutroficados. La mayoría de los cuerpos de agua dulce del centro de México se encuentran eutroficados, algunos en niveles hipertróficos, lo cual ha favorecido la formación de florecimientos de fitoplancton, degradando la calidad del agua para consumo humano, recreativo o riego agrícola (Pomeroy *et al.*, 2006).

El fitoplancton forma parte de los componentes estructurales de los ecosistemas acuáticos, funcionan como una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores, permanecen suspendidos en la zona fótica de una columna de agua. Funcionan como indicadores de la calidad del agua en los análisis a nivel de población y comunidad, también se han empleado para caracterizar el potencial productivo del sistema y en este contexto pueden identificar, no sólo especies clave para la comunidad y zonas de importancia biológica, sino que proveen un excelente antecedente para el monitoreo de los cambios asociados al régimen climático e hidrológico a diferentes escalas temporales y espaciales. El fitoplancton proveniente de aguas continentales se desarrolla principalmente en ambientes lénticos, es decir,

aguas estancadas (lagos, lagunas y embalses) y algunos otros de ambientes lóticos de agua corriente unidireccional (manantiales, ríos, arroyos, cascadas y canales). Las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de especies fitoplanctónicas en los lagos y ríos varían por su tamaño, profundidad, temperatura, luz, transparencia, oxígeno, nutrientes, pH y salinidad, entre otras variables limnológicas (Kjerfve, 1994).

En México el fitoplancton epicontinental incluye un aproximado de 1 025 especies, lo que representa el 6.8% de las algas continentales a nivel mundial con 15 000 especies (Bourrelly, 1990). Está conformado por 17 clases, entre las principales se encuentra, Bacillariophyceae con el mayor número de especies (327 especies correspondiente al 31.9%), las Cyanoprokaryota (187 correspondiente al 18.2%), las Chlorophyceae (179 correspondiente al 17.4%) y las Zygnematophyceae (105 correspondiente al 10.2%), le siguen las Euglenophyceae (95 correspondiente al 9.2%), las Trebouxiophyceae (52 correspondiente al 5.7%), en menor número las Dinophyceae (28 correspondiente al 2.7%) y las Xanthophyceae con (20 correspondiente al 1.9%) (Oliva-Martínez *et al.*, 2014).

Cuando las condiciones del agua son las ideales, es decir, existen eventos derivados de fenómenos naturales y un aumento de nutrientes, se favorece la proliferación exponencial de algunos microorganismos del fitoplancton. Estos florecimientos se originan de eventos de multiplicación acelerada y acumulación masiva de células que producen un incremento significativo de su abundancia; algunos se consideran nocivos porque afectan los cuerpos de agua en los que se desarrollan, al modificar paulatinamente las características fisicoquímicas del sistema, impactando directamente en la biota residente, principalmente en los consumidores del ecosistema (Anderson *et al.*, 2002).

Un florecimiento algal nocivo (FAN), se caracteriza por presentar un incremento masivo en la biomasa de células fitoplanctónicas. Cada floración puede estar formada por una o pocas especies. Estas especies nocivas se caracterizan por utilizar el oxígeno disponible y algunos nutrientes indispensables para otros organismos, afectando directamente en el desarrollo de la biota acuática. La importancia del estudio de los FANs, radica en que algunos organismos son capaces de producir toxinas; de esta manera, un incremento en la biomasa celular y la presencia de cianotoxinas, representa una problemática para otros organismos en el medio acuático y para el ser humano (Smayda, 1997).

En el mundo el registro de los FANs en ambientes epicontinentales suma por lo menos 46 especies, los cuales han evidenciado efectos tóxicos; principalmente en algunos *taxa* de cianobacterias, por ejemplo: *Microcystis*, *Planktothrix*,

*Synechococcus*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, entre otras. Se ha descrito una serie de metabolitos (cianotoxinas) que poseen efectos nocivos en la salud humana tanto agudos como crónicos, produciendo muertes masivas de peces y ganado. Las cianotoxinas incluyen familias de las microcistinas, cilindrospermopsina, anatoxina y saxitoxina, entre otras (Leflaive & Ten-Hage 2007).

Particularmente para *Cylindrospermopsis raciborskii*, originalmente descrita en ambientes tropicales (Padisák & Reynolds, 1997) ha captado la atención de la comunidad científica debido al aumento de registros en zonas templadas y tropicales del mundo (Sinha *et al.*, 2012; Piccini *et al.*, 2013). La capacidad de *C. raciborskii* de producir toxinas es variable a lo largo del continente americano. Existen registros de *C. raciborskii* en el Norte y Sur del continente, latitudinalmente abarca desde Canadá hasta Uruguay. En Norteamérica se ha registrado algunos casos de florecimientos de esta especie en lagos, ríos y embalses de Estados Unidos, sin embargo, en estos aislamientos no se ha detectado producción de toxinas por la especie; por otro lado, existen un gran número de registros de *C. raciborskii* donde se han evidenciado la producción de toxinas de tipo saxitoxinas y sus análogos, únicamente para aislamientos sudamericanos, en particular, para Uruguay, Argentina y Brasil (Holland *et al.* 2006; Sant' Anna *et al.*, 2008).

Actualmente en México, se ha evidenciado un incremento de producciones de FANs, por este motivo, se han realizado listados de las especies involucrados en estos florecimientos de origen marino (caracterizadas por sus funciones tóxicas/nocivas y ficotoxinas registradas), principalmente en algunas regiones de la costa Pacífica como del Golfo de México y el Caribe (Band-Schmidt *et al.*, 2011). Dada la problemática ambiental generada se ha propuesto la implementación de estrategias o programas de monitoreo para el manejo adecuado de florecimientos nocivos, que resulten en el proceso de mitigar los eventos, y reestablecer el equilibrio de las zonas afectadas por estos microorganismos (Sepúlveda *et al.*, 2008).

Por estas razones es importante conocer las comunidades de fitoplancton que proliferan en la laguna de Cajititlán, considerado con base a las condiciones organolépticas como un ambiente eutrófico, además de los registros de hepatoenteritis y hallazgos de muerte masiva de peces registrados por la secretaria del Medio Ambiente local (Gob. de Guadalajara, 2010). En este estudio se presenta por primera vez la estimación de la composición fitoplanctónica del FAN de la Laguna de Cajititlán-Jalisco México durante las épocas de sequía y lluvia del periodo 2016-2017.

### ***OBJETIVO General***

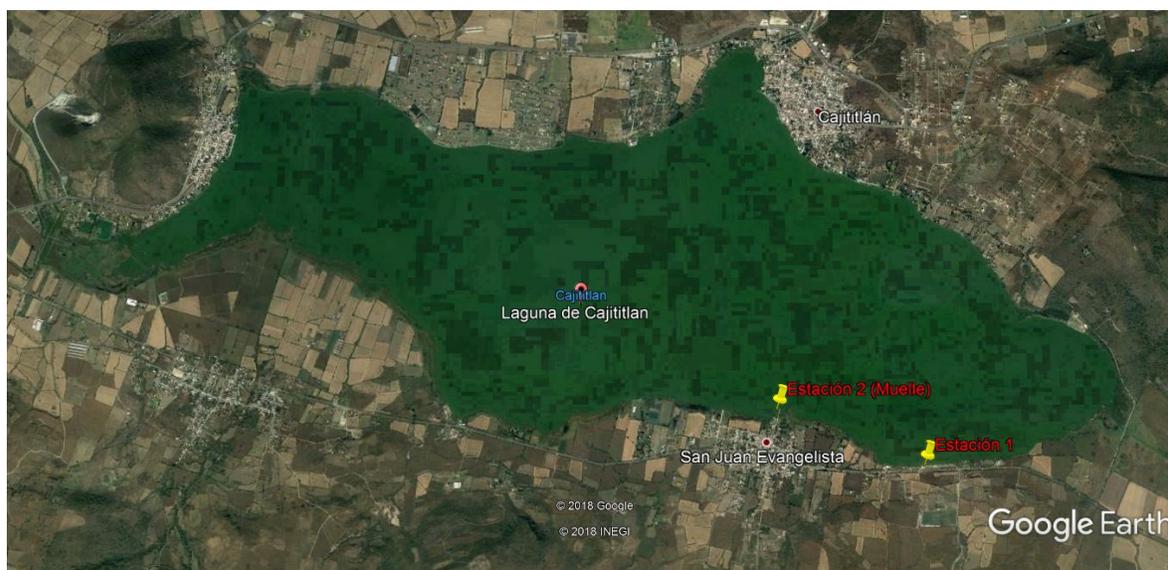
Interpretar con base en la composición fitoplanctónica el estado trófico de la laguna de Cajititlán, Jalisco.

### ***Objetivos Particulares***

1. Enunciar los *taxa* de la composición de fitoplancton, para reconocer aquellos que generan una posible toxicidad.
2. Caracterizar a la comunidad fitoplanctónica para reconocer aquellas especies abundantes y que formen el florecimiento algal nocivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Área de estudio.* La Laguna de Cajititlán (Fig. 1), se localiza en el Municipio Tlajomulco de Zúñiga Jalisco México; entre las coordenadas geográficas Latitud Norte 20° 24'08'' Longitud Oeste 103° 18'02'', a una altura de 1550 msnm (INEGI, 2009).



**Figura 1.** Imagen satelital de la Laguna de Cajititlán

El acuífero Cajititlán, es un ambiente de agua dulce eutrófico, se localiza en la porción centro de Jalisco, a 25 Km de la ciudad de Guadalajara. La población total de Cajititlán es de 4903 personas (SEMARNAT, 2014).

El municipio de Tlajomulco de Zúñiga se caracteriza por contar con el segundo embalse natural más importante para el Estado de Jalisco, la Laguna de Cajititlán abarca una longitud de 7.5 km, un ancho promedio de 2.0 km y una profundidad media de 2.5 m, la capacidad aproximada de almacenamiento es de 54. 400 millones de m<sup>3</sup> en un área de 1700 Ha (CONAGUA, 2007),

El clima según la clasificación climática de Köppen es clima semicálido (clima de transición entre el clima cálido y el templado) con temperatura media anual por encima de los 18 °C. La temperatura del mes más frío oscila entre -3 a 10 °C. La temperatura máxima entre 28 a 36 °C. El porcentaje de lluvia invernal es menor al 10% de la precipitación total anual (Chávez, 2009).

La laguna de Cajititlán forma parte de los humedales de importancia en México, sin embargo, actualmente se encuentra en espera de decreto de Sitio RAMSAR, áreas que han sido reconocidas internacionalmente al asignarles una designación de acuerdo a los criterios establecidos por la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas” (Convención Ramsar).

La laguna es una fuente de ingresos para los pobladores ribereños, ya que de ella depende además del turismo y la recreación, la actividad pesquera que agrupa a cuatro organizaciones que suman en total 250 familias, las cuales cuentan con 121 embarcaciones, desarrollando esta actividad en un área de 218 Km<sup>2</sup> y la demanda de 18 m<sup>3</sup> para riego agrícola. Por tal motivo, los habitantes de estas localidades, desde 2007, han solicitado a las autoridades correspondientes el saneamiento de la cuenca hidrológica (H. Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga, 2007).

Además de su importancia como recurso hídrico, la laguna de Cajititlán representa parte de su cultura y un símbolo de identidad, ya que año con año, se celebran distintas fiestas patronales. Dichas tradiciones han prevalecido desde la fundación de la localidad en 1532 hasta la actualidad.

### **Trabajo de campo y laboratorio**

*Colecta del material biológico.* Para la obtención de las muestras biológicas se realizaron tres campañas de colecta, durante febrero 2016, junio 2016 y febrero 2017, las cuales abarcaron tanto la época de sequía como de lluvia. Se colectó con una red fitoplanctónica de 20µm y se fijaron las muestras pertenecientes al periodo de febrero 2017 con formol al 4%. Las zonas de muestreo, de la laguna de Cajititlán Jalisco, México se tomaron de acuerdo a las siguientes coordenadas (Cuadro 2; figura 1)

Cuadro 2. Coordenadas geográficas de cada estación de muestreo para los tres periodos.

