



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas  
Área Temática de Ecología y Conservación  
Facultad de Biología**

---

---

**FITOPLANCTON DE LOS LAGOS CRÁTER DE  
MICHOACÁN, MÉXICO**

**TESIS**

QUE PRESENTA:

**BIÓL. RUBÉN HERNÁNDEZ MORALES**

PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

TUTOR:  
**DR. ANTONIO CAMPOS MENDOZA**

CO-TUTOR:  
**M.C. MARIA DEL ROSARIO ORTEGA MURILLO**

Abril 2011.





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
*Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas*

DR. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES  
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Fitoplancton de los lagos cráter de Michoacán, México" presentado por el BIOL. RUBÉN HERNÁNDEZ MORALES, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestro en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

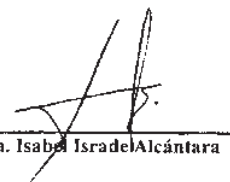
A T E N T A M E N T E

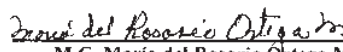
Morelia, Michoacán, a 24 de febrero de 2011

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

  
Dr. Antonio Campos Mendoza

  
Dr. Eberto Novelo Maldonado

  
Dra. Isabel Isradel Alcántara

  
M.C. María del Rosario Ortega Murillo

  
M.C. Laura Dávalos-Lind

## DEDICATORIA

LA PRESENTE OBRA LA DEDICO A MIS PADRES, QUIENES EN CADA MOMENTO Y ETAPA DE MI VIDA HAN ESTADO CONMIGO, APOYANDOME E IMPULSÁNDOME A SEGUIR ADELANTE. A QUIENES HAGO SABER QUE ME HONRRA SER PARTE DE SUS VIDAS.

AL BIÓL. RUBÉN HERNÁNDEZ NÚÑEZ †

Y A LA SRA. SARA MORALES HERNÁNDEZ

---

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la vida y los talentos que me han sido encomendados, los cuales espero descubrir en mi camino y lograr que fructifiquen.

A mis padres por la oportunidad para poder desarrollar una carrera académica y por siempre estar al pendiente de mis acciones para que se materialicen en logros, en especial a mi madre quien con ímpetu ha dedicado su vida a cada uno de sus hijos para que tengan vidas prósperas.

Mi gratitud a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que me ha permitido desarrollar mi vida académica y una identidad nicolaita que llevaré siempre en alto.

A la Facultad de Biología de la U.M.S.N.H. y a su planta de profesores, que en sus programas académicos me han otorgado las herramientas para entender, estudiar y proteger el mundo vivo.

A la coordinación e integrantes del Laboratorio de Biología Acuática “J. Javier Alvarado Díaz”, así como al Laboratorio de Investigación en Análisis Químico de la Facultad de Biología, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo de mi investigación.

A la Facultad de Ciencias de la UNAM, en específico al Laboratorio de Algas Continentales, Ecología y Taxonomía, a su coordinación e integrantes por el apoyo brindado en las respectivas estancias de investigación y tratamiento de muestras.

A la Universidad Veracruzana y al Centro de Investigaciones Tropicales de dicha dependencia por las facilidades brindadas en la estancia de investigación.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM por el conocimiento brindado en los cursos extracurriculares impartidos.

Al comité de sinodales integrado por el Dr. Antonio Campos Mendoza, la M.C. María del Rosario Ortega Murillo, el Dr. Eberto Novelo Maldonado, la M.C. Laura Dávalos-Lind y

la Dra. Isabel Israde Alcantara. Por sus comentarios, apoyo y la guía en el desarrollo de la investigación así como del presente manuscrito.

Al tutor de tesis el Dr. Antonio Campos Mendoza y al Cotutor la M.C. María del Rosario Ortega Murillo por su asesoría y respaldo en la presente investigación.

A la Ing. Q. María Silvia Aguilera Ríos por las facilidades para el desarrollo de la presente investigación y los consejos para el buen desarrollo de mi vida académica.

A los colaboradores en las actividades de campo, sin los cuales la presente investigación no hubiese sido posible:

Biól. Juan Diego Sánchez Heredia  
M.C. María del Rosario Ortega Murillo  
Biól. Ivon Martínez Sánchez  
M.C. Reyna Alvarado Villanueva  
Dr. Antonio Campos Mendoza  
Biól Ana Mar Martínez M.  
P.B. Hugo Oropeza Florez  
P.B. A. Antonio Muñoz Gaytán

Así como a los alumnos de Limnología por su valiosa participación en las actividades de campo y a aquellos que no he mencionado pero que contribuyeron con el presente proyecto.

A mis compañeros de la Licenciatura en Biología, así como a los de la Maestría Institucional en Ciencias Biológicas por su amistad, así como a mis compañeros del Laboratorio por su amistad y paciencia.

Y a todos aquellos que no figuran pero que merecen un amplio reconocimiento por su apoyo, comprensión y disponibilidad. Gracias a todos ellos y espero que el presente manuscrito sea digno de Ustedes.



---

---

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en tres lagos cráter del Estado de Michoacán, La Alberca de Tacámbaro, La Alberca de Teremendo y La Alberca de Los Espinos en un ciclo anual (2009-2010). Se obtuvieron 23 parámetros fisicoquímicos de 792 muestras y se analizaron 145 muestras de material ficológico, las cuales fueron colectadas con una botella de Van-Dorn con capacidad de 3 L y transportadas a 4°C en obscuridad para su respectivo análisis en el laboratorio, mientras que las muestras ficológicas se preservaron con formol neutralizado con bórax a una concentración final de 4%. Se establece que los lagos cráter de Michoacán son sistemas cálidos monomícticos con circulación en invierno. Con influencia de la estratificación térmica en la composición química espacial y temporal en los tres vasos lacustres. Con respecto al fitoplancton se determinaron 139 taxa. Se encuentra que Chlorophyta encabezó la abundancia en Tacámbaro y Los Espinos mientras que Cyanobacteria lo hizo en Teremendo. Las especies con mayor concentración celular fueron *Botryococcus terribilis*, *Ankyra ancora* y *Limnothrix brachynema*. Con respecto a la correspondencia con las variables fisicoquímicas se establece que la Temperatura, la Conductividad eléctrica, la profundidad y los nutrientes (Nitrogeno Amoniacal y Fósforo reactivo) determinaron la ocurrencia del fitoplancton influenciados por los eventos de estratificación y holomixis en los ecosistemas cratéricos. La diversidad alfa fue elevada en Tacámbaro y Teremendo para invierno, mientras que en los Espinos presentó su mayor valor en primavera. El reemplazo de especies en la columna fue elevado en primavera (Teremendo), verano (Tacámbaro) y otoño (Los Espinos). La diversidad gamma de la comunidad del fitoplancton sugiere que Tacámbaro presenta mayor reemplazo de especies con Teremendo y este último con Los Espinos. Con respecto al estado trófico se concluye que los tres ecosistemas presentan eutrofia influyendo esta en la composición de la comunidad del fitoplancton en cada lago cráter y en los valores de diversidad en el ciclo anual.

Palabras clave: fitoplancton, lagos cráter, calido monomictico, diversidad, eutrofia.

Hernández M. R. 2011. **Fitoplancton de los Lagos Cráter de Michoacán**. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 235 pp.

<b>INDICE</b>		Pág.
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	4
2.1	Lagos Internacionales	4
2.1.1	Antartica	4
2.1.2	Caviahue	4
2.1.3	Oregon	4
2.1.4	Katanuma	8
2.1.5	Beijing	9
2.1.6	Nemi	9
2.1.7	Biao	10
2.1.8	Loreto	10
2.1.9	Sonachi	11
2.2	Lagos Nacionales	
2.2.1.1	Zirahuén	11
2.2.1.2	Catemaco	12
2.2.2.1	Cuenca Oriental	13
2.2.2.2	Alchichica	14
2.2.2.3	Los Tuxtlas	19
2.2.2.4	Nevado de Toluca	20
2.2.2.5	Valle de Santiago	22
2.2.2.6	Isabel	23
2.2.2.7	Tacámbaro	23
<b>3</b>	<b>HIPOTESIS</b>	25
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b>	25
<b>5</b>	<b>DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO</b>	26
5.1	Tacámbaro	26
5.2	Teremendo	29
5.3	Espinos	31
<b>6</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	33
6.1	Actividades de Campo	33
	Actividades de	
6.2	Laboratorio	37
6.3	Actividades de Gabinete	39
<b>7</b>	<b>RESULTADOS</b>	44
7.1	Capitulo I	44
7.2	Capitulo II	87
7.3	Capitulo III	192
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	221
<b>9</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	223



## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del Lago Cráter “La Alberca”, Tacámbaro de Codallos, Michoacán de Ocampo, México.	26
Figura 2. Ubicación geográfica del Lago Cráter de Teremendo, Teremendo de los Reyes, Morelia, Michoacán de Ocampo, México.	29
Figura 3. Ubicación geográfica del Lago Cráter de los Espinos, Villa Jiménez, Michoacán de Ocampo, México.	31
Figura 4. Localización de los sitios de colecta en La Alberca de Tacámbaro, Michoacán	33
Figura 5. Localización de los sitios de colecta en La Alberca de Teremendo, Michoacán	33
Figura 6. Localización de los sitios de colecta en La Alberca de Los Espinos, Michoacán.	35
Figura 7. Estado Trófico de Walker (1979)	43

### CAPITULO I

Figura 1.1. Ubicación Geográfica de los Lagos Cráter de Michoacán	47
Figura 1.2. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Tacámbaro	48
Figura 1. 3. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	50
Figura 1. 4. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	50
Figura 1. 5. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	51
Figura 1. 6. Distribución vertical de Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	52
Figura 1. 7. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	53
Figura 1. 8. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	54
Figura 1. 9. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Tacámbaro	54
Figura 1. 10. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniacal en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro	55
Figura 1. 11. Variación estacional de los nutrimentos en La Alberca de Tacámbaro	56
Figura 1. 12. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Tacámbaro	57
Figura 1. 13. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Tacámbaro	57
Figura 1. 14. Variación vertical de la clorofila “a” en La Alberca de Tacámbaro	58
Figura 1. 15. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Los Espinos	59

Figura 1. 16. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos	60
Figura 1. 17. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos	60
Figura 1. 18. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos	62
Figura 1. 19. Distribución vertical de la Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos	63
Figura 1. 20. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos.	63
Figura 1. 21. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos.	64
Figura 1. 22. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Los Espinos.	65
Figura 1. 23. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniacal en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos	65
Figura 1. 24. Variación estacional de los nutrimentos en La Alberca de Los Espinos	66
Figura 1. 25. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Los Espinos	67
Figura 1. 26. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Los Espinos	68
Figura 1. 27. Variación vertical de la clorofila “a” en La Alberca de Los Espinos.	69
Figura 1. 28. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Teremendo	70
Figura 1. 29. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Teremendo	71
Figura 1. 30. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Teremendo	71
Figura 1. 31. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Teremendo	72
Figura 1. 32. Distribución vertical de la Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Teremendo.	73
Figura 1. 33. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de Teremendo	74
Figura 1. 34. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Teremendo	74
Figura 1. 35. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Teremendo.	75
Figura 1. 36. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniacal en la columna de agua de La Alberca de Teremendo.	76
Figura 1. 37. Variación estacional de los nutrimentos en La Alberca de Teremendo.	77
Figura 1. 38. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Teremendo	77
Figura 1. 39. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Teremendo	78

Figura 1. 40. Variación vertical de la clorofila “a” en La Alberca de Teremendo	79
---	----

## CAPITULO II

Figura 2.1. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Tacámbaro durante el 2009.	163
Figura 2.2. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Teremendo durante el 2009.	164
Figura 2.3. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Los Espinos durante el 2009.	164
Figura 2.4. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante invierno.	165
Figura 2.5. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante primavera.	166
Figura 2.6. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante verano.	167
Figura 2.7. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante otoño.	168
Figura 2.8. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Tacámbaro y los parámetros fisicoquímicos durante el 2009.	170
Figura 2.9. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante invierno.	172
Figura 2.10. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante primavera.	173
Figura 2.11. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante verano.	174
Figura 2.12. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante otoño.	175
Figura 2.13. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Teremendo y los parámetros fisicoquímicos durante el 2009.	177
Figura 2.14. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante invierno.	179
Figura 2.15. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante primavera.	180
Figura 2.16. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante verano.	181
Figura 2.17. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante otoño.	182
Figura 2.18. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Los Espinos y los parámetros fisicoquímicos durante el 2009.	184

## CAPITULO III

Figura 3. 1. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009	195
Figura 3. 2. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009.	196
Figura 3. 3. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.	197
Figura 3. 4. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.	198
Figura 3. 5. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009	199
Figura 3. 6. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009.	200
Figura 3. 7. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Tacámbaro.	201
Figura 3. 8. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Tacámbaro	202
Figura 3. 9. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Tacámbaro	203
Figura 3. 10. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Tacámbaro	204
Figura 3. 11. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Teremendo	205
Figura 3. 12. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Teremendo	206

---

---

Figura 3. 13. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Teremendo	207
Figura 3. 14. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Teremendo	207
Figura 3. 15. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Los Espinos	208
Figura 3. 16. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Los Espinos	209
Figura 3. 17. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Los Espinos	209
Figura 3. 18. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Los Espinos	210
Figura 3. 19. Diversidad gamma en invierno en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán	211
Figura 3. 20. Diversidad gamma en primavera en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán.	212
Figura 3. 21. Diversidad gamma en verano en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán	213
Figura 3. 22. Diversidad gamma en otoño en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán	214

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ubicación y descripción de los sitios de coleta de La Alberca de Tacámbaro, Michoacán	33
Cuadro 2. Ubicación y descripción de los sitios de coleta de La Alberca de Teremendo, Michoacán.	33
Cuadro 3. Ubicación y descripción de los sitios de coleta de La Alberca de los Espinos, Michoacán.	35
Cuadro 4. Variables fisicoquímicas registradas en campo.	35
Cuadro 5. Estratos de colecta en la columna de agua en los lagos cráter.	36
Cuadro 6. Análisis de las variables ambientales	38
Cuadro 7. Índice del Estado trófico de Carlson (Aizaki, 1981)	42
Cuadro 8. Estado Trófico de la OCDE	42
Cuadro 9. Índices convencionales para clorofila <i>a</i>	42

### CAPITULO I

Cuadro 1.1. Relaciones Morfométricas de Los Lagos Cráter de Michoacán, México	49
---	----

### CAPITULO II

Cuadro 2.1. Riqueza de Taxa en Los Lagos Cráter de Michoacán durante el 2009.	97
Cuadro 2.2. Variables fisicoquímicas que determinan la ocurrencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Tacámbaro.	171
Cuadro 2.3. Variables fisicoquímicas que determinan la ocurrencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Teremendo.	178
Cuadro 2.4. Variables fisicoquímicas que determinan la ocurrencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Los Espinos.	185

### CAPITULO III

Cuadro 3. 1. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009.	196
Cuadro 3. 2. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.	198
Cuadro 3. 3. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009.	200
Cuadro 3.4. Estado Trófico en base a las Asociaciones Algales (Nygaard 1949)	215
Cuadro 3.5. Estado Trófico en base a la Productividad Primaria de la Columna de Agua	215
Cuadro 3.6. Estado Trófico en base a las relaciones de productividad primaria entre el Fósforo, la Clorofila “a” y la Transparencia	216
Cuadro 3.7. Variables fisicoquímicas y biológicas de los Lagos Cráter de Michoacán durante el 2009	235

---

---

**INDICE DE LÁMINAS**

	Pág.
Lamina1	107
Lamina2	112
Lamina3	117
Lamina4	123
Lamina 5	131
Lamina 6	134
Lamina 7	142
Lamina 8	144
Lamina 9	149
Lamina 10	153
Lamina 11	158
Lamina 12	162

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, la mayoría de los recursos acuáticos epicontinentales están representados por sistemas lóticos, encontrándose pocos ecosistemas lacustres, de los cuales los más importantes son someros, localizándose en zonas de reciente actividad volcánica (Ordóñez, 1946), la cual en México se ubica cerca del paralelo 19 (Latitud norte) cruzando a la república del Golfo de México al Océano Pacífico recibiendo el nombre de Cinturón Volcánico Transmexicano (Garduño *et al.*, 1999).

Esta franja contiene lagos de origen volcánico y tectónico, entre los cuales los lagos cráter han sido abordados por la limnología en las últimas décadas. Ya que permiten el desarrollo de estudios a pequeña escala que generen información para comprender procesos limnoecológicos en sistemas tropicales.

Los lagos cráter son ecosistemas acuáticos epicontinentales que alcanzan o rebasan cierta profundidad mínima para el establecimiento de termoclina durante el periodo de estratificación, dichos sistemas presentan flujos de renovación energética que varía de acuerdo a las características del vaso lacustre tales como; el flujo y el tiempo de renovación del agua, la fertilidad y profundidad, su grado de mineralización y el tipo de afluente que los alimenta (Margalef, 1983). Su nombre es debido a que ocupan antiguos cráteres volcánicos en cuencas de recepción pequeñas (Estévez, 1998).

