



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE ALGAS MACROSCÓPICAS  
EN RÍOS DE ALTA MONTAÑA DE LA CUENCA DE MÉXICO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O**

P R E S E N T A:

**ROGELIO RODRÍGUEZ FLORES**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. JAVIER CARMONA JIMÉNEZ.**



2014



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.

1.-Datos del alumno

Rodríguez

Flores

Rogelio

5510176391

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

305208808

2.- Datos del tutor

Dr.

Carmona

Jiménez

Javier

3.-Datos de sinodal 1

Dra.

León

Tejera

Hilda Patricia

4.- Datos de sinodal 2

Dra.

Ponce

Márquez

María Edith

5.- Datos de sinodal 3

Dr.

Cantoral

Uriza

Enrique Arturo

6.- Datos de sinodal 4

M. en C.

Cartagena

Alcántara

Mariana Guadalupe

7.- Datos del trabajo escrito

Diversidad y distribución de algas macroscópicas en ríos de alta montaña de la Cuenca de México.

94p

2014.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
Abstract.....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. Las algas y las floras ficológicas.....	3
1.2. Componentes ambientales y microambientales de los sistemas lóticos.....	4
1.3. Diversidad y distribución de algas en ambientes lóticos.....	7
<b>2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>10</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos particulares.....	11
<b>5. MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>12</b>
5.1. Área de estudio.....	12
5.1.1. Localización.....	12
5.1.2. Clima.....	12
5.1.3. Vegetación y geología.....	13
5.1.4. Microcuencas.....	13
5.1.4.1. San Rafael, La Compañía, Cosamala y Ameca-Canal Nacional.....	14
5.1.4.2. Apatlaco y Miraflores.....	14
5.1.4.3. Villa del Carbón y Tepetzotlán.....	14
5.1.4.4. Cuautitlán, La Caldera y Xopachi.....	15
5.1.4.5. San Ildefonso, La Colmena y San Pedro.....	15
5.1.4.6. Santa Rosa y Eslava.....	15
5.1.4.6. La Magdalena.....	15
5.2. Trabajo de campo.....	19
5.3. Trabajo de laboratorio.....	24
5.4. Análisis estadísticos.....	26

<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
6.1. Diversidad.....	27
6.1.1.Descripción de especies.....	33
División Cyanoprokaryota.....	33
División Chlorophyta.....	45
División Rhodophyta.....	55
División Heterokontophyta.....	57
6.2. Ecología.....	63
6.3. Distribución.....	72
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>75</b>
7.1. Diversidad.....	75
7.2. Ecología.....	76
7.3. Distribución.....	79
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>9.LITERATURA CITADA.....</b>	<b>83</b>

## Resumen

El presente trabajo describe la diversidad y la distribución de algas bentónicas macroscópicas en ríos de montaña de la Cuenca de México. El análisis de 209 muestras determinó la presencia de 20 especies que corresponden a los siguientes grupos taxonómicos: 10 Chlorophyta, 7 Cyanoprokaryota, 2 Rhodophyta y 1 Heterokontophyta (Xantophyceae); así como 3 especies asociadas (epífitas) del grupo de las Cyanoprokaryota. *Prasiola mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Vaucheria bursata* y *Placoma regulare* son las especies que mostraron la más amplia distribución al encontrarlas en al menos la mitad de las 16 microcuencas estudiadas; en cada microcuenca se recolectó entre dos y nueve especies distintas de algas ( $\bar{X}=3$ ). Las características fisicoquímicas del agua de los ríos fueron las siguientes: presentan una temperatura templada  $\bar{X}=10.6^{\circ}\text{C}$  (5.5-16.7°C), poco mineralizada (alcalinidad  $\bar{X}= 19.7 \text{ mgL}^{-1}$ ; (6-37  $\text{mgL}^{-1}$ ); salinidad  $\bar{X}= 0.032 \text{ mgL}^{-1}$  (0-0.2  $\text{mgL}^{-1}$ ); conductividad específica  $\bar{X}=65.9 \mu\text{S cm}^{-1}$  (30-175  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ); sólidos disueltos totales  $\bar{X}= 37.2 \text{ mgL}^{-1}$  (14-90  $\text{mgL}^{-1}$ ); oxígeno disuelto  $\bar{X}= 8.5 \text{ mgL}^{-1}$  (6.8-12.5  $\text{mgL}^{-1}$ ), un pH circumneutral  $\bar{X}=6.96$  (pH 2-7.7) y con velocidad de corrientes  $\bar{X}=0.4\text{ms}^{-1}$  (0.001-0.9  $\text{ms}^{-1}$ ). Las bajas concentraciones de fósforo y nitrógeno en los ríos (FRS  $\bar{X}=0.4 \text{ mgL}^{-1}$  (0.25-0.76  $\text{mgL}^{-1}$ ) y NID  $\bar{X}=0.2 \text{ mgL}^{-1}$  (0.02-0.8  $\text{mgL}^{-1}$ )) sugieren que éstos sean de orden oligo-mesotrófico. Destaca la presencia de *Chamaesiphon cf incrustans*, *Coleodesmium wrangelii*, *Batrachospermum gelatinosum* y *Vaucheria bursata* como especies relacionadas a afluentes de tipo oligotrófico. Se reportan dos nuevos registros de especies de Chlorophyta para los ríos de montaña en la región central del país: *Draparnaldia mutabilis* y *Tetraspora gelatinosa*; además de la descripción de cuatro diferentes formas de crecimiento para las colonias de *Nostoc sp* (Cyanoprokaryonta) y dos de *Spirogyra sp.* (Chlorophyta).

**Palabras clave:** algas macroscópicas bentónicas, ríos de montaña, Cuenca de México, diversidad, biogeografía, nuevos reportes.

## Abstract

This work describes the diversity and distribution of benthic macroscopic algae in mountain rivers of the Basin of Mexico City. The analysis of 209 samples revealed the presence of 20 species of macroscopic algae that correspond to the following taxonomic groups: 10 Chlorophyta, 7 Cyanoprokaryota, two Rhodophyta, and one Heterokontophyta (Xantophyceae); as well as three associated species (epiphytes) of Cyanoprokaryota. *Prasiola mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Vaucheria bursata*, and *Placoma regulare* are species that showed the widest distribution, as they were found in at least half of the 16 microbasins studied. Between two and nine different species of algae ( $\bar{X} = 3$ ) were collected in each microbasin. Physico-chemical characteristics of water were as follows: warm temperature  $\bar{X} = 10.6^{\circ}\text{C}$  (5.5-16.7°C), slightly mineralized (Alkalinity  $\bar{X} = 19.7 \text{ mgL}^{-1}$ ; (6-37  $\text{mgL}^{-1}$ ); salinity  $\bar{X} = 0.032 \text{ mgL}^{-1}$  (0-0.2  $\text{mgL}^{-1}$ ); specific conductivity  $\bar{X} = 65.9 \mu\text{S cm}^{-1}$  (30-175  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ); total dissolved solids  $\bar{X} = 37.2 \text{ mgL}^{-1}$  (14-90  $\text{mgL}^{-1}$ ); dissolved oxygen  $\bar{X} = 8.5 \text{ mgL}^{-1}$  (6.8-12.5  $\text{mgL}^{-1}$ ), with a pH circum-neutral  $\bar{X} = 6.9$  (pH 6.2-7.7), and currents velocity  $\bar{X} = 0.4 \text{ ms}^{-1}$  (0.001-0.9  $\text{ms}^{-1}$ ). Along with these characteristics, the low concentration of nitrogen and phosphorus (FRS  $\bar{X} = 0.4 \text{ mgL}^{-1}$  (0.25-0.76  $\text{mgL}^{-1}$ ) and NID  $\bar{X} = 0.2 \text{ mgL}^{-1}$  (0.02-0.8  $\text{mgL}^{-1}$ )) suggested that these rivers belong to the oligo-mesotrophic type. Noteworthy is the presence of *Chamaesiphon cf incrustans*, *Coleodesmium wrangelii*, *Batrachospermum gelatinosum*, and *Vaucheria bursata* which are species associated to tributaries of oligotrophic type. This is the first report of the Chlorophyta *Draparnaldia mutabilis* and *Tetraspora gelatinosa* for Central Mexico; also the description of four different forms of growth to colonies of *Nostoc sp* (Cyanoprokaryonta) and two of *Spirogyra sp*.

**Keywords:** benthic macroscopic algae, mountain rivers, Basin of México, diversity, biogeography, news reports.

## 1. Introducción

### 1.1. LAS ALGAS Y LAS FLORAS FICOLÓGICAS.

En la literatura existen distintos conceptos para definir a los organismos algales, sin embargo, el término alga es comúnmente empleado para designar a un conjunto extremadamente variable y complejo de organismos autótrofos (fotosíntesis oxigénica) con numerosos niveles de organización, desde formas unicelulares, agregaciones celulares, filamentos, hasta talos parenquimatosos, todos ellos producto de evoluciones paralelas (González-González, 1987; Van den Hoek *et al.*, 1995; Bold & Wynne, 1985). Estos desempeñan un papel preponderante en la regulación del paso de energía y nutrientes, son considerados uno de los mayores productores de oxígeno sobre la Tierra y la base de la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos (Luning, 1990). Las algas bentónicas macroscópicas que se encuentran sumergidas y creciendo sobre un sustrato, son las responsables de generar las principales fuentes de energía primaria en muchos ríos de pequeño y mediano aporte (aforo) (Sheath & Burkholder, 1985; Whitton *et al.*, 1991).

En México, la heterogeneidad ambiental, geográfica y fisiografía de los ríos, hacen que la diversidad y abundancia de las especies de algas sea amplia. Su registro en forma de inventarios o listados, define a una flora ficológica, cuya importancia radica en que éstas pueden describir las relaciones que existen entre el conjunto de especies presentes en un área y tiempo determinados y el ambiente para resolver preguntas de índole taxonómico, ecológico ó biogeográfico (Ortega, 1984; González-González, 1987).

Delimitar un área de estudio con base a criterios más o menos naturales, por ejemplo, cuencas hidrológicas, ya que cada cuenca representa un grupo de cuerpos de agua comunicados que permiten hacer interpretaciones ecológicas precisas y delimitar ficofloras de distinto nivel (local o regional) en forma muy práctica, por lo que en ellas se esperaría encontrar una composición de especies de algas semejante y/o relacionada (Cantoral *et al.*, 1999).



La cuenca de un río es una región delimitada por montañas o elevaciones y se encargan de la alimentación de dichas corrientes. La parte más elevada de la cuenca es el parteaguas o divisoria, y es justo en ese sitio donde el agua de origen pluvial se bifurca hacia una cuenca o hacia otra; es el relieve el que determina el tamaño y forma de una cuenca (Gómez *et al.*, 1996). Las cuencas hidrológicas pueden ser de tres tipos: endorreicas o cerradas, exorreicas ó abiertas y arrecias. La primera se caracteriza porque el agua que escurre se concentra en la parte más baja y puede dar origen a la formación de lagos y ríos (De la Torre, 2009).

Los procesos ecológicos a diferentes escalas espaciales y temporales influyen sobre el número y la identidad de las especies de una comunidad, que es el conjunto de poblaciones de distintas especies (Morin, 1999), y su estudio permite relacionar los diversos elementos ambientales que determinan la composición, distribución y abundancia de las especies, así como su coexistencia y evolución (Becerra, 2002).

## 1.2. COMPONENTES AMBIENTALES Y MICROAMBIENTALES DE LOS SISTEMAS LÓTICOS.

Las aguas continentales tienen como característica particular que, en el transcurso del tiempo, han perdido la mayor parte de su salinidad por evaporación y a través de ciclos hidrológicos, por lo que son denominados cuerpos de agua dulce y estos incluyen a ríos, arroyos, lagos, lagunas, aguas subterráneas o freáticas (Ceniceros & Escobar, 1999).

Los ambientes lóticos (ríos) se caracterizan por ser un canal con flujo de agua unidireccional y con una gran heterogeneidad espacial y temporal en respuesta a un amplio conjunto de factores y procesos geológicos, topográficos, climáticos y bióticos (Elosegui & Sabater, 2009). El funcionamiento de los ríos como ecosistemas está sometido a cambios debido a factores estacionales relacionados con la precipitación, la escorrentía y la temperatura (De la Torre, 2009). Las algas bentónicas de ríos cuentan con diversos rangos de tolerancia para distintos componentes ambientales, por lo que, un hábitat específico estará dominado por comunidades que encuentren las condiciones más favorables para su establecimiento (Peña *et al.*, 2005).

También, las comunidades pueden sufrir modificaciones en su estructura (abundancia, dominancia y diversidad), por lo que utilizan diversas estrategias adaptativas para su establecimiento (Stevenson, 1996; Naicheng *et al.*, 2009). A escala regional, por ejemplo, la riqueza de especies se asocia a factores que incluyen el área superficial, la disponibilidad de recursos, la historia evolutiva, la convivencia con otros organismos y el clima.

Los factores involucrados en el desarrollo de las comunidades algales en los ríos, pueden clasificarse como ambientales y microambientales. Dentro de los ambientales se encuentran la temperatura, el aforo y los nutrientes, presentando una menor variación respecto a los microambientales, tales como la luz, velocidad de corriente y el sustrato (Whitton, 1975; Allan, 1996).

La temperatura es uno de los factores que limitan la distribución de las especies, y suele actuar en cualquier etapa del ciclo de vital y afectar las funciones de supervivencia, reproducción o desarrollo (Krebs, 2001). La temperatura de los ríos tiende a la de la atmósfera, calentándose ó enfriándose con el cambio de las estaciones del año, por lo que es un elemento que influye fuertemente en la aparición de organismos adaptados a las aguas cálidas o a las aguas frías (Peña *et al.*, 2001).

El aforo del río permite comparar la cantidad del agua que pasa en el sitio de colecta con otros afluentes o el mismo río en distinta época del año (Hauer & Lamberti, 1996). Se ve afectada principalmente por la intensidad de las precipitaciones en el sitio y la disponibilidad de agua, confiriéndole al río la capacidad o no de la concentración de nutrientes (Peña *et al.*, 2005; Fisher *et al.*, 1998; Borobia, 2013).

La presencia y abundancia algal en los ecosistemas acuáticos es a menudo dependiente de la disponibilidad de uno o varios nutrientes (Hansson, 1992), del origen y duración de exposición, así como de las interacciones sinérgicas ó antagónicas que sucedan entre estos agentes (Wangberg & Blanck, 1990).

Las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos en los sistemas acuáticos están reguladas por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, la composición química del suelo y la asimilación por parte de los organismos bentónicos, lo que condiciona sus proporciones relativas y su disponibilidad en el tiempo.

El fósforo se encuentra en el agua en forma de iones inorgánicos o en compuestos orgánicos y su concentración es mayor en el sedimento que en la columna de agua. El equilibrio del fósforo entre el sedimento y el agua está controlado por diversos factores, tales como el pH y el oxígeno disuelto. Los compuestos nitrogenados, por el contrario, se encuentran generalmente en mayores concentraciones en la columna de agua que en el sedimento, pueden hallarse en forma de iones nitritos, nitratos ó amonio.

El aumento de los niveles fósforo en el agua debido a fuentes antropogénicas (escorrentía de tierras agrícolas, detergentes, etcétera) ha sido considerado como el factor más importante de cambio en el balance en la productividad de fuentes de agua dulce (Peña *et al.*, 2001). No obstante, los mecanismos que explican la diversidad y distribución de algas en los ríos son poco conocidos y generalmente atribuidos a la heterogeneidad ambiental del río (Bojorge *et al.*, 2010; Biggs, 1996; Branco & Necchi, 1996; Bradley *et al.*, 2005).

La luz es un elemento que los organismos emplean como un estímulo para llevar a cabo procesos tan importantes como la reproducción y la fotosíntesis (Krebs, 2001). Las limitaciones ecológicas en los organismos fotosintéticos con frecuencia son atribuidas al régimen de luz de un hábitat, ya que algunas especies no toleran la sombra y su distribución local resulta afectada por los requerimientos de luz (Sheath & Vis, 2013). Por otra parte, la reproducción en la mayor parte de las especies tiene lugar sólo en una época del año, por lo que la luz activa una serie de fenómenos fisiológicos para llevarla a cabo (Krebs, 2001).

La velocidad de la corriente, por su parte, se ve afectada por la forma, la pendiente, la anchura y la profundidad del río, así como la disponibilidad de agua de acuerdo a la estación, puede alterar la composición de las especies biológicas a lo largo

del río. En las aguas rápidas, por ejemplo, predominan los organismos bentónicos que se encuentran fuertemente adheridos a sustratos rocosos mientras que en las aguas con corrientes bajas es posible encontrar organismos suspendidos.

También, las características físicas de los sustratos pueden influir en el establecimiento, crecimiento y abundancia de algas a lo largo de un cauce (Garduño *et al.*, 2005; Bojorge & Cantoral, 2007). Las rocas y guijarros (cantos rodados), presentan poros y rugosidades sobre su superficie que permiten la adhesión de muchas especies de algas macroscópicas como *Cladophora glomerata* y *Prasiola mexicana* (Sheath & Cole 1992; Ramírez & Carmona, 2005), mismas que presentan sistemas de fijación efectivos (rizoides) para evitar ser arrancadas por acción de agentes físicos.

### 1.3. DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE ALGAS EN AMBIENTES LÓTICOS.

La composición de algas que presenta la Cuenca de México es semejante a la de regiones templadas del mundo, especies descritas para corrientes de montaña y que comparten características como la baja riqueza, ambientes con temperaturas inferiores a los 15°C y altitudes superiores a los 2500 metros (Sabater & Roca, 1992; Ramírez, 2002; Rott & Pfister, 1988; Holmes & Whitton, 1981), y que pueden definirla como una ficoflora particular (Ács & Keve, 1993; Biggs, 1996; Branco & Necchi, 1996; Bradley *et al.*, 2005; Borges & Necchi, 2008; Bojorge *et al.*, 2010).

Por otra parte, la diversidad de algas macroscópicas en ríos de montaña es mayor en los sistemas acuáticos poco mineralizados y oligotróficos, y menor en los de orden meso-eutrófico (Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Bojorge & Cantoral, 2007), ya que la composición fisicoquímica del agua se ve afectada por los ciclos de precipitación diferenciales en el transcurso del año, lo que influye directamente sobre la abundancia, diversidad y distribución de las comunidades algales (Bojorge *et al.*, 2010).

La mayoría de las especies de algas macroscópicas que habitan los ambientes lóticos, parecen tener patrones de distribución amplios y representan entre el 50% y el 70% de la mayoría de las principales floras ficológicas (Round, 1981). Estos taxones

pueden considerarse generalistas, porque presentan una amplia tolerancia a diversos factores ambientales tales como la luz, la concentración de nutrientes y la velocidad de corriente; *Cladophora glomerata* Linnaeus Kützing y *Phormidium retzii* (C.Agardh) Kützing ex Gomont, son especies que muestran una amplia distribución en ríos de agua templada (Sheath & Cole, 1992).

En caso contrario, cuando las especies se distribuyen en hábitats limitados en algún elemento, pueden considerarse especies especialistas, y se caracterizan por presentar morfologías muy distintivas a nivel celular, de hábito y/o reproductivo (Sheath & Vis, 2013). *Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus), por ejemplo, muestra una tendencia a distribuirse en ríos fríos y de baja iluminación (Sheath & Cole, 1992; Carmona *et al.*, 2009).

En la última década, la mayoría de los estudios ficoflorísticos de algas macroscópicas en ríos de montaña del país, se han realizado en la región central (Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez & Cantoral, 2003; Bojorge *et al.*, 2010), particularmente en el Río la Magdalena, Distrito Federal, en la región occidental de la Cuenca de México y la cuenca de Valle de Bravo-Amanalco, mientras que en América del Norte y Europa, se han desarrollado investigaciones de los distintos grupos de algas de ambientes lóticos en regiones templadas o boreales (Sheath & Cole 1992; Sheath & Vis, 2013; Loza *et al.*, 2013; Caraus, 2012; Täuscher, 2011; Smith, 2010; House *et al.*, 2010; Stewart & Vis, 2007; Whitton *et al.*, 2003; John, 2002; Brodie *et al.*, 2007; Taskin *et al.*, 2013; Higgins *et al.*, 2008; Moura, 2010; Comas-González, 2008, Bostock & Holland, 2010).

## **2. Justificación.**

Los estudios de las ficofloras de ambientes lóticos en México son escasos debido a la falta de especialistas en el área de la ficología, porque se desconoce la existencia de ríos vivos o porque no se han generado proyectos encaminados a explorar este tipo de ambientes. No obstante, los sistemas montañosos y boscosos que rodean la Cuenca de México, tales como la Sierra Nevada, de las Cruces, Monte Alto y el Ajusco, aún presentan caudales que merecen ser estudiados. La mayoría de los ríos de montaña de la Cuenca de México se caracterizan por no estar urbanizados, lo que los hace sitios idóneos para explorar la diversidad de algas macroscópicas y estudiarlas desde distintos enfoques, complementando la información ambiental que hasta ahora se conoce en la cuenca. Además del análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua, se propone, como herramienta complementaria, la caracterización bacteriológica del agua y hacer uso del índice de CERA-S, éste último, encargado de evaluar la calidad ambiental de los afluentes a partir de la geomorfología de los ríos, la cobertura de la vegetación ribereña y el impacto de las actividades humanas (en caso de haberlas) sobre el ecosistema.

### 3. Hipótesis.

- No habrá diferencias significativas entre la composición la algas bentónicas macroscópicas de la Cuenca de México y la ficoflora de otros ríos templados y/o de alta montaña de regiones tropicales.
- La mayor diversidad y abundancia de algas en las diferentes estaciones del año (secas-lluvias), estará relacionada con los valores más bajos de temperatura y de concentración de nutrientes en el agua (fósforo reactivo soluble y nitrógeno inorgánico disuelto), o bien, estará relacionada con la preferencia por ocupar microambientes particulares (luz y de velocidad de corriente diferenciales, así como distintos tipos de sustrato).
- Las especies de algas macroscópicas presentarán una distribución geográfica semejante entre las microcuencas que integran el área de estudio, ya que la mayoría de los ríos de ésta región son de agua fría y de elevada altitud.

## **4. Objetivos.**

### **4.1. Objetivo general.**

Describir y analizar la diversidad y distribución de algas bentónicas macroscópicas en ríos de montaña de la Cuenca de México.

### **4.2. Objetivos particulares.**

- Describir la diversidad de algas bentónicas macroscópicas de la Cuenca de México para reconocer la composición ficoflorística de ésta región.
- Determinar la especificidad ambiental de cada una de las especies mediante la evaluación de los parámetros ambientales (temperatura, pH, conductividad, saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, aforo, sólidos disueltos totales y nutrientes) y microambientales (velocidad de corriente, iluminación, sustrato y profundidad).
- Evaluar la calidad ambiental del área de estudio a partir de la concentración de coliformes fecales en el agua de los ríos y el índice de CERA-S.
- Analizar la composición de las especies de algas a nivel de microcuencas para establecer patrones de distribución dentro de la Cuenca de México.



## **5. Materiales y método.**

### **5.1. Área de estudio.**

#### *5.1.1. LOCALIZACIÓN.*

La Cuenca de México se localiza al sur de la Altiplanicie Mexicana ( $98^{\circ} 28'$  y  $99^{\circ} 32'$  LW y  $19^{\circ} 02'$  y  $20^{\circ} 12'$  LN) ocupando toda el área del Distrito Federal y parte de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. Tiene una extensión de aproximadamente  $9,600 \text{ km}^2$  y está rodeada por montañas que forman parte del Eje Volcánico Transversal. Sus altitudes oscilan entre los 2,230 y 5,450 metros sobre el nivel del mar (Legorreta, 2009). Es una cuenca de tipo endorreica y lacustre, en la actualidad drena artificialmente hacia otras cuencas adyacentes. La principal fuente de recarga de los acuíferos en la cuenca son de origen pluvial, sus aguas superficiales contribuyen con un gasto medio de  $2.49 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  mientras que las aportaciones a fuentes externas (Lerma y Cutzamala) es de  $19.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y representa el 27.4% del suministro total de agua potable para uso doméstico (Legorreta, 2009).

#### *5.1.2. CLIMA.*

El clima predominante es el templado subhúmedo C(E)(W2) (García, 2004) con una temperatura media anual entre  $12$  y  $18^{\circ}\text{C}$ . En la parte norte y central existen climas semisecos, que según el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (2004), son los siguientes: BS, kw (w)(i')y BS k'w(w)(i'), correspondientes al clima templado semiárido con régimen pluvial máximo en verano. En zonas donde la altitud es mayor a 4000 metros, se presentan los siguientes subtipos: C(W<sub>0</sub>)(w)b(i'); C(W<sub>1</sub>)(w)b(i'); C(W<sub>2</sub>)(w)b(i'); C(W<sub>2</sub>)(w)bi; C(W<sub>2</sub>)(w)b'i; C(W<sub>2</sub>)(w)ci; en orden creciente de altitud y que corresponden al clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano. En el resto de la cuenca existen dos tipos climáticos: E(T) CH (frío) y EFHi (muy frío). La época de lluvias abarca de junio a octubre con precipitaciones medias anuales promedio del orden de 760 mm, las más altas precipitaciones corresponden a la región montañosa del sur de la cuenca, sobre las sierras de las Cruces, Ajusco y Chichinautzin (Legorreta, 2009).

La Comisión Nacional del Agua reporta que en 2012 y en 2013 los meses con mayor precipitación pluvial se registraron de junio a septiembre, con una media anual de 598.5 mm y 770.5 mm, respectivamente. En cuanto a la temperatura ambiental en 2012 y 2013, los meses más calurosos correspondieron a los meses de abril a octubre, con una media anual de 17.5 y 18°C respectivamente (CONAGUA, 2012; CONAGUA 2013).