	Coordenadas		
	LN	LO	Altitud
Estación 1	20° 24' 08"	103° 18' 02"	1550
Estación 2	20° 24' 24"	103° 18' 47"	1560

*Determinación taxonómica.* Se realizó tomando alícuotas del fitoplancton de cada muestra colectada; mediante la observación con microscopio óptico Motic BA310 con un aumento de 100x, para la observación de algunas estructuras celulares se utilizaron colorantes como azul de cresil y lugol (Kumar & Singh, 1979). Con base en los caracteres taxonómicos y las siguientes obras Smith (1950), James & Hicks (1978); Bourrelly (1972 y 1985); Prescott (1973), Krammer (1988); Parra & Bicudo (1996), John & Tsarenko (2002) y Wher & Sheath (2003), Tarenko & John (2011) fueron determinados los *taxa* correspondientes. Adicionalmente fue consultada la base de datos de diatomeas (<https://diatoms.org/>). Finalmente, todos los epítetos se corroboraron en Guiry & Guiry (2018).

*Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).* Para las diatomeas, se empleó la técnica de limpieza de frústulas (Hasle & Fryxell, 1970). Previo al tratamiento correspondiente y bañadas en oro (Ferrario *et al.*, 1995). Con ellas se observaron en el microscopio electrónico de barrido marca JEOL, modelo JSM-6380LV, ubicado en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Unidad de Biotecnología y Prototipos UBIPRO, FESI.

*Condiciones limnológicas.* Con la finalidad de describir las condiciones limnológicas donde se desarrolla el fitoplancton, se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos tomadas in situ: Temperatura con un termómetro de mercurio marca (Brannan), el pH se registró con un potenciómetro (Conductronic), las coordenadas geográficas con GPS (Maguellan, Meridian), oxígeno disuelto por la técnica de Winkler (APHA, 1989).

*Cuantificación y Análisis estadísticos.* Para la colecta del 2017, la cuantificación fue realizada por la técnica de microtransectos (Villafañé & Reid, 1995). Se utilizó la siguiente fórmula para establecer la densidad celular donde DC, es densidad celular, N es el promedio de células en 1mm<sup>2</sup>, 10<sup>4</sup> el factor de conversión de 0.1 µL a 1 ml (Guillard & Sieracki, 2005). Así mismo, se determinó el índice de diversidad específica (H'), se usó como análisis estadístico el índice de Shannon-Weaver (Shannon & Weaver, 1949).

$$DC=(N) (10^4)$$

*Estado trófico.* Para interpretar con base en la composición de fitoplancton el estado trófico de la Laguna; se basó en el sistema de saprobios de Sládecek (1973) donde se utilizó la información ficoflorística a partir de los *taxa* determinados, y se consideró la valencia saprobica indicada en Sládecek *et al.* (1981). Posteriormente, fue aplicada la fórmula de Pantle y Buck en Ortega *et al.* (1994).

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} .$$

Donde:

Si: valencia sapróbica de cada especie

H: abundancia relativa de cada especie

## RESULTADOS

### Colecta y determinación taxonómica

Para la Laguna de Cajititlán se determinaron un total de 44 especies correspondientes a 35 géneros. De las cuales Cyanoprokaryota y Chlorophyta están representadas por 15 y 18 especies respectivamente; Bacillariophyta con 10 especies y Charophyta con 1 especie.

Las muestras se analizaron de acuerdo a tres periodos por temporada, en los que se registró una mayor diversidad de especies en la colecta correspondiente al mes de junio 2016 con 33 especies; para la colecta de febrero 2016 y 2017, se obtuvieron un total de 21 y 22 especies respectivamente. De las 44 especies determinadas en el estudio, seis fueron taxa recurrentes en las tres exploraciones realizadas *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Merismopedia convoluta*, *Microcystis aeruginosa*, *Scenedesmus obtusus*, *Tetraedron minimum* y *Hantzschia sp* (Cuadro 3).

Algunos taxa determinados corresponden a registros de organismos formadores de FANs; estos fueron *Anabaena oscillarioides*, *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya majuscula*, *Oscillatoria tenuis*, *Planktothrix agardhii* y *Pseudanabaena catenata*. Además, se observó la dominancia de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cuadro 3, filas sombreadas). Cantidad de organismos de cada taxa por unidad de volumen mostrada en el Cuadro 5.

Cuadro 3. Ficoflora del área de estudio, con base en la clasificación propuesta por Guiry & Guiry (2018). (\*) Especies presentes en los 3 periodos de colecta, Filas sombreadas representan Taxa formadores de FANs registrados en este estudio para la Laguna de Cajititlán Jalisco.

Taxa	Periodo de colecta		
	2016	2017	
	febrero	junio	febrero
<b>Cyanoprokaryota</b>			
<i>Anabaena oscillarioides</i>		X	X
<i>Calothrix fusca</i>	X	X	
<i>Chroococcus minutus</i>		X	X
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> *	X	X	X
<i>Jaaginema gracile</i>		X	X
<i>Leptolyngbya fragilis</i>		X	
<i>Leptolyngbya sp</i>			X
<i>Limnothrix mirabilis</i>		X	X
<i>Lyngbya majuscula</i>		X	
<i>Merismopedia convoluta</i> *	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i> *	X	X	X
<i>Oscillatoria tenuis</i>	X		

<i>Planktothrix agardhii</i>	X	X	
<i>Pseudanabaena catenata</i>		X	X
<i>Spirulina nordstedtii</i>	X	X	
<i>Synechococcus elongatus</i>			X
<b>Chlorophyta (Sphaeropleales)</b>			
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>			X
<i>Chlorella vulgaris</i>		X	
<i>Desmodesmus abundans</i>		X	X
<i>D. protuberans</i>		X	
<i>Kirchneriella lunaris</i>	X	X	
<i>K. obesa</i>	X	X	
<i>Monoraphidium contortum</i>		X	X
<i>M. minutum</i>		X	
<i>M. mirabile</i>		X	
<i>M. irregulare</i>			X
<i>Monoraphidium sp</i>		X	X
<i>Monactinus simplex</i>	X		X
<i>Scenedesmus ellipticus</i>		X	
<i>S. obtusus*</i>	X	X	X
<i>Tetraedron mínimum*</i>	X	X	X
<i>Tetradesmus dimorphus</i>	X	X	
<i>Pseudodidymocystis planctonica</i>		X	
<b>Charophyta</b>			
<i>Closterium aciculare</i>		X	X
<b>Bacillariophyta</b>			
<i>Aulacoseira granulata</i>			
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	X		X
<i>Fragilaria tenera</i>	X	X	
<i>Gomphonema parvulum</i>			
<i>Hantzschia abundans*</i>	X	X	X
<i>Navicula sp</i>	X	X	
<i>Nitzschia frustulum</i>	X	X	
<i>N. palea</i>	X		
<i>Synedra commutata</i>	X		X
<i>Ulna constricta</i>	X	X	

### Condiciones limnológicas

En el cuadro 4, se indican los valores de los parámetros físico-químicos registrados en la laguna, donde se confirma por su temperatura es un ambiente tropical y alcalino, con una ligera cantidad de sales y bien oxigenado.

Cuadro 4. Características fisicoquímicas en las estaciones seleccionadas de la laguna de Cajititlán, tomadas durante el periodo de junio 2016.

Parámetros fisicoquímicos	Observaciones
<b>pH</b>	8.9
<b>Temperatura °C del agua</b>	25.8
<b>Salinidad UPS</b>	0.41
<b>Porcentaje de Saturación de O<sub>2</sub></b>	50
<b>O<sub>2</sub> mg/l<sup>-1</sup></b>	4

### Cuantificación y Análisis estadístico

Se observó que en general los *taxa* de fitoplancton del área de estudio, son indicadores de ambientes eutróficos e hipertróficos; ambiente generado por el aporte constante de nutrientes. En el cuadro 5, se registra la cuantificación de cada taxón determinado únicamente para la temporada de febrero 2017 (Temporada de secas). Se observó que la laguna para la temporada de sequía presenta una densidad celular de  $1 \times 10^6$  organismos/ml.

La ficoflora estudiada para la laguna de Cajititlán registró mayor abundancia para *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Hantzchia sp* y *Scenedesmus obtusus*, De ellos *C. raciborskii* indicó la mayor abundancia con  $9 \times 10^5$  organismos/ml.

Así mismo, de los 22 *taxa* para la temporada el cálculo de la abundancia relativa de cada especie; para calcular el índice de diversidad Shannon- Weaver el cual resulta de 0.95, información que indica baja diversidad del fitoplancton (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuantificación y abundancia para cada *taxa* registrados para la temporada de febrero 2017 (Temporada de sequía).

<b>Taxa</b>	<b>Organismos/ml</b>	<b>Abundancia relativa</b>
<i>Anabaena oscillarioides</i>	5000	0.004672897
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	6250	0.005841121
<i>Chroococcus minutus</i>	5000	0.004672897
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	6250	0.005841121
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	936250	0.875
<i>Hantzschia abundans</i>	11250	0.010514019
<i>Jaaginema gracile</i>	6250	4.6729000
<i>Leptolyngbya fragilis</i>	7500	0.007009346
<i>Limnothrix mirabilis</i>	10000	0.009345794
<i>Merismopedia convoluta</i>	6250	0.005841121
<i>Microcystis aeruginosa</i>	7500	0.007009346
<i>Monactinus simplex</i>	1250	0.001168224
<i>Monoraphidium contortum</i>	7500	0.007009346
<i>Monoraphidium mirabile</i>	3750	0.003504673
<i>Oscillatoria tenuis</i>	3750	0.003504673
<i>Planktothrix agardhii</i>	4500	0.004187994
<i>Pseudanabaena catenata</i>	8750	0.00817757
<i>Scenedesmus obtusus</i>	11250	8.41121000
<i>Spirulina nordstedtii</i>	8750	0.00817757
<i>Synedra communata</i>	7500	0.007009346
<i>Tetradesmus lagerheimii</i>	5000	0.004672897
<i>Tetraedron mínimum</i>	5000	0.004672897
<b>Total</b>	<b>1074500</b>	
<b>Densidad celular</b>	<b>1 x10<sup>6</sup></b>	
<b>Índice de Diversidad Shannon Weaver</b>	<b>0.95</b>	

### *Estado trófico*

Con base en la composición de fitoplancton registrada, se realizó una interpretación del estado trófico de la Laguna de Cajititlán para la temporada de secas correspondiente a febrero 2017, basado en el sistema de saprobios de Sládecek (1973). Se estableció el estado trófico para el acuífero, el cual indica que se trata de un ambiente ubicado en un nivel de Limnosaprobiedad con valores de 2.26

considerado en un subnivel de betamesosaprobiedad, lo cual indica que al área de estudio presenta aguas medianamente contaminadas, según la escala de referencia considerada (Cuadro 6).

En general para este estudio, el análisis Ficológico durante los periodos de colecta 2016-2017 (sequía y lluvias), exhibe la riqueza específica más alta de *Cylindrospermopsis raciborskii* con  $9 \times 10^5$  cél/ml y por debajo de ella la comunidad fitoplanctónica de Chlorophyceae (Chlorophyta-Sphaeropleales), se registró con poblaciones de mayor abundancia, entre ellas fueron algunas especies de los géneros *Scenedesmus*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium* y *Chlorella*.

Cuadro 6. Análisis del índice de saprobiedad del área de estudio, indicando el índice de saprobiedad y la abundancia de cada una de las especies determinadas.