Estos lagos presentan variaciones estacionales y espaciales en sus comunidades biológicas, debido a mecanismos hidrodinámicos que controlan las variables físicas y químicas en la columna de agua, provocados por eventos anuales de circulación, así como la precipitación y periodos de estiaje (Melack, 1979). En México estos eventos de mezcla ocurren en los lagos cálidos monomícticos de invierno a principios de primavera (Alcocer *et al.*, 2000) y los principales florecimientos algales a los que dan lugar son encabezados por diatomeas en invierno, por algas verdes y cianobacterias en primavera y un florecimiento en otoño por varios grupos algales a diferentes profundidades (Alcocer *et al.*, 2000; Oliva *et al.*, 2001; Oliva, 2001; Alvarado, 2003 y Hernández, 2008).

El fitoplancton varía espacial y temporalmente a causa de su alta sensibilidad a las fluctuaciones internas de los ecosistemas acuáticos (Reynold, 1984) y debido a que ésta

comunidad representa el primer eslabón de la cadena alimenticia como productores primarios, su presencia y/o ausencia limita el desarrollo y distribución de consumidores primarios, secundarios y terciarios (Wetzel, 1981), característica relevante para optar por el tipo de uso que se le asigna a estos recursos y el grado de conservación a los que son destinados.

Una de las principales variables para priorizar la conservación de los recursos es la diversidad a diferentes escalas, identificando tres de ellas según Whittaker (1960), como alfa, beta y gamma. Dichas variables dentro de una comunidad como el fitoplancton, son complejas, ya que se deben considerar los patrones de distribución del gremio y los factores que limitan a esta variable (Hernández, 2008), por lo cual el conocimiento de los ciclos físicos y químicos, la limitación nutrimental de la columna de agua así como el estado trófico de los complejos lacustres es indispensable.

El estado trófico muestra la concentración de nutrientes disponibles para las actividades metabólicas de los productores primarios (Round, 1981), mismos que en cuerpos eutróficos propician la dominancia de cianobacterias y algas que habitan en sistemas sapróbicos (Wetzel, 2001 y Ortega, 1984).

Un número importante de lagos cráter en el mundo presentan características oligotróficas (Urbach *et al.*, 2007; McIntire *et al.*, 2007; Groeger, 2007; Chu *et al.*, 2005 y Borghini *et al.*, 2007), encontrándose en su mayoría zonas templadas, mientras que en zonas subtropicales y tropicales sobresale la presencia de lagos cráter con características mesotróficas y eutróficas (Pedrozo *et al.*, 2001; Shikano *et al.*, 2004; Schabetsberger *et al.*, 2004 y MacIntyre y Melack, 1982), ello tal vez debido al alto flujo de energía en estas áreas.

En México el estado trófico de este tipo de lagos es variable, ya que el país cuenta con tres registros de lagos cráter oligotróficos (CONABIO, sin fecha; Lugo *et al.*, 1999; Oliva *et al.*, 2001 y Macek *et al.*, 2009) y varios en estado de mesotrofia y eutrofia (Banderas *et al.*, 1991; Alcocer *et al.*, 1996; Vázquez *et al.*, 2004; Medrano, 2007 y Hernández, 2008), ello atribuido al bajo impacto antropogénico que estos sistemas presentaron en siglos anteriores por sus pequeñas cuencas de recepción, lo que permitió una evolución trófica natural y que actualmente comienza a verse afectada por la escasez



de los recursos hídricos, la sobre explotación de los mantos freáticos y la manipulación de su entorno.

Es por ello que se deben desarrollar monitoreos de las comunidades biológicas y de las variables fisicoquímicas de estos recursos, para con ello conocer su desarrollo trófico, sus ciclos de renovación biológica y su capacidad de producción, para no alterar los procesos biogeoquímicos que en estas áreas tienen lugar. Además de generar herramientas que logren establecer el comportamiento de los recursos acuáticos por áreas geográficas, con el propósito de desarrollar modelos que permitan su monitoreo continuo y se logre su conservación.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 LAGOS INTERNACIONALES DE ORIGEN VOLCÁNICO CON ESTRUCTURA CRATÉRICA**

#### **2.1.1 LAGOS DE ANTARCTICA**

Borghini *et al.* (2007), caracterizaron 21 lagos de Antartica durante el 2003 al 2004, en ellos hubo concentraciones altas de clorofila b, luteína, zeaxantina, cantaxantina y fucoxantina, pigmentos accesorios que permiten estimar que el componente taxonómico en estos lagos estuvo representado por especies de Chlorophyta, Cyanobacteria, Bacillariophyta y Chrysophyta en épocas de deshielo, lo que corresponde a lagos con condiciones oligotróficas en sus cortos periodos de circulación.

#### **2.1.2 LAGO CAVIAHUE (Argentina)**

En Argentina Pedrozo *et al.* (2001), determinan las variables fisicoquímicas y biológicas del lago cráter Caviahue, el cual presenta aguas de constitución ácida con elevadas concentraciones de metales traza y fosfatos en la columna. Con un fitoplancton conformado principalmente de formas cocales de Chlorophyta, dominando *Keratococcus raphidioides* y *Chlamydomonas* sp., con su mayor abundancia en la superficie con 15, 000 cel/mL. Destacando un estado Mesotrófico en vías de eutrofización.

#### **2.1.3 LAGO OREGON (Estados Unidos)**

Uno de los lagos más profundos del planeta (680 m) con atribuciones ultraoligotróficas fue estudiado por Larson (1972), durante 1968 y 1969, quien ratifica que el lago cráter es de naturaleza ultraoligotrófica, lo cual se ve reflejado en las altas lecturas de transparencia con el disco de Secchi, alcanzando el 1 % de irradianza lumínica a 95 y 100 m. El lago presenta baja tasa de variación en la columna con respecto al pH y a la alcalinidad, mientras que el oxígeno evidenció una curva ortograda, la cual se relacionó inversamente con las lecturas térmicas del sistema. La productividad primaria presentó el máximo a los 70, 100 y 110 m, fenómeno que ratifica que casi el 90 % de la biomasa del fitoplancton se localiza en las capas inferiores del epilimnio como una adaptación a las

condiciones térmicas, nutrimentales y lumínicas de la comunidad, con dominancia de diatomeas, representadas por *Asterionella* sp.

Posteriormente McManus *et al.* (1992), llevan a cabo un estudio para conocer la dinámica física de este sistema. Evalúan la salinidad, los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica y la temperatura para conocer las dinámicas de la densidad en el sistema y la co dependencia de dichas variables. Establecen que el gradiente hiper adiabático de la temperatura es estabilizado por un gradiente de salinidad y que ambas variables mantienen una correlación positiva incrementándose sus valores con la profundidad, creando ligeras variaciones en el hipolimnio el cual no es homogéneo. Los valores de temperatura, presión y salinidad definen la densidad de la columna del agua la cual se incrementa con la presencia del ácido silicio. La columna del lago es estable en periodo de estratificación ya que el gradiente de densidad se incrementa con respecto a la profundidad, dependiendo dicha estabilidad del declive de salinidad cuando la temperatura del fluido se acerca a la temperatura de la máxima densidad en el lago.

Cuatro años después el mismo autor publica la dinámica del oxígeno en la columna de agua (McManus *et al.*, 1996), con la finalidad de entender a través de esta variable la dinámica de los procesos físicos y químicos que ocurren en el lago debido a la alta sensibilidad de ésta para trazar las fluctuaciones en el sistema. Mencionan que el oxígeno disuelto presenta una clina ortograda con pérdidas del gas en la superficie hacia la atmósfera. Sus valores más altos en la columna se registran en los primeros 100 m, debido principalmente a la fotosíntesis y a la radiación solar. La zona de compensación se ubica a los 150 m donde el consumo y la respiración del gas equilibran las concentraciones de oxígeno en esta capa. Los valores de oxígeno disuelto fueron bajos en el fondo sin llegar a condiciones anóxicas ya que la cantidad de carbono producido en el sistema no es suficiente para lograr anoxia por oxidación de la materia orgánica. Un gradiente térmico ocurre a los 350 m debido a actividad hidrotermal en el sistema, regulada por un gradiente de salinidad, factor que influye en la composición química, física y en los mecanismos de mezcla, evento que ocurre en invierno y principios de primavera, que logra homogenizar a la columna hasta los 200 m. Los nutrimentos se encontraron en concentraciones bajas en las capas superficiales incrementándose en el fondo, lo cual limita a la producción primaria en la superficie, con una homogeneidad del fósforo la cual indica que dicho nutrimento no es limitante, siendo el nitrógeno alóctono en estratificación y autóctono en la circulación.