### 5.1.3. VEGETACIÓN Y GEOLOGÍA.

La Cuenca de México, en sus partes más elevadas, presenta los siguientes tipos de vegetación: bosque de *Abies* y bosque de *Pinus*, en zonas con altitudes mayores a los 3000 metros sobre el nivel del mar (Espinosa y Sarukhán, 1997). Las unidades edafológicas predominantes son Feozems, Litosoles y Vertisoles. Los primeros se encuentran en las áreas cultivables y planas de Hidalgo y Estado de México, los Litosoles se encuentran en las sierras como Chichinautzin, Guadalupe y Nevada; y finalmente los Vertisoles se encuentran dispersos en el resto de la cuenca. Una de las principales características de ésta cuenca es una pendiente menor al 15% y que abarca un área de 5,136 kilómetros cuadrados, 53.5% de la superficie total de la cuenca, lo que resulta favorable para los usos de suelo urbano (asentamientos humanos) y actividades agrícolas de temporal. Los 4,464 kilómetros cuadrados restantes (46.5% del total de la superficie de la cuenca) son terrenos montañosos y con pendientes mayores al 15%, y forma serranías principalmente en la zona poniente y sureste del estado de México, así como en el sur del Distrito Federal (Legorreta, 2009).

### 5.1.4. MICROCUENCAS.

Se consideró que las unidades de comparación para la diversidad y distribución de las algas macroscópicas fueran a nivel microcuenca, debido a que facilita y hace más eficiente su análisis al momento de evaluar los diversos parámetros ambientales. Dentro de la Cuenca de México fue posible identificar 16 microcuencas con base a la conectividad que presentaban los ríos, además, fue importante considerar que cada microcuenca estuviera representada por dos o tres ríos (excepto Apatlaco y La Colmena que sólo se colectaron

una vez), en una o dos temporadas diferentes, para describir y analizar la diversidad y distribución de algas macroscópicas de una manera consistente.

#### 5.1.4.1. San Rafael, La Compañía-Cosamala y Ameca-Canal Nacional.

Se localizan al sureste de la Cuenca de México, la mayoría de sus escurrimientos provienen del volcán Iztaccíhuatl, las cuales se alimentan por el arroyo El Marrano y los ríos Amipulco, Tzonquizincó y Panoaya. Estas microcuencas se caracterizan por ser muy accidentadas y presentar una gran cantidad de cañadas y barrancas con una alta cubierta boscosa (Fig.2). Una vez que atraviesan el municipio Tlalmanalco presentan contaminación evidente.

#### 5.1.4.2. Apatlaco y Miraflores.

El río Apatlaco se localiza al sureste de la Cuenca de México y se alimenta principalmente de los escurrimientos del volcán Popocatepetl, cuyo afluente atraviesa por una región poco accidentada (Fig.3) y una zona ecoturística aguas abajo. El río Miraflores, por su parte, nace en la parte alta del cerro Tlaloc, en el municipio de Texcoco, al oeste del Estado de México. La parte alta se caracteriza por escurrir a través de terrenos abruptos y con cubierta boscosa, más abajo pasa por terrenos agrícolas, rancherías y poblados, para descargar finalmente en el ex vaso de Texcoco.

#### 5.1.4.3. Villa del Carbón y Tepetzotlán.

Se localizan al noroeste de la Cuenca de México. Forman parte de la cadena montañosa de la Sierra de Monte Alto (cerro Las Palomas, La Cruz y Peña Blanca en el Estado de México) que desciende en una pendiente en dirección suroeste a noreste (Fig.4), formando valles entre cañadas y laderas, que originan el nacimiento de varios ríos y manantiales, como Ojo de Venado, encausados en su mayoría hacia la presa Taxhimay. Una vez atravesada la presa, recibe importantes aportes en medio de extensas tierras de usos agrícolas y ganaderas.

#### 5.1.4.4. Cuautitlán, La Caldera y Xopachi.

El nacimiento de estos ríos se remonta a las corrientes más elevadas de la sierra de Monte Alto y Monte Bajo, en el municipio de Isidro Fabela y Jilotzingo, al occidente del Estado de México. Son alimentados por los ríos San Luis, Santa Ana, Navarrete y otros arroyos temporales (Fig.5). Parte de sus aguas descargan en la Presa Iturbide, donde es posible encontrar actividades turísticas y acuícolas.

#### 5.1.4.5. San Ildefonso, La Colmena y San Pedro.

Nacen en la parte más elevada de la sierra de Monte Alto, en el municipio de Isidro Fabela, Estado de México. Se forman con los manantiales del cerro Las Palomas y de otros afluentes pequeños como el Tecuane y Los Capulines. Presenta zonas muy accidentadas, formando barrancos y cañadas (Fig. 6). Parte de sus aguas son aportadas a las del río Cuautitlán para descargar hasta el lago de Guadalupe, donde sus aguas visiblemente contaminadas por la presencia de población urbana.

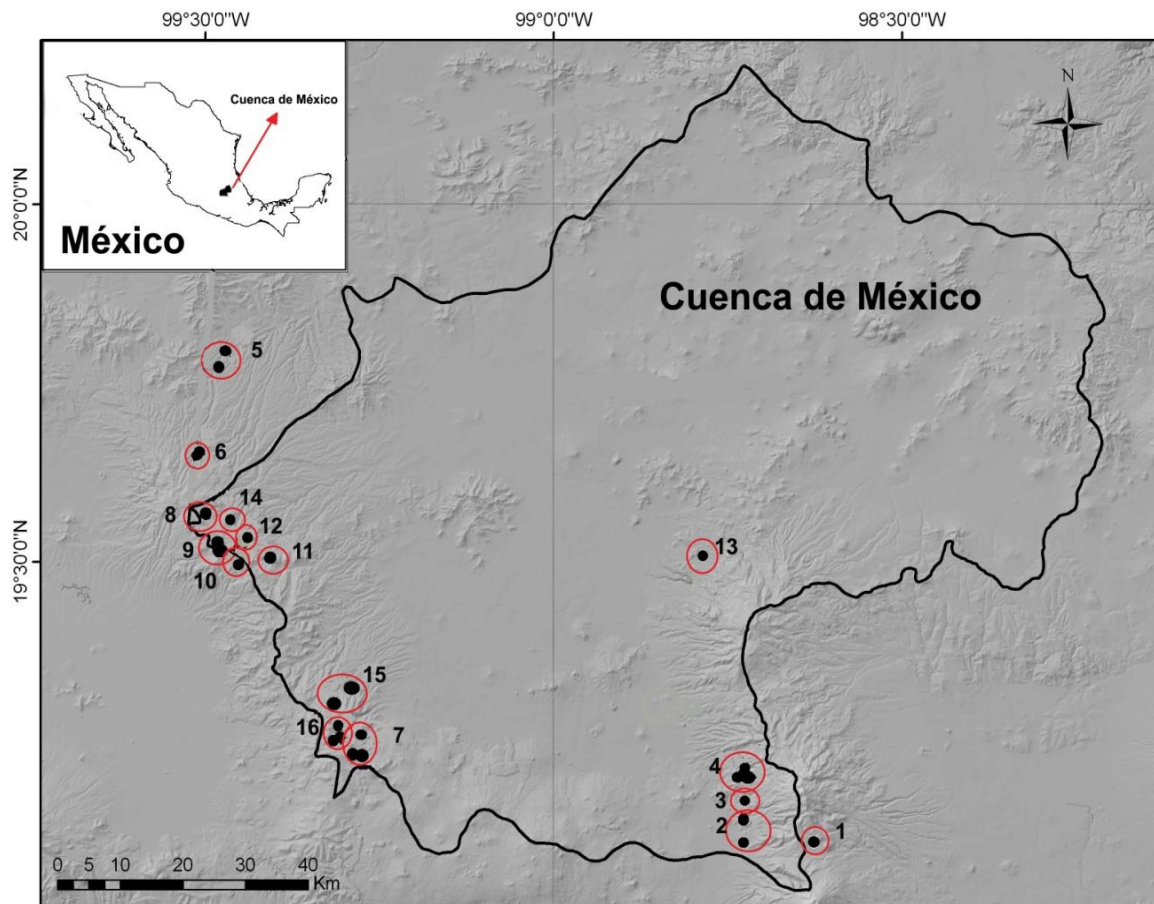
#### 5.1.4.6. Santa Rosa y Eslava.

El Río Santa Rosa se origina en las faldas del Cerro La Palma, al oeste de la delegación Cuajimalpa, en el Distrito Federal (Fig.7). Es alimentado por numerosos manantiales y afluentes entre los que destacan el río Tepapatlapa y El Potrero. El río Eslava, por su parte, nace de los escurrimientos localizados en las partes más elevadas de la sierra del Ajusco (Fig. 8), sus aportes más importantes provienen de las cañadas de Agua Escondida y Atzoma. Aguas abajo pueden apreciarse actividades ecoturísticas y de pastoreo.

#### 5.1.4.7. La Magdalena.

Se origina en La sierra de las Cruces, al surponiente del Distrito Federal, con los manantiales y escurrimientos de los cerros La Palma, El Gavilán y El Muñeco (Fig. 9), donde predominan fuertes pendientes. El caudal aumenta conforme recibe diversos escurrimientos hasta llegar al cuarto dínamo. A partir del segundo dínamo, es visible la contaminación proveniente de actividades turísticas.

**Fig.1 Ubicación geográfica de la Cuenca de México (Modificado por Aguilar V. & Rodríguez R. 2014).**



Microcuencas: Apatlaco (1), San Rafael (2), Ameca-Canal Nacional (3), La Compañía-Cosamala (4), Villa del Carbón (5), Tepetzotlán (6), Santa Rosa (7), Cuautitlán (8), Ildefonso (9), La Colmena (10), San Pedro (11), La Caldera (12), Miraflores (13), Xopachi (14), Magdalena (15), Eslava (16).



**Fig. 2. Río San Rafael.**



**Fig3. Río Apatlaco.**



**Fig. 4. Río Tepetzotlán.**



**Fig. 5. Río Cuautitlán.**





**Fig. 6. Río San Ildefonso.**



**Fig. 7. Río Santa Rosa.**



**Fig. 8. Río Eslava.**



**Fig. 9. Río Magdalena.**

## 5.2. Trabajo de campo.

Los sitios de estudio fueron seleccionados de acuerdo al sitio más cercano al nacimiento de los ríos. Se realizaron 36 recolectas correspondientes a 16 microcuencas (Tabla 1, Fig 1), durante el periodo comprendido entre marzo de 2012 y agosto de 2013. Algunas localidades fueron recolectadas durante la temporada de lluvias y de secas (frías y secas), mientras que otras sólo en alguna de ambas temporadas (Tabla 1).

La caracterización ambiental se obtuvo a través del registro de los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura (°C), iones de Hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT  $\text{mg l}^{-1}$ ) y conductividad específica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) con un medidor de conductividad marca Hanna®; el porcentaje de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ) y salinidad (ppm), utilizando una sonda multiparamétrica marca Hach®.

El caudal o aforo se estimó usando la metodología empleada por Bojorge (2006) y Hauer & Lamberti (1996), considerando áreas parciales y la velocidad de corriente en un perfil transversal del río de acuerdo a lo siguiente:

I) En las orillas se calculó el área de un triángulo siempre que la profundidad fuera igual a cero centímetros y entonces, se aplicó la siguiente fórmula:

$$A = B.H/2.$$

Donde: B= distancia entre orilla y primera medida del ancho del cauce

H= primera profundidad a partir de la orilla.

II) El resto de las áreas se calculó considerando un polígono en forma rectangular y se aplicó la siguiente fórmula:

$$A = (B+b) H/2.$$



Donde: B= 1ª profundidad

b= 2ª profundidad

H= Distancia del intervalo (20 o 50 cm).

Cada área calculada se multiplicó por la velocidad de corriente correspondiente para obtener aforos parciales (Q) de acuerdo a la siguiente fórmula:

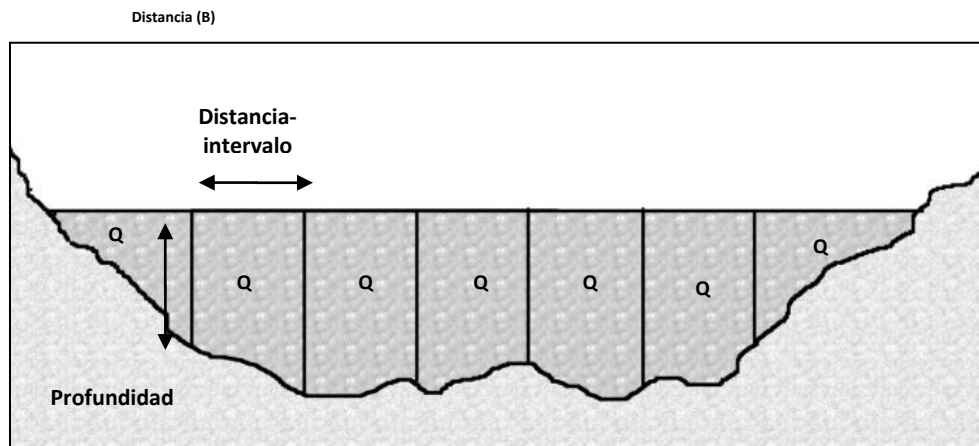
$$Q = A.V$$

Donde A= áreas parciales.

V= velocidad de corriente del área parcial.

El aforo total ( $Q_3$ ) se calculó sumando todos los aforos parciales (Q) (Fig 10).

**Fig. 10. Perfil de un río segmentado para el cálculo de aforo (Bojorge,2006; Hauer & Lamberti,1996). Modificado en este trabajo.**



Los parámetros microambientales, tales como la velocidad de corriente ( $\text{ms}^{-1}$ ) se estimó con un medidor de corriente marca Gun Guard Plano©; mientras que la luz fotosintéticamente activa (PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ) se midió con un sensor subacuático marca Li-Cor Data Logger © modelo Li-1000. Todos los parámetros ambientales y microambientales de los ríos fueron promediados y agrupados en la microcuenca correspondiente (Tabla 3 y 4). Las localidades fueron georreferenciadas con un GPS marca Etrex-Garmín©.

El sustrato se determinó de acuerdo al hábito del alga (epilítico o epífita) y en su caso, al tamaño de grano propuesta por Wentworth (1922), quedando definida como bloques (>250 mm de diámetro), cantos rodados (60-250 mm de diámetro), guijarros (20-60 mm de diámetro), grava (0.2-20 mm de diámetro), arena (0.0006-0.2 mm de diámetro) y limo (<0.006 mm de diámetro).

A largo de un transecto lineal de 10 metros dentro del río, se colectaron algas bentónicas macroscópicas, las cuales fueron depositadas en frascos de plástico. Asimismo, se tomó registró de la cobertura porcentual algal usando una unidad de muestreo circular de  $177\text{cm}^2$  de área. Las muestras de los crecimientos se preservaron en frío ( $4^\circ\text{C}$ ) hasta que éstas pudieran ser revisadas en el laboratorio. Posteriormente, se preservaron en formalina (concentración al 4%).

La abundancia relativa de cada una de las especies de algas se calculó a partir de la suma de sus coberturas porcentuales a lo largo del transecto y dividida entre cinco (siendo éste el número de réplicas generadas por transecto). Estas abundancias fueron sumadas y agrupadas en su respectiva microcuenca para su posterior análisis estadístico.

Se tomaron muestras de agua de río (500 ml), utilizando para ello un sistema de filtración con membranas de nitrocelulosa marca Millipore® diámetro de poro 0.45 y 0.22 µm. Las muestras fueron depositadas en recipientes de plástico, previamente desinfectadas con ácido clorhídrico (concentración al 10%), fueron transportadas en frío y analizadas en el laboratorio en un máximo de 72 horas posteriores a su colecta, para determinar las concentraciones químicas del agua mediante técnicas espectrofotométricas.

Adicionalmente, se tomaron muestras de 300 ml de agua y fueron depositadas, sin filtrar, en bolsas de plástico estériles marca Nasco Whirl-pak®, para la posterior determinación de la calidad microbiológica del agua (coliformes totales y coliformes fecales).

La calidad hidrogeomorfológica de las localidades estudiadas se evaluó usando como referencia el índice de calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S), considerando para ello la composición de la vegetación de ribera y las características fisiográficas del río: hidrología, tramo y lecho; valorizando su estado de conservación o perturbación con base en una escala numérica, donde 28 puntos o más representan sitios con calidad ambiental buena a muy buena (Encalada *et al.*, 2011; Acosta *et al.*, 2009).

**Tabla 1. Microcuencas, localidades y ubicación de los ríos estudiados en la Cuenca de México.**

Microcuenca	Localidad	Latitud Norte (grados, minutos, segundos)	Longitud Oeste (grados, minutos, segundos)	Altitud (m.s.n.m)	Fecha de recolecta	Temporada
1.-Apatlaco	Apatlaco	19°06'29"	98°37'37"	3582	02/03/2012	Secas
2.-San Rafael	Río (1ª colecta)	19°12'00"	98°44'06"	3144	02/03/2012	Secas
	Canal-Vereda	19°12'10"	98°43'52"	2780	02/03/2012	Secas
	Canal (inicio)	19.11'58.6"	98°43'10.2"	2895	25/07/2013	Lluvias
	Agua dulce	19.11'53"	98°43'13"	2802	30/10/2012	Secas
3.- La Compañía-Cosamala	Cosamala	19.12'44"	98°43'33"	2803	30/10/2012	Secas
	Cascada	19.12'40.9"	98°43'24.8"	2847	25/07/2013	Lluvias
4.-Río Ameca-Canal Nacional	La Castañeda	19.08'26"	98°43'42"	2608	31/10/2012	Secas
	La Castañeda	19.06'30.1"	98°43'37.5"	2625	26/07/2013	Lluvias
5.-Villa del Carbón	La Cabañita	19.46'24"	99°28'51"	2413	26/07/2012	Lluvias
	La Planta	19.47'48"	99°28'18"	2358	26/07/2012	Lluvias
6.-Tepetzotlán	El Llano I	19.39'02"	99°30'42"	2845	25/07/2012	Lluvias
	El Llano II	19.39'13"	99°30'33"	2840	25/07/2012	Lluvias
7.-Santa Rosa	Santa Rosa	19.18'09"	99°18'51"	3014	24/08/2012	Lluvias
	La Capilla-Sta. Rosa Alto	19.19'28.1"	99°17'12.5"	2840	01/06/2013	Lluvias
8.-Cuautitlán	Organillos	19°30'57"	99°28'34"	3378	24/08/2012	Lluvias
	Nac. Presa Iturbide	19°31'43"	99°28'58"	3334	14/11/2012	Secas
	Nac. Presa Iturbide	19°31'43.3"	99°28'58.2"	3339	27/06/2013	Lluvias
9.-Ildefonso	Truchero Don Álvaro	19°33'14"	99°29'10"	3200	30/08/2012	Lluvias
	Truchero Don Álvaro	19°33'15.5"	99°29'09.8"	3236	28/06/2013	Lluvias
	Manantial las Palomas	19°34'07.4"	99°30'01.2"	3417	28/06/2013	Lluvias
10.-La Colmena	Manantial Capoxi	19°31'42"	99°26'41"	3177	29/08/2012	Lluvias
	Río Capoxi	19°31'41"	99°26'49"	3183	29/08/2012	Lluvias
11.-San Pedro	Manantial San Pedro	19°31'11"	99°27'10"	3310	15/11/2012	Secas
	Manantial San Pedro	19°31'11.09"	99°27'10.9"	3305	27/06/2013	Lluvias
12.-La Caldera	La Caldera	19°30'22.8"	99°24'55"	3124	15/11/2012	Secas
13.-Miraflores	Miraflores	19°30'44.7"	98°50'16.1"	2345	16/08/2013	Lluvias
	Santa Catarina	19°28'17.4"	98°46'10.4"	2345	16/08/2013	Lluvias
14.-Xopachi	Xopachi	19°30'59"	99°25'58"	3154	15/11/2012	Secas
	Xopachi	19°30'59"	99°26'80"	2867	27/06/2013	Lluvias
15.-La Magdalena	Chautitle alto	19°15'10"	99°18'57"	3357	09/02/2013	Secas
	Chautitle cañada	19°15'15"	99°18'34"	3350	09/02/2013	Secas
16.-Eslava	Viborillas-Monte Alegre	19°13'49"	99°17'19"	3596	25/04/2012	Secas
	Viborillas-Monte Alegre	19°13'46"	99°16'49"	3378	25/04/2012	Secas
	Manantial Eslava	19°15'34"	99°16'35"	3230	25/02/2013	Secas

### 5.3. Trabajo de laboratorio.

La química del agua se determinó en el Laboratorio de Ecosistema de Ribera de la Facultad de Ciencias, con reactivos colorimétricos solubles y equipo espectrofotométrico marca Hach®, con dos réplicas para cada uno de los siguientes ensayos: fósforo reactivo soluble (ortofosfatos), sulfatos, nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal (éstos tres últimos de bajo rango, de hasta  $0.5 \text{ mgL}^{-1}$ ) y alcalinidad, todos en  $\text{mgL}^{-1}$ .

Estos análisis se realizaron a partir de los métodos para la determinación de la calidad del agua y aguas residuales (APHA, 1995) descritas con anterioridad por Douterelo *et al.* (2004). El nitrógeno inorgánico disuelto (NID) se calculó a partir de la suma de las tres formas inorgánicas en el agua: nitrito, nitrato y amonio.

El análisis bacteriológico se realizó con base en lo descrito por Norouzian *et al.* (1984). La prueba presuntiva se realizó inoculando 1ml de muestra de agua de río diluida en un medio ML líquido (medio lactosado) o MLT líquido (medio lauril-triptosa) y dejando incubar durante 24 horas a  $35^{\circ}\text{C}$ . Si se produjo gas, se realizó la prueba confirmativa ó de coliformes fecales, en caso contrario, se reincubó por 24 horas más y si definitivamente no hubo producción de gas, se descartó la presencia de coliformes. La prueba confirmativa se realizó inoculando 1ml de muestra de agua de río en medio MBVB (medio bilis verde brillante) dejando incubar durante 48 horas a  $35^{\circ}\text{C}$ . Si se produjo gas, se calculó el número probable de individuos, de lo contrario, se descartó la presencia de coliformes. La prueba de coliformes fecales se realizó inoculando 1ml de muestra de agua de río diluida en medio EC (*Escherichia coli*), dejando incubar durante 24 horas a  $45^{\circ}\text{C}$ . Si se produjo gas, se calculó el número probable de individuos, de lo contrario, se descartó la presencia de coliformes fecales.

Las muestras de de algas se observaron en un microscopio estereoscópico Olympus© modelo SZX7 y en un microscopio óptico Olympus© modelo BX51, ambos equipados con sistema de fotográfico Olympus© modelo Evolt-E-330.

La determinación de las especies se realizó con base en los siguientes recursos bibliográficos: para Cyanoprokaryota, Anagnostidis & Kómarek (2005), Broady & Ingerfield (1991), Wehr (2003); para Chlorophyta, Prescott *et al.* (1975), Novelo (1998), Ramírez & Carmona (2005), Ramírez & Cantoral (2003), Santoyo (2012) y Wehr (2003); para Rhodophyta Carmona & Beltrán (2007), Carmona, *et al.* (2011) y Kumano (2002); para Xantophyta, Novelo (1998). Las longitudes de los talos y de las estructuras celulares se midieron utilizando el programa SigmaScanPro 5.0©.

Todas las especies quedaron definidas por una breve descripción, en las que se incluyeron los principales caracteres diagnósticos, información ecológica, especies asociadas, número de muestra, ubicación geográfica, nombre del colector y fecha de colecta. Las 209 muestras fueron puestas a disposición del Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME) con las siglas CuMe.

#### 5.4. Análisis estadístico.

Los parámetros fisicoquímicos registrados en el estudio fueron analizados con el coeficiente de variación empleado por Margalef (1983), el cual establece que una variación superior al 10% puede determinar cambios en la comunidad acuática. El coeficiente de variación se obtuvo a partir de la razón desviación estándar/promedio, y multiplicado por 100 para obtener un valor porcentual. Al final se consideraron los siguientes parámetros ambientales: (NID), fósforo reactivo soluble (FRS), temperatura (°C) y aforo (Q<sub>3</sub>).

Para reconocer la afinidad entre las microcuencas con base en los parámetros fisicoquímicos, se aplicó el método de Clasificación Ascendente Jerárquico (CAJ), el cual genera un dendrograma de disimilitud. Asimismo, se aplicó el método de Análisis de Redundancia (RDA) y del cual fue posible generar un gráfico que relacionó la abundancia de las algas con los parámetros ambientales antes mencionados. Las pruebas estadísticas realizadas con los datos de campo y de laboratorio se llevaron a cabo con los programas Microsoft Excel 2007© y XLSTAT 2013©.

En este trabajo se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, el cual se basa en la teoría de la información ecológica (riqueza y abundancia de las especies) y se calculó mediante la fórmula:  $H' = -\sum p_i \ln p_i$ ; donde  $p$  es la proporción relativa de individuos de la especie  $i$  con respecto al total  $N$ , es decir,  $p = n_i/N$ ; y  $\ln$  es el logaritmo natural. Los índices de diversidad han sido utilizados ampliamente como una herramienta que evalúa la condición de un ecosistema a partir de la riqueza y abundancia de las especies de una comunidad (Peña *et al.*, 2005, Krebs, 2001), elementos que integran parte de los resultados de éste trabajo. Por otra parte, la comparación de la riqueza específica esperada contra la observada, se estimó con el uso del programa Estimate S ©versión 9.1.0.