<b>Taxa</b>	<b>Si</b>	<b>Sixh</b>	<b>hi</b>
<i>Anabaena oscillarioides</i>	2.25	11250	5000
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	3.15	19687.5	6250
<i>Chroococcus minutus</i>	1	5000	5000
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2.6	16250	6250
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	2.25	2106562.5	936250
<i>Hantzschia abundans</i>	2.9	32625	11250
<i>Jaaginema gracile</i>	3	18750	6250
<i>Leptolyngbya fragilis</i>	1.54	11550	7500
<i>Limnothrix mirabilis</i>	3	30000	10000
<i>Merismopedia convoluta</i>	2.45	15312.5	6250
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1	7500	7500
<i>Monactinus simplex</i>	1.7	2125	1250
<i>Monoraphidium contortum</i>	2	15000	7500
<i>Monoraphidium mirabile</i>	2.35	8812.5	3750
<i>Oscillatoria tenuis</i>	2.85	10687.5	3750
<i>Planktothrix agardhii</i>	2.2	9900	4500
<i>Pseudanabaena catenata</i>	3.6	31500	8750
<i>Scenedesmus obtusus</i>	2.04	22950	11250
<i>Spirulina nordstedtii</i>	2.6	22750	8750
<i>Synedra commutata</i>	1.78	13350	7500
<i>Tetradesmus lagerheimii</i>	2.2	11000	5000
<i>Tetraedron mínimum</i>	2.15	10750	5000
<b>Total</b>		<b>2433312.5</b>	<b>1074500</b>
<b>Índice de Saprobiedad</b>			<b>2.26</b>

## DISCUSIÓN

*Composición fitoplanctónica.* Las lagunas son consideradas como uno de los ambientes que albergan un mayor número de especies de fitoplancton en México (Aguilar, 2003) para el fitoplancton de la Laguna de Cajititlán se registraron 44 especies correspondientes a 35 géneros, lo que representa baja diversidad, si lo comparamos con el Lago de Chapala que, a reserva de la proporción de tamaño, se ubica a aproximadamente 30km, forma parte de la cuenca y contiene 116 especies de fitoplancton.

Así mismo conforma el 4.3% de las 1,025 especies de fitoplancton reportadas para México (Oliva-Martínez *et al.*, 2014). Esto coincide con la dinámica de un ecosistema eutrófico, donde encontraremos alta abundancia de pocas especies y menor diversidad en el ambiente.

Según Oliva-Martínez *et al.* (2014), indican las principales clases taxonómicas que conforman el fitoplancton del país, donde, la más abundante corresponde a Bacillariophyceae, seguida de Cyanoprokaryota, Chlorophyceae y Zygnematophyceae. Comparado con el fitoplancton registrado en el área de estudio, se analizaron seis clases, en el cual se registró una mayor diversidad de especies en Cyanoprokaryota y Chlorophyta con 15 y 18 especies respectivamente; Bacillariophyta con 10 especies y Charophyta con 1 especie. Lo cual corresponde a la tendencia general de los ecosistemas acuáticos eutróficos, cuando se ven dominados por Cyanoprokaryota y Chlorophyta en particular del orden Sphaeropleales (Martínez-Silva, 2015).

Un estudio realizado en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara por Lujan *et al.* (2014) es un antecedente sobre el fitoplancton para la laguna, donde realizan un listado de 28 *taxa* en Cajititlán identificados hasta nivel de género (Cuadro 7).

Lujan *et al.*, (2014) indican 28 géneros de fitoplancton para la laguna, de ellos 10 *taxa* coinciden con los resultados del presente informe. En contraste 18 géneros no fueron determinados durante el periodo 2016-2017, fueron *Gonium*, *Pandorina*, *Euglena*, *Botryococcus*, entre otros. Esto puede indicar que después de cuatro años la dinámica de las poblaciones del fitoplancton se ha visto modificadas por el proceso de eutroficación y que implica cambios de la composición del fitoplancton, como se ha observado en los lagos Términos en Campeche y Carpintero en Tampico (Muciño-Márquez, 2011 & Ortiz, 1997)

Cuadro 7. Registro de los géneros correspondientes al fitoplancton de la Laguna de Cajititlán Jalisco citados por Lujan *et. al.* (2014). (\*) Géneros que corresponden a los registrados en esta investigación.

<i>Anabaena</i> *	<i>Navicula</i> *
<i>Botryococcus</i>	<i>Oedogonium</i>
<i>Centrtractus</i>	<i>Ophiocytium</i>
<i>Charasiopsis</i>	<i>Oscillatoria</i> *
<i>Chlamydomonas</i> *	<i>Pandorina</i>
<i>Closterium</i> *	<i>Pediastrum</i> *
<i>Coelastrum</i>	<i>Planktothrix</i> *
<i>Cymbella</i>	<i>Pleurococcus</i>
<i>Diatoma</i>	<i>Scenedesmus</i> *
<i>Euglena</i>	<i>Schroederia</i>
<i>Eunotia</i>	<i>Spirogyra</i>
<i>Fragilaria</i> *	<i>Synedra</i> *
<i>Gonium</i>	<i>Tabelaria</i>
<i>Gonyostomum</i>	<i>Ulotrix</i>

Según el análisis por temporada, se obtuvo una mayor diversidad de especies en la colecta correspondiente al mes de junio 2016 (caracterizado por el inicio de temporada de lluvias) el cual registró una presencia total de 33 especies; para la colecta de febrero (correspondiente a la temporada de secas) 2016 y 2017, se obtuvieron 21 y 22 especies respectivamente. Esto se atribuye a que, en la temporada de lluvias, se producen corrientes que arrastran desechos provenientes de granjas, materia orgánica y agroquímicos hacia la laguna (IITAAC, 2017), de esta manera, todos esos contaminantes y la acumulación masiva de materia orgánica, llegan al embalse. Así como el movimiento de la columna de agua que permite un flujo de los sedimentos del mismo y posible germinación de especie en estado de latencia (Round, 1995). Las aguas crudas y los nutrientes arrastrados, se distribuyen a lo largo de toda la Laguna, produciendo de esta manera, una proliferación y crecimiento algal en el cuerpo de agua.

*Taxa formadores de FANs.* Según los análisis realizados en diferentes regiones del país se han elaborado listados de las especies formadoras de FANs en ambientes dulceacuícolas, entre los principales, se encuentran las Cyanoprokaryota: *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaenopsis*, *Pseudanabaena* y *Phormidium*. *Taxa* de importancia ecológica porque producen microcistinas; como ejemplo conocemos tres lagos urbanos eutróficos ubicados en la Ciudad de México que fueron investigados por Pineda-Mendoza *et al.*, (2011). También, para ambientes marinos *Anabaena sp*, fue registrada en el Sur del Pacífico mexicano (Varona-Cordero &

Gutiérrez 2006) *Lyngbya sp* registrada en las costas de Chiapas y Oaxaca (Torres-Ariño & Mora-Heredia, 2010). Se registra por primera vez el florecimiento de *Cylindrospermopsis raciborskii* en México. Woloszynka (1912) indicó que es una especie tropical citada por primera vez en Java, Indonesia; sin embargo, en otros lugares del mundo se ha evaluado por ser un organismo formador de florecimientos y productor de saxitoxinas y citotoxinas.

Asociada a la abundancia de *C. raciborskii* también en la laguna de Cajititlán se encontraron: *Anabaena oscillarioides*, *Lyngbya majuscula*, *Microcystis aeuroginosa*, *Oscillatoria tenuis*, *Planktothrix agardhii* y *Pseudanabaena catenata* especies formadoras de FANs y de las cuales son productoras de toxinas como la microcistina que pueden ocasionar contingencias ambientales en los sistemas acuáticos de referencia (Pineda et al., 2011); y que por lo tanto deberá de hacerse un seguimiento de este ecosistema para resguardar posibles fuentes de contaminación y riesgos de salud pública para los lugareños.

*Estado trófico.* Con base en la ficoflora registrada en el área de estudio, se observó que en general los *taxa* son indicadores de ambientes eutróficos e hipertróficos; ambiente generado por el aporte constante de nutrientes. La composición fitoplanctónica de la Laguna de Cajititlán es equivalente a la registrada en otros lagos eutróficos de la zona metropolitana de México, donde predomina las especies pertenecientes a las Chlorophyta y Chlorococcales (Campos-Trujillo et al., 2006). Así mismo, se ha registrado la abundancia de microorganismos específicos de ambientes eutróficos como: *Scenedesmus obtusus*, *Microcystis aeuroginosa* y *Hantzschia abundans* (Ibarra-Montoya et al., 2012; Siqueiros-Beltrones et al., 2013).

Se observó que la laguna se compone de aproximadamente de  $1 \times 10^6$  organismos/ml (periodo febrero 2017; temporada de secas), datos relativamente altos en relación a la cantidad de materia orgánica registrada en la zona para las temporadas de sequía, así mismo, se registró que los *taxa* con una mayor abundancia corresponden a *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Hantzschia sp* y *Scenedesmus obtusus*, donde el máximo este representado por *C. raciborskii* con un aproximado de  $9 \times 10^5$  organismos/ml. Datos que coinciden con investigaciones realizadas en las lagunas eutróficas de Tehuantepec, Oaxaca con valores de  $10$  a  $40 \times 10^5$  org/ml (Moreno-Ruiz et al., 2008).

La interpretación del estado trófico de la Laguna de Cajititlán mediada por la composición fitoplanctónica correspondiente a febrero 2017, basado en el sistema de saprobios de Sládeček (1973); indica que se trata de un ambiente ubicado en un nivel de Limnosaprobiedad con valores de 2.26 considerado en un subnivel de betamesosaprobiedad.

El análisis ficológico durante los periodos de colecta 2016-2017 (secas y lluvias), exhibe la riqueza específica más alta de la comunidad fitoplanctónica correspondiente al grupo de Chlorophyceae (Chlorophyta-Sphaeropleales), registrando la presencia de altas cantidades de microalgas verdes representadas por *Scenedesmus*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium* y *Chlorella*, por mencionar los más abundantes. Microorganismos que han sido estudiados por su relación en la remoción de sustancias orgánicas, así como nutrientes y metales pesados (Celis Hidalgo *et al.*, 1994), lo que sugiere, aplicaciones en el uso de microalgas para la depuración de este tipo de aguas (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Por mencionar un caso, el análisis realizado con *Chlorella pyreïnoidosa* y *Scenedesmus spp*, mostró una remoción de más del 80% de fósforo total y nitrógeno inorgánico. Esto significa que la presencia de la comunidad de microalgas pertenecientes a *Scenedesmus* y *Chlorella* favorece la remoción de los nutrientes, demostrando así la importancia en el pulimento de aguas residuales a través de la remoción de la carga orgánica presente en estas especies (Lau *et al.*, 1995).

### ***Descripción de las especies***

#### **Phyllum CYANOPROKARYOTA**

#### **Orden CHROOCOCCALES**

#### **Familia MICROCYSTACEAE**

#### ***Microcystis aeruginosa* Kützing (1846)**

Colonia microscópicas, esféricas, discoides o irregulares, con numerosas células sin envolturas mucilaginosas propias, distribuidas irregularmente, a veces densamente aglomeradas; con vaina incolora, generalmente homogéneo o difluente. Células esféricas o hemisféricas de 3-8 µm de diámetro con contenido homogéneo, azul verdoso, grisáceo o amarillento, con aerótopos (Fig. 2j).

**Notas:** Forma florecimientos nocivos y tóxicos. Las primeras hepatotoxinas identificadas como heptapéptidos cíclicos, procedían de *M. aeruginosa*.

Son toxinas peptídicas de bajo peso molecular que resultan ser hepatotóxicas en humanos; dan lugar a alteraciones gastrointestinales, reacciones alérgicas o irritación, y sintomatología similar a la de la neumonía. Es importante debido a su prevalencia en ambientes eutrofizados. Las formas vegetativas tienen la capacidad de producir vesículas de gas (aerótopos) que les permiten desplazarse a través de la columna de agua en busca de las condiciones de luz necesarias (Moreno *et al.*, 2003)

## Familia CHROOCOCCACEAE

### *Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli (1849)

Células raramente solitarias, usualmente forman colonias de 2-32 células comúnmente con mucílago de coloración azul verdoso brillante, amarillento, rosado o violeta, raramente con aerotopos. Células hemisféricas a irregulares, con contenido homogéneo o granular, a veces con varios gránulos prominentes, el diámetro de las células mayor a 3  $\mu\text{m}$ . Con vaina difluente, homogénea e incoloro o lamelado. (Fig. 2c).