Un año después Crawford y Collier (1997), estudian las variaciones térmicas y de salinidad reportadas en el hipolimnio por influencia de actividad hidrotermal. Analizan el evento de mezcla en el fondo para conocer la dinámica de estos sucesos y poder reportar las causantes del fenómeno. Encuentran que inestabilidades termobáricas son las responsables de la ventilación y mezcla parcial debajo de la capa de compensación, creando un efecto de convección, creando gradientes de temperatura y salinidad en el hipolimnio, el cual manifiesta una frecuencia e intensidad de mezcla derivada de la variabilidad interanual en la superficie del lago.

Fennel *et al.* (2007), diez años después reportan que cuando la columna de agua es isothermal ocurre una fuerte circulación en el fondo y pequeñas mezclas esporádicas en periodos de estratificación. El sistema presenta limitación por nitrógeno y metales traza, siendo la circulación la que incrementa las concentraciones de nutrimentos en el agua, fenómeno que se da en invierno y primavera, por lo cual el fósforo y sílice presentan concentraciones homogéneas en la columna. La comunidad del fitoplancton se compone principalmente por diatomeas y dinoflagelados en los primeros 20 m con dominancia de Chlorophyta, Chrysophyta y Cryptophyta debajo de la termoclina a 80 y 100 m, coincidiendo con el máximo de productividad primaria atribuida a un fenómeno de foto aclimatación. Dicha comunidad presenta sucesión estacional la cual comienza con las diatomeas en invierno y dinoflagelados para el comienzo de la estratificación (mayo a junio), ocupando sus máximos valores a los 40 m, mientras los demás grupos se ubicaron a los 50 y 80 m, coincidiendo la migración del zooplancton en estos estratos. Distribución que en el caso del fitoplancton se limita por la radiación UV, la cual es un estresante en la superficie de ambientes acuáticos, encontrándose organismos con fotoprotectores de tallas mayores a 10  $\mu\text{m}$  en la capa superior del epilimnio, mientras que los de tallas menores a una micra no son protegidos de la misma forma relegándose a zonas profundas para contribuir con el máximo de clorofila en el fondo.

Para ratificar que el sistema es limitado por nitrógeno Groeger (2007), en el mismo año realiza bioensayos en laboratorio con *Selenastrum capricornutum* e *in situ* con microalgas del lago, con muestras de 1987 a 1997. Reporta que la columna de agua presenta bajas concentraciones de nitratos por encima de los 300 m y de amonio por encima de los 100 m, así como de ortofosfatos hasta los 200 m, mientras que el sílice se encuentra en altas concentraciones en la columna. Con respecto a los metales, el fierro se

encuentra en concentraciones bajas en el epilimnio y decrece aún más en el hipolimnio, lo cual puede ser la causa de la ausencia de cianobacterias fijadoras de N en el lago. La columna de agua no presenta limitación por fósforo y sílice, pero sí por metales en el epilimnio en verano, además de una co limitación de nitrógeno aún en presencia de metales traza, ya que las algas requieren a estos componentes para sus actividades metabólicas y en presencia de ellos pueden incorporar, manganeso, cobre, molibdeno y níquel. Por lo cual los florecimientos algales no tienen lugar en la superficie y se presentan en la parte superior del hipolimnio la cual ha sido caracterizada como zona de regeneración nutrimental, factor que estimula también a altas densidades de zooplancton en este estrato.

McIntire *et al.* (2007), determinan la variabilidad estacional en la composición taxonómica del fitoplancton de 1984 al 2000 en este sistema ultra oligotrófico. Obtienen 163 taxa con dominancia de *Nitzschia gracilis*, *Stephanodiscus hantzchii*, *Ankistrodesmus spiralis*, *Mougeotia parvula*, *Dinobryon sertularia*, *Tribonema affine*, *Aphanocapsa delicatissima*, *Synechocystis* sp., *Gymnodinium inversum* y *Peridinium inconspicuum* durante la estratificación. Las algas mantuvieron relación con las concentraciones de fósforo, nitrógeno, y alcalinidad, con variación estacional del pH, el oxígeno disuelto, los ortofosfatos, los nitratos y el sílice. Presentándose la densidad total del fitoplancton en los primeros 200 m, con equidad de la biomasa y el número celular en enero y junio y su divergencia para agosto cuando la estratificación fue muy marcada y el máximo celular se encuentra a los 5, 100 y 150 m, concentración que correspondió con el máximo de clorofila y cantidades altas de carbono ( $^{14}\text{C}$ ), los cuales se correlacionaron con el pH y los nitratos. El máximo de talla celular del fitoplancton en el epilimnio se presentó en esta temporada, fenómeno inverso en enero. La variación estacional de la comunidad fitoplanctónica es evidente y se acentúa con las migraciones hacia los 200 m, cuando el epilimnio es cálido y se registran los valores más altos en la radiación UV, recurso que logra la permanencia temporal de *Nitzschia gracilis*, *Aphanocapsa delicatissima* y *Synechocystis* sp., en el epilimnio, además de las bajas densidades de dinoflagelados con alta biomasa en el epilimnio con *Gymnodinium inversum* y *Peridinium inconspicuum* como representantes, mientras que *Dinobryon sertularia* se ubica en el metalimnio. Se especula si las fuentes más importantes de nitrógeno en el lago son materiales ricos en este nutriente, provistos de zonas cercanas a manantiales, además de los circulantes en el hipolimnio donde se genera una alta diversidad en periodo de estratificación.

Posteriormente Urbach *et al.* (2007), establecen que la productividad primaria depende considerablemente de la incorporación del carbono ( $^{14}\text{C}$ ), por la comunidad del fitoplancton, factor que es variable estacionalmente y espacialmente en el lago, con dominancia de grupo, estando presentes a los 20 m *Nitzschia gracilis* y *N. vermicularis*, así como *Stephanodiscus hantzchii* en aguas profundas. Además de la presencia de *Gymnodinium inversum*, *Peridinium inconspicuum*, *Gymnodinium fuscum*, *Mougeotia laetevirens*, *Tribonema affine* y *Dinobryon sertularia* con poca abundancia de cianobacterias. Para el periodo de estudio el lago presenta características extraordinariamente oligotróficas con penetración por la luz ultravioleta elevada, formando termoclina de 30 a 60 m de profundidad, desarrollándose un hipolimnio oxigenado.

Larson *et al.*, (2007), con el propósito de explicar la dinámica fisicoquímica de la columna de agua, analizan las propiedades térmicas y ópticas del lago durante el periodo de 1983 al 2003. Mencionan que circula de invierno hasta principios de primavera por acción del viento y fenómenos de convección, mientras que se estratifica de verano a principios de otoño, generando un epilimnio que alcanza los 100 m y un metalimnio que inicia en este estrato desarrollando un hipolimnio frío. La temperatura alcanza su máximo en agosto (15.48 °C) y el oxígeno genera una curva ortograda en esta temporada.

Con respecto a los nutrientes el lago presenta concentraciones de nitrógeno bajas en las capas superiores del lago, con homogeneidad en la columna en la concentración de ortofosfatos, por lo cual este compuesto no exhibe el estado trófico del lago, ya que no es causante del patrón de florecimientos algales. Dicha disponibilidad de los nutrientes presenta estacionalidad, ya que su incremento se debe a la circulación de la columna y a los aportes de la atmósfera, mientras que el fósforo es principalmente aportado por agua subterránea. La variabilidad en la transparencia está dada por partículas biológicas y líticas, las cuales presentan una relación hiperbólica con la variable, quienes en presencia de una fuerte tormenta disminuyen la transparencia del sistema.

#### **2.1.4 LAGO KATANUMA (Japón)**

En Japón Shikano *et al.* (2004), estudian el fenómeno de holomixis de 1998 al 2002 en el lago cráter de Katanuma, el cual presenta una profundidad de 21 m y se ubica a 306 m.s.n.m. Sus aguas son ácidas y las fumarolas subacuáticas aportan importantes

concentraciones de sulfuro y calor a la columna. El lago se congela en marzo y diciembre, desarrollando termoclina de 3 a 5 m, debido a la alta diferencia de densidad del agua de abril a agosto.

El aporte térmico del hipolimnio disminuye durante la holomixis por la circulación y la pérdida de calor por el viento y la lluvia. Influyendo el incremento de calor en el fondo en la generación de circulaciones tempranas dando lugar a patrones de circulación y estratificación diferentes cada año. Durante la holomixis el oxígeno disuelto y el hidrógeno sulfuro se encuentran en toda la columna, presentándose para otoño un fenómeno de oxidación de este último compuesto generando sulfuro y cambiando el color del agua, dando lugar a condiciones anóxicas en el fondo reduciendo la densidad de quironómidos. *Pinnularia acidojaponica* es el taxa de mayor importancia en el litoral y *Chlamydomonas acidophila* lo es en la zona pelágica. La conductividad de la columna de agua varía de 0.22 a 0.42 S/m atribuida a las altas concentraciones de sulfatos (1.69 a 5 mmol/L).