## 6. Resultados.

### 6.1. DIVERSIDAD.

El análisis de 209 muestras determinó la presencia de 20 especies de algas bentónicas macroscópicas las cuales corresponden a los siguientes grupos taxonómicos: 10 Chlorophyta, 7 Cyanoprokaryota, 2 Rhodophyta y 1 Heterokontophyta (Xantophyceae); así como 3 especies asociadas (epífitas) del grupo de las Cyanoprokaryota (Tabla 2). Con base a la curva de rarefacción obtenida de Stimante S, se hizo la comparación de la riqueza específica esperada contra la observada, la cual indica que el esfuerzo de colecta en la Cuenca de México fue significativo (Fig.11).

El número de especies registradas en las distintas microcuencas fue entre 2 y 9 ( $\bar{x}$  =3). Las microcuencas de los ríos Cuautitlán y San Rafael presentaron la mayor riqueza específica con 9 especies para la primera y 8 especies para la segunda, así como el mayor índice de diversidad:  $H' = 2.48$  y  $H' = 2.41$ , respectivamente (Tabla 2). Las Cyanoprokaryota más frecuentes en dichas microcuencas fueron *Coleodesmium wrangelii*, *Nostoc sp1*, *Nostoc sp3*, *N. cf parmelioides* y *Placoma regulare*; las Chlorophyta *Draparnaldia mutabilis*, *Cladophora glomerata*, *Prasiola mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Tetraspora gelatinosa*, *Ulothrix sp* y *Rhizoclonium sp*; y la Xanthophyceae, *Vaucheria bursata*.

Ambas microcuencas (Cuautitlán y San Rafael) compartieron las siguientes 4 especies: *P. mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Ulothrix sp* y *P. regulare*.

Por el contrario, las microcuencas de Ameca-Canal Nacional, Miraflores y Villa del Carbón presentaron la menor riqueza, con cuatro especies o menos, así como el menor índice de diversidad  $H' = 0.14$  y  $0.27$ , respectivamente (Tabla.2). *Phormidium cf autumnale* y *Prasiola mexicana* fueron las especies comunes entre estas microcuencas.



**Tabla 2. Riqueza, distribución, forma de crecimiento e índice de diversidad ( $H'$ ) de las algas macroscópicas bentónicas en las microcuencas correspondientes al área de estudio.**

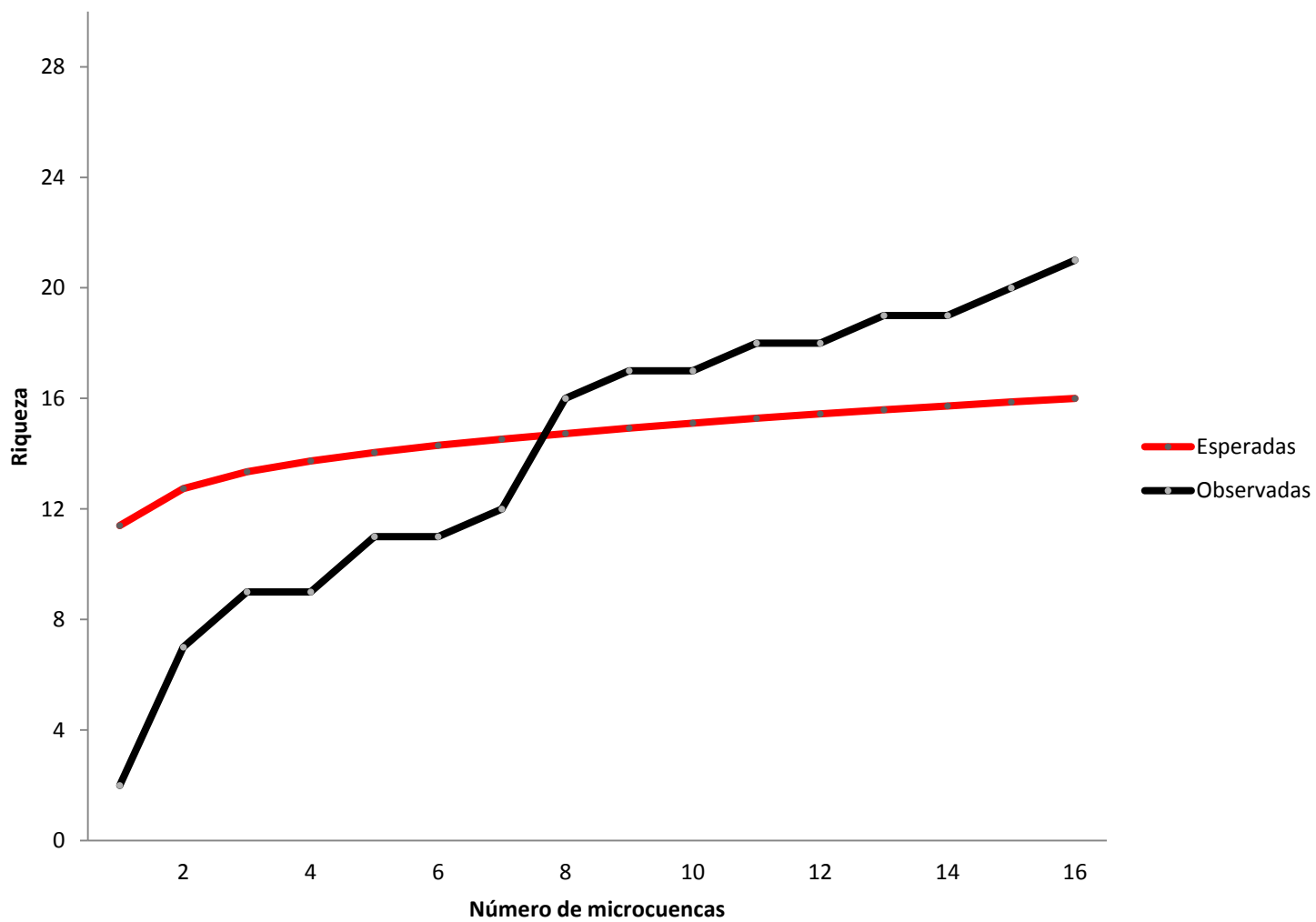
Microcuenca	Cuautitlán	San Rafael	Eslava	La Magdalena	Santa Rosa	San Ildefonso	Xopachi	La Compañía	San Pedro	Tepotztlán	La Caldera	La Colmena	Apatlaco	Villa del Carbón	Ameca-Canal	Miraflores	
Especie																	
<b>Cyanoprokaryota</b>																	
<i>Calothrix sp C. Agardh (fep)</i>																	o
<i>Chamaesiphon cf. incrustans Grunow (uep)</i>			*		*			*									
<i>Coleodesmium wrangelii C. Agard (m)</i>	*				*		*	*				o					
<i>Leptolynbya sp Anagnostidis &amp; Kómarek (fep)</i>			*														o
<i>Nostoc sp1 Vaucher ex Bornet &amp; Flahault (cg)</i>		*o	*	*				*					o				o
<i>Nostoc sp2 Vaucher ex Bornet &amp; Flahault (cg)</i>				*				*									
<i>Nostoc sp3 Vaucher ex Bornet &amp; Flahault (cg)</i>	*o						*										
<i>Nostoc cf. parmelioides Kützing (cg)</i>	o																
<i>Phormidium cf autumnale C. Agardh (m)</i>					*								o				o
<i>Placoma regulare P.A. Broady &amp; M. Ingerfeld (cg)</i>	*	*o		*	*	o		o					o				

Microcuenca	Cuautilán	San Rafael	Eslava	La Magdalena	Santa Rosa	San Ildefonso	Xopachi	La Compañía	San Pedro	Tepotztlán	La Caldera	La Colmena	Apatlaco	Villa del Carbón	Ameca-Canal	Miraflores	
Especie																	
<b>Chlorophyta</b>																	
<i>Cladophora glomerata</i> Linnaeus Kützing.(f)		*o															
<i>Draparnaldia mutabilis</i> Bory de Saint-Vincent (mg)	o																
<i>Oedogonium sp</i> Link ex Hirn (f)			*			o	o				*						
<i>Prasiola mexicana</i> J.Agardh (l)	*o	*o		*	o	o	*	*o		o	*	o		o	o*		
<i>Rhizoclonium sp</i> Kützing (f)		o															
<i>Spirogyra sp1</i> Link (f)	o	*o	*		o	o	o	*	*								
<i>Spirogyra sp2</i> Link(f)					o												
<i>Stigeoclonium sp</i> Kützing (m)																	o
<i>Tetraspora gelatinosa</i> (Vaucher) Desvaux (mg)	o		*														
<i>Ulothrix sp</i> Kützing (f)	o	*o	*	*						o				*			
<b>Rhodophyta</b>																	
<i>Batrachospermium gelatinosum</i> (Linnaeus) De Candolle (mg)																	o*
<i>Paralemanea mexicana</i> (Kützing) (b)							*										

Microcuenca	Cuautitlán	San Rafael	Eslava	La Magdalena	Santa Rosa	San Ildefonso	Xopachi	La Compañía	San Pedro	Tepotztlán	La Caldera	La Colmena	Apatlaco	Villa del Carbón	Ameca-Canal	Miraflores
Especie																
<b>Heterokontophyta (Xantophyceae)</b>																
<i>Vaucheria bursata</i> (O.F.Müller) (f)		*°	*	*	°	°			*		*		*		*	
<b>Especies totales</b>	9	8	8	6	8	5	6	7	3	5	3	3	2	4	2	3
<b>Diversidad (H' log10)</b>	2.48	2.41	1.97	1.96	1.85	1.83	1.82	1.45	1.35	1.24	1.20	0.79	0.28	0.27	0.14	0.14

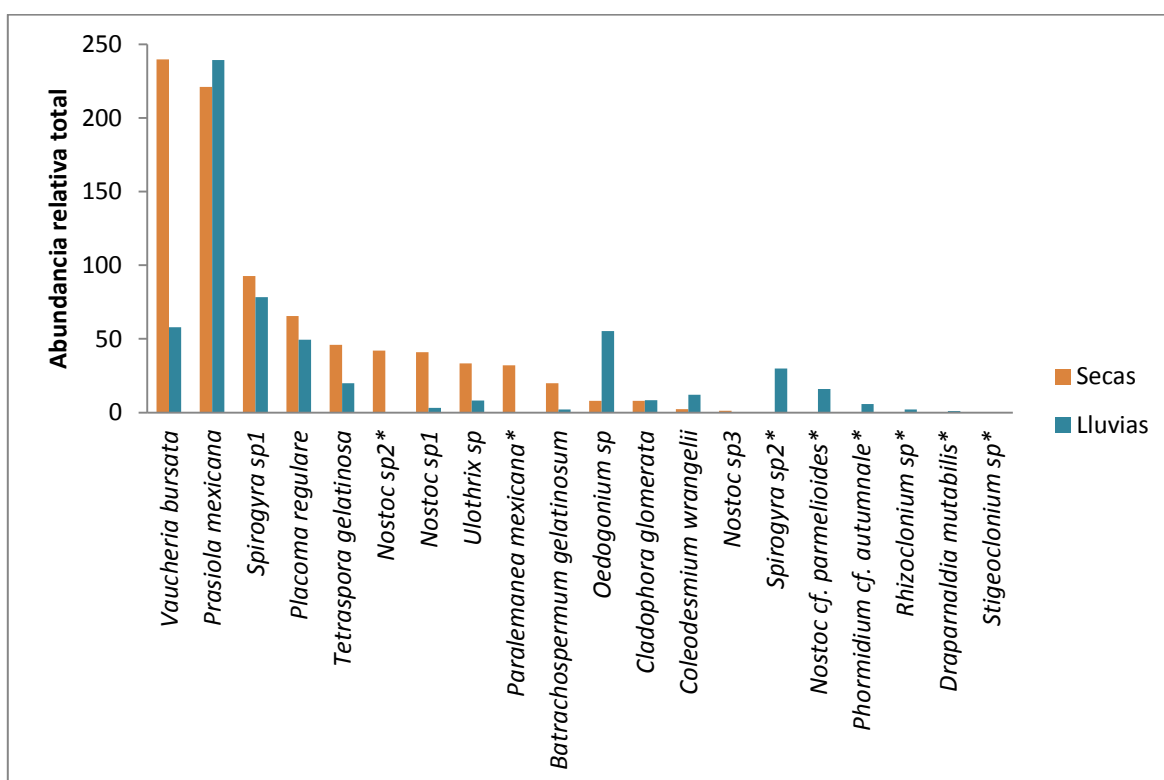
Forma de crecimiento fep (filamento epífito), uep (unicelular epífito), m (mata), cg (colonia gelatinosa), f (filamento), mg (mata gelatinosa), l (laminar), b (bambuforme). °: lluvias; \*: secas.

Fig.11. Curva de rarefacción de especies de algas macroscópicas en la Cuenca de México.



La abundancia relativa de las algas macroscópicas fue diferente entre las estaciones secas (frías-secas) y de lluvias, ambas épocas definidas por el aforo y la temperatura del agua. Durante la época de secas se encontró la mayor abundancia relativa de algas, principalmente en las especies de *Vaucheria bursata* y *Prasiola mexicana*. Durante la época de lluvias, *P. mexicana* presentó también la mayor abundancia en la Cuenca de México. *Nostoc sp3*, en cambio, fue la especie menos abundante en lluvias y secas (Fig.12).

**Fig.12. Abundancias relativas de las especies de algas macroscópicas en la Cuenca de México durante la temporada de secas y de lluvias.**



\*Especies que fueron colectadas en una temporada.

### 6.1.1. DESCRIPCIÓN DE ESPECIES.

Para cada especie se presenta una breve descripción, en la que se detalla la clasificación taxonómica, las dimensiones macroscópicas del talo, celulares y estructurales. Además, se incluye una lista de los principales caracteres diagnósticos de las especies, información ecológica, especies asociadas y ficha técnica (número de muestra, ubicación geográfica, nombre del colector y fecha de colecta).

División Cyanoprokaryota

Clase Cyanophyceae

Orden Nostocales

Familia Microchaetaceae

#### ***Coleodesmium wrangelii* C.Agardh, Borzi.** (Lámina 1; Fig 13 y 14).

Forma tapetes de entre 0.6 y 1 cm de largo, filamentos verde-azulados, en grupos de 2 a 4 tricomas ondulantes, constreñidos, cada una dentro de vainas independientes, incoloras y gruesas de 1.5-2.0  $\mu\text{m}$  de grosor. Las células que componen al tricoma son elipsoides, de entre 10  $\mu\text{m}$  de ancho y 3  $\mu\text{m}$  largo. Las ramas falsas son iniciadas en los heterocitos intercalares, de 20 a 30  $\mu\text{m}$  de grosor, de la cual surgen de 2 a 4 tricomas orientadas en dirección al crecimiento y disminuyendo su número conforme llegan al extremo superior. El ápice es redondeado y hemisférico de 0.7 a 14  $\mu\text{m}$  de diámetro. No se observaron hormogonios.

Caracteres diagnósticos: Tricomas con ornamentación constreñida, ramas falsas, heterocitos intercalares, número de tricomas en la base y en la superficie. Diámetro de tricoma y longitud celular.

Información ecológica: epilíticas, crece formando tapetes verde-oscuros sobre grandes rocas, en zona de salpicadura ó cascada. Temperatura: 5-11°C; pH: 6.1-7.0; conductividad: 30.6-78.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.04-0.06  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.02-0.1  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.01-0.8  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 33-806 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 7-13 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Cuajimalpa, Santa Rosa 1ª colecta, agosto 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 58, 60). Estado de México: Isidro Fabela, Río Capoxi, agosto 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 67, 69); Xopachi, noviembre 2012 (FCME; CuMe 106,107, 109); Presa Iturbide, noviembre 2012 (FCME; CuMe 94, 95); Tlalmanalco, Cosamala, octubre 2012, R. Ramírez (FCME CuMe 80).

Familia Nostocaceae

***Nostoc sp1. Vaucher ex Bornet & Flahault.*** (Lámina 1; Fig 15 y 16).

Forma crecimientos lobulares pardos, verrugosos, de consistencia gelatinosa y rígida, de entre 0.5 y 3.0 cm de largo, sobre sustratos rocosos. La colonia está compuesta por tricomas de entre 60 y 100  $\mu\text{m}$  de largo, más compactos y abundantes en la periferia que en la región interna, embebidos dentro de un mucilago hialino-amarillento. Presentan un heterocito polar esférico, algunas veces intercalares, de 5 a 9  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las células del tricoma son más anchas que largas y en forma de barril, de 5  $\mu\text{m}$  de largo y 8  $\mu\text{m}$  de ancho. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: Colonia con crecimiento lobular y verrugoso, tricomas rectos, células en forma de barril, heterocitos esféricos polares e intercalares.

Información ecológica: hábito epilítico, sobre cantos rodados, bentónicos. Temperatura: 5-16°C; pH: 6.1-7.7; conductividad: 47-140  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.04-0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.06-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.1-0.74  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 22-2000 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-15 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Magdalena Contreras: Monte Alegre I, abril 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 17,18,19,21); Chautitle Alto, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 115); Eslava, febrero 2013 (FCME; CuMe 125). Estado de México: Villa del Carbón, El Llano I, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 35); Isidro Fabela, Organillos, agosto 2012, *R. Rodríguez*. (FCME; CuMe 66); Xopachi, Noviembre 2012. *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 107). Tlalmanalco, Cosamala. Octubre 2012. (FCME; CuMe 82); Agua Dulce. Octubre 2012. (FCME; CuMe 90,91,92); San Rafael inicio. Julio 2013. (FCME; CuMe 169), San Rafael inicio. Noviembre 2013. (FCME; CuMe 194). Texcoco, Miraflores. Agosto 2013. (FCME; CuMe 181, 182).

***Nostoc sp2. Vaucher ex Bornet & Flahault.*** (Lámina 1; Fig 17 y 18).

Forma crecimientos laxos, en forma de largos sacos pardos, de consistencia gelatinosa y frágil, entre 2.5 y 4.0 cm de largo. Crece sobre sustratos rocosos. La colonia está compuesta por tricomas de entre 60 y 100  $\mu\text{m}$  de largo, embebidos dentro de un mucilago amarillento. Presentan un heterocito polar, algunas veces intercalares, de 5 a 9  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las células del tricoma son más anchas que largas y en forma de barril, de 5  $\mu\text{m}$  de largo y 8  $\mu\text{m}$  de ancho. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: Colonia con crecimiento globular, hueco y frágil, tricomas rectos distribuidos homogéneamente, células en forma de barril, heterocitos esféricos apicales e intercalares.

Información ecológica: hábito epilítico, sobre cantos rodados, bentónicos y subaéreos. Temperatura: 5.5-10.3°C; pH: 6.5-6.7; conductividad: 64-138  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.5-0.4  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.06-0.1  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.1-0.2  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 22-2000 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 9-11 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Magdalena Contreras: Eslava. Febrero 2013. *J. Carmona*. (FCME; CuMe 125). Estado de México: Tlalmanalco: Cascada Compañía. Noviembre 2013. *J. Carmona*. (FCME; CuMe 196).



***Nostoc sp3. Vaucher ex Bornet & Flahault.*** (Lámina 2; Fig 19 y 20).

Forma crecimientos globulares pardos, de consistencia gelatinosa y suave, de entre 0.5 y 1.0 cm de diámetro, sobre sustratos rocosos de talla mediana. La colonia está compuesta por tricomas de 40 a 80  $\mu\text{m}$  de largo, más compactos y abundantes en la periferia que en la región interna, embebidas dentro de un mucilago hialino-amarillento. Presentan heterocitos polares de 3 a 5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las células del tricoma bien desarrolladas y en forma de barril, de 1.7  $\mu\text{m}$  de largo y 3.5  $\mu\text{m}$  de ancho. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: Colonia con crecimiento globular esponjoso, tricomas rectos abundantes en la periferia, células en forma de barril, heterocitos esféricos apicales.

Información ecológica: hábito epilítico, sobre cantos rodados, bentónicos. Temperatura: 8-11°C; pH: 6.6-6.9; Conductividad: 30.5-40.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.3-0.4  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.03-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.09-0.2  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 714-919 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-13 cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela, Organillos, agosto, 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 66), Xopachi, noviembre 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 108,109), Presa Iturbide, noviembre 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 96).

***Nostoc cf. parmelioides* Kützing.** (Lámina 2; Fig 21 y 22).

Forma crecimientos aplanados y redondos, en forma de oreja, pardos e iridiscentes, de consistencia gelatinosa y correosa, de entre 0.8 y 1.0 cm de diámetro, crece sobre sustratos rocosos. La colonia está compuesta por tricomas de 56 a 105  $\mu\text{m}$  longitud agregadas dentro de un mucilago hialino.

Presentan un heterocito polar de 6-6.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las células del tricoma en forma de barril miden de 3 a 3.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Es frecuente observar en su interior larvas de quironómidos. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: Colonia con crecimiento en forma de oreja, larva de quironómido en el interior, tricomas más o menos enrollados, células en forma de barril, heterocitos semi-esféricos polares.

Información ecológica: hábito epilítico, sobre cantos rodados, bentónicos. Temperatura: 9.6-11°C; pH: 6.6-6.8; Conductividad: 40-50.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.3-0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.03-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.1-0.3  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 1661-1800 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 7-10 cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela: Presa Iturbide. Junio 2013. *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 149).

Familia Entophysalidaceae

***Placoma regulare* P.A.Broady & M.Ingerfeld.** (Lámina 2; Fig 23 y 24. Lámina 3; Fig 25).

Talos globosos, huecos, de 0.5 a 1.5 cm de diámetro, pardos y de consistencia gelatinosa. La colonia se compone de células poliédricas pequeñas en su interior (6-8  $\mu\text{m}$  de diámetro) y que incrementan en tamaño y se hacen más redondas conforme se acercan a la periferia (10-12  $\mu\text{m}$  de diámetro). No se observaron hormogonios.

Caracteres diagnósticos: Colonias globulares y huecas. Longitud celular en la región de la periferia e interna.

Información ecológica: hábito epilítico, sobre grandes rocas, bentónicos. Temperatura: 9.6-11°C; pH: 6.6-6.8; Conductividad: 40-50.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.3-0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.03-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de Corriente: 0.1-0.3  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 1661-1800 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 7-10 cm.

Material examinado: Estado de México: Tlalmanalco, San Rafael 1ª colecta, marzo 2012 (FCME; CuMe 1,2,3,4,5), San Rafael inicio, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 165), San Rafael inicio, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 190, 191), Cascada

Compañía, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 172, 175), Agua Dulce, octubre 2012 (FCME; CuMe 84); Isidro Fabela, Truchero Don Álvaro, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 74, 76), Presa Iturbide, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 94, 97), Las Palomas, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 155), Truchero Don Álvaro, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 161, 162), Villa del Carbón, El llano I, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 36), Distrito Federal: Cuajimalpa, Santa Rosa, agosto 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 57,59,60), Cuajimalpa, Santa Rosa, noviembre 2013 (FCME; CuMe 200); Magdalena Contreras, Chautitle Cañada, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 123), Chautitle alto, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 115,119), Truchero alto, diciembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 207, 209).

Familia Rivulariaceae

***Calothrix* sp C. Agardh ex Bornet & Flahault.** (Lámina 3; Fig 26).

Tricoma con pigmentación naranja, de entre 120 y 130  $\mu\text{m}$  de largo, forman tapetes oscuros, epífitos. Heteropolares, de 10 a 13  $\mu\text{m}$  de diámetro, las células del tricoma miden de 5 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho y 2 a 3  $\mu\text{m}$  de largo; la vaina es firme, ligeramente lamelada, oscura, de 1-3  $\mu\text{m}$  de grosor. Heterocito polar redondo, de 5-7  $\mu\text{m}$  de diámetro. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: filamentos verde-azulados, vaina amarillenta, ausencia de constricciones en el tricoma, sin heterocitos intercalares, vaina lamelada y firme. Diámetro de tricoma y longitud celular.

Información ecológica: hábito epífito, asociado a algas filamentosas ó formando pequeños tapetes oscuros entre sedimento. Temperatura: 13.5-15°C; pH: 6.8-7.2; Conductividad: 79-81.2  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.2-0.3  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.5-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.5-0.6  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 15-215 PAR  $\mu\text{M}$  fotón  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-17 cm.

Material examinado: Estado de México: Texcoco, Miraflores. Agosto 2013. *M. Ramírez* (FCME; CuMe 182).

Orden Oscillatoriales

Familia Phormidiaceae

***Phormidium cf. autumnale* (C.Agardh) Gomont** (Lámina 3; Fig 27 y 28).

Pequeños tapetes verde-azulados que crecen sobre sustratos rocosos ó limosos, de hasta 0.5 cm de largo. Filamentos de 5-7  $\mu\text{m}$  de diámetro y entre 60 a 140  $\mu\text{m}$  de largo, crecen formando grupos de varios tricomas, a veces solitarios; isopolares, rectos, nunca ramificados y ni atenuados hacia el extremo. Células en forma de barril, de 3-5  $\mu\text{m}$  de largo y 5-7  $\mu\text{m}$  de ancho, no constreñidas, con algunos gránulos de almidón brillante dispersos dentro de cada célula. No hay presencia de vaina o puede ser muy delgada e incolora. Ápices redondeados de 3 a 5  $\mu\text{m}$  de diámetro, con caliptra en forma de uña. No se observaron acinetos, células necridicas, ni heterocitos.

Caracteres diagnósticos: Vaina ausente ó muy delgada, filamento recto a ondulante, constricciones ausentes, células en forma de barril, contenido granular disperso.

Información ecológica: epilítico, forma tapetes sobre el sustrato rocoso, a veces epífitas a otras algas filamentosas, generalmente entre sedimento fangoso. Temperatura: 13-16°C; pH: 6.6-8.0; Conductividad: 34-81  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.2-0.4  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.2-0.8  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 71-587 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-20 cm.