## Orden NOSTOCALES

## Familia APHANIZOMENONACEAE

### *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (1972)

Filamentos solitarios, rectos, doblados o helicoidales, estrechadas hacia los extremos, sin vaina, de 2-3  $\mu\text{m}$  de ancho y son muy variables en longitud, que van desde 10 hasta 120  $\mu\text{m}$  de longitud. Tricomas isopolares, sin heterocito y heteropolares cuando está presente, subsimétricos, con o sin constricciones en paredes transversales. Las células cilíndricas o en forma de barril, generalmente más largas que anchas, azul-verde pálido, amarillento o verde oliva, con aerotopos; las células finales cónicas o romas o puntiagudas. Heterocitos terminales, ovalados, ovoides o cónicos, a veces ligeramente curvados y en forma de gota, sin unir; se desarrollan después de  $\pm$  división asimétrica de las células terminales. Los acinetos elipsoidales o cilíndricos, desarrollándose usualmente ligeramente distantes de los heterocitos, raramente adyacente a los heterocitos. (Fig. 2d)

**Notas:** Forma florecimientos nocivos y tóxicos. Originalmente descrito para ambientes tropicales. Presenta una amplia distribución para el continente americano, siendo las cepas aisladas de Sudamérica las más tóxicas principalmente en la región de Uruguay. Fue aislada una toxina denominada cilindrospermopsina (CYN), que es un alcaloide guanidínico combinado con un resto hidroximetiluracilo. Se ha evidenciado que produce severa hepatotoxicidad en diversos organismos, la CYN ejerce una acción citotóxica, ya que puede dañar gran cantidad de órganos como: el hígado, riñón y tracto gastrointestinal, además puede causar hemorragias, dermatitis y neumonía entre otras patologías (Fastner *et al.*, 2003). Además, pueden producir saxitoxinas, neurotoxicidad que radica en el bloqueo de los canales iónicos de sodio en la membrana celular del axón del nervio (van Apeldoorn *et al.*, 2007).

Además, también se ha observado que estas toxinas pueden bloquear los canales de calcio (afectando la coordinación y regulación de las vías de transducción de señales, incluyendo entre estas, la apoptosis y el ciclo celular). Tiene capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y es resistente a la depredación por el zooplancton (Su *et al.*, 2004).

### **Familia NOSTOCACEAE**

#### ***Anabaena oscillarioides* Bornet & Flahault (1886)**

Tricomas helicoidales, con 1.5-3.5 vueltas, de 60-120  $\mu\text{m}$  de diámetro. Células esféricas a elongadas, de 7-9 x 8-11  $\mu\text{m}$ , con aerotopos. Heterocitos esféricos, de tamaño similar al de las células vegetativas. Acinetos de ovalados a subcilíndricos, a veces de extremos cónicos, separados de los heterocitos. (Fig. 2a).

**Notas:** Forma florecimientos nocivos y tóxicos aislada de Australia, se caracteriza por sintetizar sustancias neurotóxicas como anatoxina-a, saxitoxina y hepatotoxinas como la microcistina, con grandes daños en el sistema nervioso, hígado e incluso la muerte de animales (Cirés-Gómez & Quesada de Corral, 2011).

### **Familia RIVULARIACEAE**

#### ***Calotrix fusca* Bornet & Flahault (1886)**

Filamentos heteropolares, diferenciados en la base (generalmente unidas al sustrato) y apicales, simples, solitarias o en pequeños grupos, separadas una de otra. Tricomas siempre con heterocitos basales, más o menos esféricos o semiesféricos, y ocasionalmente con heterocitos cilíndricos intercalares; al parte basal ensanchada, constreñida o no restringida en las paredes transversales, que termina por la parte apical en forma de pelo compuesta de células hialinas largas y estrechas (Fig.2b). (El registro de esta especie es una excepción al estudio fitoplanctónico ya que pertenece a organismos bentónicos).

## Orden OSCILLATORIALES

### Familia OSCILLATORIACEAE

#### *Lyngbya majuscula* Gomont (1892)

Filamentos gruesos, raramente solitarios, generalmente enmarañados en grupos libres de filamentos enrollados, generalmente macroscópicos, con vainas firmes, a veces en capas o estratificado y de color marrón, abierto en los extremos. Tricomas isopolares, recto o ligeramente ondulado, de 5.5-60  $\mu\text{m}$  de diámetro, uniseriales, compuesto de radios cilíndricos o discoides en forma de barril, no restringido o contraído en las paredes transversales, no atenuado no móvil o ligeramente móvil (Fig. 2h).

**Notas:** Actualmente se han reportado algunas especies del género *Lyngbya* como cepas productoras de las toxinas PSP (Intoxicación Paralizante por mariscos), además de la producción de Lyngbyatoxina-a que provoca un efecto de irritación en la piel y tracto gastrointestinal (Onodera *et al.*, 1997).

#### *Oscillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont (1892)

Filamento recto de 2.5-5  $\mu\text{m}$  de largo y 4-10  $\mu\text{m}$  de ancho, cuyo contenido celular granuloso. Gránulos en el citoplasma poco abundantes, muy dispersos y grandes. Gránulos en los septos ausentes. Sin constricciones en los septos. Ápice recto. Célula apical redondeada. Largo de las células: 3.0-5.5  $\mu\text{m}$ , tricoma móvil sin vaina (Fig 2k).

**Notas:** Forma florecimientos nocivos y tóxicos, con especies productoras de hepatotoxinas heptapéptidas cíclicas (microcistinas). Realizaron aislamientos a partir de cocodrilos de agua dulce en Sudáfrica (Meriluoto *et al.*, 1989).

### Familia MICROCOLEACEAE

#### *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (1988)

Filamentos solitarios, raramente en pequeños fascículos irregulares, más o menos lisos o ligeramente ondulados de 4  $\mu\text{m}$  de largo, 3.5-10  $\mu\text{m}$  de ancho; isopolares, por lo general crece sin vaina. Tricomas con células cilíndricas, ligeramente constreñidas en las paredes transversales, a veces ligeramente ahusadas hasta los extremos; ocasionalmente con un ligero movimiento (temblor). Células ligeramente

más cortas que anchas isodiamétricas. Falsa ramificación, heterocitos y acinetos ausentes.

**Notas:** Forma florecimientos nocivos y tóxicos, puede sintetizar hepatotoxinas de tipo microcistinas, la cual se ha evidenciado cambia hacia una variante más tóxica al aumentar la intensidad de la luz (Tonk *et al.*, 2005).

## **Orden PSEUDANABAENALES**

### **Familia PSEUDANABAENACEAE**

#### ***Jaaginema gracile*** (Böcher) Anagnostidis & Komárek (1988)

Filamentos inmóviles solitarios o agrupados; con tricomas sin vainas, cilíndricos, isopolares de 0.5-3.0  $\mu\text{m}$  de diámetro, uniseriados no atenuados en el ápice, ligeramente contraídos en las paredes transversales, siempre inmóviles. Células cilíndricas, más largas que anchas, sin aerotopos, a veces con gránulos solitarios, sin caliptra (Fig. 2e).

#### ***Limnothrix mirabilis*** (Böcher) Anagnostidis (2001)

Filamentos solitarios, rectos o ligeramente curvados o de forma irregular helicoidal en espiral, isopolares, 1-6  $\mu\text{m}$  de diámetro. Sin vaina o con vaina facultativa muy fina, incolora. Tricomas cilíndricos, compuestos de células que son isodiamétricas o más largas que anchas (a veces varias veces), no restringidas o ligeramente contraídas en las paredes transversales, con paredes muy delgadas, sin movilidad muy reducida, generalmente con células apicales cilíndricas, sin caliptra (Fig. 2g).

#### ***Pseudanabaena catenata*** Lauterborn (1915)

Tricomas rectos, células de 2-2.5  $\mu\text{m}$  de ancho y 2.5-4.5  $\mu\text{m}$  de largo; largo del tricoma entre los 20-190  $\mu\text{m}$ ., solitarios o formando tapetes muy finos, rectos o ligeramente ondulados o arqueados, compuestos de células cilíndricas, generalmente con leves constricciones; en los tricomas jóvenes las paredes son delgadas y poco claras, sin vainas firmes, a veces con vainas mucilaginosos finos, incoloros, difusos y estrechos; motilidad indistinta y facultativa (Fig. 2l).

**Notas:** Produce hepatotoxinas y forma florecimientos (Anagnostidis y Komarek, 1985).

## Orden SPIRULINALES

### Familia SPIRULINACEAE

#### *Spirulina nordstedtii* Gomnot (1892)

Tricomas helicoidales isopolares, de 2.4 a 2.7 de diámetro 0.5-3 µm de ancho uniserial de coloración verde olivo; helicoidal, relación de 2-2.5 µm entre cada espiral (Fig. 2m).

## Orden SYNECHOCOCCALES

### Familia LEPTOLYNGBYACEAE

#### *Leptolyngbya fragilis* (Gomont) Anagnostidis K. & Komárek (1988)

Talos que forman tapetes; constituidos por tricomas de 1.2-2.3 µm de ancho, con vainas, constreñidos en los septos y atenuados hacia los extremos de coloración amarillo-café o azul-verde. Células generalmente isodiamétricas, pero pueden llegar a ser hasta dos veces más largas que anchas de 1.2-3 µm de largo. Células apicales cónicas.

#### *Leptolyngbya sp* Anagnostidis & Komárek (1988)

Filamentos raramente solitarios, flotantes o ± adheridas al sustrato. Tricomas de 0.5 a 3.0 µm de ancho, pueden ser móviles. Células cilíndricas, isodiamétricas, más largas o cortas que anchas, con tilacoides periféricos, usualmente con contenido homogéneo (Fig. 2f).

### Familia MERISMOPEDIACEAE

#### *Merismopedia convoluta* Brébisson ex Kützing (1849)

Colonia plana que presenta una vaina hialina con células hemisféricas de más de 4 µm de diámetro o elongadas a 4-5 x 5-8 µm. Con un vaina delgada con pliegues y convoluta, de coloración verde a amarilla (Fig. 2i).

## Familia SYNECHOCOCCACEAE

### *Synechococcus elongatus* Nägeli (1849)

Células solitarias o agrupadas en grupos microscópicos, irregulares, pero que no forman colonias mucilaginosas; ovaladas o cilíndricas, algunas veces más largas que anchas, cilíndricas, de 1.5 hasta más de 20  $\mu\text{m}$  de largo y de 0.4-6 (11)  $\mu\text{m}$  de ancho; en ocasiones en series cortas de formaciones pseudofilamentosas con 2-10 células. Mucilago muy fino, incoloro, homogéneo, difluente, alrededor de células individuales. (Fig. 2n).

## Phylum CHLOROPHYTA

### Orden CHLAMYNOMONADALES

## Familia CHLOROCOCCACEAE

### *Tetraedron minimum* (A.Braun) Hansgirg (1888)

Células solitarias de 6-13  $\mu\text{m}$  de ancho, de 4 lados, planas y con forma de cojín, los márgenes de las células cóncavas con cada esquina redondeada que termina en un engrosamiento de la pared en forma de papila; plasto parietal con varios pirenoides (Fig. 3l).

### Orden CHLORELLALES

## Familia OOCYSTACEAE

### *Chlorella vulgaris* Beyerinck (1890).

Células esféricas, con un plasto parietal, acopados o a veces lobulados; células elipsoidales u ovoides de 4 a 8  $\mu\text{m}$  de diámetro, esféricas, aisladas o formando agregados irregulares laxos medidas de 2 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. Pared celular delgada y lisa (Fig. 3a). Hábitat: en ambientes eutróficos en Cuba (Comas 1996: 112).

## Orden SPHAEROPLEALES

### Familia HYDRODICTYACEAE

#### *Monactinus simplex* (Meyen) Corda

Cenobios planos de 4 a 128 células, aproximadamente trapezoidales formando series concéntricas, las del anillo marginal con el extremo distal aproximadamente cilíndricoalargado. Tamaño aproximado de 13-16µm de largo y 7-9µm de ancho. Las células marginales tienen un lóbulo alargado que forma un triángulo y las células centrales se encuentran unidas dejando huecos entre ellas. Pared celular muy finamente punteada. Cloroplasto parietal con un pirenoide y ornamentada tipo convexas (Fig. 3h).

### Familia SELENASTRECEAE

#### *Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová (1969)

Unicelulares no envueltas por un mucilago, de forma lunular, sigmoide o espiralada, de extremos atenuados o redondeados, de 4-8 largo x 1,5-2,5 µm ancho. Cloroplasto parietal sin pirenoide, pared celular lisa (Fig. 3e)

#### *M. irregulare* (G.M.Smith) Komárková-Legnerová (1969)

Células rectas a semilunas a sigmoideas o helicoidalmente retorcidas, a menudo con extremos alargados, de 2-182 de largo x 1-8 µm de ancho. La pared celular lisas. Uninucleadas; con un cloroplasto simple y parietal; con o sin pirenoide (Fig. 3g).