### **2.1.5 LAGO DE BEIJING (China)**

Para el periodo comprendido del 2002 al 2003, Chu *et al.* (2005), determinan para el lago cráter de Beijing el establecimiento de termoclina de abril a noviembre, acontecimiento que favorece el florecimiento de Bacillariophyta de septiembre a noviembre con dominancia de *Cyclotella comta*. El lago presenta durante el periodo de estudio a 60 especies pertenecientes a 26 géneros, encontradas en características oligotróficas.

### **2.1.6 LAGO NEMI (Italia)**

En Italia Margaritora *et al.* (2005), determinan la condición trófica del lago de Nemi, el cual presenta una profundidad máxima de 27.5 m a una elevación de 316 m.s.n.m., con una renovación teórica del agua de 15 años. El sistema es cálido monomítico con circulación de diciembre a marzo y estratificación bien marcada para julio, con un máximo de transparencia de 9.6 m y condiciones anóxicas en el hipolimnio, mientras que la superficie se mantiene bien oxigenada por la acción del viento y la actividad fotosintética. Con respecto a los nutrientes, las concentraciones son bajas en las capas superiores durante la estratificación y elevadas en la columna durante la circulación.

La clorofila presenta valores elevados en primavera en la superficie (5 m) y en septiembre a los 15 m. Con una riqueza de taxa en el fitoplancton conformada por 89 taxa, incluidos en Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Dinophyta y Euglenophyta. Para el verano se incrementa la abundancia de Cyanobacteria en la superficie con *Aphanizomenon flos-aquae* y *Oscillatoria limnetica*, mientras que para octubre el biovolumen fue mayor en los 15 m. Con elevadas densidades de *Limnothrix redekei*, *Planktothrix rubescens* y *Merismopedia trolleri* en la columna.

### 2.1.7 LAGO BIAO (Guinea Ecuatorial)

Para el 2002 Schabetsberger *et al.* (2004), determinan las características limnológicas del lago cráter de Isla de Bioko en Guinea Ecuatorial, encontrando que el lago presenta una profundidad máxima de 18.5 m y una transparencia de 5.5 m con intervalos de temperatura de 20.7 a 19.3 °C así como un pH entre 6.2 y 5.9 decreciendo este al incrementar la profundidad, fenómeno observado también en la conductividad con rangos de 11.6 a 13.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La columna de agua presenta un porcentaje de saturación de oxígeno de 90 a 27 % con anoxia en el fondo. Con respecto al fitoplancton la riqueza específica se conformó de 24 taxa con dominancia de dinoflagelados (*Peridinium palatinum* y *Peridinium africanum*), además de *Eudorina* sp., *Staurodesmus triangularis*, *Staurastrum pingüe*, *Cosmarium* cf. *punctulatum*, *Cosmarium tenue*, *Cosmarium contractum* var. *rotundatum*, *Selenodictyon brasiliense*, *Kirchneriella dianae*, *Peridinium palatinum*, *P. africanum* y *Chroococcus* sp. Además de la ocurrencia de rotíferos, copépodos y cladóceros. Observan la presencia de una moderada estratificación térmica relativamente somera (6 m), asociando que la abundancia biológica ocurre en la oxiclina.

### 2.1.8 LAGO LORETO (Guinea Ecuatorial)

En el mismo periodo Schabetsberger *et al.* (2004), estudian las características limnológicas del lago Loreto en esta área geográfica, el cual presenta una profundidad de 82 m y una transparencia con el disco de Secchi de 0.6 m con una marcada estratificación para enero y una distribución del oxígeno con saturación alta en la superficie (121%) y baja a los 10 m (6%), variable que logra anoxia en el fondo. La columna de agua presentó un color amarillo debido a la descomposición de material vegetal con un pH elevado en la superficie (9.15) coincidiendo con el máximo de la productividad primaria y menor en el



fondo (7.4) con ligera acidez a los 2.5 y 15 m de profundidad. El fitoplancton fue poco diverso, con 11 taxa con cianobacterias potencialmente tóxicas, siendo dominantes *Cylindrospermopsis africana*, *Monoraphidium irregulare* y *Peridiniopsis elpatiewskyi*. El máximo de biomasa del plancton fue registrado en la oxiclina, mientras que se presenta una baja diversidad del zooplancton atribuyéndolo a las toxinas que producen las cianobacterias en el sistema.

### **2.1.9 LAGO SONACHI (Kenya)**

MacIntyre y Melack (1982), dan un seguimiento a la meromixis presente en el lago Sonachi en África, el cual presenta una profundidad de 9 m y se ubica a una altitud de 1890 m.s.n.m. El lago presenta un incremento de la alcalinidad y la conductividad al aumentar la profundidad, además de presentar aumentos estacionales de conductividad en enero, junio y noviembre, así como su concentración continua a través del tiempo ya que no presenta manantiales y sólo depende de la presencia de precipitación y eventos de evapotranspiración. El agua está compuesta por carbonato de sodio y bicarbonato de sodio en solución, con altas concentraciones a los 6 m. El pH en la superficie es de 9.9 a 9.6, mientras que en el fondo es de 9.8 a 9.4. Las concentraciones de sílice y fósforo se incrementan con el establecimiento de la quimioclina, con un máximo en octubre. La distribución del oxígeno disuelto crea una curva clinograda con anoxia en la quimioclina. Se observa que con la presencia de viento la conductividad se incrementa la capa superior en 0.24 mS/cm. Además de posibles circulaciones nocturnas por efecto térmico ya que el viento no es suficiente para mezclar la columna, siendo favorecida la meromixis por la descomposición biológica.

## **2.2 LAGOS NACIONALES**

### **2.2.1. LAGOS DE ORÍGEN VOLCANICO**

#### **2.2.1.1. LAGO DE ZIRAHUÉN**

Alvarado (2003), menciona que las comunidades del fitoplancton y el fitobentos durante un ciclo anual en Zirahuén se componen de 227 especies, 17 variedades y cuatro formas distribuidas en ocho divisiones, con dominancia de algas verdes en el fitoplancton y abundancia de las diatomeas en los sedimentos. La diversidad en el lago disminuye al

incrementarse la profundidad, favoreciendo las corrientes internas la distribución de los organismos. La transparencia disminuye durante la circulación y la concentración nutrimental se incrementa en éste periodo. Prevalciendo en la columna de agua características oligotróficas con tendencia a la mesotrofia.

Posteriormente Tavera y Martínez-Almeida (2005), determinan las variables ambientales y la estructura del fitoplancton en el 2002, para corroborar si la atelomixis es la causante de la composición del fitoplancton. Establecen que la estratificación ocurre en la mayor parte del año, sin producir capas térmicas en el epilimnio, aunque la termoclina y la oxiclina son más evidentes en verano. La mezcla de los estratos, se presenta de diciembre a enero y la actividad fotosintética mantiene su máximo en el metalimnio. Con respecto al fitoplancton se observa que la abundancia y dominancia la encabezó Chlorophyta, principalmente compuesta por desmideas.

### 2.2.1.2 LAGO DE CATEMACO

Komárková y Tavera (1993), analizan a la población de cianoprocariontes del fitoplancton de Catemaco. El cual presenta un comportamiento que lo postula como sistema polimíctico, de fondo plano y profundidad máxima de 12 m. Los cianoprocariontes del fitoplancton se componen de 61 especies, con dominancia de cianoprocariontes multicelulares, como *Cylindrospermopsis catemaco*, *Planktolyngbya arthospiroides*, *Coelomoron microcystoides*, *Chroococcus* sp. y *Aphanothece comasii*. Así como taxones de Bacillariophyta como *Aulacoseira* sp. El agua del lago es de color verde (aparente) con elevada productividad primaria (clorofila de 40 a 60 mg/L) y baja transparencia (0.6 m).

Posteriormente Arriaga *et al.* (1998), analizan al fitoplancton y a las variables ambientales del lago, registran una profundidad media de 7.6 m y una conductividad entre 140 y 170 mS/cm. El pH fluctúa entre 8 y 9 con una temperatura anual de 24.1 °C en la superficie. En el periodo de estudio la columna de agua presenta circulación continua lo cual permite la distribución de oxígeno en toda la columna y bajas concentraciones de bióxido de carbono en el fondo. El agua es rica en Magnesio y pobre en Calcio siendo blanda con importantes concentraciones de cloruros (10 a 13 mg/L). Las concentraciones de las formas del nitrógeno son bajas, mientras que las del fósforo son elevadas. La

transparencia varia de 0.53 a 2 m y en el fitoplancton destacan *Chroococcus* sp., *Lyngbya* sp. y *Spirulina princeps*, logrando contribuir las cianofíceas al 95% de la comunidad fitoplanctónica.