Material examinado: Estado de México: Villa del Carbón, El Llano I, julio 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 37) Tepotzotlán, La Planta, julio 2012 R. Rodríguez (FCME; CuMe 52), Texcoco, Miraflores, agosto 2013. M. Ramírez (FCME; CuMe 188,189). Distrito Federal: Álvaro Obregón, Santa Rosa Alto, junio 2013, R. Rodríguez (FCME; CuMe 132,133, 135).

Orden Pseudanabaenales

Familia Pseudanabaenaceae

***Leptolyngbya* sp. Anagnostidis & Kómarek** (Lámina 3; Fig. 29).

Filamentos delgados, rectos, color verde-azulado, crecen sobre algas filamentosas. Los tricomas miden entre 1.6 y 2.3  $\mu\text{m}$  de ancho, de contenido homogéneo y presentan vainas muy delgadas. La célula apical es siempre redondeada o con vainas abiertas. No se observaron hormogonios ni acinetos.

Caracteres diagnósticos: Filamentos agregados, epífitos a algas, verde-azulados, rectos a ondulantes, vainas abiertas en ápice ausentes, sin ramificaciones falsas, ápice ligeramente atenuado y redondeado, sin constricciones en los septos, células isodiamétricas, sin gránulos evidentes. Ancho del filamento.

Información ecológica: hábito epífito, asociado a algas filamentosas o formando tapetes sobre rocas. Temperatura: 9-17°C; pH: 7.2-7.3; Conductividad: 45-47  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.25-0.28  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.6-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.06-0.16  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 871-1620 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-11 cm.

Material examinado: Estado de México: Villa del Carbón, El Llano I, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 37). Distrito Federal: Magdalena Contreras, Eslava, febrero 2013, *J. Carmona* (FCME; CuMe 126).

Orden Synechococcales

Familia Chamaesiphonacea

***Chamaesiphon cf. incrustans* Grunow** (Lámina 3; Fig. 30).

Células unicelulares de forma más o menos alargada u ovoides (3-5  $\mu\text{m}$  de diámetro y 10-15  $\mu\text{m}$  de largo), redondeadas hacia el ápice. Hialinas o ligeramente violetas, crecen solitarias o formando abundantes colonias sobre clorofitas filamentosas. Las células se dividen transversalmente y cerca del ápice, desarrollando exocitos redondos de (2-5  $\mu\text{m}$  de diámetro). Es una especie característica en arroyos de montaña.

Caracteres diagnósticos: células ovaladas, hialinos o ligeramente violáceos, exocitos redondos. Longitud celular.

Información ecológica: hábito epífito, asociado a cianofitas filamentosas. Temperatura: 9-10°C; pH: 6.4-7.3; Conductividad: 47-78.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.05  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.1-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.06-0.8  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 806-1620 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-9 cm.

Material examinado: Estado de México: Tlalmanalco, Cosamala, octubre 2012 (FCME; CuMe 78), Agua Dulce, octubre 2012 (FCME; CuMe 84). Cascada Compañía, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 174); Isidro Fabela, Nac. Presa Iturbide, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 94). Distrito Federal: Magdalena Contreras, Eslava, febrero 2013, *J. Carmona* (FCME; CuMe 126), Cuajimalpa, Santa Rosa, noviembre 2013 (FCME; CuMe 200).

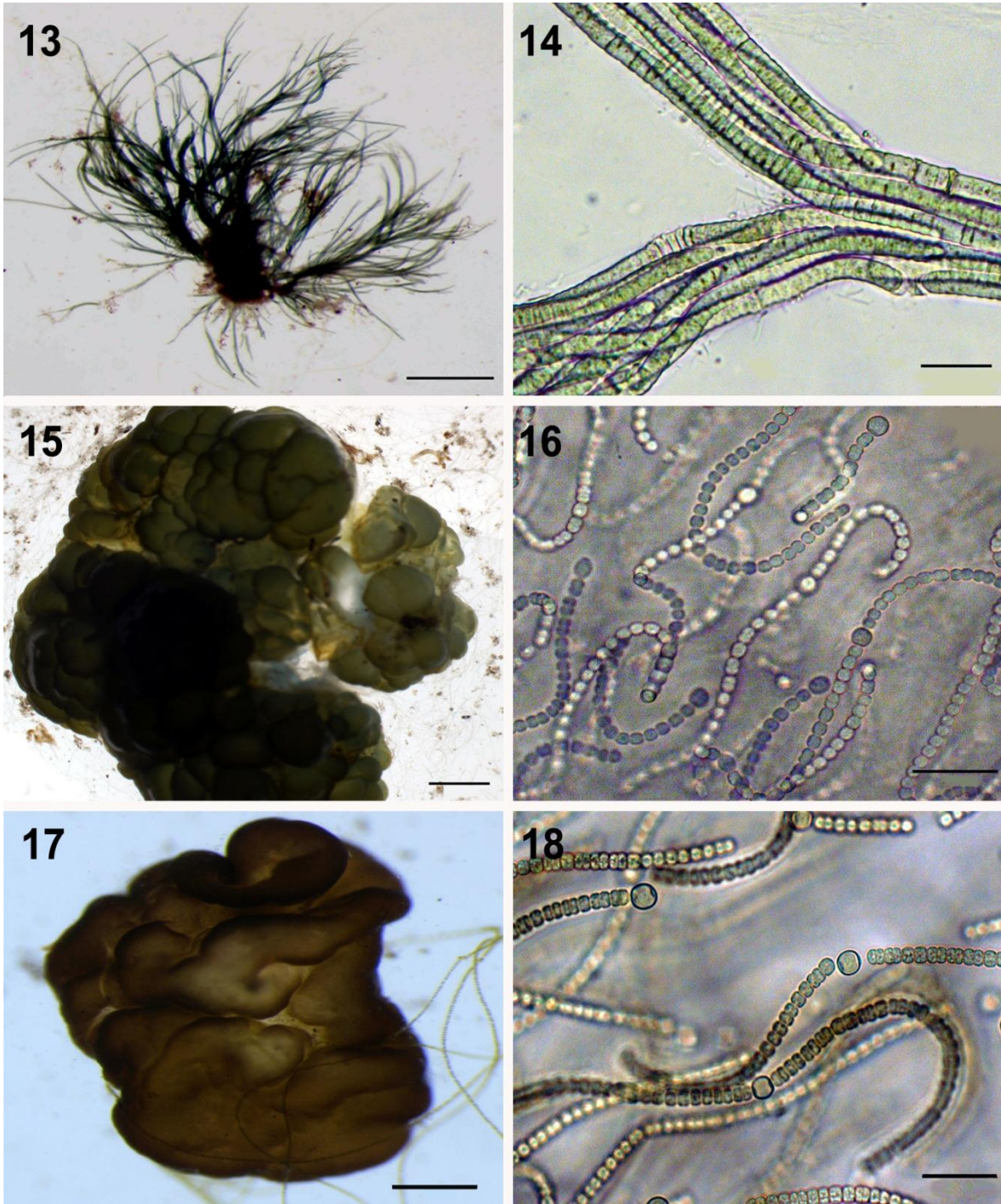


Lámina 1. 13) Talo de *Coleodesmium wrangelii* (escala 100  $\mu\text{m}$ ). 14) Detalle de tricomas en *C. wrangelii* (escala 20  $\mu\text{m}$ ). 15) Forma de crecimiento de *Nostoc sp1* (escala 200  $\mu\text{m}$ ). 16) Tricomas de *Nostoc sp1*. (escala 20  $\mu\text{m}$ ). 17) Forma de crecimiento de *Nostoc sp2*. (escala 200  $\mu\text{m}$ ). 18) Tricomas de *Nostoc sp2*. (escala 20  $\mu\text{m}$ ).



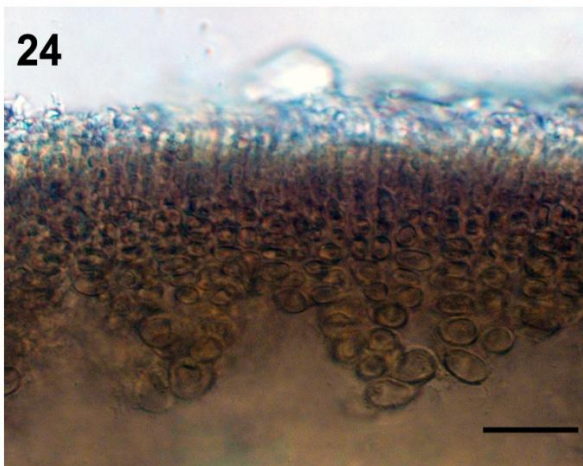
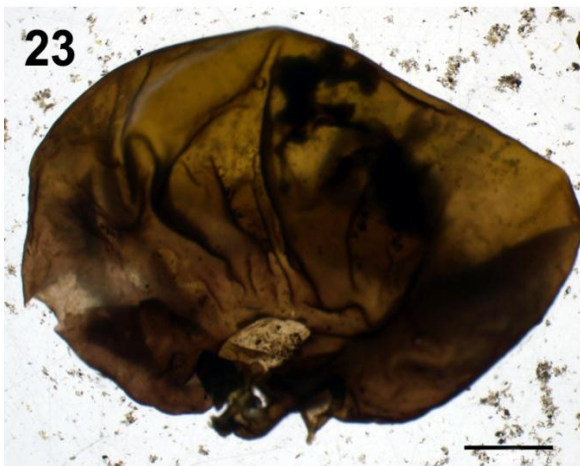
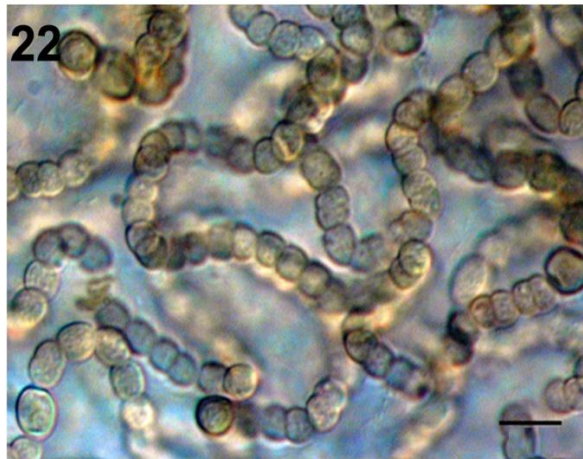
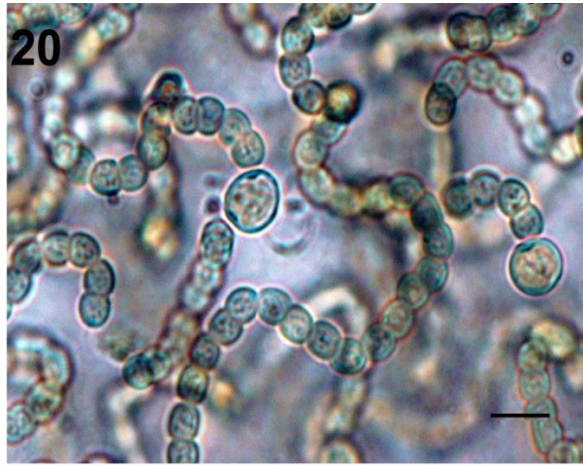
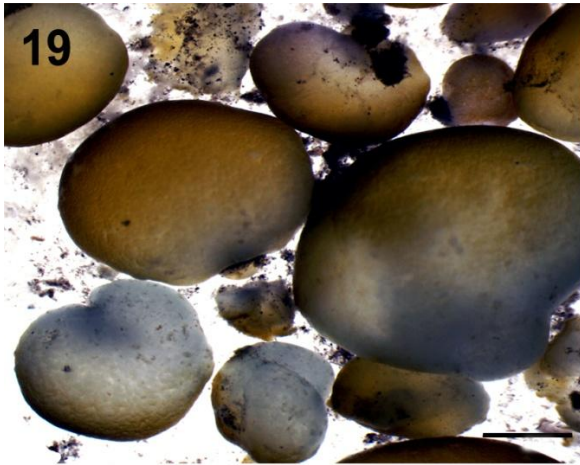


Lámina 2. 19) Forma de crecimiento de *Nostoc sp3* (escala 200  $\mu\text{m}$ ). 20) Tricomas de *Nostoc sp3*. (escala 7  $\mu\text{m}$ ). 21) Forma de crecimiento de *Nostoc cf. parmelioides* (escala 200  $\mu\text{m}$ ). 22) Tricomas de *N. cf. parmelioides*. (escala 7  $\mu\text{m}$ ). 23) Forma de crecimiento de *Placoma regulare* (escala 200  $\mu\text{m}$ ). 24) Detalle de las células de *P. regulare* (escala 20  $\mu\text{m}$ ).



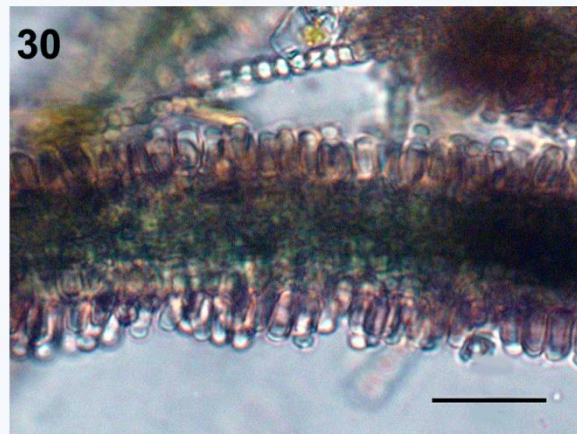
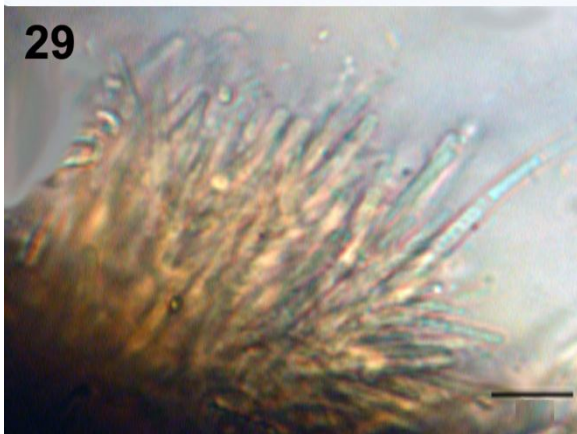
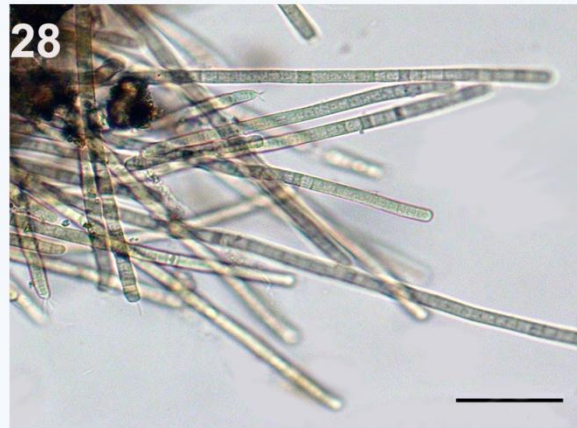
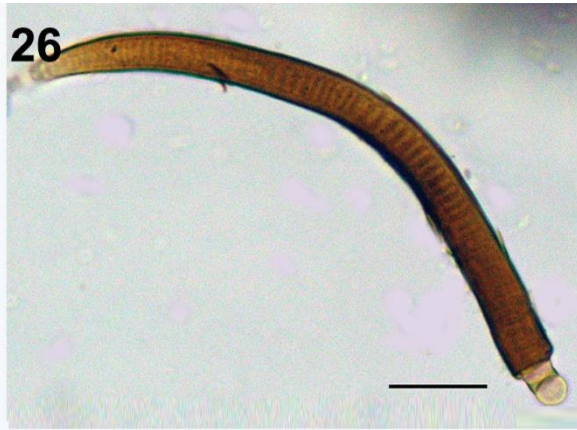


Lámina 3. 25) Hábito de *Placoma regulare*. 26) *Calothrix sp.* (escala 20  $\mu\text{m}$ ). 27) Detalle de tricoma de *Phormidium cf autumnale* (escala 7  $\mu\text{m}$ ). 28) *P. cf autumnale* (escala 20  $\mu\text{m}$ ). 29) *Leptolyngbya sp.* (escala 7  $\mu\text{m}$ ). 30) Hábito de *Chamaesiphon cf incrustans* (escala 20  $\mu\text{m}$ ).

División Chlorophyta

Clase Chlorophyceae

Orden Oedogoniales

Familia Oedogoniaceae

***Oedogonium sp* Link ex Hirn** (Lámina 4; Fig 31).

Filamentos sésiles verde-oscuros, consistencia áspera y de 3 a 5 cm de largo. Uniseriados, nunca ramificados, células en forma de barril de 24  $\mu\text{m}$  de diámetro y cloroplastos reticulados. La pared celular presenta en ocasiones estrías o anillos de crecimiento, así como engrosamiento y pigmentación amarillenta en algunas zonas a lo largo del filamento. Las células apicales son redondeadas, un poco más grandes que el resto de las células del filamento, de 26  $\mu\text{m}$  de diámetro y sin proyecciones terminales. Todos los ejemplares colectados no presentaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: células cilíndricas, ápice del filamento redondeado o con extensiones de la pared celular, diámetro de filamento, presencia de estrías entre células vegetativas.

Información ecológica: crece entre vegetación acuática principalmente musgos y otras algas filamentosas, así como en sustratos rocosos. Temperatura: 9-10°C; pH: 6.4-7.3; Conductividad: 47-78.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.05  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.1-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.06-0.8  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 806-1620 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-9 cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela, La Caldera, noviembre 2012, R. Rodríguez (FCME; CuMe 111), Río Xopachi, junio 2013, R. Rodríguez (FCME; CuMe 139, 140, 141, 142), Truchero Don Álvaro, junio 2013, R. Rodríguez (FCME; CuMe 160, 163). Distrito Federal: Magdalena Contreras, Eslava, febrero 2013, J. Carmona (FCME; CuMe 126), Cuajimalpa, Convento Desierto, noviembre 2013 (FCME; CuMe 204).

Orden Chaetophorales

Familia Chaetophoraceae

***Stigeoclonium sp* Kützing.** (Lámina 4; Fig 32).

El talo tiene apariencia de un tapete mucilaginoso color verde brillante (0.5-1.5 cm). Filamentos uniseriados (8-15  $\mu\text{m}$  de ancho), células cilíndricas (diámetro 8-13  $\mu\text{m}$  y largo de 8-28  $\mu\text{m}$ ) con cloroplastos parietales. Ramas laterales irregulares a lo largo de todo el talo, de donde surge de una a tres ramas. La célula apical es redondeada (4-6  $\mu\text{m}$ ).

Caracteres diagnósticos: color del talo, filamentos uniseriados, ramificación alterna-opuesta, origen y número de ramas que crecen del eje principal, forma de las células del eje, ápice de las ramas, forma de cloroplasto, diámetro del eje principal, largo y ancho celular.

Información ecológica: bentónicos, crece sobre sustratos rocosos. Temperatura: 11-17°C; pH: 6.8-7.0; Conductividad: 40-44  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.1-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.1-0.3  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 300-356 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 6-12 cm.

Material examinado: Estado de México: Texcoco, Miraflores, agosto 2013, *M. Ramírez* (FCME; CuMe 187).

Clase Conjugatophyceae

Orden Zygnematales

Familia Zygnemataceae

***Spirogyra sp1. Link.*** (Lámina 4; Fig 33 y 34).

Filamentos color verde brillante de 2 a 4 cm de largo y de consistencia suave. Uniseriado, no ramificado, células cilíndricas de 90  $\mu\text{m}$  de largo y 45  $\mu\text{m}$  de ancho, separadas por septos lenticulares. Presenta un cloroplasto acintado por célula, de 12  $\mu\text{m}$  de ancho, liso y en ocasiones dentado. Puentes de conjugación escaleriformes, tubulares, de 7  $\mu\text{m}$  de ancho y 15  $\mu\text{m}$  de largo. No se observaron cigosporas.

Caracteres diagnósticos: septo lenticular, número de cloroplastos por célula y número de vueltas, ángulo de las espiras con respecto al eje principal, tubo de conjugación escaleriforme; diámetro, forma y ornamentación de la cigospora; largo y ancho celular.

Información ecológica: bentónicos, crece sobre sustratos rocosos, en ocasiones mezcladas con otras algas filamentosas o musgo acuático. Temperatura: 5-14°C; pH: 5.5-7.5; Conductividad: 45-138  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.08  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.02-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.01-0.5  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 63-1700 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 3-10 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Magdalena Contreras, Monte Alegre I, abril 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 17, 20, 21). Truchero Alto, diciembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 207). Álvaro Obregón, Capilla Santa Rosa, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 127, 130). Estado de México: Tlalmanalco, San Rafael 1ª colecta, marzo 2012 (FCME; CuMe 5), San Rafael inicio, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 168, 170), San Rafael inicio, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 193), Cosamala, octubre 2012 (FCME; CuMe 81), Agua dulce octubre 2012 (FCME; CuMe 84, 85); Isidro Fabela, Organillos, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 62), Nac. San Pedro, noviembre 2012,

*R. Rodríguez* (FCME; CuMe 101), Xopachi, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 138, 139, 140, 141, 142, 143), Presa Iturbide, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 149, 153), Las Palomas, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 156, 157).

***Spirogyra sp2. Link.*** (Lámina 4; Fig 35).

Filamentos color verde brillante de 2 a 4 cm de largo y de consistencia suave. Uniseriado, no ramificado, células cilíndricas de 70  $\mu\text{m}$  de largo y 45  $\mu\text{m}$  de ancho separadas por septos lenticulados. Presenta dos cloroplastos acintados por célula, de 10  $\mu\text{m}$  de ancho, lisos y en ocasiones dentados. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: septo lenticular, número de cloroplastos por célula y número de vueltas, ángulo de las espiras con respecto al eje principal, tubo de conjugación escaleriforme; diámetro, forma y ornamentación de la cigospora; largo y ancho celular.

Información ecológica: bentónicos, crece sobre sustratos rocosos, en ocasiones mezcladas con otras algas filamentosas o musgo acuático. Temperatura: 5-14°C; pH: 5.5-7.5; Conductividad: 45-138  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.08  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.02-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.01-0.5  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 63-1700 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 3-10 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Álvaro Obregón, Capilla Santa Rosa, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 131).

Clase Chlorophyceae

Orden Tetrasporales

Familia Tetrasporaceae

***Tetraspora gelatinosa (Vaucher) Desvaux.*** (Lámina 4; Fig 36).

Sacos globosos e irregulares, verdes, de consistencia gelatinosa y en cuyo interior se encuentran dispersas células esféricas de 7 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro color verde brillante, con un cloroplasto parietal y de dos a cuatro pirenoides por célula. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: Forma y color de la colonia, diámetro celular, número de pirenoides por célula.

Información ecológica: colonia suspendida entre el afluyente y plantas acuáticas. Temperatura: 9-17°C; pH: 6.6-7.2; Conductividad: 47-50  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.06-0.3  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 871-1662 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-15 cm.

Material examinado: Distrito Federal: Magdalena Contreras: Monte Alegre II. Abril 2012. (FCME; CuMe 23,24,25,27). Estado de México: Isidro Fabela: Organillos. Agosto 2012. R. Rodríguez (FCME; CuMe 65).

Orden Chaetophorales

Familia Chaetophoraceae

***Draparnaldia mutabilis* Bory de Saint-Vincent.** (Lámina 5; Fig 37, 38 y 39).

Matas verdosas y brillantes de 1 a 3 cm de largo. El eje principal es uniseriado, septado y con numerosas ramificaciones perpendiculares a éste. Las células que forman el eje principal tienen forma de barril, de 25  $\mu\text{m}$  de largo y 40  $\mu\text{m}$  de ancho, atenuándose hacia la superficie y donde la célula apical presenta el menor diámetro (35  $\mu\text{m}$ ); sus cloroplastos son de tipo parietal, de 15  $\mu\text{m}$  de diámetro y presenta de 2 a 4 pirenoides por célula. Las ramas están dispuestas en forma alterna y opuesta, siendo algunas más extensas que otras, entre 150 y 500  $\mu\text{m}$  de largo y sus células también se atenúan hacia los extremos. Sus ápices en forma de pelo y muy alargados, miden entre 75  $\mu\text{m}$  de largo y 5  $\mu\text{m}$  de ancho. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: longitud celular en el eje principal y en las ramas, forma acusada del ápice de las ramas.

Información ecológica: crece suspendida entre el afluyente y plantas acuáticas. Temperatura: 9-10°C; pH: 6.6-7.0; Conductividad: 47-50  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.05  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.07  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.1-0.3  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 1500-1662 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-17 cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela, Organillos. Agosto 2012. *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 66).

Clase Trebouxiophyceae

Orden Prasiolales

Familia Prasiolaceae

***Prasiola mexicana* J.Agardh.** (Lámina 5; Fig 40, 41 y 42).

Talos laminares color verde brillante, de superficie rugosa, de entre 4.5 a 24 cm de largo y 5 a 12 cm de ancho, monoestromáticos, el borde generalmente lobulado, en ocasiones liso. La lámina está compuesta de células poliédricas de 8 a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro, agrupadas en paquetes de cuatro y separadas una de otra por una pared celular gruesa de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$  de ancho. Cloroplasto de tipo estrellado 8  $\mu\text{m}$  de diámetro y un sólo pirenoide por célula. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: Talo monoestromático, forma de la superficie y borde de la lámina, longitud celular.