#### *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius (1894).

Colonial de 4-16 células dispersas en una envoltura mucilaginoso. Células lunulares o sigmoides, de 3-8 ancho x 6-15 µm largo, con cloroplasto parietal con pirenoide inconspicuo. Forma de v o u en los ápices de la célula. (Comas 1996). (Fig. 3c).

***K. obesa*** (West) West & West (1894)

Colonias dentro de una matriz gelatinosa hialina de 5-6 µm de diámetro; ampliamente en forma de media luna ambos extremos redondeados, 6-16 µm de largo, 3-8 µm de ancho. Forma de v en los ápices de la célula. (Fig. 3d).

## **Familia SCENEDESMACEAE**

***Desmodesmus abundans*** (Kirchner) Hegewald (2000)

Cenobios de 2-4 células dispuestas linealmente en una hilera; células de 9-20 µm largo x 3-5 ancho µm, de forma ovoide o elipsoidal; células externas un poco arqueadas con sus polos orientados hacia afuera del cenobio, con espinas largas y curvas en ambos extremos y espinas cortas en medio de la cara externa; las células internas tienen una espina corta en ambos extremos. (Fig. 3b).

***D. protuberans*** (Fritsch & Rich) Hegewald (2000)

Cenobio de 4-16 células unidas linealmente o en zigzag de de 6-8 x 12-16 µm; células en forma elíptica o de huso o media luna; células terminales con espinas; la pared celular generalmente lisa y en ocasiones granulada.

***Scenedesmus ellipticus*** Corda (1835)

Cenobios de 4-8-16 células, de 9,5-18 x 3,5-8,4 µm, a menudo algo arqueadas, en una hilera y unidas por  $\frac{3}{4}$  partes de su longitud. Células elipsoidales a cilíndricas, de extremos redondeados; sin espinas, de pared un poco engrosada y granular. A veces las células de los extremos son más pequeñas. (Fig. 3i).

***S. obtusus*** Meyen (1829)

Cenobia de dos hileras de 4 a 8 células claramente alternas que se mantienen en contacto a lo largo de una corta distancia (hasta un tercio de longitud), en la parte subapical plana a ligeramente curva, generalmente rodeada por una envoltura mucilaginoso, células de 3-13 µm de ancho, 7 -21 µm de largo, ovals a elipsoidales, raramente ovoides, con ápices redondeados y generalmente convexos en el costado externo; sin espinas (Fig. 3j).

***Tetradesmus dimorphus*** (Turpin) Wynne & Hallan (2016)

Células fusiformes a esféricas en la vista de la superficie con un espacio pequeño entre las células. Células 8-32 largo x 3-13.5 ancho  $\mu\text{m}$ , alargadas perpendiculares a la superficie, cenobia con 4 células paralelas y unidas a lo largo de las paredes laterales a otras dos, sin una envoltura mucilaginosa. En la vista lateral, las células semilunas a dobladas, cilíndricas, con extremos puntiagudos y romos curvándose lejos del cenobio. Pared celular lisa. Células uninucleadas; cloroplasto parietal con un solo pirenoide (Fig. 3m).

***Tetradesmus lagerheimii*** (Lagerheim) Wynne & Guiry 2016

Cenobios de 4-8 células, ordenadas marcadamente alternas linealmente hasta alternas, con pared lisa. Células de 14-23 de largo x 3-5  $\mu\text{m}$  de ancho en contacto en un máximo de un quinto de su longitud, fusiformes, de extremos agudos. Células externas marcadamente curvas, las internas rectas o ligeramente curvas o casi rectas (Fig. 3n).

**Phylum Charophyta**

**Orden DESMIDIALES**

**Familia CLOSTERIACEAE**

***Closterium aciculare*** West (1860)

Células semilunares con márgenes lisos, extremos redondeados con la pared dorsal y ventral convexa, de 280  $\mu\text{m}$  de largo y 62  $\mu\text{m}$  de ancho. Casi recto, ahusándose casi imperceptiblemente hacia extremos ligeramente curvados; ápices de 1.5-2.0 mm de ancho, subtruncados o redondeados que tienen un poro distintivo final; cloroplastos generalmente simples, con forma de cinta y ocupando un tercio de la célula en el medio, cada uno con 6-20 pirenoides, paredes incoloras, fajas lisas; límites de vacuolas terminales poco definidas, que contienen unos pocos cristales en movimiento. (Fig. 3o)

## Phylum BACILLIAROPHYTA

### Orden AULACOSEIRALES

#### Familia AULACOSEIRACEAE

##### *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (1979)

Valvas de 4-17  $\mu\text{m}$  de diámetro, con una altura del manto de 4-20  $\mu\text{m}$ . Frústulas cilíndricas, forman filamentos. El manto tiene lados rectos y es cuadrado. Las filas de areolas en el manto están curvadas hacia la derecha. La cara de la valva tiene pequeñas areolas dispersas más densamente distribuidas alrededor del margen de la cara de la valva. Las espinas de enlace se encuentran al final de cada costa perivalvar de 1 a 2, la separación se origina a partir de dos costas perivalvar. La mayoría de las espinas de separación tienen 2-6  $\mu\text{m}$  de largo.

### Orden STEPHANODISCALES

#### Familia STEPHANODISCACEAE

##### *Cyclotella meneghiniana* Kützing (1844)

Valvas en forma de disco, de 6-18  $\mu\text{m}$  de diámetro, con un manto delgado. Vista valvar plana o transversalmente ondulada; el área central contiene de 1-4 fultoportulas, sin estrías, de 1/2 a 1/3 de la cara valvar. Mientras que en el margen con estrías organizadas entre engrosamientos de sílice "costas". Pueden tener espinas en el margen de la valva, localizadas al final de cada costa. De una a dos rimoportulas cerca del margen de la valva. Número de costas de 12-15 en 10  $\mu\text{m}$  (Fig. 4 c, d).

### Orden FRAGILARIALES

#### Familia FRAGILARIACEAE

##### *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot (1980)

Valvas lanceoladas delgadas con los ápices capitados, de 50-75  $\mu\text{m}$  de largo y 2.0 a 2.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. En la parte media de la valva, tiene márgenes convexos. Vista conectiva rectangular. Estrías paralelas a lo largo de la valva y se extiende hacia el manto en la parte media. Con área axial lanceolada. Entre las estrías hay costas, que son más anchas que las estrías.

## Orden CYMBELLALES

### Familia GOMPHONEMTACEAE

#### *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing (1849)

Valvas simétricas al eje apical y asimétricas al eje transapical. de 13-37  $\mu\text{m}$  de largo y 4-7 $\mu\text{m}$  de ancho. Con rafe recto. Área axial estrecha con un estigma aislado. Estrías uniseriadas, 13-18 en 10  $\mu\text{m}$  a todo lo largo (Fig. 4 a, b)

## Orden BACILLARIALES

### Familia BACILLARIACEAE

#### *Hantzschia abundans* Lange-Bertalot (1993)

Valvas son asimétricas al eje apical con una longitud de 53-70  $\mu\text{m}$  y anchura de 9-10  $\mu\text{m}$ . Al igual que *Nitzschia*, el rafe está contenido dentro de un canal y está ubicado excéntricamente en el margen de la valva. En *Hantzschia*, el rafe siempre se encuentra en el margen cóncavo o ventral de la valva. Las estrías son uniseriadas.

#### *Nitzschia frustulum* (Kützing) Cleve & Grunow (1880)

Las valvas en lineales a lanceoladas, con ápices estrechos ligeramente largos de 11.2-43.5  $\mu\text{m}$  y un ancho de 3.3- 4.0  $\mu\text{m}$ . El límite entre el canal del rafe y la cara de la válvula no está marcado externamente por una separación más amplia de la estría areolada. El rafe se interrumpe centralmente por un pequeño nódulo central y las terminaciones del rafe polar se enganchan fuertemente hacia la cara de la valva o el manto. Las fíbulas son barras cortas, cuyas bases están unidas por pequeñas crestas longitudinales de sílice. Las estrías son uniseriadas, tanto en la cara de la válvula como dentro del canal del rafe, donde cada estría está representada por una sola areola. (Fig. 4 f)

#### *N. palea* (Kützing) Smith (1856)

Valvas lanceoladas con lados paralelos y adelgazándose hacia los polos, con ápices ligeramente capitados de 12-42  $\mu\text{m}$  largo y de 3-4  $\mu\text{m}$  de ancho. Las fíbulas, con un

nódulo central y de 11-13 en 10  $\mu\text{m}$ . Estrías apenas visibles en microscopia óptica (Fig. 4 e).

## **Orden NAVICULALES**

### **Familia NAVICULACEAE**

#### ***Navicula sp***

Valvas elípticas o lanceoladas; los extremos de la valva capitados, agudos, redondeados o no expandidos de 8.5-13.5  $\mu\text{m}$  de largo y 4-5  $\mu\text{m}$  de ancho. Esternón central engrosado, y ese engrosamiento puede ser algo asimétrico. Pseudosepto puede estar presente o ausente. Con rafe recto y filiforme, o lateral en algunas especies. El área central puede expandirse, pero la sílice no se espesa.

## **Orden FRAGILARIALES**

### **Familia FRAGILARIACEAE**

#### ***Synedra commutata* Grunow (1890)**

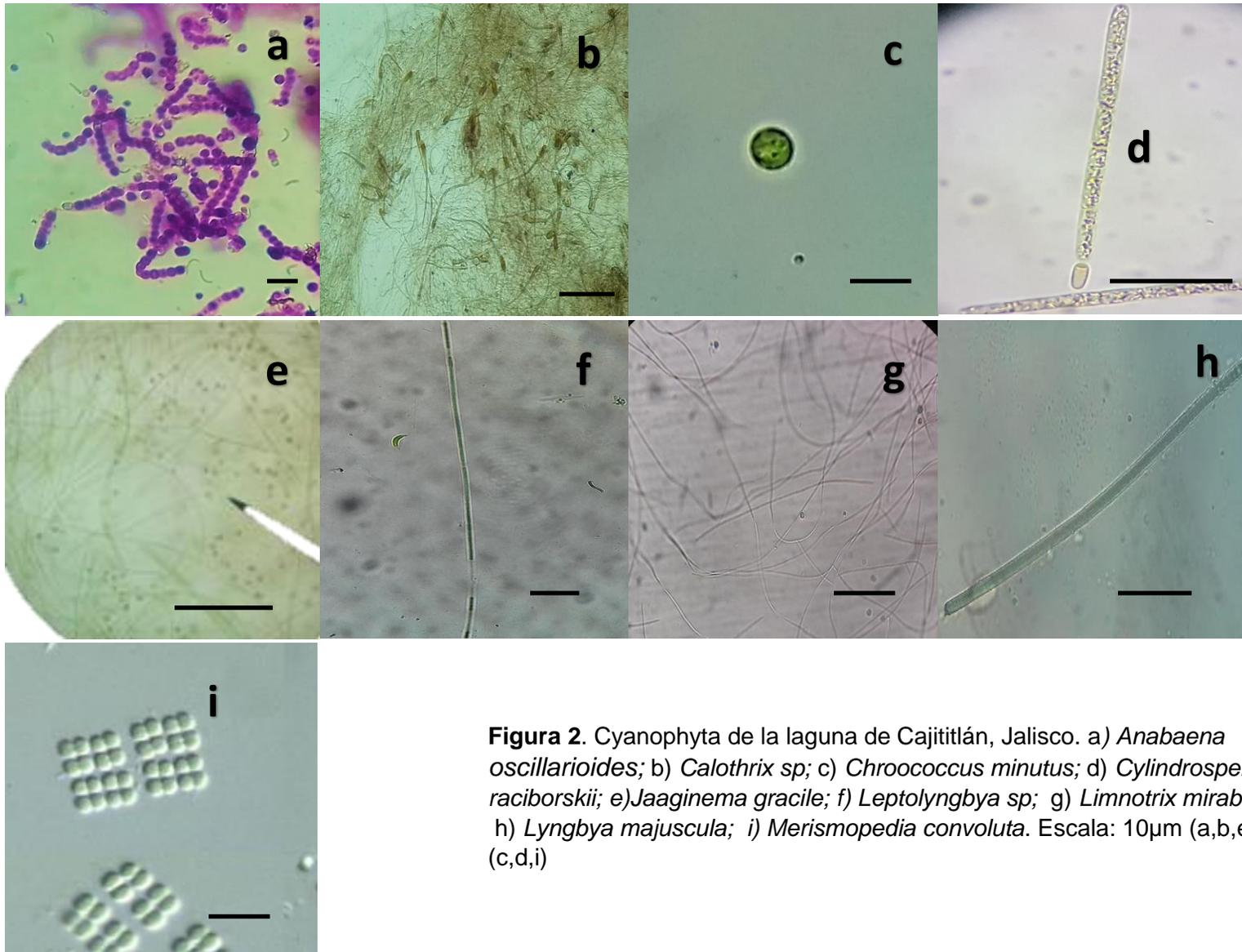
Valvas angostas y lineales, no más anchas en la parte central, con ápices gradualmente cónicos y redondeados de 14-28  $\mu\text{m}$  largo y 3  $\mu\text{m}$  de ancho. El área central es ovoide, a menudo desplazada a un lado de la válvula y con estrías paralelas a todo lo largo.