Tavera (1996), determina la estructura del fitoplancton durante 1993 a 1995. Encuentra que la riqueza de taxa la encabeza Chlorophyta seguida de Cyanobacteria y Bacillariophyta. Menciona que Cyanobacteria ocupa los valores mas altos en abundancia con la ocurrencia de *Cylindrospermopsis catemaco*, *C. philipinensis*, *Pseudoanabaena limnetica*, *Planktolyngbya circumcreta*, *Aphanocapsa delicatissima*, además de otros grupos como *Aulacoseira italica*, *A. granulata*, *Achnantes minutissima*, *Fragilaria construens*, *F. fasciculata*, *Synedra ulna*, *Nitzschia palea*, *Navicula* sp., *Closteriopsis acicularis*, *Ankistrodesmus falcatus* y cinco formas de *Pediastrum* sp. La variación del gremio estuvo influenciada por los nutrimentos y las características físicas y químicas del lago, las cuales caracterizan al sistema como un cuerpo eutrófico.

## **2.2.2. LAGOS DE ORIGEN VOLCÁNICO FORMA CRÁTER**

### **2.2.2.1 LAGOS CRÁTER DE LA CUENCA ORIENTAL (Puebla)**

Ramírez García y Vázquez Gutiérrez (1989), determinan los atributos limnológicos de seis lagos cráter del estado de Puebla, conocidos como los lagos de la Cuenca Oriental, comprendidos por Alchichica, Tlalchichuca, Tecuitlapa, Atexcac, Quechulac y La Preciosa. Alchichica presentó una temperatura anual de 12.8 °C y una precipitación anual de 425 mm, mientras en Tlalchichuca la temperatura anual fue de 14.4 °C y la precipitación anual de 656 mm. La profundidad varia de los 2.5 m en el lago Tecuitlapa hasta los 64 m en el lago Alchichica, con elevadas concentraciones de Cloruros y de Sodio, con un 36.23 % y 39.47 % en Alchichica, un 42.08 % y 39.66 % en Atexcac y un 8.63% y 29.95 % en Tecuitlapa respectivamente. La composición iónica del agua de los lagos Atexcac y Alchichica presentan valores elevados de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , asi como de salinidad total (14.033 y 13.590 g/Kg) mientras que Quechulac presenta 1.252 g/Kg y Tecuitlapa 1.452 g/Kg. Los bicarbonatos y el magnesio fueron bajos en los lagos Atexcac y Alchichica, y elevados en los demás, en Quechulac un 21.64 % y 19.88 % y en Tecuitlapa un 30.71 % y 11.42 %. Con respecto a la concentracion del ión sulfato se registra que fue elevada en La Preciosa con 12.99 % y en Aljojuca con 10.76 %, mientras que la concentración más baja, se encuentra en el intervalo de 0.51 % a 4.97 % en Tecuitlapa y

Quechulac. La concentración de potasio es homogénea en todos los lagos y va de 6.85 % en Tecuitlapa a 1.4 % en Atexcac.

Arriaga *et al.* (1998), evalúan las características limnológicas de los lagos cráter de Puebla. Encuentran que Alchichica es el más profundo con 64.6 m, seguido de Aljojuca (50.6 m), La Preciosa (45.5 m), Quechulac (40 m), Atexcac (39.1 m) y Tecuitlapa (2.5 m). La salinidad de los sistemas varía entre 1.2 y 14 gr/L, con un pH de 8 a 9 y un oxígeno disuelto entre 0 y 6.5 mg/L. La temperatura anual promedio es de 12.8 a 14 °C, con una precipitación de 425 a 656 mm y una conductividad menor a 1000 µMhos/cm.

La elevada concentración de aniones y cationes permite dividirlos en dos grupos: salinos conformados por Alchichica y Atexcac y los diluidos integrados por los demás. El agua de los lagos es alcalina con elevadas concentraciones, bicarbonatos de sodio y magnesio y bajas concentraciones de nutrimentos. Dichos vasos lacustres son quimiomícticos y polimícticos. Con respecto al fitoplancton se determinan 23 géneros representantes de Chrysophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta con dominancia por *Agmenellum* sp., *Amphora* sp., *Chaetoceros similis*, *Coscinodiscus* sp., *Cyclotella striata*, *Nodularia spumigena*, *Stephanodiscus niagarae* y *Synechocystis* sp.

Tiempo después, Alcocer *et al.* (1998), caracterizan al bentos litoral de los lagos cráter de la cuenca oriental y determinan las variables fisicoquímicas del sistema, encontrando que Alchichica presenta un pH entre 8.9 y 9, un oxígeno disuelto entre 6.5 y 12.3 mg/L, con temperatura oscilante entre 18.3 y 24.9 °C. Una salinidad de 6 a 7.2 g/L concentraciones de materia orgánica entre 2.8 y 8.4 % y concentraciones de carbonatos solubles entre 1.9 y 18.3 %, mientras que Atexcac exhibió un pH de 8.4, un oxígeno disuelto de 6.9 mg/L, una temperatura de 20.1 °C, una salinidad de 6 g/L, una concentración de materia orgánica de 3.6 % y 4.2 % de carbonatos.

#### **2.2.2.2. LAGO ALCHICHICA (Puebla)**

Uno de los lagos cráter más estudiados desde el punto de vista limnológico en el país es Alchichica en el estado de Puebla, donde Escobar *et al.* (1998), determinan las vías del carbono en la zona pelágica y litoral. Uno de los principales productores de este elemento es *Nodularia spumigena* seguida de *Cyclotella* sp. y algunas clorofíceas, de los

cuales determinan que el mayor consumo por parte de los productores secundarios (*Leptodiptomus novamexicanus*), es la cianobacteria *N. spumigena*.

Un año después Lugo *et al.* (1999), al determinar la distribución de *Leptodiptomus novamexicanus* analizan también las características limnológicas del lago, mencionando que la temperatura fluctuó de 14.8 a 19.8 °C con 15 °C en el periodo de circulación durante 1993 a 1994 y el oxígeno evidenció variaciones con respecto al gradiente termal y a la profundidad, ya que durante la holomixis la columna mantuvo 3 mg/L y se eleva en la capa superior en abril de 4 a 9 mg/L y de 5 a 6 mg/L a los 15 m, asociados al florecimiento de *N. spumigena* con un hipolimnio anóxico debido a la oxidación de materia orgánica. El pH varía de 8.6 y 9.2 con sus valores más altos en abril por el florecimiento de cianobacterias, mientras los valores bajos los encontraron en octubre. El incremento de la conductividad muestra una mayor mineralización con sus valores más altos para junio. Los valores de clorofila son bajos (5 mg/L), variable que indica condiciones oligotróficas con sus valores altos en el epilimnio de 0 a 20 m y a 30 m. Ocurre un florecimiento de diatomeas en invierno con una distribución homogénea en la columna, mientras que en abril las concentraciones de clorofila son elevadas en la superficie (17.1 mg/m<sup>3</sup>) y decrecen rápidamente al fondo (4.8 mg/m<sup>3</sup>).

Posteriormente Alcocer *et al.* (2000), determinan los patrones de estratificación y circulación del lago. Mencionan que es cálido monomítico con circulación en invierno y principios de primavera, mientras exhibe una estratificación de abril a diciembre con una termoclina bien definida de junio a septiembre. El patrón mensual en la ocurrencia de la termoclina inicia a los 10, 20, 40 y 45 hasta llegar a los 5 m, antes de la circulación. El máximo en la temperatura es de 20 °C en los primeros 10 m de junio a septiembre y varía entre 15 y 18 °C el resto del año. La circulación determina la ocurrencia de las poblaciones del fitoplancton y del abatimiento del oxígeno en el hipolimnio una vez establecida la termoclina.