Información ecológica: Crece sobre sustratos rocosos y cantos rodados, bentónicos. Temperatura: 5-15°C; pH: 6.1-7.0; Conductividad: 30-175  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.8  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.02-0.7  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.1-0.9  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 30-2200 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 7-20 cm.

Material examinado: Estado de México: Amecameca, La Castañeda, octubre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 89, 90, 91, 92, 93), La Castañeda, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 176, 177, 178, 180), La Castañeda, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 197); Isidro Fabela, Río Capoxi, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 68) Manantial Capoxi, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 70, 72), Truchero Don Álvaro, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 73, 75, 77), Nacimiento Presa Iturbide, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 95, 96, 98), Xopachi, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 105), La Caldera, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 113), Nacimiento Presa Iturbide, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 151, 152), Truchero Don Álvaro, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 164); Villa del Carbón, El Llano I, julio



2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 34, 36, 39), El Llano II, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 40, 42, 43, 44); Tepetzotlán, La Cabañita, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 47, 49, 50), La Planta, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 53, 54), Tlalmanalco, San Rafael inicio, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 167), San Rafael inicio, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 193), Cosamala, octubre 2012 (FCME; CuMe 83) Cascada La Compañía, julio 2013 (FCME; CuMe 171, 173). Distrito Federal: Cuajimalpa, Santa Rosa, agosto 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 61), Santa Rosa, noviembre 2013, *M. Ramírez* (FCME; CuMe 199, 201, 202). Convento Desierto, noviembre 2013, *M. Ramírez*, (FCME; CuMe 203). Magdalena Contreras, Chautitle Cañada, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 121), Chautitle alto, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 115, 117), Truchero Alto, diciembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 205, 209).

Orden Codiolales

Familia Ulothrichaceae

***Ulothrix* sp. Kützing.** (Lámina 6; Fig 43).

Filamentos verde oscuros de consistencia áspera, de 2 a 5 cm de longitud, uniseriados, no ramificados. Células cilíndricas de 45  $\mu\text{m}$  de ancho y 37  $\mu\text{m}$  de largo. Cloroplasto parietal en forma de brazaletes de 35-40  $\mu\text{m}$  de diámetro, el cual ocupa una importante porción de la célula o toda ésta. De 2 a 4 pirenoides por célula. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: células notablemente más largas que anchas, cloroplasto brazaletes, pared celular gruesa, sin ramas, ápices redondeados.

Información ecológica: bentónicos, sobre cantos rodados y mezclado con musgos acuáticos y algas filamentosas. Temperatura: 5-15°C; pH: 6.5-7.7; Conductividad: 34-140  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.08  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.02-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.1-0.9  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 24-2200 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-20 cm.

Material examinado: Puebla: Huejotzingo, Apatlaco, marzo 2012, (FCME; CuMe 14). Estado de México: Villa del Carbón, El Llano I, julio 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 41), Isidro Fabela, Manantial San Pedro, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 145, 146), Nac. Presa Iturbide, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 150, 151, 152), Tlalmanalco, San Rafael inicio, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 166, 168, 170), San Rafael inicio, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 191, 194). Distrito Federal: Magdalena Contreras, Chautitle Alto, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 116).

Clase Ulvophyceae

Orden Cladophorales

Familia Cladophoraceae

***Cladophora glomerata*. Linnaeus Kützing.** (Lámina 6; Fig 44).

Filamentos largos verde oscuros, de 4 hasta 20 cm de largo y de consistencia áspera, uniseriados, ramificados. Células cilíndricas alargadas de 300  $\mu\text{m}$  de largo y 75  $\mu\text{m}$  de ancho, cloroplasto reticulado que abarca prácticamente todo el interior celular; abundantes pirenoides. Pared celular gruesa, de hasta 8  $\mu\text{m}$  de ancho y lisa. Ramificación irregular a lo largo del talo, más abundante en la región basal. De cada célula emerge una rama, cuyos ápices son redondeados y ligeramente atenuados, de 280  $\mu\text{m}$  de largo y 60  $\mu\text{m}$  de ancho. La posición del septo en la rama es ligeramente oblicua a vertical. Forma un rizoides pequeño como órgano de fijación simple. No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: Dispersión de ramas a lo largo de todo el talo, número de ramas que surgen de una célula, células más largas que anchas, células apicales ligeramente atenuadas, forma de vida epilítica, forma de crecimiento, estructuras de reproducción (zoosporangios y gametangios).

Información ecológica: epilíticos, bentónicos. Temperatura: 10-13°C; pH: 6.6-7.7; Conductividad: 45-140  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.03-0.4  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.024-0.1  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.1-0.7  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 180-560PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-14 cm.

Material examinado: Estado de México: Tlalmanalco. Canal San Rafael. Marzo 2012 (FCME; CuMe 10), San Rafael inicio. Julio 2013. *R. Rodríguez*. (FCME; CuMe 166, 168), San Rafael inicio. noviembre 2013. *R. Rodríguez*. (FCME; CuMe 195) Isidro Fabela, Manantial Capoxi, Agosto 2012. *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 71).

***Rhizoclonium sp. Kützing.*** (Lámina 6; Fig 45).

Filamentos verde brillantes cortos, de hasta 2 cm de largo, enrollados, no ramificados. Células cilíndricas alargadas de 26-30  $\mu\text{m}$  de ancho y 120-130  $\mu\text{m}$  de largo, con un cloroplasto reticulado. Pared celular gruesa, de 5-8  $\mu\text{m}$ . No se observaron estructuras de reproducción.

Caracteres diagnósticos: ramificaciones ausentes, hábito epífita, células más largas que anchas, cloroplasto reticulado.

Información ecológica: epífitos a musgos acuáticos y clorofitas filamentosas, bentónicos. Temperatura: 10-12°C; pH: 6.5-6.8; Conductividad: 110-130  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.3-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.05-0.10  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.25-0.7  $\text{ms}^{-1}$ ; Luz: 250-350PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 5-10 cm.

Material examinado: Estado de México: Amecameca. La Castañeda, noviembre 2013. *R. Rodríguez*, (FCME; CuMe 198), Tlalmanalco, San Rafael inicio, julio 2013, *R. Rodríguez*, (FCME; CuMe , 166, 169). Distrito Federal: Cuajimalpa, Convento Desierto, noviembre 2013 *M. Ramírez* (FCME; CuMe 204).

División Rhodophyta

Clase Florideophyceae

Orden Batrachospermales

Familia Batrachospermaceae

***Batrachospermum gelatinosum (Linnaeus) De Candolle*** (Lámina 6; Fig 46, 47 y 48).

Talos violáceo-pardos de consistencia viscosa al tacto y de 3 a 8 cm de largo. Forma verticilios esféricos de 320 a 390  $\mu\text{m}$  de diámetro. Los carpogonios se forman en las ramas y el tricógino, en forma de botella, mide de 6 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro y de 14 a 20  $\mu\text{m}$  de largo. Carposporofitos esféricos de 60 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, oscuros, dispuestos de forma irregular sobre las ramas verticiladas. No se observó la fase “Chantrasia”

Caracteres diagnósticos: carposporofito esférico abundantes o escasos; forma, número y posición de los esparmatangios en los verticilos y longitud. Posición y forma del carpogonio.

Información ecológica: crece sobre cantos rodados, bentónica. Temperatura: 5-12°C; pH: 6.1-7.5; Conductividad: 50-55  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.06  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.001-0.1  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 63-1300 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 3-7cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela: Manantial San Pedro, Noviembre 2012, *J. Carmona* (FCME; CuMe 99, 100), Manantial San Pedro II, Junio 2013, *J. Carmona* (FCME; CuMe 144, 148).

Familia Lemnaceae

***Paralemanea mexicana* (Kützing) M.L.Vis & R.G.Sheath.** (Lámina 7; Fig 49, 50 y 51).

Talo bambusiforme erecto, violáceo, de 1.5 a 6 centímetros de longitud y de 0.5 a 0.7 mm de diámetro, con abundantes ramas verticiladas desde la base y hasta la parte media del talo. De los verticilos surgen de tres a cinco ramas. Desarrolla espermatangios en forma de anillos nodales en el tubo, color amarillento, de 350 a 420  $\mu\text{m}$  de diámetro, los cuales pueden ser continuos o formando manchas discontinuas. La región internodal mide de 380 a 450  $\mu\text{m}$  y dentro de estas se aprecian carpogonios con carposporas redondas y hialinas-violáceas, de 20-30  $\mu\text{m}$  diámetro. Se observó fase chantrasia, formando filamentos septados de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro y de color violáceo.

Caracteres diagnósticos: talos de hasta 9 cm de altura y con varias ramas verticiladas desde la base. Líneas continuas o manchas de esparmatangios amarillentos.

Información ecológica: epilítica, sobre pequeñas cascadas. Temperatura: 5-10°C; pH: 6.1-7.0; Conductividad: 50-55  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.02-0.04  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.06  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.01-0.1  $\text{ms}^{-1}$  Luz: 30-35 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 3-7cm.

Material examinado: Estado de México: Isidro Fabela: Río Xopachi. Noviembre 2012. *J. Carmona* (FCME; CuMe 103, 106).

División Heterokontophyta

Clase Xanthophyceae

Orden Vaucheriales

Familia Vaucheriaceae

***Vaucheria bursata* (O.F.Müller) C.Agardh.** (Lámina 7; Fig 52, 53 y 54).

Crece formando amplios cojinetes verdes sobre sustratos rocosos ó limosos. Los filamentos son cenocíticos, de 60 a 75  $\mu\text{m}$  de grosor, ápice redondeado, no atenuado; con abundantes cloroplastos discoidales con un diámetro aproximado de 2.5  $\mu\text{m}$ , embebidos dentro del filamento. En ocasiones, presenta ramificaciones de un ancho menor al eje principal, de 55 a 60  $\mu\text{m}$ . La reproducción sexual es oogama, en donde el oogonio y el anteridio se encuentran cercanos y siempre serparados del resto del talo por un septo, y donde los filamentos pierden por completo su contenido celular. El anteridio, cilíndrico y curvado, mide 75  $\mu\text{m}$  de largo y 35  $\mu\text{m}$  de ancho; el oogonio es esférico, sin pico y sésil, de 65 a 70  $\mu\text{m}$  de diámetro y una pared gruesa de 3  $\mu\text{m}$ . Forma en su interior oosporas esféricas, lisas, de pigmentación verde, de entre 3 y 8  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Caracteres diagnósticos: diámetro de los filamentos del talo, posición al mismo nivel de los anteridios y oogonios, anteridios cilíndricos y curvados; oogonios esféricos, sésiles y sin pico terminal; oosporas esféricas; largo-ancho de oogonios, anteridios y oosporas.

Información ecológica: epilíticas, sobre sustratos rocosos, bentónica y subaérea. Temperatura: 5-13°C; pH: 6.0-7.7; Conductividad: 35-175  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ; Fósforo reactivo soluble: 0.01-0.8  $\text{mg l}^{-1}$ ; Nitrógeno inorgánico disuelto: 0.04-0.6  $\text{mg l}^{-1}$ ; Velocidad de corriente: 0.04-0.9  $\text{ms}^{-1}$ ; Luz: 63-2200 PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ; Profundidad: 10-20cm.

Material examinado: Puebla: Huejotzingo, Apatlaco, marzo 2012 (FCME; CuMe 13,14). Estado de México: Amecameca, La Castañeda, julio 2013, R. Rodríguez (FCME; CuMe 179), Tlalmanalco, San Rafael Canal, marzo 2012 (FCME; CuMe 7,8,9), San Rafael

inicio, julio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 168), San Rafael inicio, noviembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 192), Agua Dulce, octubre 2012 (FCME; CuMe 87, 88), Isidro Fabela, Manantial San Pedro, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 101, 103), La Caldera, noviembre 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 110, 114), Las Palomas, junio 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 159). Distrito Federal: Magdalena Contreras, Monte Alegre I, abril 2012, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 20). Chautitle Alto, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 116), Chautitle Cañada, febrero 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 122, 124), Eslava, febrero 2013, *J. Carmona* (FCME; CuMe 126), Truchero Alto, diciembre 2013, *R. Rodríguez* (FCME; CuMe 208); Cuajimalpa, Convento Desierto, noviembre 2013, *M. Ramírez* (FCME; CuMe 204).

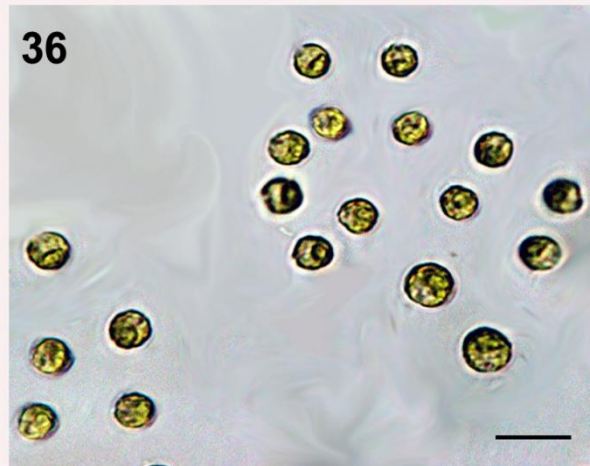
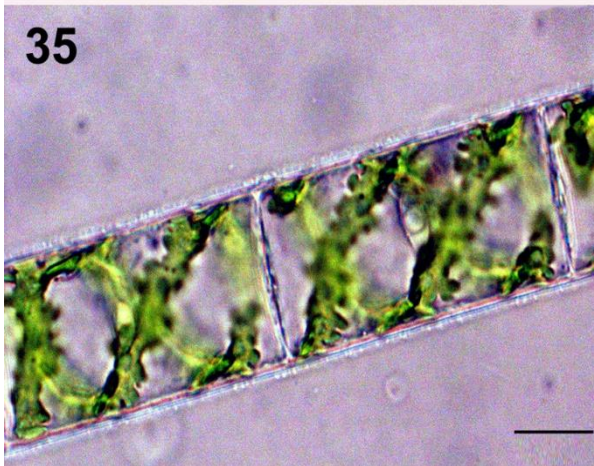
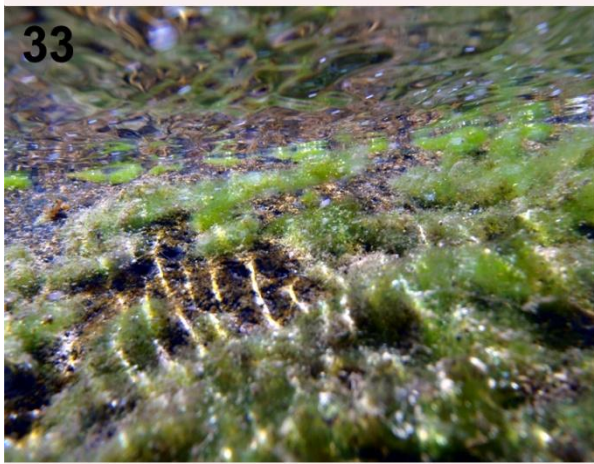
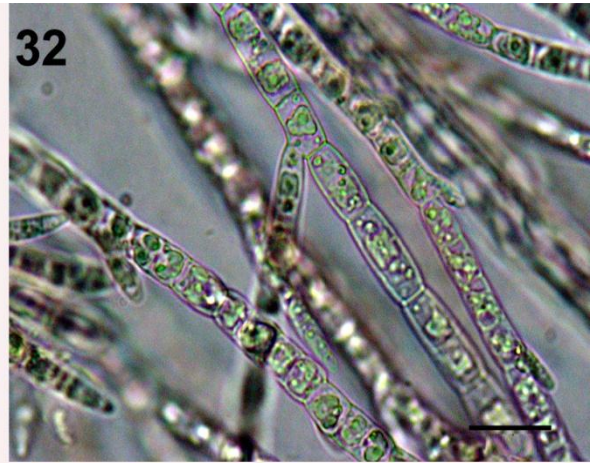
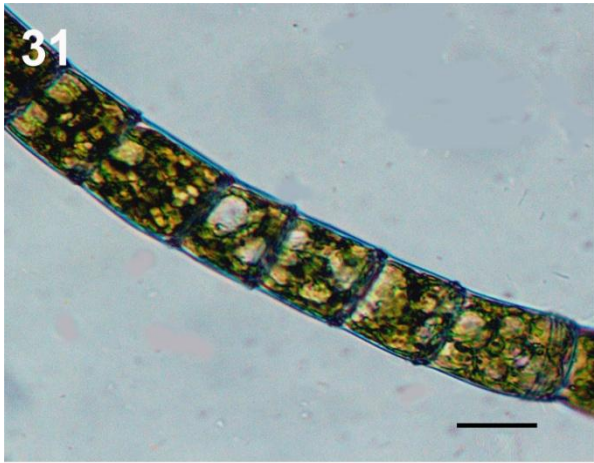


Lámina 4. 31) *Oedogonium* sp. (30  $\mu$ m). 32) *Stigeoclonium* sp. (20  $\mu$ m). 33) Hábito de *Spirogyra* sp.1. 34) Puentes de conjugación en *Spirogyra* sp.1. (30  $\mu$ m). 35) *Spirogyra* sp.2. (30  $\mu$ m). 36) *Tetraspora gelatinosa* (7  $\mu$ m).



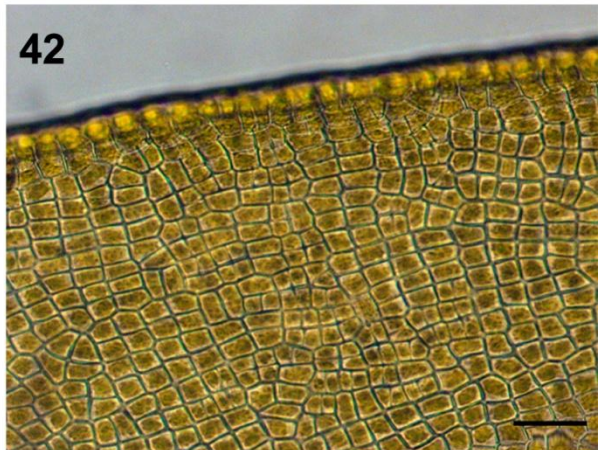
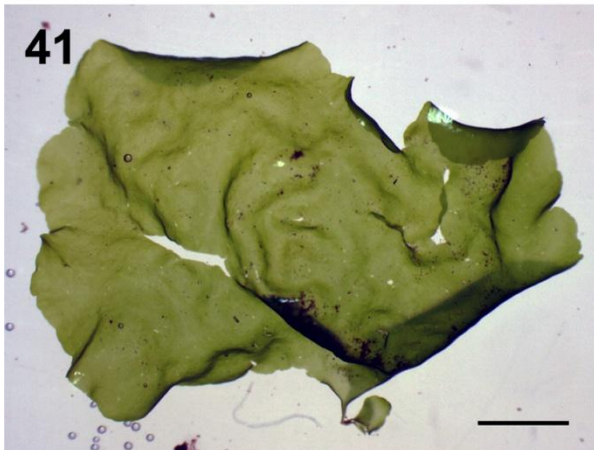
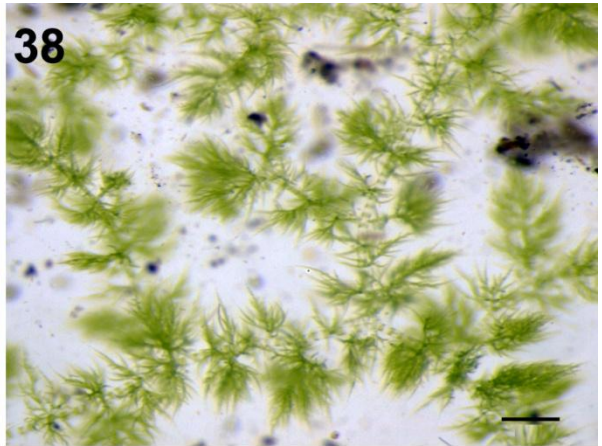


Lámina 5. 37) Hábito de *Draparnaldia mutabilis*. 38) Talos de *D. mutabilis* (1 cm). 39) Detalle de ramas en *D. mutabilis* (60  $\mu\text{m}$ ). 40) Hábito de *Prasiola mexicana*. 41) Talo de *P. mexicana* (2 cm). 42) Detalle de células de *P. mexicana*. (7  $\mu\text{m}$ ).



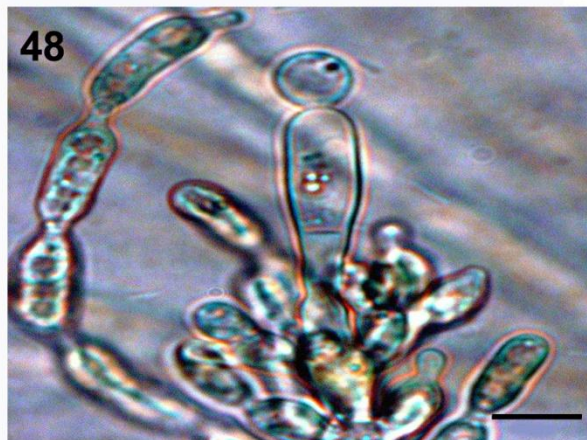
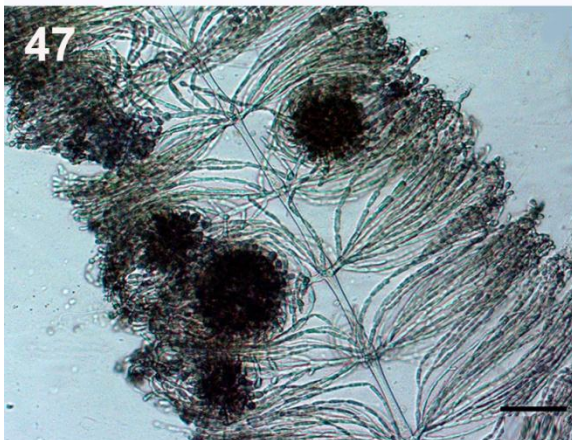
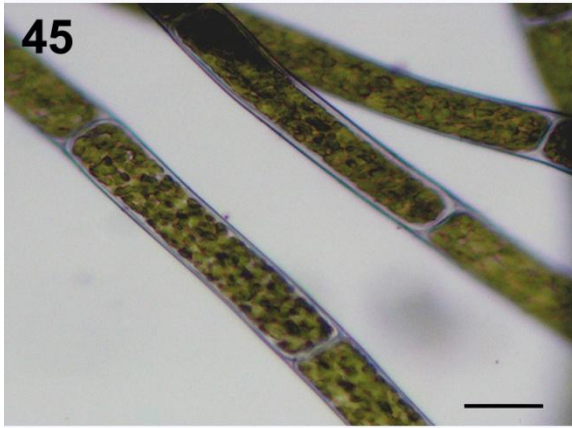
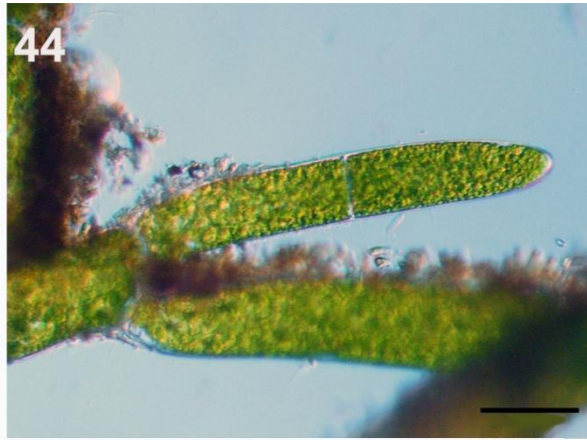
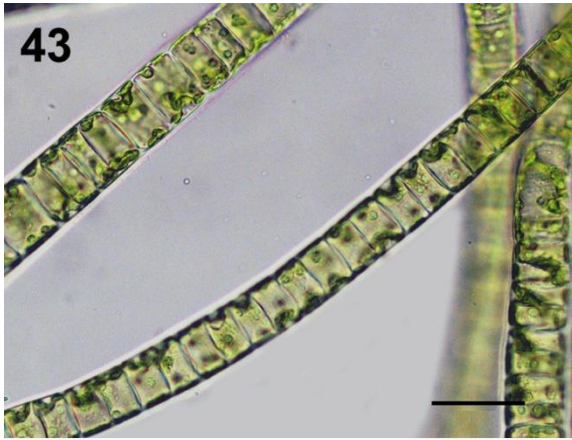


Lámina 6. 43) *Ulothrix* sp. (20  $\mu$ m). 44) *Cladophora glomerata* (60  $\mu$ m). 45) *Rhizoclonium* sp. (30  $\mu$ m). 46) Hábito de *Batrachospermum gelatinosum*. 47) Carposporofitos de *B. gelatinosum* (60  $\mu$ m). 48) Carpogonio y tricógeno de *B. gelatinosum* (7  $\mu$ m).