## **Orden LICMOPHORALES**

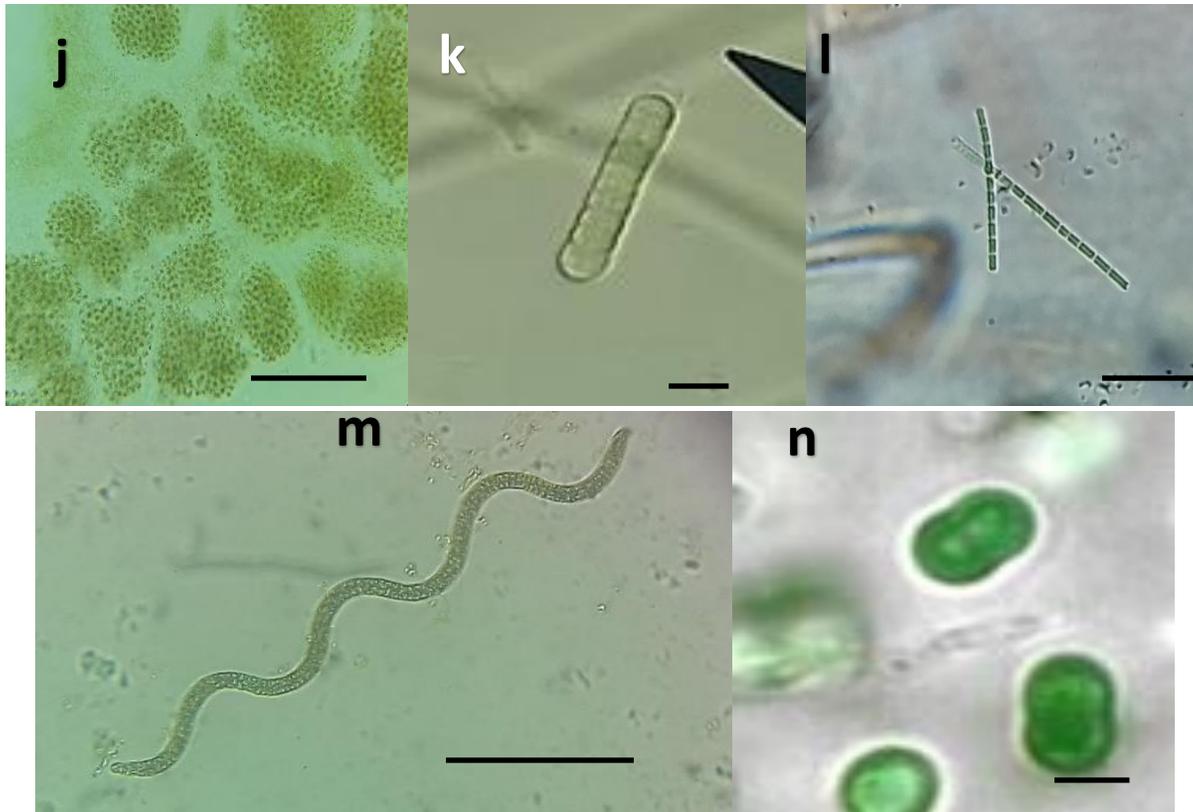
### **Familia ULNARIACEAE**

#### ***Ulnaria contracta* Morales & Vis (2007)**

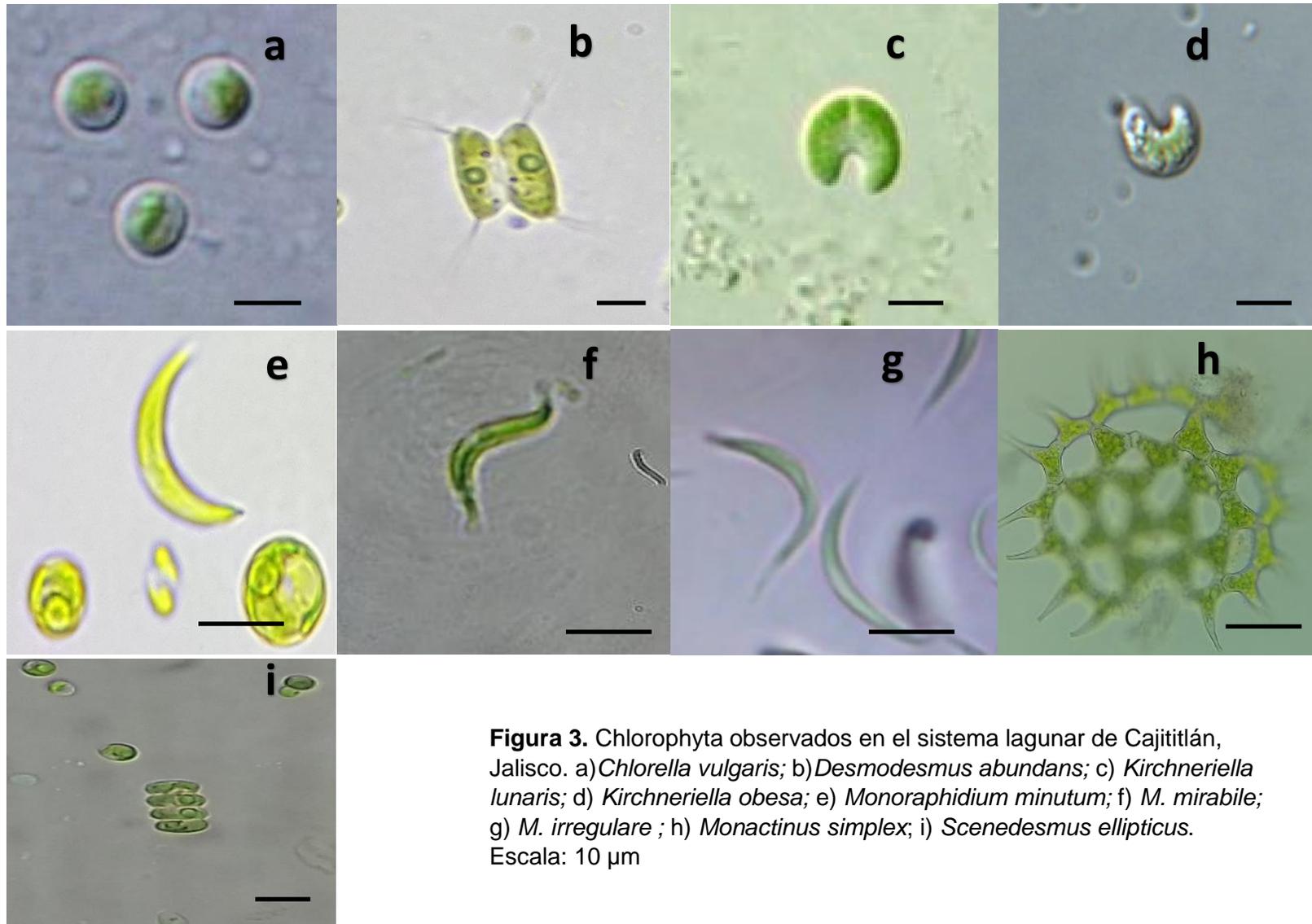
Valvas alargadas y lineales, con una constricción variable en la parte media de la valva de 6 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho. Ápices rostrados a subcapitados y redondeados a truncados. Estrías paralelas y opuestas; sin embargo, cerca de los polos las estrías comienzan a curvarse y se alternan entre sí. El área axial es delgada y lineal, expandiéndose ligeramente cerca del área central. El área central es rectangular y contiene estrías difuminadas a todo lo largo.



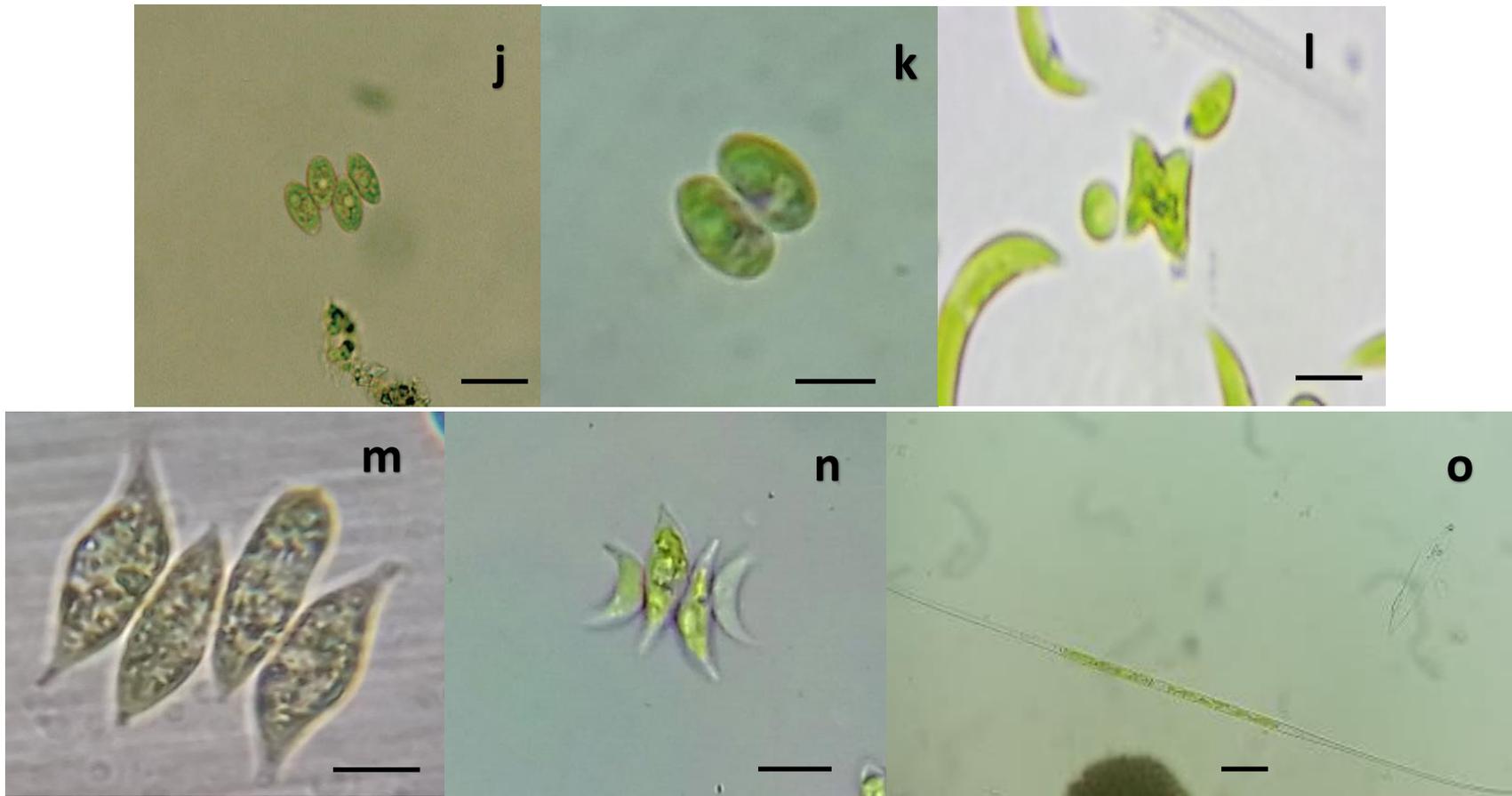
**Figura 2.** Cyanophyta de la laguna de Cajititlán, Jalisco. a) *Anabaena oscillarioides*; b) *Calothrix* sp; c) *Chroococcus minutus*; d) *Cylindrospermopsis raciborskii*; e) *Jaaginema gracile*; f) *Leptolyngbya* sp; g) *Limnotrix mirabilis* h) *Lyngbya majuscula*; i) *Merismopedia convoluta*. Escala: 10µm (a,b,e,f,g,h) 5 µm (c,d,i)