Oliva (2001), lleva a cabo un estudio en este lago para conocer la variación vertical y temporal del fitoplancton durante 1995. Determina 20 especies representadas por Bacillariophyta seguida de Cyanobacteria, Chlorophyta y Cryptophyta. Las especies dominantes fueron: *Cyclotella quillensis*, *Chaetoceros elmorei*, *Oocystis parva*, *O. submarina*, *Synechocystis aquatilis*, *Chroococcus dispersus* y *Nodularia spumigena*. La

circulación de la columna de agua trae consigo para principios de la estratificación un florecimiento algal promovido principalmente por la remineralización de la materia orgánica, la liberación del fósforo y un incremento en la temperatura (19 a 19.8 °C), fenómeno que logró un incremento en el pH (9.4) y valores elevados en la conductividad eléctrica (13,350 a 13,860  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

En 1998 Oliva *et al.* (2001), determinan el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica en Alchichica. Ratifican los patrones de circulación del sistema y su oligotrofia. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo son estacionales y fluctuantes a lo largo del año, siendo el fósforo bajo en enero, alto en febrero y marzo, bajo en abril y alto en diciembre. El nitrógeno se comportó de manera inversa y lo atribuyen a la fijación de este elemento por cianobacterias. La limitación por fósforo ocurre de enero a febrero y la limitación por nitrógeno tiene lugar en marzo, siendo limitante otra vez el fósforo después de mayo durante la estratificación. El epilimnio fluctúa entre 15 y 35 m con su mayor valor en la estratificación. Con respecto a la clorofila mencionan valores homogéneos en la columna en enero, máximos en mayo y junio a los 50 m y en de julio a septiembre a los 20 y 35 m, con el máximo anual en noviembre (19.8 mg/L). Se encuentran 19 especies representadas por Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Dinophyta, Cryptophyta y Euglenophyta, con dominancia de *Monoraphidium minutum*, *Synechocystis aquatilis*, *Oocystis parva* y *N. spumigena*, además de la presencia de *Cycotella quillensis*, *Cyclotella choctawhatcheana*, *Chaetoceros elmorei* y *Oocystis submarina*. Para abril *N. spumigena* eleva sus densidades en conjunto con *M. minutum*, *S. aquatilis* y *C. choctawhatcheana*. De junio a octubre las densidades del fitoplancton están por debajo de los 10 000 cels/mL con dominancia de *C. elmorei* y abundancia de *M. minutum*, *S. aquatilis*, *C. choctawhatcheana* y *O. parva*, mientras que para noviembre las densidades del fitoplancton se incrementan ligeramente con dominancia de *S. aquatilis*, *M. minutum* y *O. parva*, con un máximo de *C. quillensis* a los 35 m.

Falcón *et al.* (2002), analizan los patrones de fijación de las cianobacterias de Alchichica. Exhiben que *Nodularia spumigena* fija elevadas concentraciones de nitrógeno en la noche, pero también puede realizar ésta actividad durante el día debido a la protección que tiene contra la radiación UV y a la presencia de zonas anóxicas en sus heterocistos. Hacen énfasis en que el aumento de nitrógeno en la columna es debido al florecimiento de *N. spumigena* y que al existir altas concentraciones de este nutriente el

alga realiza la fijación en tasas menores en comparación al inicio del florecimiento, observando un factor de inhibición a su actividad en el lago.

Alcocer y Lugo (2003), observan las dinámicas de Alchichica durante el fenómeno del Niño, ratifican los patrones de circulación del lago, haciendo énfasis en las variaciones de la temperatura, la cual incrementa el rango entre la superficie y el fondo. Se registra un retraso en el gasto de oxígeno en el hipolimnio retardando la anoxia de abril hasta mayo, ello influenciado a que el florecimiento por *N. spumigena* no se origina con la misma intensidad en comparación con años sin evento Niño/Niña, creando menores concentraciones de materia orgánica que disminuye el gasto del oxígeno en la capa inferior. El florecimiento de las diatomeas ocurre con normalidad a diferencia del de cianobacterias y se registran las sucesiones biológicas en el patrón establecido anteriormente por otros autores.

Alcocer *et al.* (2007), evalúan la ruta del carbono orgánico particulado para conocer la fuente de dicha variable, mencionan que Alchichica es un lago tropical cálido monomítico y uno de los más profundos de México con 64 m, cuyos aportes hídricos dependen de aguas subterráneas y de la precipitación en su orden, con una columna hiposalina (8.5 g/L), alcalina y de pH básico (9). El patrón de circulación y sus características oligotróficas son reincidentes, con una termoclina y oxiclina en el metalimnio. Las concentraciones del carbono orgánico particulado fueron elevadas en el epilimnio y bajas en el hipolimnio ya que un gradiente térmico impide el transporte entre estas capas y cuando lo hace sedimenta rápidamente. El fitoplancton no es la principal fuente de carbono orgánico particulado en Alchichica y puede ser de origen alóctono o bien provenir de organismos heterótrofos.

Alcocer y Filonov (2007), en 1999 evalúan los efectos de la lluvia en la salinidad de Alchichica, determinando que el gradiente de salinidad en los primeros 10 m se ve afectado por la precipitación. Mencionan que en octubre la transparencia del lago fue de 6.65 m con un epilimnio entre 29.3 y 33.9, fluctuante por el acarreo de materiales de áreas aledañas a la superficie del sistema. La máxima concentración de clorofila ocurre en el fondo, cerca de los 30 y 35 m. Exhiben un incremento de nutrientes en el lago en la época de lluvias y un aumento de la conductividad de la mañana a tarde así como del pH. Con homogenizaciones de la columna en los primeros 5 m por acción del viento que



favorecen la variación del pH por la acidez del agua de lluvia, el cual al terminarse dicho evento es estabilizado por la elevada reserva alcalina.

Ramos-Higuera *et al.* (2008), estudian la dinámica de nutrientes en la columna de agua para determinar la limitación temporal de estos en la producción primaria en Alchichica. El epilimnio para julio se extiende a los 18 m y el metalimnio por debajo de esta capa abarca hasta los 28 m. Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron elevadas en el epilimnio (7.7 a 6.6 mg/L) y bajas en los 27 m (0.3 mg/L), con un hipolimnio anóxico sin variaciones importantes del pH (8.7) y la conductividad (11.6 mS/cm). Mencionan que durante febrero la temperatura varió en el primer metro con 0.8 °C respecto a la superficie, con un hipolimnio oxigenado (3.4 mg/L), un pH de 9 y una conductividad de 1.8 mS/cm. Durante la estratificación ocurren *Oocystis parva* y *O. submarina* las cuales contribuyen con el 85 % del bio volumen del fitoplancton, mientras *Monoraphidium minutum* aporta el 12 % y el resto es aportado por *Nodularia spumigena*, *Chaetoceros elmorei* y *Cymbella mexicana*. Durante la circulación *Monoraphidium minutum* contribuye con el mayor aporte del bio volumen, así como *Cyclotella alchichicana*, *Oocystis parva*, *O. submarina*, *Cyclotella chocteahatcheana* y *Chaetoceros elmorei*. En la holomixis no hay limitación por nutrientes, mientras que en la estratificación la limitación por nitrógeno causa dominancia algal.

En el 2009 Macek *et al.* (2009), determinan la dinámica del picoplancton en Alchichica, encontrando patrones de circulación del lago, así como condiciones oligotróficas. Las diatomeas dominan en el periodo de circulación, mientras que las cianobacterias dominan al iniciar la estratificación. El máximo de picoplancton ocurre en la parte inferior del epilimnio en la época de estratificación, atribuyendo el fenómeno a la competencia por nutrientes ya que esta población es sensible a bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Las elevadas concentraciones de oxígeno en la superficie al principio de la estratificación se debe al florecimiento de cianobacterias, mientras que las temperaturas relativamente altas del hipolimnio y las concentraciones de sales reducen la capacidad de esta capa para retener al gas, aunado a la oxidación de la materia orgánica por las bacterias.



### 2.2.2.3. LOS TUXTLAS (Veracruz)

En el estado de Veracruz, Vázquez *et al.* (2004), llevan a cabo un estudio limnológico en los lagos cráter conocidos como los Tuxtla, conformados por los lagos de Majahual, Chalchoapan, Manantiales, Mogo y Verde. Mencionan que Majahual es el más grande, seguido de Chalchoapan y Manantiales con una profundidad media de 22 y 32 m, mientras que en Mogo y Verde encuentran una profundidad media de 1.8. La estratificación termal tiene lugar de mayo a octubre con circulación en invierno para los tres primeros, catalogándolos como cálidos monomícticos, variando la termoclina en Majahual entre 7 y 13 m y en Chalchoapan y Manantiales en 6 m. En Mogo y Verde no se logran distinguir eventos de estratificación. Con respecto al oxígeno disuelto se obtienen valores elevados en la superficie de Majahual y Chalchoapan, con hipolimnio anóxico a los 9 y 6 m. Manantiales por su parte presentó una columna oxigenada al igual que el lago Verde, mientras que Mogo presenta anoxia en el fondo en octubre. La temperatura en los cinco lagos fluctuó de 21 a 28 °C con un pH entre 7.6 y 8.4, con diferencias significativas con respecto a la alcalinidad siendo elevada en Mogo seguido de Verde, Manantiales, Chalchoapan y Majahual, con el mismo patrón en conductividad, presentando en este caso Majahual valores más altos que Chalchoapan.