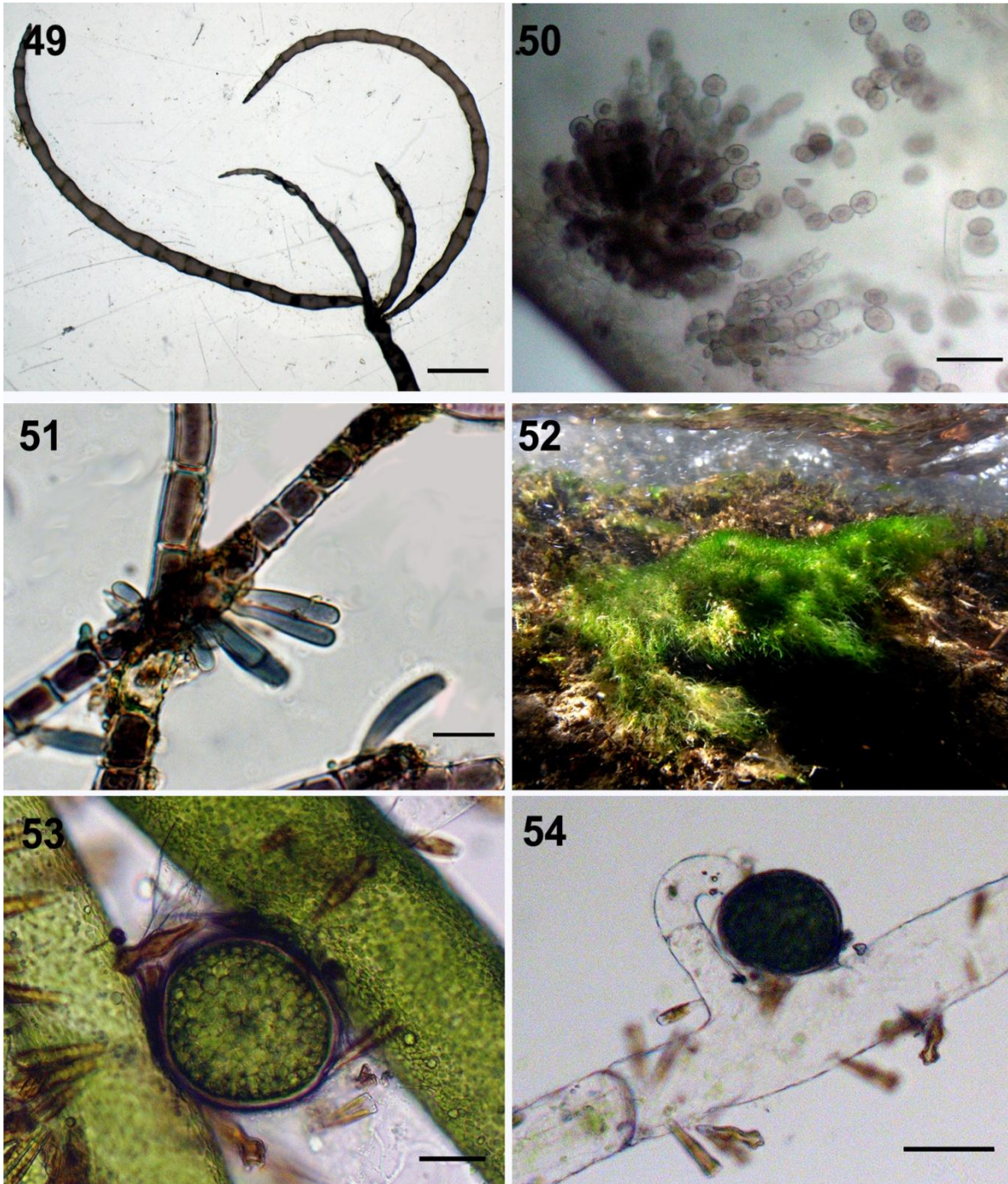


Lámina 7. 49) Detalle de ramas y nodos espermatangiales de *Paralemanea mexicana* (1 cm). 50) Detalle de carpogonios y carposporas de *P. mexicana* (60  $\mu$ m). 51) Fase Chantrasia en *P. mexicana* (7  $\mu$ m). 52) Hábito de *Vaucheria bursata*. 53) Tubos cenocíticos y oogonio de *V. bursata* 54) Anteridio y oogonio de *V. bursata*.

## 6.2. ECOLOGÍA.

Los ríos de montaña en la Cuenca de México se localizaron entre los 2,345 y 3,582 metros de altitud y agua con los siguientes características (promedio-rango): temperatura templada  $\bar{X}$  =10.6°C (5.5-16.7°C), poco mineralizada (alcalinidad  $\bar{X}$  = 19.7 mgL<sup>-1</sup>; (6-37 mgL<sup>-1</sup>); salinidad  $\bar{X}$  = 0.032 mgL<sup>-1</sup> (0-0.2 mgL<sup>-1</sup>); conductividad específica  $\bar{X}$  =65.9  $\mu$ S cm<sup>-1</sup> (30-175  $\mu$ S cm<sup>-1</sup>); sólidos disueltos totales  $\bar{X}$  = 37.2 mgL<sup>-1</sup> (14-90 mgL<sup>-1</sup>); oxígeno disuelto  $\bar{X}$  = 8.5 mgL<sup>-1</sup> (6.8-12.5 mgL<sup>-1</sup>), un pH circumneutral  $\bar{X}$  =6.96 (pH 2-7.7) y corrientes de moderadas a fuertes  $\bar{X}$  =0.4ms<sup>-1</sup> (0.001-0.9 ms<sup>-1</sup>). En relación a los nutrientes, estos ríos presentaron aguas de orden oligotrófico a mesotrófico: FRS  $\bar{X}$  =0.4 mgL<sup>-1</sup> (0.25-0.76 mgL<sup>-1</sup>) y NID  $\bar{X}$  =0.2 mgL<sup>-1</sup> (0.02-0.8 mgL<sup>-1</sup>) (Tablas 3 y 4).

**Tabla 3. Características físicas (promedio) de las microcuencas estudiadas en la Cuenca de México.**

Microcuenca	SDT mgL <sup>-1</sup>	OD mgL <sup>-1</sup>	T °C	pH	k 25 $\mu$ S cm <sup>-1</sup>	salinidad %	Q <sub>3</sub> m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	PAR $\mu$ M fotón m <sub>2</sub> s <sup>-1</sup>	VC ms <sup>-1</sup>
1.-Apatlaco	26.2	6.9	10.7	6.92	58	0.1	0.24	24.3	0.98
2.-San Rafael	63.4	8.2	10.8	6.69	121.6	0.025	0.28	344.3	0.52
3.- La Compañía	49.5	8.4	10.3	6.25	85	0	0.06	22.4	0.18
4.-Ameca-CanalNacional	85.8	9.6	7.1	6.74	127.5	0.1	0.27	23.3	0.43
5.-Villa del Carbón	38.5	10.8	14.4	7	80.5	0	1.03	115.2	0.52
6.-Tepotztlán	25	8.9	14.3	6.92	48.4	0	0.32	329.6	0.74
7.-Santa Rosa	53	8.6	13	7.2	101.2	0.03	0.12	865.2	0.57
8.-Cuautitlán	24.5	8.3	11.3	6.76	51.5	0.07	0.04	940	0.26
9.-Ildefonso	24.2	8	10.3	7.23	50.8	0	0.08	580	0.48
10.-La Colmena	21.3	9.2	12.2	6.7	45.7	0	0.01	573.2	0.74
11.-San Pedro	25.7	10.2	9	6.7	54.5	0.05	0	656.2	0.07
12.-La Caldera	24	8.3	8.1	6.7	35	0.1	0.05	1283.3	0.05
13.-Xopachi	17.6	8.8	8	7.25	36.3	0	0.01	714.7	0.09
14.-Magdalena	47.5	8.9	5.5	6.85	64	0	0.18	2000.3	0.18
15.-Eslava	47.9	7.9	9.1	7.18	51.5	0.05	0.01	785.4	0.18
16.-Miraflores	22.1	5.7	16.7	7.7	44.1	0	0.14	300	0.5
Promedio	37.26	8.54	10.68	6.92	65.98	0.03	0.18	597.34	0.41

SDT: Sólidos Disueltos Totales, OD: Oxígeno disuelto, T: temperatura, pH: concentración iónica, k 25  $\mu$ S: Conductividad específica, Q<sub>3</sub>: aforo, PAR: Luz fotosintéticamente activa, VC: Velocidad de Corriente.

**Tabla 4. Características químicas (promedio) de las microcuencas estudiadas en la Cuenca de México.**

Microcuenca	Alcalinidad mgL-1	FRS mgL-1	Sulfatos mgL-1	Nitritos mgL-1	Nitratos mgL-1	Amonio mgL-1	NID mgL-1
1.-Apatlaco	10	0.25	8.5	0.065	0.004	0.09	0.159
2.-San Rafael	22.2	0.54	16.82	0.04	0.021	0.04	0.096
3.- La Compañía	33.7	0.76	21.75	0.004	0.029	0.03	0.066
4.-Ameca- CanalNacional	26.05	0.57	30.715	0.04	0.021	0.12	0.179
5.-Villa del Carbón	27.45	0.7	5.5	0.005	0.65	0.03	0.685
6.-Tepoztlán	29.1	0.74	0.25	0.007	0.5	0.09	0.595
7.-Santa Rosa	23.03	0.54	10.24	0.003	0.05	0.04	0.09
8.-Cuautitlán	18.83	0.45	1.33	0	0.025	0.05	0.074
9.-Ildelfonso	17.57	0.34	0.67	0.01	0.1	0.08	0.18
10.-La Colmena	9.75	0.51	3.75	0.003	0.02	0.04	0.06
11.-San Pedro	20	0.37	0.595	0.005	0.028	0.02	0.052
12.-La Caldera	21.4	0.53	23	0.005	0.04	0	0.045
13.-Xopachi	7.7	0.37	5.25	0.004	0.033	0.02	0.054
14.-Magdalena	20.45	0.41	5.25	0.003	0.033	0.07	0.108
15.-Eslava	17.15	0.43	1.25	0.006	0.605	0.01	0.618
16.-Miraflores	11.9	0.46	19	0.003	0.23	0.04	0.268
Promedio	19.77	0.4	9.62	0.01	0.15	0.05	0.21

Rangos de eutrofización de NID: Oligotrófico  $\leq 0.7 \text{ mgL}^{-1}$ ; mesotrófico  $0.7-1.50 \text{ mgL}^{-1}$ ; eutrófico  $\geq 1.5 \text{ mgL}^{-1}$ . Rangos de eutrofización de FRS: Oligotrófico  $\leq 0.025 \text{ mgL}^{-1}$ ; mesotrófico  $0.025-0.075 \text{ mgL}^{-1}$ ; eutrófico  $\geq 0.075 \text{ mgL}^{-1}$ . (Doods *et.al.* 1998; Doods, 2003).

Respecto a la calidad ambiental evaluada mediante el índice de CERA (Calidad Ecológica de Ríos Andinos), se observa que las microcuencas obtuvieron valores que oscilaron entre los 23 y los 39 puntos. De todas ellas, 11 mostraron una calidad ambiental buena a excelente, y sólo 5 fueron incluidos dentro de la categoría regular (Tabla 5.) Lo anterior se explica a partir de los distintos elementos de heterogeneidad ambiental en los afluentes (vegetación, hidrología, tramo y lecho) considerados para su evaluación. Uno de los aspectos más importantes es que los afluentes presentaron sustratos naturales y se localizaron muy cerca del origen de manantiales. La presencia de escombros y basura fue mínima debido a la poca o nula actividad urbana.

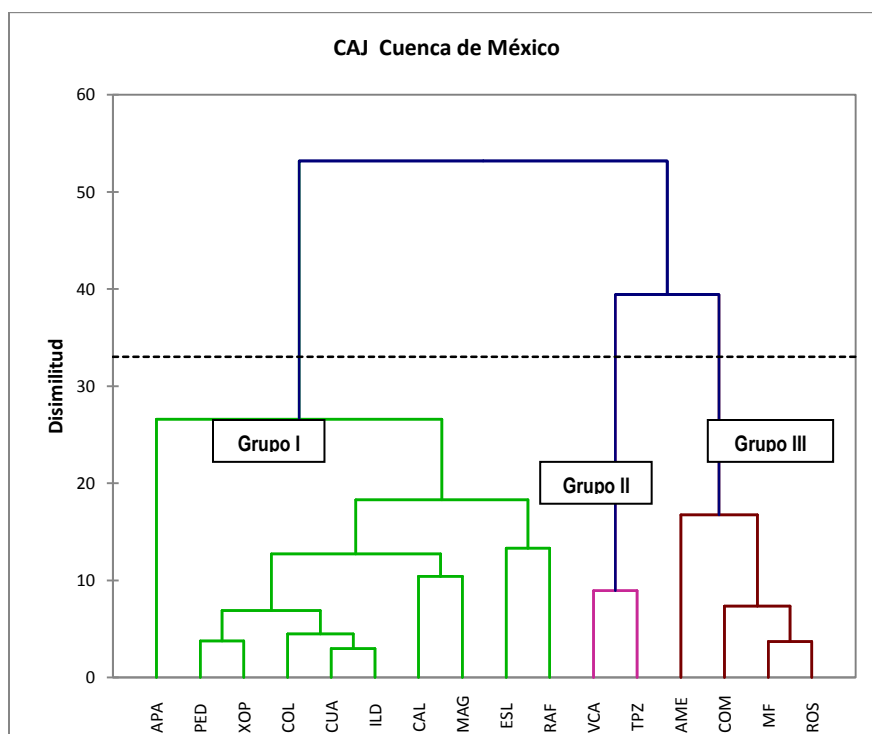
**Tabla 5. Características bacteriológicas y de calidad hidrogeomorfológica de los sitios estudiados en la Cuenca de México.**

Microcuenca	CF	CERA-S
1.Apatlaco	0	35
2.San Rafael	92.5	34
3.La Compañía	140	34
4.Ameca-Canal Nacional	700	39
5.Villa del Carbón	1950	28
6.Tepotztlán	170	23
7.Santa Rosa	193	36
8.Cuautitlán	207	33
9.Ildefonso	217	36
10.La Colmena	175	28
11.San Pedro	260	36
12.La Caldera	220	35
13.Xopachi	300	37
14.Magdalena	120	30
15.Eslava	197.5	24
16.Miraflores	1800	22

Límites permisibles de acuerdo a la concentración de coliformes fecales (CF) NOM-089-ECOL-1994: para contacto humano  $\leq$  1000NMP/100 ml; uso para cultivo 1000-99,999NMP/100 ml; aguas residuales  $\geq$ 100,000NMP/100 ml (DOF, 1989). Índice de Calidad Ambiental de Ríos Andinos (CERA): mala  $\leq$ 20; regular entre 21 y 28; buena entre 29 y 35; excelente  $\geq$  36 (Acosta, *et.al.* 2009).

De acuerdo con el análisis de clasificación ascendente jerárquico (CAJ), se reconocieron tres grupos de microcuencas que fueron clasificados en función de la concentración de nutrientes y la temperatura del agua en sus afluentes (Fig.55). En el grupo I se agruparon a aquellas microcuencas que mostraron las menores concentraciones de nutrientes y la temperatura más fría. En contraste, en el grupo II se reúnen las microcuencas con las mayores concentraciones de nitrógeno y fósforo, así como la temperatura más cálida. Finalmente, en el grupo III se incluyen a las microcuencas que presentaron amplios rangos de nutrientes y de temperatura del agua.

**Fig 55. Clasificación Ascendente Jerárquica de las microcuencas de acuerdo a las concentraciones de nutrientes y temperatura del agua.**



Grupo I: APA (Apatlaco), PED (San Pedro), XOP (Xopachi), COL (Colmena), CUA (Cuautitlán), ILD (San Ildefonso), CAL (La Caldera), MAG (La Magdalena), ESL (Eslava), MF (Miraflores). Grupo II. VCA (Villa del Carbón), TPZ (Tepotzotlán) Grupo III. AME (Ameca-Canal Nacional), COM (La Compañía), RAF (San Rafael), ROS (Santa Rosa).

El análisis de redundancia explicó el 70% de la varianza en los dos primeros ejes del gráfico ( $p \leq 0.05$ ). El eje 1 explicó el 44 % de la varianza y relacionó el NID y  $Q_3$ , mientras que el segundo eje explicó el 26% de la varianza y relacionó la temperatura y el NID con la abundancia de las especies (Fig. 56).

El resultado del test de permutación, el cual se incluye dentro de este mismo análisis, refiere una relación significativa ( $p \leq 0.05$ ) con el agua de menor temperatura y menor concentración de nutrientes entre las microcuencas del río Apatlaco, San Pedro, La Caldera y La Magdalena; y donde las especies *Draparnaldia mutabilis*, *Oedogonium sp*, *Ulothrix sp*, *Vaucheria bursata*, *Batrachospermum gelatinosum* y *Paralemanea mexicana* presentaron la mayor afinidad por estas condiciones.

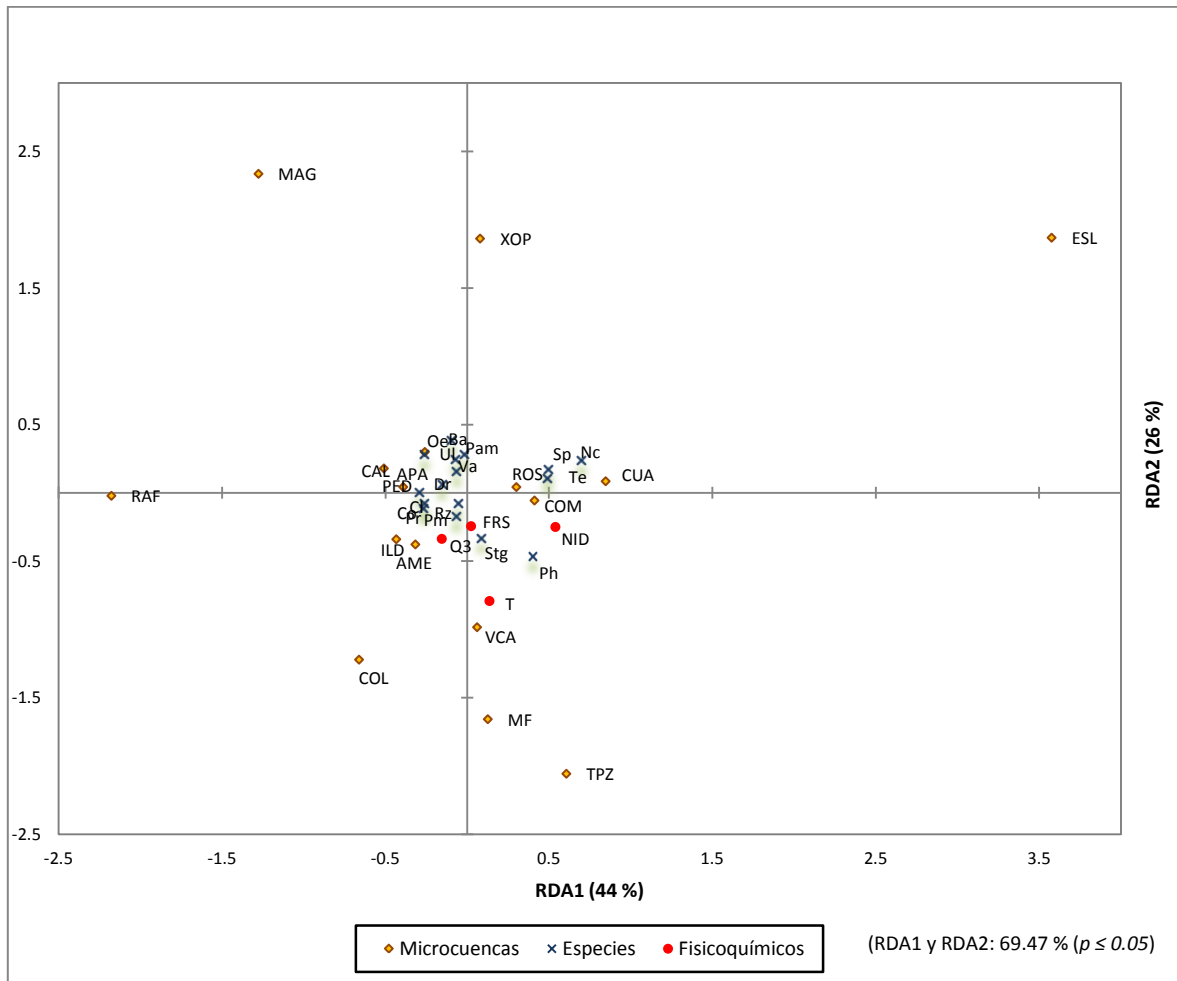
En sentido contrario, las microcuencas de Villa del Carbón, Tepetzotlán y Miraflores presentaron la mayor temperatura y las concentraciones más altas de nutrientes, ambientes que estuvieron relacionados con la presencia de *Phormidium cf autumnale* y *Stigeoclonium sp*.

*Coleodesmium wrangelii*, *Cladophora glomerata*, *Rhizoclonium sp* y *Prasiola mexicana*, también presentaron afinidades por las microcuencas de menor temperatura, pero también con el aforo más elevado, características que correspondieron a las microcuencas del río San Rafael, Ameca-Canal Nacional, San Ildefonso y La Colmena.

*Spirogyra spp*, *Nostoc cf. parmelioides* y *Tetraspora gelatinosa*, por su parte, fueron las especies que se relacionaron con el aforo más bajo, siendo las microcuencas del Río Cuautitlán, Santa Rosa, Xopachi y Eslava, las que presentaron esta cualidad.



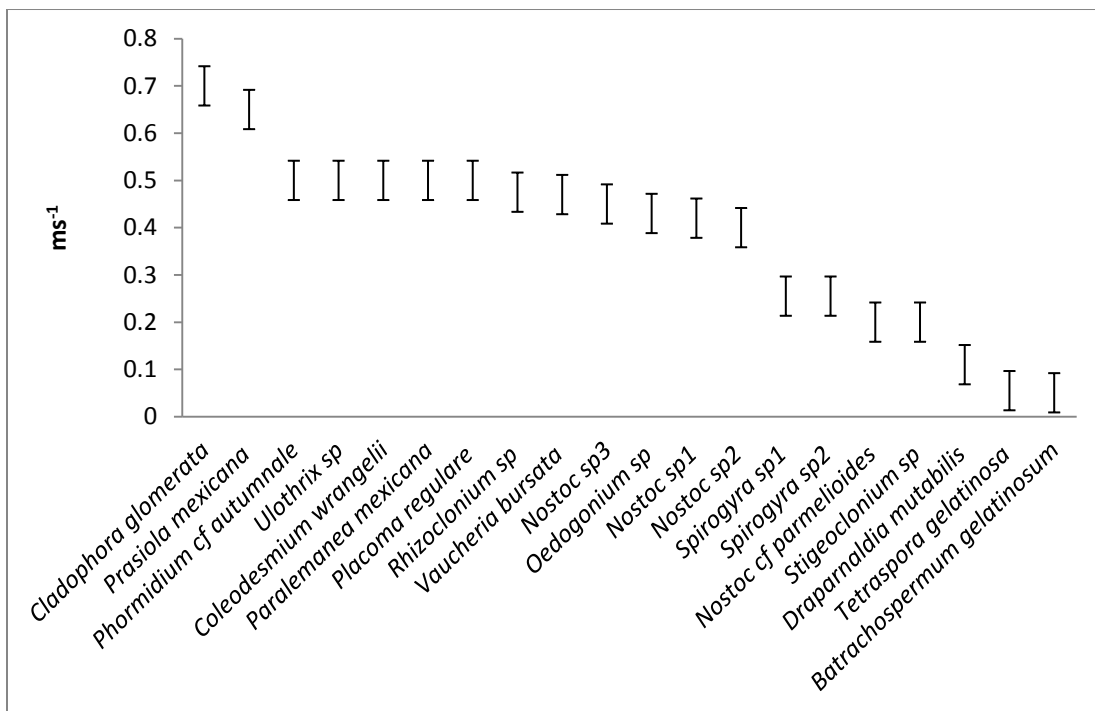
**Fig. 56. Análisis de Redundancia biplot (RDA) de la relación entre los parámetros fisicoquímicos y abundancia de las especies de algas en las microcuencas.**



Especies: Ba (*Batrachospermum gelatinosum*), Cl (*Cladophora glomerata*), Co (*Coleodesmium wrangelii*), Dr (*Draparnaldia mutabilis*), Nc (*Nostoc* spp), Oe (*Oedogonium* sp), Pam (*Paralemanea mexicana*), Ph (*Phormidium cf autumnale*), Pm (*Prasiola mexicana*), Pr (*Placoma regulare*), Rz (*Rhizoclonium* sp), Sp (*Spirogyra* spp), Te (*Tetraspora gelatinosa*), Ul (*Ulothrix* sp) y Va (*Vaucheria bursata*)  
 Microcuencas: APA (Apatlaco), AME (Ameca-Canal Nacional), CAL (La Caldera), COL (Colmena), COM (La Compañía), CUA (Cuautitlán), ESL (Eslava), ILD (San Ildefonso), MAG (La Magdalena), MF (Miraflores), PED (San Pedro), RAF (San Rafael), ROS (Santa Rosa), TPZ (Tepotzotlán), VCA (Villa del Carbón), XOP (Xopachi). Fisicoquímicos: FRS (fósforo reactivo soluble), NID (Nitrógeno inorgánico disuelto), Q3 (aforo) y T (temperatura).