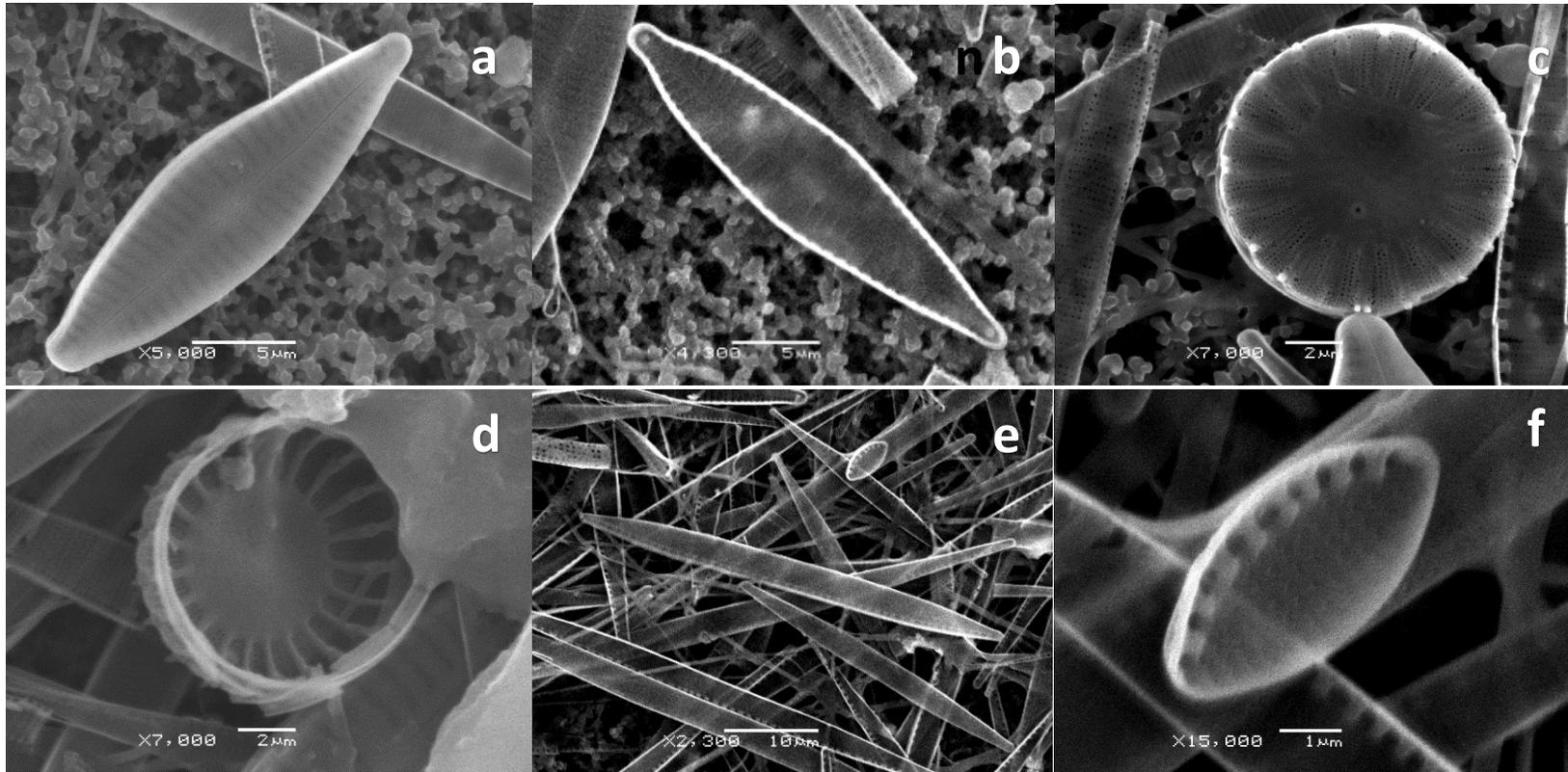
**Figura 2.** Continuación; j) *Microcystis aeruginosa*; k) *Oscillatoria tenuis*; l) *Pseudanabaena catenata*; m) *Spirulina nordstedtii*; n) *Synechococcus elongatus*. Escala: 10  $\mu\text{m}$  (j,k,l,n) excepto para m con escala de 5  $\mu\text{m}$



**Figura 3.** Chlorophyta observados en el sistema lagunar de Cajititlán, Jalisco. a) *Chlorella vulgaris*; b) *Desmodesmus abundans*; c) *Kirchneriella lunaris*; d) *Kirchneriella obesa*; e) *Monoraphidium minutum*; f) *M. mirabile*; g) *M. irregulare*; h) *Monactinus simplex*; i) *Scenedesmus ellipticus*. Escala: 10  $\mu$ m



**Figura 3.** Continuación; J) *Senedesmus obtusus*; k) *Pseudodidymocystis planctonica*; l) *Tetraedron minimum*; m) *Tetradesmus dimorphus*; n) *T. lagerheimii* o) *Closterium acucilare*, especie representativa de Charophyta observado en el sistema lagunar de Cajititlán, Jalisco. Escala: 10µm



**Figura 4.** Microfotografías (MEB) a, b) *Gomphonema parvulum*, a. vista valvar, b. vista valvar interna; c, d) *Cyclotella meneghiniana*, a. vista valvar, b. vista valvar interna; e) *Nitzschia palea*, vista valvar; f) *Nitzschia frustulum*, vista valvar interna.

## CONCLUSIÓN

Las lagunas son consideradas como uno de los ambientes que albergan un mayor número de especies de fitoplancton reportadas en México, para la Laguna de Cajititlán ubicada en el Estado de Jalisco, en este estudio se reconocieron un total de 44 especies, de los cuales 25 géneros forman parte de nuevos registros reportados para la laguna.

Esta investigación exhibe una primera aportación de las especies de fitoplancton formadoras de FANs distribuidas en el área de estudio. El panorama general del ecosistema, muestra que está conformado por siete especies formadoras de FANs, de los cuales el registro de *Cylindrospermopsis raciborskii* funge como uno de los primeros para México.

Dadas las altas concentraciones de *C. raciborskii* que se encuentran en la Laguna con un aproximado de  $9 \times 10^5$  organismos/ml y por ser una especie altamente resistente a condiciones ambientales desfavorables, se recomienda extremar las precauciones en un futuro con respecto al manejo y uso del acuífero; reduciendo de esta manera las posibilidades un nuevo establecimiento de la especie a otros sistemas de agua epicontinentales.

Además, se observó la presencia de *taxa* de chlorophyta correspondientes a *Scenedesmus*, *Desmodesmus*, *Monoraphidium* y *Chlorella*, los cuales han sido relacionados en la depuración de nutrientes en aguas residuales.

Considerando que la laguna de Cajititlán representa una potencial fuente de ingresos para la localidad, es indispensable informar, mitigar y controlar el desarrollo de floraciones de organismos sintetizadores de toxinas. De esta manera, se espera se realicen las investigaciones correspondientes para la evaluación de las condiciones ecológicas y toxicológicas que presenta la laguna, para la restauración de la calidad del agua y poder evitar posibles contingencias ambientales futuras.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar V. (2003). Aguas continentales y diversidad biológica de México: un recuento actual. *Biodiversitas*, 48: 2-16.
- Anagnostidis K. & Komárek J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes 1-Introduction. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement.*, 71: 291-302.
- Anagnostidis K. & Komárek J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement* 80: 327-472.
- Anagnostidis K. (2001). Nomenclatural changes in cyanoprokaryotic order Oscillatoriales. *Preslia, Praha* 73: 359-375.
- Anderson D. M., Gilbert P. M & Burkholder J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrients sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25 (4): 704-726.
- APHA (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. ed. L. S. Clesceri, A. E. Greenberg and R. R. Trussell, 17th edn. American Public Health Association, Washington D.C.
- Band-Schmidt C. J., Bustillos-Guzmán J. J., López-Cortés D. J., Núñez-Vázquez E. & Hernández-Sandoval F. E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Beyerinck M.W. (1890). Culturversuche mit Zoochlorellen, Lichenengonidien und anderen niederen Algen. *Botanische Zeitung* 47: 725-739, 741-754, 757-768, 781-785.
- Bornet É. & Flahault C. (1886). Revision des Nostocacées hétérocystées contenues dans les principaux herbiers de France (quatrième et dernier fragment). *Annales des Sciences Naturelles, Botanique, Septième Série* 7: 177- 381.
- Bourrelly P. (1972). *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*, Tome I: Les algues vertes. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris. 572 pp.
- Bourrelly P. (1985). *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*, Tome I: Les algues bleues et rouges; les eugléniens, peridiniens et cryptomonadines. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris. 606 pp.
- Bridgewater P. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología, 293 pp.

- Campos-Trujillo S., & Mora-Navarro M. (2006). Fitoplancton de la Presa Elias González Chávez (Período 1993-1994), Jalisco, México. *En: Algas del Occidente de México: Florística y Ecología..* Universidad de Guadalajara. México. 261 p.
- Celis Hidalgo J., Junod Montano J. & Sandoval Estrada M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria* 14(1): 17-25.
- Chávez Hernández A. (2009). Programa de ordenamiento ecológico territorial del municipio de Tlajomulco de Zúñiga POETT. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco.
- Cirés-Gómez S. & Quesada de Corral A. (2011). *Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas.* (Eds.). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España. 85 pp.
- Cleve P. T. & Grunow A. (1880). Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar* 17(2): 1-121.
- CONAGUA. (2007). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cajititlán, Estado de Jalisco.
- Comas A. (1996) Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba [The freshwater Chlorococcales from Cuba]. *Bibliotheca Phycologica*, 99.
- Cordeiro A.J.C. (1835). Observations sur les animalcules microscopiques, qu'on trouve auprès des eaux thermales de Carlsbad. *Almanach de Carlsbad* 5: 166-211.
- Fastner J., Heinze R., Humpage A. R., Mischke U., Eaglesham, G. K., & Chorus I. (2003). Cylindrospermopsis occurrence in two German lakes and preliminary assessment of toxicity and toxin production of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolates. *Toxicon* 42(3): 313-321.
- Ferrario M. E., Sar E. A. & Sala S. E. (1995). Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. *Manual de métodos ficológicos*, Buenos Aires, Argentina. 1-23pp.
- Geitler L. (1942). Schizophyta: Klasse Schizophyceae. In: *Die natürlichen Pflanzenfamilien, Zweite Auflage.* (Engler, A. & Prantl, K. Eds) Vol.1b, Leipzig: Wilhelm Engelmann. 232p.
- Gob. de Guadalajara. (2010). Programa de ordenamiento ecológico local Tlajomulco.
- Gomont M. (1892). Monographie des Oscillariées (Nostocacées Homocystées). Deuxième partie. - Lyngbyées. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique, Série* 7(16): 91-264.