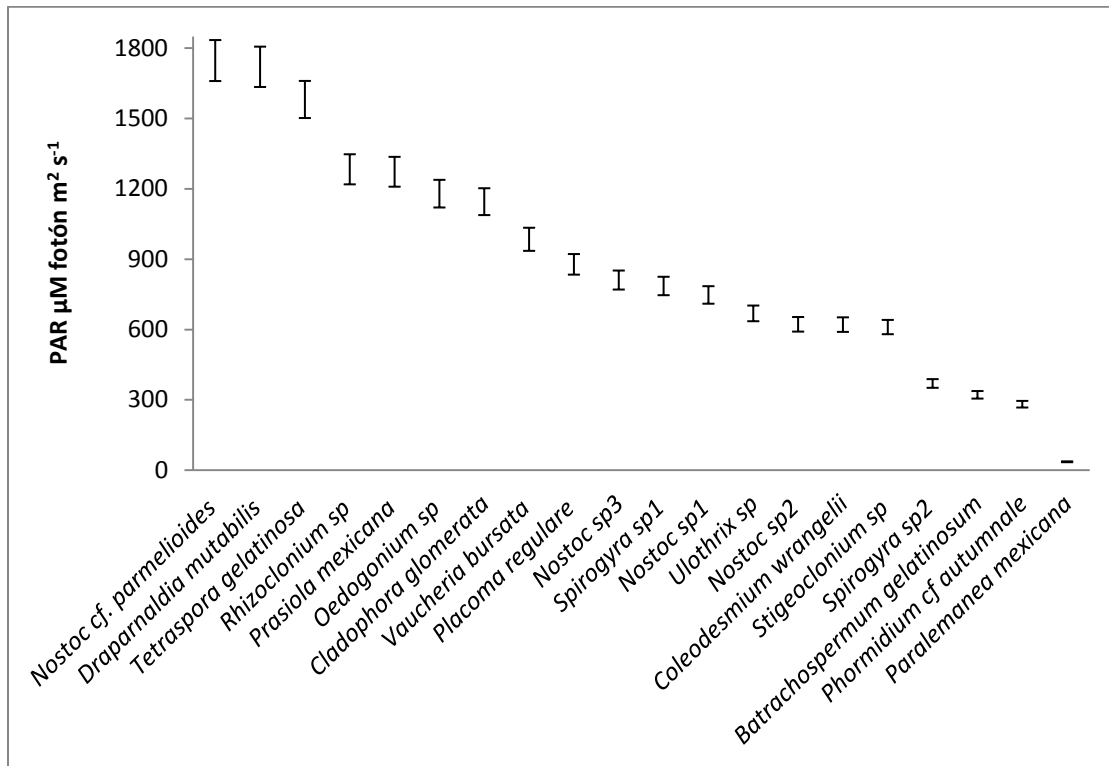
El 65% de las poblaciones mostraron preferencia por causas cuya velocidad de corriente era moderada a elevada ( $>0.4 \text{ ms}^{-1}$ ). Las especies que se desarrollaron en las zonas de mayor flujo fueron *Cladophora glomerata* y *Prasiola mexicana*, ambas por encima de los  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  promedio. Sólo unas pocas, como *Batrachospermum gelatinosum*, *Tetraspora gelatinosa* y *Draparnaldia mutabilis*, crecieron en las zonas con la corriente más lenta del río ( $<0.2 \text{ ms}^{-1}$ ) (Fig.57).

**Fig. 57. Valores promedio y error estándar de velocidad de corriente ( $\text{ms}^{-1}$ ) para las especies de algas macroscópicas en la Cuenca de México.**



La mayoría de las especies de Chlorophyta mostraron preferencia por espacios con moderada a alta exposición lumínica, y sólo unas cuantas Cyanoprokaryota y Rhodophyta crecieron en lugares sombreados, siendo éstas *Batrachospermum gelatinosum*, *Paralemanea mexicana* y *Phormidium cf autumnale*. Algunas otras especies como *Vaucheria bursata*, *Coleodesmium wrangelii*, *Nostoc spp* y *Placoma regulare*, presentaron tolerancias a ambientes tanto iluminados como sombríos (Fig. 58).

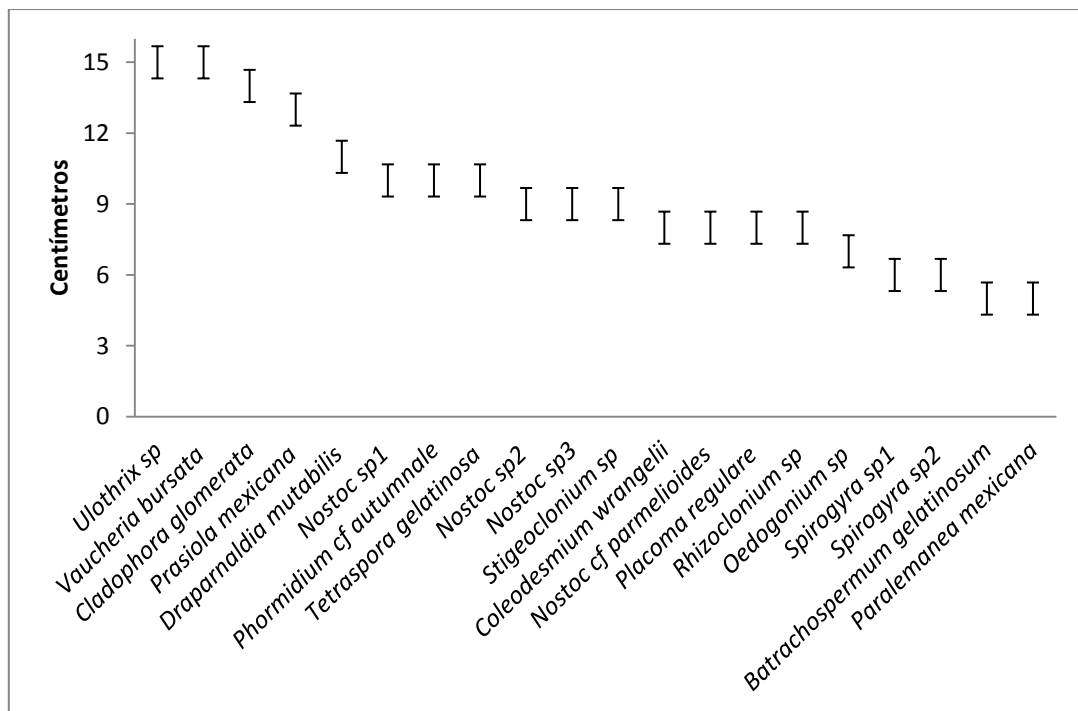
Fig. 58. Valores promedio y error estándar de radiación (PAR  $\mu\text{M fotón m}^2 \text{s}^{-1}$ ) para las especies de algas macroscópicas en la Cuenca de México.



En relación al sustrato, las especies de algas mostraron preferencia por tres tipos diferentes. El primero, conformado por bloques, rocas y cantos rodados, estuvieron relacionados positivamente con las poblaciones de *Coleodesmium wrangelii*, *Nostoc sp1*, *Nostoc sp2*, *Nostoc sp3*, *Nostoc cf. parmeliooides*, *Phormidium cf autumnale*, *Placoma regulare*, *Cladophora glomerata*, *Prasiola mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Spirogyra sp2*, *Stigeoclonium sp*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Paralemanea mexicana* y *Vaucheria bursata*. El segundo tipo de sustrato fue musgo acuático y se relacionó frecuentemente con *Oedogonium sp*, *Rhizoclonium sp* y *Ulothrix sp*. El tercer tipo de sustrato fue arenoso y en ellos fue posible observar el establecimiento de *Draparnaldia mutabilis* y *Tetraspora gelatinosa*.

Los ríos de la Cuenca de México presentaron profundidades someras de 10 a 40 cm. Sin embargo, algunas especies como *Coleodesmium wrangelii* y *Paralemanea mexicana*, crecieron particularmente sobre pequeñas cascadas o bien, en zonas de salpicadura (Fig. 59).

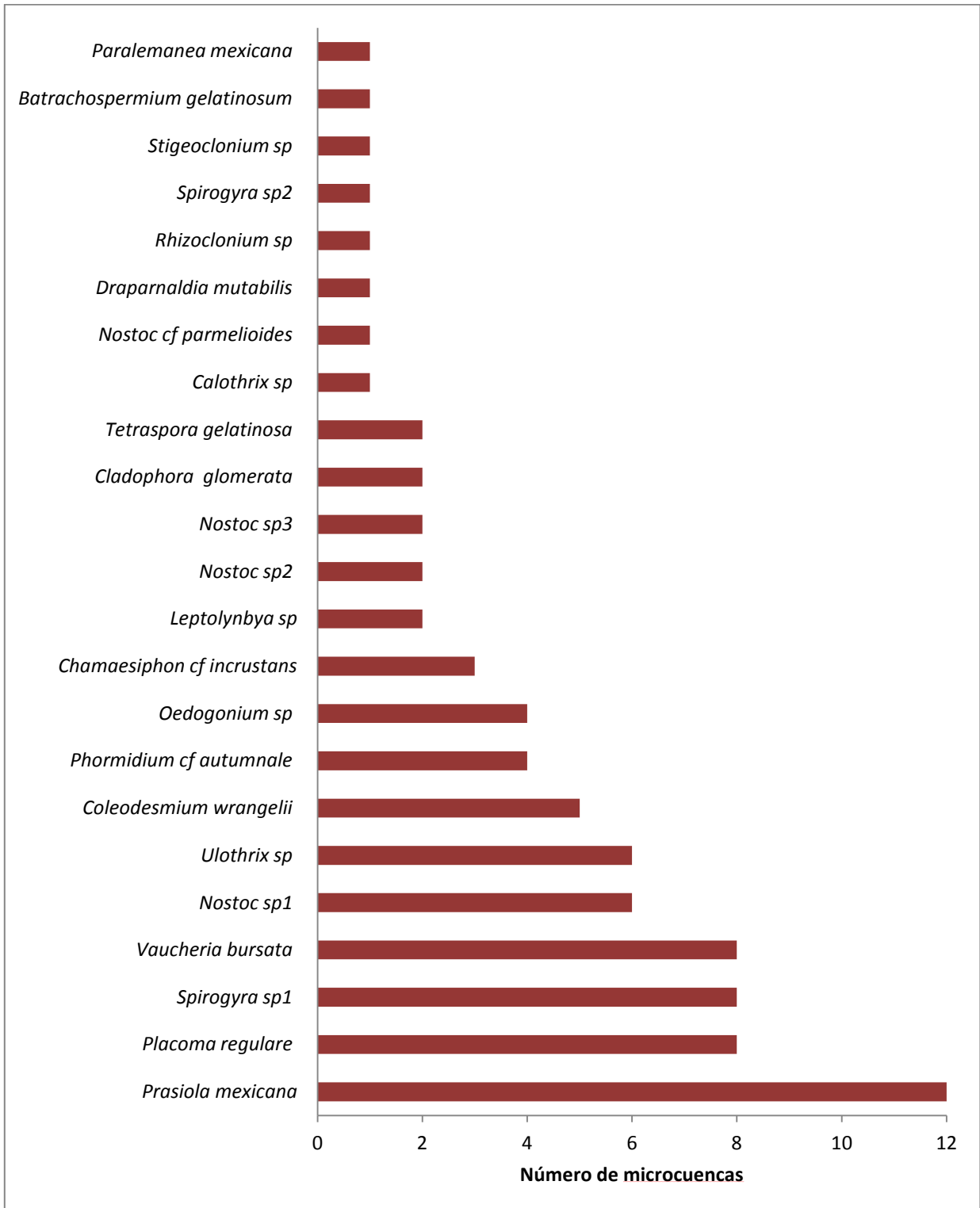
**Fig. 59. Valores promedio y error estándar de profundidad (centímetros) para las especies de algas macroscópicas en la Cuenca de México.**



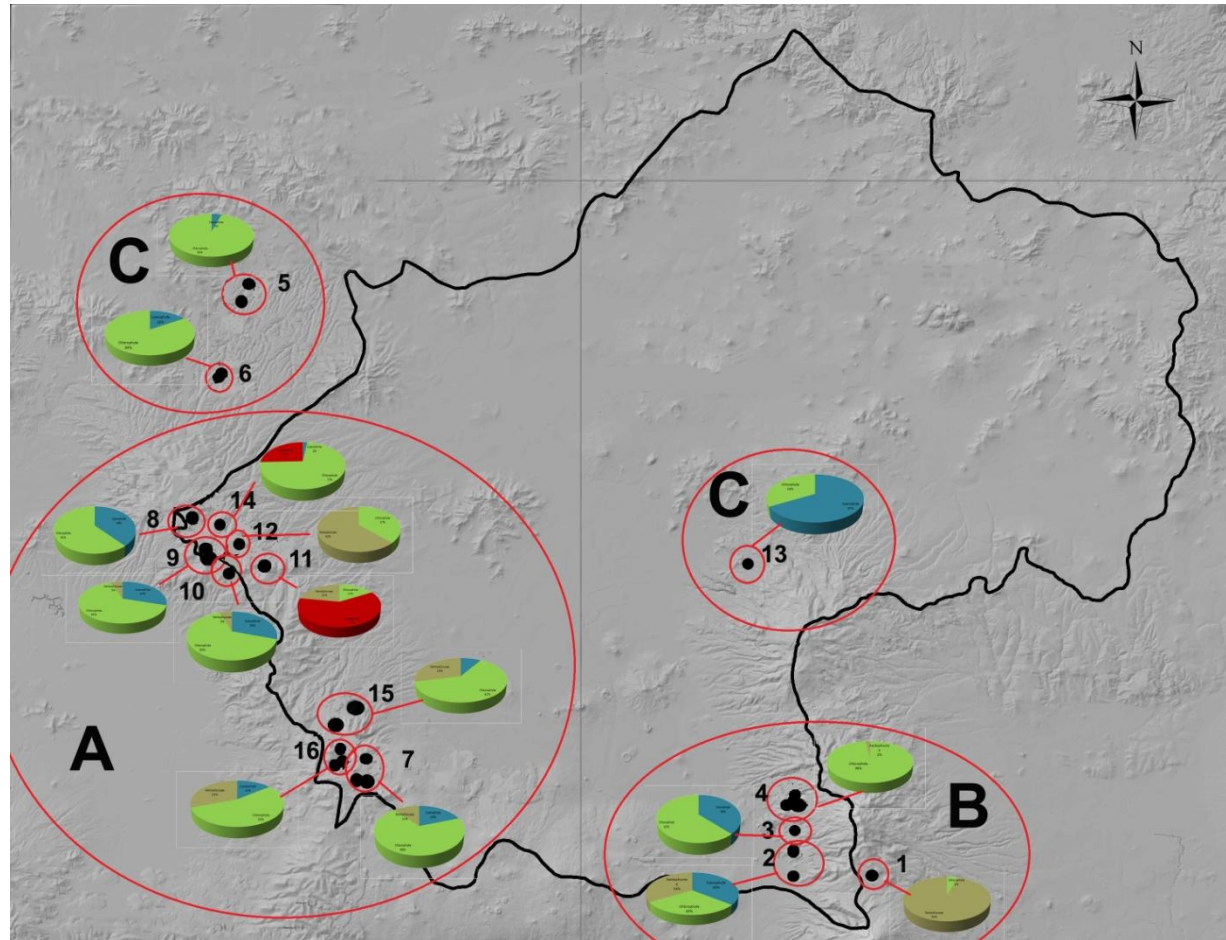
### 6.3. DISTRIBUCIÓN.

La relativa semejanza de la flora algal puede estar relacionada con las características ecológicas de los ríos. Particularmente, las cabeceras y los ríos de orden menor se ubicaron en elevada altitud y con poca evidencia de actividades humanas. La composición de especies se caracterizó por la frecuencia y amplia distribución de *Prasiola mexicana*, *Placoma regulare*, *Spirogyra sp1* y *Vaucheria bursata*. Por el contrario, *Paralemanea mexicana*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Stigeoclonium sp*, *Spirogyra sp2*, *Rhizoclonium sp*, *Draparnaldia mutabilis*, *Nostoc cf. parmelioides* y *Calothrix sp* fueron las especies con la distribución más restringida (Fig. 60). Las microcuencas analizadas presentan una distribución fragmentada en el área de estudio y se pueden reconocer tres regiones. La primera región (A) está caracterizada por las sierras del Ajusco, de las Cruces y Monte Alto. La segunda (B), integrada por la Sierra Nevada y Río Frío. En la tercera región (C) se encuentra una larga planicie de ríos urbanizados, la mayoría convertidos en canales de riego o de desagüe (Fig.61).

**Fig. 60. Frecuencia de las especies de algas macroscópicas en las microcuencas del área de estudio.**



**Fig. 61. Distribución y dominancia de los grupos algales en la Cuenca de México.**



Grupo A: Microcuencas de la Sierra del Ajusco, Las Cruces y Monte Alto. Grupo B: Microcuencas de Sierra Nevada y río Frío. Grupo C: Microcuencas de planicie. Gráficas: Verde: Chlorophyta. Azul: Cyanoprokaryota. Rojo: Rhodophyta. Pardo: Xanthophyceae.

## 7. Discusión.

### 7.1. DIVERSIDAD.

La cuenca de México presenta una riqueza de algas macroscópicas relativamente parecida entre las microcuencas que la integran y fue durante la temporada de secas cuando se presentó la mayor abundancia. La dominancia de las clorofitas (59%) y las cianobacterias (16%) presenta proporciones similares con lo reportado en otros estudios para ríos templados de Norte América (Sheath & Cole 1992). Las especies más dominantes por su abundancia dentro de la cuenca fueron *Prasiola mexicana* y *Vaucheria bursata*, muy comunes en ríos de altura de la Franja Volcánica Transmexicana (Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez & Cantoral, 2003; Bojorge *et al.*, 2010; Carmona *et al.*, 2011), regiones templadas de América (Sheath & Cole 1992; Sheath & Vis, 2013); mientras que la menos abundante fue *Nostoc sp3*. Cabe destacar la presencia de *Draparnaldia mutabilis* y *Tetraspora gelatinosa* en algunas de las localidades estudiadas y que contribuyen al acervo de nuevos registros para la ficoflora del centro del país.

Las poblaciones de talos filamentosos, *Cladophora glomerata*, *Spirogyra sp1*, *Ulothrix sp*, *Rhizoclonium sp*, *Stigeoclonium sp* y *Oedogonium sp* sólo presentan talos vegetativos. Esta característica es muy frecuente entre las Chlorophyta de ambientes lóticos (Sheath & Cole 1992), y al parecer la multiplicación vegetativa es una estrategia relacionada con el estrés provocado por el flujo de agua (Sheath & Cole 1992), así como la influencia que tienen la temperatura y la luz sobre las distintas fases de desarrollo (Krebs, 2001; Peña *et al.* 2005).

Las poblaciones de *Nostoc sp1*, *sp2*, *sp3* y *Nostoc cf. parmelioides* presentan diferencias muy marcadas por la forma de crecimiento de sus colonias (globosas, compactas, laxas o en forma de oreja y con una larva de quironómido en su interior), así como la posición y abundancia de los heterocitos, razón por la que fueron consideradas como especies morfológicamente distintas (Novelo, 1998; Sabater & Muñoz, 2000).



El mismo problema de identidad taxonómica se presentó entre las poblaciones de *Spirogyra sp1* y *sp2*, las cuales fueron consideradas diferentes por el número de plastidios en el interior celular y el tipo de ambiente donde crecen (Novelo, 1998).

No se puede tener certeza de la especie observada si sólo se consideran aspectos morfológicos, por lo que es necesario incorporar otras herramientas de tipo molecular, el ciclo de vida (cultivos) y la ecología (muestreos frecuentes), y así lograr caracterizar la variabilidad biológica y fenotípica de estas poblaciones. Las formas de crecimiento más comunes fueron las filamentosas, laminares y colonias mucilaginosas, muchas de éstas de hábito epilítico. Estos niveles de organización y hábitos permiten el desarrollo de estructuras de fijación, lo que evolutivamente les ha permitido adaptarse y crecer sobre un continuo y elevado flujo de agua (Ramírez *et al.*, 2002; León-Tejera *et al.*, 2003) las cuales son características ambientales típicas de los ríos de montaña presentes en la cuenca.

## 7.2. ECOLOGÍA.

Las especies de la Cuenca de México, además de presentar la mayor abundancia durante la época de secas, también lo fue en los sitios de altitud mayor, por encima de los 3,100 ms.n.m, lo que sugiere una afinidad por los ríos de una temperatura del agua menor a los 17°C. Esta relación ha sido descrita por Carmona & Vilaclara (2007), Ramírez *et al.* (2001) y Bogorje *et al.* (2010) para las poblaciones de *Coleodesmium wrangelii*, *Chamaesiphon cf incrustans*, *Paralemanea mexicana* y *Batrachospermum gelatinosum*.

No obstante, estas especies no son frecuentes en el área de estudio, lo que sugiere que se desarrollan bajo requerimientos ecológicos muy puntuales (p.e. baja radiación y/o alta velocidad de corriente). Con base en el nivel trófico del agua se reconocieron dos grupos de especies frecuentes en las localidades. La primera con agua oligotrófica y las poblaciones de *Ulothrix sp*, *Oedogonium sp*, *Draparnaldia mutabilis*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Paralemanea mexicana* y *Vaucheria bursata* (Ramírez, 2002). El segundo con agua mesotrófica a eutrófica con poblaciones de *Stigeoclonium sp* y *Phormidium cf autumnale* (Loza *et al.*, 2013; Bojorge *et al.*, 2010; Ramírez, 2002).

La presencia de actividades agropecuarias (cultivo de maíz, ganado vacuno y bovino) y la cercanía con algunos sistemas de drenaje y veredas de tránsito (con presencia de basura) parecen ser los responsables de las condiciones meso y eutróficas en los ríos, así como las altas concentraciones de coliformes fecales (mayores a los 1000 NMP/100 ml).

Así también, el alto porcentaje de vegetación introducida o típica de ambientes perturbados, genera un bajo grado de conservación y un valor ponderado en 28 puntos o menos, según el índice CERA-S. Por el contrario, aquellos lugares que presentaron condiciones oligotróficas, están relacionados con sitios poco perturbados por actividades humanas (concentración de coliformes fecales inferior a los 1000 NMP/100ml). Todos estos sitios caracterizados por presentar canalización natural del río y vegetación de tipo autóctona; y por el contrario, la ausencia de sustrato artificial, escombros y basura, lo cual hace que estos sitios tengan un alto grado de conservación y un valor ponderado por encima de los 36 puntos del índice de CERA-S.

Con relación a los parámetros microambientales, la velocidad de corriente, la radiación y el sustrato fueron los elementos más importantes que definieron la frecuencia y los patrones de distribución de las especies. La velocidad de corriente rápida presenta una relación positiva con el establecimiento de especies como *Placoma regulare*, *Cladophora glomerata*, *Oedogonium sp*, *Prasiola mexicana* y *Ulothrix sp*, mientras que el grupo conformado por *Nostoc cf. parmelioides*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Draparnaldia mutabilis* y *Tetraspora gelatinosa*, tiene afinidad por la velocidad de corriente lenta. La preferencia ambiental de estas especies confirma lo descrito por Ramírez (2002); Ramírez & Cantoral (2003); Ramírez & Carmona (2005); Bojorge *et al.*(2010), Carmona (2007) y Carmona & Vilaclara (2007) en México y Sheath & Cole (1992); Broady & Ingerfield (1992) y Branco & Necchi (1996) para otras regiones del mundo.

La vegetación arbórea influyó de forma significativa sobre la intensidad de luz que penetra en el caudal, viéndose reflejada en la composición de las especies algas en los ríos. En los sitios donde la cobertura arbórea es reducida, se observa una dominancia marcada por las especies *Draparnaldia mutabilis*, *Oedogonium sp*, *Prasiola mexicana*, *Spirogyra sp1*, *Stigeoclonium sp*, *Tetraspora gelatinosa* y *Ulothrix sp*, todas ellas del grupo de las Chlorophyta. De manera contraria, los sitios donde la luminosidad era menor, era frecuente la presencia de *Coleodesmium wrangelii*, *Phormidium cf autumnale* y *Paralemanea mexicana*, especies que ya han sido reportadas creciendo en sitios sombreados (Martínez & Donato, 2003; Necchi *et al.*, 2003; Sheath & Cole, 1992; Carmona & Vilaclara, 2007).

El tipo de sustrato, por su parte, influyó de manera significativa sobre el establecimiento de las especies con formas mucilaginosas y laminares, tales como *Nostoc spp*, *Placoma regulare* y *Prasiola mexicana*, las cuales crecieron principalmente sobre bloques y cantos rodados. Las formas filamentosas, en cambio, como *Oedogonium sp*, *Ulothrix sp* y *Rhizoclonium sp*, se establecieron sobre musgos acuáticos. Algunas algas macroscópicas facilitan el establecimiento de otras especies y son de hábito epífita, tales como *Chamaesiphon cf incrustans*, *Leptolyngbya sp* y *Calothrix sp*.

Todos estos elementos están relacionados con especies de algas que presentan fuertes estructuras de fijación, permitiéndoles establecerse en ambientes con velocidades de corrientes moderadas y fuertes y sobre sustratos generalmente estables. De igual forma, el tipo de clorofila y los pigmentos accesorios que poseen los diversos grupos algales, pueden garantizar la capacidad fotosintética que presenta cada una bajo distintas intensidades de luz ó longitud de onda, según el ambiente en el que habiten (Whitton, 2012; Lee, 2008; Round, 1981).

### 7.3. DISTRIBUCIÓN.

En los ambientes continentales mexicanos se han registrado un total de 2974 taxa (sin considerar los sinonimias) en un periodo comprendido entre 1847 y 2011 (Novelo & Tavera, 2011), y aproximadamente la mitad de éstas se han reportado en el centro del país. En los ambientes lóticos nacionales predominan los registros de Chlorophyta con aproximadamente 450 taxa (30%), seguida de las Cyanoprokaryota con 300 taxa (20%), Heterokontophyta (incluida Xantophyceae) 40 taxa (2.6%) y Rhodophyta 30 taxa (2%).

La composición de algas macroscópicas en los ríos de montaña de la cuenca de México es muy similar a otras floras de ambientes templados y cuyo promedio de especies por sitio ( $\bar{X}=3$ ) fue similar a la que se reporta en otros ríos de montaña en la región central de México ( $\bar{X}=5$  Ramírez *et al.*, 2001;  $\bar{X}=3$  Bojorge, 2002;  $\bar{X}=4$  Ramírez & Cantoral, 2003;  $\bar{X}=3$  Bojorge *et al.*, 2010) y Estados Unidos ( $\bar{X}= 3.8$ , Sheath *et al.*, 1986;  $\bar{X}=4.9$ , Sheath *et al.*, 1989;  $\bar{X}=2.7-3.6$ , Sheath & Cole, 1992).

Algunas de las especies como *Chamaesiphon cf. incrustans*, *Coleodesmium wrangellii*, *Batrachospermum gelatinosum* y *Draparnaldia mutabilis* muestran una distribución limitada a regiones con características ambientales templadas, presentes en el norte de Estados Unidos y centro-norte de Europa, así como en Nueva Zelanda (Loza *et al.*, 2013; Broady & Merican, 2012; Broady *et al.*, 2012; Caraus, 2012; Täuscher, 2011; Smith, 2010; House *et al.*, 2010; Stewart & Vis, 2007; Whitton *et al.*, 2003; John, 2002; Sheath *et al.*, 1994). Las especies adaptadas a los sitios con un continuo flujo de agua y baja temperatura, como *Prasiola mexicana*, *Paralemanea mexicana* y *Cladophora glomerata*, presentaron la misma respuesta en varios ríos de aguas templadas en el sur de California y el centro de México (Carmona & Vilaclara, 2007; Bojorge *et al.*, 2010; Dudley & D'Antonio, 1991).

Contrariamente a *Phormidium cf. autumnale*, que se distribuye en los ambientes menos templados de Europa, Asia y Oceanía (Loza, *et.al*, 2013, Caraus, 2012; Rindi & Guiry, 2004; Taskin, *et.al*, 2008; Smith, 2010; Broady & Merican, 2012), en corrientes bajas

e incluso, en hábitats lénticos (Branco & Necchi, 1996). Es importante mencionar que *P. cf. autumnale* está relacionada con una serie de características morfológicas y ecológicas atribuidas a un complejo de especies en las que se encuentra *P. cf. autumnale* (Anagnostidis & Komarek 2005, Comte *et al.*, 2007, Strunecky *et al.*, 2010).

En México, las especies *Nostoc cf. parmelioides*, *Phormidium cf. autumnale*, *Coleodesmium wrangelii*, *Prasiola mexicana*, *Batrachospermum gelatinosum*, *Paralemanea mexicana* y *Vaucheria bursata* ya han sido enlistadas en otros sitios que presentan condiciones ambientales semejantes a las de nuestra área de estudio (Bojorge *et al.*, 2010; Carmona & Vilaclara, 2007; Ramírez & Carmona, 2005; Ramírez *et al.*, 2001; Bojorge, 2002; Ramírez, 2002; Ramírez & Cantoral, 2003; Sheath *et al.* 1996). En particular, *Paralemanea mexicana* es una especie que se reporta como endémica y se distribuye en la región central de México (Sánchez-Rodríguez, 1969; Vis & Sheath 1992; Carmona 1997; Carmona & Necchi, 2002). *Placoma regulare* también se distribuye en la región central de México, y cuyo primer registro nacional se remonta a la década pasada (Ramírez, 2002 y León-Tejera *et al.*, 2003), ya que anteriormente sólo se conocía su presencia en ríos de Nueva Zelanda (Broady & Ingerfel, 1991). Los nuevos registros nacionales de *Draparnaldia mutabilis* y *Tetraspora gelatinosa*, por su parte, tienen una distribución mundial en la región centro-norte de Europa (Caraus, 2012; Whitton *et al.*, 2003), Estados Unidos (Smith, 2010; Prescott, 1961), suroeste asiático (Valeem & Shameel, 2005) y Nueva Zelanda (Broady *et al.*, 2012).

*Vaucheria* y *Cladophora*, en tanto, son géneros que parecen tener una distribución global (Brodie *et al.*, 2007; Cantoral-Uriza & Aboal, 2001; Taskin *et al.*, 2013; Higgins *et al.*, 2008; Moura, 2010; Comas-González, 2008, Bostock & Holland, 2010). En México, *Cladophora glomerata* se ha descrito en una amplia variedad de ambientes acuáticos (incluidos los de agua marina, Pedroche *et al.*, 2005) lo que explica su capacidad para tolerar una amplia gama de características físico-químicas del agua (Vis & Sheath, 1996). En nuestra área de estudio *Cladophora* se presentó en dos sitios, y se estableció bajo condiciones muy específicas: sustratos estables (epilítica) y corrientes rápidas, semejantes a lo descrito por Sheath & Cole (1992) para ríos de Norte América.

## 8. Conclusiones.

La composición de algas macroscópicas en la cuenca de México resultó semejante entre la mayoría de las microcuencas estudiadas, haciendo que ésta área presente una flora ficológica característica y puede ser punto de referencia para otras floras con afinidad templada de la región central del país y del mundo.

La flora ficológica de la Cuenca de México está compuesta mayoritariamente por especies de algas que pertenecen al grupo de las Chlorophyta y Cyanoprokaryota, y cuyos niveles de organización les permiten un óptimo establecimiento en los ambientes lóticos. La diversidad de algas macroscópicas se explica también por la heterogeneidad ambiental que caracteriza a los ríos de la cuenca.

La no determinación de algunas especies de algas nos habla del grado de complejidad morfológica y la plasticidad fenotípica que presentan en forma intrínseca y con relación al medio en donde se desarrollan, especialmente, las poblaciones definidas bajo los géneros *Nostoc* y *Spirogyra*. Por otra parte, la poca evidencia de reproducción sexual en las especies de Chlorophyta, sugiere que estos organismos se propagan vegetativamente dentro de un ambiente limitado por la velocidad de corriente.

El estudio continuo de las floras ficológicas, aunado a la información ecológica y taxonómica de las especies que la integran, permiten enriquecer y actualizar el conocimiento ficológico del país, particularmente los de ambientes dulceacuícolas de la región central, que son minoritarios comparados con los de ambientes marinos.

Las condiciones fisicoquímicas de los sitios no presentaron diferencias significativas entre la temporada de lluvias y secas, sin embargo, el que algunos sitios presentaran mayor concentración de nutrientes, se explica a partir de la evidente la actividad urbana y la aportación de contaminantes orgánicos a los ríos.

La mayoría de los taxa mostraron afinidades por los ambientes fríos y de menor concentración de nutrientes (NID y FRS), viéndose reflejada en una gran abundancia durante la temporada de secas y/o en los sitios con mayor altitud (superiores a los 3,000 m.s.n.m.). En cambio, la menor abundancia de algas, se relacionó con los sitios con la mayor concentración de nutrientes y la temperatura más alta.

El índice de calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S), así como la calidad bacteriológica de los sitios, fueron herramientas complementarias que ayudaron a valorar el grado de conservación de las microcuencas, las cuales estuvieron relacionadas positivamente con los parámetros fisicoquímicos evaluados en los ríos.

Las especies que presentaron una distribución restringida se explica a partir de las preferencias que mantienen por elementos microambientales particulares como la luz, la velocidad de corriente y el tipo de sustrato, principalmente las que corresponden al grupo de las Rhodophyta y algunas Cyanoprokaryota.

La caracterización ambiental y biológica de la Cuenca de México permite sustentar las bases de futuros proyectos en el área taxonómica, biogeográfica y ecológica, así como orientar estudios hacia el uso de las algas macroscópicas como indicadores de la calidad del agua.

## 9. Literatura citada.

Acosta R., Ríos-Touma B., Rieradevall M. & Prat N. 2009. Proposal for an evaluation protocol of the ecological quality of Andean rivers (CERA) and its use in two basins in Ecuador and Peru. *Limnetica* 28(1): 35-64.

Ács E. & Keve K. T. 1993. Effects of the water discharge on periphyton abundance and diversity in a large river (River Danube, Hungary). *Hydrobiología* 249: 125–133.

Allan J. D. 1996. *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Chapman & Hall, London. 388p.

Anagnostidis & Kómarek. 2005. *Cyanoprokaryota. Oscillatotoriales*. Elsevier GmbH. Alemania. 759p.

APHA, 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. Washington. American Public Health Association. 1100p.

Becerra A. I. 2002. *Cambios en la comunidad algal relacionados con el ciclo hídrico de un tinal inundable en Quintana Roo*. Tesis profesional, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 89p.

Biggs, B. J. F. 1996. *Patterns in benthic algae of streams*, En: Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L., Eds. *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, 31–56 pp.

Bojorge M.G. 2002. *Ecología de comunidades algales en una localidad del río La Magdalena, D.F.* Tesis profesional, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 46p.



Bojorge M.G. 2006. *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F.* Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 62 p.

Bojorge M. & Cantoral E. 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el Río Magdalena, D.F. *Hidrobiológica* 17: 11–24.

Bojorge G.M., Carmona J.J., Beltrán Y. & Cartajena M. 2010. Temporal and spatial distribution of macroalgal communities of mountain streams in Valle de Bravo Basin, central México. *Hydrobiología* 641:159-169.

Bold H. & Wynne M. 1985. *Introduction to the algae, structure and reproduction*. 2da. Edición. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc. 10-17pp.

Borges F. R. & Necchi Jr O. 2008. Short-term successional dynamics of a macroalgal community in a stream from Northwestern São Paulo State, Brazil. *Acta Botânica Brasileira* 22: 453–463.

Borobia C.A. 2013. *Dinámica de nutrientes e importancia del bentos y del hiporreos en el sostenimiento del metabolismo de los sistemas fluviales efímeros alterados de la meseta central: un caso de estudio en un arroyo de la cuenca del río Alberche (Toledo)*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Madrid. España. 4pp.

Bostock P.D. & Holland A.E. 2010. *Census of the Queensland Flora*. Brisbane: Queensland Herbarium Biodiversity and Ecosystem Sciences, Department of Environment and Resource Management. 320 p.

Branco C. C. & Necchi O. Jr. 1996. Distribution of stream macroalgae in the Eastern Atlantic Rainforest of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 333: 139–150.

Bradley J., Palmer M. A., Ives A. R. & Brooks S. S, 2005. Diversity–productivity relationships in streams vary as a function of the natural disturbance regime. *Ecology* 86:716–726.

Broady P.A. & Ingerfeld M. 1991. *Placoma regulare* sp.nov. (*Entophysalidaceae*, Cyanobacteria) from New Zealand streams. Department of Plant and Microbial Sciences, University of Canterbury, Christchurch 1, New Zealand. *Phycologia* 30: 547-555.

Broady P.A., Flint E.A., Nelson W.A., Cassie Coope V., De Winton M.D. & Novis, P.M. 2012. Phylum Chlorophyta and Charophyta: green algae. En: Gordon, D.P. *New Zealand inventory of biodiversity. Volumen 3. Kingdoms Bacteria, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi*. Canterbury University Press. 347-381 pp.

Broady P.A. & Merican F. 2012. Phylum Cyanobacteria: blue-green bacteria, blue-green algae. En: *New Zealand inventory of biodiversity. Volume Three. Kingdoms Bacteria, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi*. (Gordon, D.P. Eds). Christchurch: Canterbury University Press pp. 50-69.

Brodie J., Maggs C.A. & John D.M. 2007. *Green seaweeds of Britain and Ireland*. London: British Phycological Society 242p.

Cantoral U. E., Carmona J. J., González G. & Montejano Z. G. 1999. *Algas indicadoras de la calidad del agua en el Río la Magdalena, delegación Magdalena Contreras, Distrito Federal*. En: Consejo de estudios para la restauración y valoración ambiental. Aire y agua. Gobierno del Distrito Federal. México. D.F. 299-332pp.

Cantoral Uriza E.A. & Aboal Sanjurjo M. 2001. El marjal Pego-Oliva: evolución temporal de la flora de macroalgas. *Limnetica* 20(1): 159-171.

Caraus I. 2012. *Algae of Romania. A distributional checklist of actual algae*. Version 2.3 3ª revision. Bacau: Univ. Bacau.

Carmona J.J.1997. *Estudio florístico (taxonómico-ecológico-biogeográfico) de las rodofitas de agua dulce en la región central de México*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. 201p.

Carmona J.J & Necchi Jr. O. 2002. Taxonomy and distribution of *Paralemanea* (*Lemanaceae*, *Rhodophyta*) in central México. *Cryptogamie. Algol.*, 23:39-49.

Carmona J.J. & Beltrán M. Y. 2007. *Las algas rojas continentales en la región central de México*. Las prensas de ciencias. UNAM. México. D.F. 48p.

Carmona J. & Vilaclara F.G. 2007. Survey and distribution of Batrachospermaceae (*Rhodophyta*) in high-altitude tropical streams from central Mexico. *Cryptogamie Algologie* 28 (3): 271-282.

Carmona J. ,Bojorge M., Beltrán, M. & Ramírez, R. 2009. Phenology of *Sirodotia suecica* (*Batrachospermaceae*, *Rhodophyta*) in a high-altitude stream in central Mexico. *Phycological Research* 57: 118-126.

Carmona J.J, Perona E., Sánchez E. & Loza V. 2011. Morphological and ecological characterization of Batrachospermales (*Rhodophyta*) in the Jarama Basin, Iberian peninsula. *Limnetica* 30(1): 117-128.

Cisneros E. C & Escobar M.A. 1999 *Geografía general*. 2º ed. McGraw Hill México 416p.

Comas González, A. 2008. Algunas características de la Flora de algas y cianoprocariontes de agua dulce de Cuba. *ALGAS. Boletín de la Sociedad Española de Ficología* 39: 21 - 29.

Comte k., ŠaBacká M., Carre–Mlouka A., Elster J. & komárek, J. 2007. Relationships between the Arctic and the Antarctic cyanobacteria; three Phormidium–like strains evaluated by a polyphasic approach. *FEMS Microbiol. Ecol.* 59: 366–376.

Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2012, *Servicio Meteorológico Nacional. Reporte Anual 2012*. Gerencia de meteorología y climatología.23pp.

Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. 2013. *Servicio Meteorológico Nacional. Reporte Anual 2013*. Gerencia de meteorología y climatología. 27pp.

De la Torre Díaz, J.L. 2009. *Geografía*. McGrawHill Education. México 280p.

Diario Oficial de la Federación. 1989. *Criterios ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, México*. Declaratoria de clasificación del Río Lerma, México.

Douterelo I. Perona & E, Mateo P. 2004. Use of cyanobacteria to assess water quality in running Waters. *Environ. Pollut.* 127:377-384.

Dodds, W. K., 2003. Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface Waters. *Journal of North American Benthological Society* 22: 171–181.

Dodds, W. K., R. J. Jones & E. B. Welch, 1998. Suggested classification of stream trophic state: distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen and phosphorous. *Water Research* 32: 1455–1462.

Dudley T.M & D'Antonio C.M.1991. The Effects of Substrate Texture, Grazing, and Disturbance on Macroalgal Establishment . *Streams. Ecology* 72:297–309.

Elosegui A. & Sabater S., 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial.1ªed. Fundación BBVA. 71-84pp.

Encalada A.C., Rieradevall M., Ríos-touma B. García N. & N. Prat. 2011. *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S)*. USFQ, UB, AECID, FONAG, Quito, 83p.

Espinoza García F.J. & Sarukhán J. 1997 *Manual de malezas del Valle de México*. Fondo de Cultura Económica. 403p.

Fisher, S.G., Grimm, N.B., Martí, E., Holmes, R.M. & Jones, J.B. 1998. Material Spiraling in Streams Corridors: A Telescoping Ecosystem Model. *Ecosystems* 1: 19-34

García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación de Koppen*. Instituto de Geografía, UNAM. 90p.

Garduño S.G., Godínez O.J.L & Ortega, M.M. 2005. Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (Chlorophyceae) bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 76:61-78. 68pp.

Gómez Rojas, J.C. & Márquez Hitzil J. 1996. *Geografía general* 2º ed. Publicaciones Cultural México. 245p.

González-González, J. 1987. Las algas de México. *Ciencias* 9:16-25.

Hansson, L.A. 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnol Oceanogr* 37:322-328.

Hauer, R.F. & Lamberti, G.A. 1996. *Stream ecology*. Academic Press. USA. San Diego, California. 674 p.

Higgins S.N., Malkin S.Y., Howell E.T., Guildford S.J., Campbell L., Hiriart-Baer V. & Hecky R.E. 2008. An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Phycology* 44: 839-854.

Holmes, N.T.H & Whitton, B.A. 1981. Phytobenthos of the river tees and its tributaries. *Freshwater Biol.* 11:139-163.

House D.L., Vandenbroek A.M. & Vis, M. 2010. Intraspecific genetic variation of *Batrachospermum gelitanosum* (Batrachospermales, Rhodophyta) in eastern North America. *Phycologia* 49(5): 501-507.

John D.M. 2002. Order Cladophorales (Siphonocladales). En: John D.M., Whitton B.A. & Brook A.J. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algae*. 468-470pp. Cambridge University Press.

Krebs, C.J.2001. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin-Cummings Publishing Company. 5<sup>th</sup> edition. San Francisco CA. 695p.

- Kumano S. 2002. *Freshwater red algae of the World*. Biopress Ltd. Inglaterra. 375p.
- Legorreta J. 2009. *Ríos, Lagos y manantiales del Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 365p.
- León-Tejera, H., G. Montejano & E. Cantoral-Uriza. 2003. Some little known Hydrococcaceae (Cyanoprokariota) from Central Mexico. *Archives für Hydrobiologie / suppl. Algological Studies* 109: 363-374.
- Lee R.E. 2008. *Phycology*. 4<sup>th</sup> edición. Cambridge University Press. 547 pp.
- Loza V., Berrendero E., Perona E. & Mateo P. 2013. Polyphasic characterization of benthic cyanobacterial diversity from biofilms of the Guadarrama river (Spain): morphological, molecular, and ecological approaches. *Journal of Phycology* 49(2): 282-297.
- Lunning, K. 1990. *Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York. Pp 337-364.
- Margalef R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1014pp.
- Martínez I. & Donato J. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en Diversidad de diatomeas en un río andino de alta montaña tropical. *Caldasia* 25(2): 337-354.
- Morin P.J. 1999. *Community ecology*. Blackwell. Massachussets. 87p.
- Moura C.W.N. 2010. Ulvophyceae. En: *Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Vol. 1*. Rio de Janeiro. Andrea Jakobsson Estúdio; Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 438-448 pp.
- Naicheng W., Tao T. & Xiaodong T. Q. 2009. Spatial distribution of benthic algae in the Gangqu River, Shangrila, China. *Aquatic Ecology* 43: 37-49.

Necchi J.O, Branco H.Z. L & Branco Z. 2003. Ecological distribution of stream macroalgal communities from a drainage basin in the serra da Canastra Nacional Park. Minas Gerais. Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 63(4):635-646.

Norouzian M., Ramírez E., Alcántara V. & González R. 1984. *Evaluación del diseño y de la operación y capacitación del personal de la planta de tratamiento de aguas de desecho de C.U.* Sin editorial México, D.F. 113-122pp.

Novelo E & Tavera R. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica* 21 (3):33-341.

Novelo M.E, 1998. *Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla, México*. Tesis de doctorado. UNAM, México, D.F. 699p.

Ortega M.M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 566p.

Pedroche F.F., Silva P.C., Aguilar-Rosas L.E., Dreckmann K.M. & Aguilar-Rosas R. 2005. *Catálogo de las algas marinas bentónicas del Pacífico de México. I. Chlorophycota*. Ensenada, México: Universidad Autónoma de Baja California 1-8pp.

Peña E.J, Cantera J.R. & Palacios M.L. 2001. *Nutrient dynamic in the Dauga River estuary. Pacific Coast of Colombia*. S.A. Colacmar. San Andrés Colombia. 13pp.

Peña E.J. , Palacios M.L. & Ospina N. 2005. *Algas como indicadores de contaminación*. Programa Editorial Universidad del Valle. Colombia. 164p.

Prescott G.W. 1961. *Algae of the western Great Lakes area*. Wm.C. Brown Company Publishers, Iowa 977pp.

Prescott W, Croasdale T. & Vinyard C. 1975. *A synopsis of North American desmids. PartII. Desmidiaceae: Placodermæ. Section 1*. Lincoln, University of Nebraska Press. 275pp.

Ramírez V.M., Beltrán Y., Bojorge M., Carmona J., Cantoral Uriza E. A. & Valdez F. 2001. Flora algal del Río La Magdalena, Distrito Federal, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 68: 45-67.

Ramírez Vázquez M. 2002. *Flora algal de ambientes lóticos en la zona occidental de la cuenca del Valle de México*. Tesis de licenciatura, Fac. de Ciencias. UNAM. México, DF. 111p.

Ramírez Vázquez M. & Cantoral Uriza E.A. 2003. Flora algal de ríos templados en la zona occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales del Inst. de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 74(2): 143-194.

Ramírez, R.R & Carmona J.J. 2005. Taxonomy and distribution and distribution of freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central Mexico. *Cryptogamie Algologie* 26 (2): 177-188.

Rindi F. & Guiry, M.D. 2004. Composition and spatial variability of terrestrial algal assemblages occurring at the bases of urban walls in Europe. *Phycologia* 43: 225-235.

Round, F. E 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge University Press. UK. 653 pp.

Rott E. & Pfister P. 1988. Natural epilithic algal communities in fast-flowing mountain streams and rivers and some man-induced changes. *Verh.Internat. Verein. Limnol* 23:1320-1324.

Sabater S. & Roca J.R. 1992. Ecological & biogeographical aspects of diatom distribution in Pyrenean Springs. *Brit. Phycol. Jou.* 27: 203-213.

Sabater S. & Muñoz I. 2000. *Nostoc verrucosum* (Cyanobacteria) colonized by a chironomid larva in a mediterranean stream. *J. Phycol.* 36: 59-61.



Sánchez-Rodríguez M.E. & Huerta M.L. 1969 Una nueva especie de *Lemanea* (Rhodophyta-Florid.) para la flora dulceacuícola mexicana. *Ciencia (México)*. 27(1):27-30.

Santoyo A.R. 2012. *Catálogo ilustrado de algas dulceacuícolas mexicanas Volvocales y Tetrasporales*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F.379-389pp.

Sheat R.G. & Burkholder J. 1985. Characteristics of softwater streams in Rhode Island. II: Composition and seasonal dynamics of macroalgae communities. *Hydrobiologia* 128:109-118.

Sheath, R., Morison, M. Korch, J., Kaczmarczyk, D. & Cole, K. 1986. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia* 135: 259-269.

Sheath, R. G., P. B. Hamilton, J. A. Hambrook & K. M. Cole,1989. Stream macroalgae of the eastern boreal forest region of North America. *Canadian Journal of Botany* 67:3553–3562.

Sheath R.G & Cole K.M . 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology* 28:4.

Sheath R.G., Vis M.L. & Cole K.M. 1994. *Distribution and systematics of Batrachospermum (Batrachospermales, Rhodophyta)*. 5. Section Aristata.

Sheath R.G, Hambrook J.A & Cole K.M . 1996. Tundra stream macroalgae of North America: composition, distribution and physiological adaptations. *Hydrobiologia* 336:67-82.

Sheath R.G. & Vis M.L. 2013. *Biogeography of freshwater algae*. eLS. [En](#) Sheath, R.G. 2006. Biogeography of freshwater algae eLS.

Smith T.E. 2010. Revised list of algae from Arkansas, U.S.A. and new additions. *International Journal on Algae* 12(3): 230-256.

Stevenson R. J., Bothwell M. L. & Lowe R. L. 1996. *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego. 31–56pp.

Stewart S.A. & Vis M.L. 2007. Investigation of two species complexes in *Batrachospermum* section *Batrachospermum* (Batrachospermales, Rhodophyta). *Phycologia* 46(4): 380-385.

Strunecký O., Elster J. and Komárek J. 2010. Phylogenetic relationships between geographically separate *Phormidium* cyanobacteria: is there a link between north and south polar regions?. *Polar Biology* 33: 1419–1428.

Taskin E., Öztürk M., Kurt O. & Öztürk M. 2008. *The check-list of the marine algae of Turkey*. Manisa, Turkey: Ecem Kirtasiye. 87pp.

Täuscher L. 2011. Checklisten und Gefährdungsgrade der Algen des Landes Brandenburg I. Einleitender Überblick, Checklisten und Gefährdungsgrade der Cyanobacteria/Cyanophyta, Rhodophyta und Phaeophyceae/Fucophyceae. *Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg* 144: 177-192.

Valeem E.E. & Shameel M. 2005. Fatty acid composition of Volvocophyta Shameel from Sindh, Pakistan. *Int. J. Phycol. Phycochem.* 1(2): 177-180.

Van den Hoek C., Mann D.G. & Jahns H. 1995. *Algae. An introduction to phycology*. Cambridge University Press. 627pp.

Vis M. L & Sheath R. G. 1992. Systematics of the freshwater red algal family Lemnaceae in North America. *Phycologia*. (31) 2:164-179.

Vis M.L. & Sheath R.G. 1996. Distribution and systematics of *Batrachospermum* (Batrachospermales, Rhodophyta) in North America. 9<sup>a</sup> Section. *Batrachospermum* : description of five new species. *Phycologia* 35: 124-134.

Wangberg S.A & H. Blanck. 1990. Arenate sensitivity in marine periphyton communities established under various nutrient regimes. *J. Exp Mar Biol Ecol.* 139: 119-134.

Wehr D. J. & Sheath R. G. 2003. *Freshwater algae of Northamerica*. Academic Press. E.U.A 918p.

Wentworth C. 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. En: Elosegui A. & Sabater S. 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. España. 13pp.

Whitton B. A. 1975. *River ecology*. Blackwell Science, Oxford, UK, 1–38pp.

Whitton, B. A., Rott, F. & Friedrich, G. 1991. *Use of Algae for Monitoring Rivers*. Institut für Botanik Universität Innsbruck, Innsbruck, 193 pp.

Whitton B.A., John D.M., Kelly M.G. & Haworth E.Y. 2003. *A coded list of freshwater algae of the British Isles*. 2<sup>o</sup> Edition.

Whitton B.A, 2012. *Ecology of cyanobacteria II*. Springer. U.K. 753p.