- Guerrero S. & Cervantes F. A. (2003). Lista comentada de los mamíferos terrestres del estado de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana*. 89: 93-11.
- Guillard R. R., & Sieracki M. S. (2005). Counting cells in cultures with the light microscope. *Algal culturing techniques*, 239-252.
- Guiry M.D. & Guiry G.M. (2018). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 06 January 2018.
- H. Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga (2007). Plan Municipal de Desarrollo de Tlajomulco 2007-2009. Tlajomulco de Zúñiga
- Hansgirg A. (1888). Ueber die Süßwasseralgen-Gattungen *Trochiscia* Ktz. (*Acanthococcus* Lagrh., *Glochiococcus* DeToni) und *Tetraëdron* Ktz. (*Asteridium* Corda, *Polyedrium* Näg., *Cerasterias* Reinsch). *Hedwigia* 27(5/6): 126-132.
- Hasle G. & Fryxell G. (1970). Diatoms: Cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. Micros. Soc.* 89 (4): 469-474.
- Hegewald E. (2000). New combinations in the genus *Desmodesmus* (Chlorophyceae, Scenedesmeceae). *Algological Studies* 96: 1-18.
- Hernández-Pérez A., & Labbé J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía* 49(2): 157-173.
- Holland T.A., Amand A. & Good G. (2006). Otter lake`05: A successful response, Michigan 26:52-56.
- Ibarra-Montoya J.L., Rangel-Peraza G., González-Farías F. A., De Anda J., Martínez-Meyer E. & Macías-Cuellar H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente & Agua* 7(1): 218-234.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco Clave geoestadística 14097
- James A. & Hicks P. M. (1978). A selected bibliography of plant collection and herbarium curation. *Taxon* 27 (1): 63–99.
- Kjerfve B. (1994). Coastal lagoons. In: *Elsevier oceanography series*. Elsevier. 60(1): 1-8.
- Komárková-Legnerová J. (1969). The systematics and ontogenesis of the genera *Ankistrodesmus* Corda and *Monoraphidium* gen. nov. In: *Studies in Phycology*. (Fott, B. Eds), Stuttgart: Schweizerbart'sche, 75-144pp.

- Krammer K. (1988). Bacillariophyceae. 2. Teil. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Susswasserflora von Mitteleuropa* (2): 596p
- Kumar H. D. & Singh, H. N. (1979). *Textbook on algae*. Macmillan. 456 p.
- Kützing F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. 152 pp.
- Kützing F.T. (1846). *Tabulae phycologicae* oder, Abbildungen der Tange. p. 1-8,
- Kützing F. T. (1849). *Species algarum*. *FA Brockhaus, Leipzig*, 922 p.
- Lange-Bertalot H. (1980). Zur systematischen Bewertung der bandförmigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. Kriterien für die Vereinigung von *Synedra* (subgen. *Synedra*) Ehrenberg mit *Fragilaria* Lyngbye. *Nova Hedwigia* 33: 723-787.
- Lange-Bertalot H. (1993). 85 neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa. *Bibliotheca Diatomologica* 27: 1-164.
- Lau P., Tam N. & Wong Y. (1995). Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. *Environ. Poll.* 89(1): 59-66.
- Lauterborn R. (1915). Die sapropelische Lebewelt. Ein Beitrag zur Biologie des Faulschlammes natürlicher Gewässer. *Verhandlungen des Naturhistorisch-Medizinischen Vereins zu Heidelberg ser. 2* (13): 395-481.
- Leflaive J. & Ten-Hage L.O. (2007). Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. *Freshwater Biology* 52(2): 199-214.
- Lujan G.R., Parra J. M., Iñiguez C. A., Jiménez B.J., Caro B. J. L., Vizcaíno R. L.A., Bravo L. B., Pérezlete G. M., Apolinar S. M., Suárez R. N., López M. I.G., Rodríguez L. M. C., Reyes R. J., Barajas R. A.I. & Villanueva G. B. (2014). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR).
- Martínez-Silva P. (2015). Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania–Huila y su relación con la calidad del agua. *Intropica*, 11-19.
- Meriluoto J. A. O., Sandstrom A., Eriksson J. E., Remaud G., Grey C. A., & Chattopadhyaya J. (1989). Structure and toxicity of a peptide hepatotoxin from the cyanobacterium *Oscillatoria agardhii*. *Toxicon* 27:1021-1034.
- Meyen F.J.F. (1829). Beobachtungen über einige niedere Algenformen. *Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae* 14: 768-778.
- Möbius K. (1894). Australische Süßwasseralgen. II. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 18: 309-350, pls I, II.

- Morales E.A. & Vis M.L. (2007). Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 156: 123-155.
- Moreno I., Repetto G., & Cameán A. (2003). Interés toxicológico de las microcistinas. *Revista de Toxicología*, 20(3): 159-165.
- Moreno-Ruiz J. L., Tapia-García M., González-Macias M., Carmen D., & Figueroa-Torres M. (2008). Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Revista de Biología Tropical* 56(1): 27-54.
- Muciño-Márquez R. E., Figueroa-Torres M. G., & Esquivel-Herrera A. (2011). Variación nictemeral de la comunidad fitoplanctónica y su relación con las especies formadoras de florecimientos algales nocivos en la boca de la laguna costera de Sontecomapan, Veracruz, México. *CICIMAR Océánides* 26(1): 19-31.
- Nägeli C. (1849). Gattungen einzelliger Algen, physiologisch und systematisch bearbeitet. *Neue Denkschriften der Allg. Schweizerischen Gesellschaft für die Gesammten Naturwissenschaften* 10(7): 1-139.
- Novelo E. 2011. Cyanoprokaryota. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM. 96 pp.
- Oliva-Martínez M.G., Godínez-Ortega J.L., & Zuñiga-Ramos C.A. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 54-61.
- Onodera H., Satake M., Oshima Y., Yasumoto T., & Carmichael W. W. (1997). New saxitoxin analogues from the freshwater filamentous cyanobacterium *Lyngbya wollei*. *Natural Toxins* 5(4): 146-151.
- Ortega M. M. faltan autores. (1994). *Ficología de México. Algas continentales*. Ed. AGT México, D.F. 221 pp.
- Ortiz Rosales J. (1997). *Dinámica de las comunidades fitoplanctónicas en la laguna del Carpintero, Tampico, Tamaulipas, México* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Padisák J. & Reynolds C.S. (1997) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Arcg. Fur Hydrobiol. Suppl. Monogr. Beitrage*, 107: 563-593.
- Palomera-García C., Santana E., Contreras-Martínez S., & Amparán R. (2007). *Jalisco*. En: Ortiz-Pulido, R, Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y

- Peterson, T. S. (Eds). Avifaunas Estatales de México. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. 1- 48pp.
- Parra O. O. & Bicudo C. E. M. (1996). *Introduction of landwater algae biology and systematic*. Santiago Chile. Grafica Andes. 268 pp.
- Piccini C., Aubriot L., D'Alessandro B., Martigani F. & Bonilla S. (2013). Revealing toxin signatures in cyanobacteria: report of genes involved in cylindrospermopsin synthesis from saxitoxin-producing *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Advances in Microbiology* 3(3):289.
- Pineda-Mendoza R., Martínez-Jerónimo F., Garduño-Solórzano G., & Olvera-Ramírez R. (2011). Caracterización morfológica y molecular de cianobacterias filamentosas aisladas de florecimientos de tres lagos urbanos eutróficos de la ciudad de México. *Polibotánica* (31): 31-50.
- Pomeroy R. S., Watson L. M., Parks J. E. & Cid G. A. (2006). *Introducción a una metodología para evaluar la efectividad de la gestión de áreas marinas protegidas. Especies, espacios y riesgos: monitoreo para la conservación de la biodiversidad*. Instituto Nacional de Ecología, México, 135 pp.
- Prescott G. W. (1973). *Algae of the western Great Lakes area*. W. M. Brown Company Publishers. Dubuque, 977 pp.
- Prosperi C., Rodríguez C., Pierotto M., Mancini M., Daga C., Gonella M. (2005). Evaluación de la contaminación y eutrofización de aguas superficiales de la provincia de Córdoba. *Temas de Ciencia y Tecnología* 2(7): 4.
- Round F. E. (1975). *The Biology of the Algae*, ed. 2. Edward Arnold. London. 278 p
- Sant'Anna C.L., Azevedo M.T., Werner V.R., Dogo C.R., Ríos F.R. & Cavalho L.R. (2008). Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Arch. Hydrobiol. Suppl. Algol. Stud.* 126: 251-265.
- SEMARNAT (2014). CCD-S Núcleo- Jalisco.
- Seenayya G. & Subba Raju N. (1972). On the ecology and systematic of the alga known as *Anabaenopsis raciborskii*(Wolosz.) Elenk. and a critical evaluation of the forms described under the genus *Anabaenopsis*. *En: Papers submitted to the First International Symposium on Taxonomy and Biology of blue-green algae*. p 52-57.
- Sepúlveda A. H., Sierra-Beltrán A., & Hernández-Saavedra N. (2008). Floraciones Algales Nocivas: perspectivas y estrategias biotecnológicas para su detección. *BioTecnología* 12 (1): 23-40.

- Shannon C. E. & Weaver S.E. (1949). Communication theory of secrecy systems. *Bell Labs Technical Journal*, 28(4): 656-715.
- Simonsen R. (1979). The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2: 9-71.
- Sinha R.L., Pearson T.W., Burford M. & Neilan B. (2012). Increased incidence of *Cylindrospermopsis raciborkii* in temperate zones is climate change responsible? *Water research* 46:1408-1419.
- Siqueiros-Beltrones D. A., Argumedo-Hernández U., & Hernández-Almeida O. U. (2013). Diagnósis prospectiva sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en la laguna Bacalar, Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84(3): 865-875.
- Sládeček V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 7(1-4):1-218.
- Sládeček V., Zelinka M, Rothsheim J. & Morarcová V. (1981). *Biology rozbor povrchove rody. Stanoven saprobního indexu.* A. Kolektiv, Praga. 186 pp.
- Smayda T. J. (1997). Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology & Oceanography* 42(5-2): 1137-1153.
- Smith G. M., (1950). *The fresh-water algae of the United States.* McGraw-Hill Book Company, New York. 637 pp.
- Smith W. (1856). *A synopsis of the British Diatomaceae*; with remarks on their structure, functions and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens. London: John van Voorst (2): 1-10
- Su Z., Sheets M., Ishida H., Li F., & Barry W. H. (2004). Saxitoxin blocks L-type ICa. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 308(1): 324-329.
- Tonk L., Visser P. M., Christiansen G., Dittmann E., Snelder E. O., Wiedner C. & Huisman J. (2005). The microcystin composition of the cyanobacterium *Planktothrix agardhii* changes toward a more toxic variant with increasing light intensity. *Applied and environmental microbiology*, 71(9), 5177-5181.
- Torres-Arino A., & Mora-Heredia E. (2010). Isolation and characterization of potentially toxic or harmful cyanobacteria from Oaxaca and Chiapas, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 45(1): 128-136.
- Van Apeldoorn M.E., Van Egmond H.P., Speijers G.A. & Bakker G.J.I. (2007). Toxins of cyanobacteria. *Mol Nut Food Res*, 51(1): 7-60.

- Varona-Cordero F. & Gutiérrez Mendieta F. J. (2006). Composición estacional del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. *Hidrobiológica*, 16(2): 159-174.
- Villafañe V. E. & Reid F. M. H. (1995). Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. *Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción, Concepción*, 169-185.
- West T. (1860). Remarks on some Diatomaceae new or imperfectly described and a new desmid. *Transactions of the Royal Microscopical Society, series 2* (8): 147-153.
- West W. & West G.S. (1894). New British freshwater algae. *Journal of the Royal Microscopical Society* 1894: 1-17.
- Wetzel R. (2001). Limnology, 3 E. Lake and river ecosystems. *Academic Press, 525 B Street, Ste. 1900, San Diego, CA 92101, USA*. 850p
- Wher J. D. & Sheath R. G. (2003). Freshwater habitats of algae. In: *Freshwater Algae of North America*. Academic Press. USA, 11-57pp.
- Woloszynka J. (1912). Das Phytoplankton einiger Javanian Seen mit Berücksichtigung des Sawa-Planktons. *Bulletin of the International Academy of Science Cracoviae* (6): 649-709.
- Wynne M.J. & Hallan J.K. (2016). Reinstatement of *Tetradesmus* G. M. Smith (Sphaeropleales, Chlorophyta). *Feddes Repertorium* 126: 83-86.
- Wynne M.J. & Guiry M.D. (2016). *Tetradesmus lagerheimii* M.J.Wynne & Guiry, *nomen novum*, a replacement name for *Tetradesmus acuminatus* (Lagerheim) M.J.Wynne, *nom. illeg.* (Sphaeropleales, Chlorophyta). *Notulae Algarum* 12: 1
- Zapata G.L.V. (2015). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(24): 112-128.