La variación en la concentración de cationes fue similar en los lagos, presentándose concentraciones elevadas de Sodio seguidas de Calcio, Magnesio y Potasio. Los nutrientes presentan variación, ya que en Chalchoapan, Mogo y Verde los nitratos fueron elevados, mientras que el amonio fue elevado en Chalchoapan, además de altas concentraciones de fósforo en todos los lagos, con los máximos para Mogo y Verde. La transparencia y la clorofila mantienen una correlación inversa. Chalchoapan, Verde y Mogo son sistemas eutróficos, mientras que Majahual y Manantiales evidencian mesotrofia. Con respecto al fitoplancton Chalchoapan presenta concentraciones importantes de *Microcystis aeruginosa*, mientras que Verde y Mogo se componen de diversos grupos (diatomeas, algas verdes y cianobacterias).

Un año después Vázquez *et al.* (2005), estudian la dinámica estacional del fitoplancton en el lago Chalchoapan. El cual presenta una profundidad de 43 m, con estratificación térmica de febrero a diciembre y termoclina a los 13 m, logrando circular en enero. La conductividad, el sílice y el amonio fueron elevados en la circulación, mientras

que el nitrato y el fósforo fueron altos en la estratificación. El fitoplancton lo integran 59 especies, encabezando la riqueza de taxa Bacillariophyta, seguida de Chlorophyta, Cyanobacteria, Dinophyta y Cryptophyta, con dominancia de Cyanobacteria de mayo a enero y Chlorophyta de enero a marzo con presencia de Bacillariophyta, Dinophyta, Chrysophyta, Cryptophyta y Euglenophyta. Identifican cuatro grupos influenciados por la estacionalidad y las características fisicoquímicas del agua siendo el grupo 1 formado durante el máximo de estratificación correlacionado con el fósforo y los valores mas altos de nitratos, marcando una dominancia de *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya* sp., y *Anabaenopsis circularis*, así como *Tetraedron minimum*, *Sphaerocystis planctonica*, *Gomphonema angustatum* y *Oscillatoria anguina*. El grupo 2 correspondió al periodo final de la estratificación y el grupo 3 al principio de la estratificación correlacionado con altas concentraciones de fósforo siendo las especies sobresalientes; *Monoraphidium contortum*, *Botryococcus braunii*, *Staurastrum tetras*, *Pandorina morum*, *Kirchniriella* sp., *Akistrodesmus fusiformis*, *Trachelomonas hispida*, *Coelastrum reticulatum*, *Chlamydomonas* sp., y *Aphanocapsa incerta*. Y por último el grupo 4 correspondiendo a los periodos de mezcla en el fondo en ambos años cuando el amonio y el sílice fueron elevados, encontrándose *Fragilaria construens*, *Frustulia romboides*, *Navicula* sp., y *Gomphonema intricatum*, además de *Merismopedia tenuissima*, *Pseudoanabaena tenuis* y *Crucigenia tetrapedia*.

#### 2.2.2.4. LAGOS CRÁTER DEL NEVADO DE TOLUCA (Edo. De México)

Arriaga *et al.* (1998), analizan las variables ambientales y el fitoplancton del lago cráter El Sol. Encuentran bajas concentraciones de minerales y alcalinidad, con predominancia de los sulfatos tóxicos, una profundidad media de 6 m y pH menor a 7, con temperaturas menores a 14 °C y una extinción de la luz a los 14 m. Se presenta una estratificación ligera en verano, con una columna de agua de comportamiento polimíctico, coincidiendo los máximos de clorofila (3.14 mg/m<sup>3</sup>) y nutrientes con la temporada de precipitación. Los productores primarios en la columna de agua se conforman de 91 taxa siendo Zygnematacea, Oedogoniacea y Chaerophyceae las familias más importantes. Con dominancia de dinoflagelados sobresaliendo *Peridinium lomnickii* y *P. willei*, así como la crisofícea *Dinobryon cylindricum alpinum*. Prevalenciando características ultra oligotróficas a oligotróficas.

Banderas *et al.* (1991), ratifican que el lago cráter El Sol es polimíctico con una transparencia de 9 m y pH de 7.5 en julio y 6.3 en noviembre debido a las lluvias ácidas, con el mismo comportamiento en conductividad. Los sulfatos fueron elevados en julio y bajos en mayo, con el máximo de oxígeno disuelto en esta época. La dureza fue elevada en julio y baja en octubre, mientras que la clorofila presentó su máximo en agosto y el mínimo en julio. Se observa un reciclamiento de la materia orgánica que propicia CO<sub>2</sub> y disminuye el pH. Con respecto a los nutrimentos se registra una disminución en la temporada de lluvias y un incremento de sales. Las concentraciones de nitratos y amonio después de lluvias indican que hay introducción de la materia orgánica que se mineraliza rápidamente. La temperatura mantiene una correlación inversa con los nutrimentos y estos una correlación positiva con la clorofila. El fitoplancton se compone principalmente de *Dinobryon cylindricum v. alpinum* y *Desmidiium swartzii*.

Años más tarde Banderas-Tarabay (1997), desarrolla una lista florística del lago El Sol, donde determina 105 taxa, estando a la cabeza de la riqueza específica Chlorophyta, seguida de Cyanobacteria, Pyrrophyta, Chrysophyta, Xantophyta, Euglenophyta y Charophyta. Las familias mejor representadas fueron Oedogoniaceae (18), Desmidiaceae (17), Zygnemataceae (13), Oscillatoriaceae (11) y Chaetophoraceae (9). Además de que el fitoplancton fue dominado por *Peridinium lomnickii*, *P. willei*, *Dinobryon cylindricum v. alpinum*, diatomeas de talla pequeña y *Closterium* sp., *Oscillatoria* sp., *Zygnema* sp., *Spirogira* sp., *Desmidiium swartzii* y *Gonatozygon acuelatum*.

Alcocer *et al.* (2004), determinan la biomasa del fitoplancton y la química del agua en el lago El Sol y La Luna. El Sol tuvo una profundidad máxima de 15 m, con una transparencia de 3 a 7.4 m y una temperatura de 5 °C en enero y 11 °C en septiembre, mientras que el oxígeno disuelto fue de 4.38 mg/L en agosto y de 4.6 mg/L en febrero. Con respecto al pH este fue de 7 en abril y de 5 en enero, mientras la conductividad se registró de 15 a 18 µS/cm en marzo y enero y una clorofila fluctuante entre 0.14 y 1.62 mg/L. Por otro lado La Luna presentó una profundidad de 10 m con una transparencia entre 4 y 9 m. La temperatura osciló de 11 °C en julio y de 6 °C en enero, con un oxígeno disuelto de 4.6 mg/L en agosto y de 7.46 mg/L en marzo, mientras el pH varió de 5.6 en abril y de 4.5 en febrero, con una conductividad de 13 a 18 µS/cm en marzo y enero, mientras la clorofila fluctuó entre 0.13 y 0.89 µg/L. El oxígeno mantuvo una relación inversa con la temperatura, mientras que el fósforo total y el amonio presentaron los mismos valores en

ambos lagos con nitritos y sílice mas elevados en El Sol y con elevadas concentraciones de nitratos en La Luna. Clasifican a los lagos como polimícticos continuos con limitaciones por fósforo. Los nitratos se relacionan negativamente con el pH y la productividad primaria es mayor en el fondo. En el Sol la biomasa del fitoplancton disminuye en octubre a pesar de altas concentraciones de fósforo lo cual atribuyen al zooplancton y en La Luna la disminución de la diversidad puede deberse al pH ácido.

#### **2.2.2.5. LAGOS CRÁTER DEL VALLE DE SANTIAGO (Guanajuato)**

Alcocer *et al.* (1996), llevan a cabo un estudio limnológico en los lagos de Valle de Santiago en Guanajuato. Indican las características ambientales para La Alberca y Rincón de Parangueo, haciendo mención con respecto al fitoplancton, que en ambos lagos hay dominancia de las cianofíceas, estando presentes en La Alberca *Oscillatoria* sp. Y la Chlorophyta *Actinastrum* sp., mientras que en Rincón de Parangueo determinan *Arthrospira platensis* y *Anabaena* sp., mencionan que los cuerpos de agua se encuentran en proceso de eutroficación.

Tiempo después Patiño (2000), caracteriza al área del Volcán de las Siete Luminarias. Menciona que el Valle de Santiago ubicado en Guanajuato, se compone de varios cráteres inactivos conocidos como las Hoyas: Rincón de Parangueo, San Nicolás, La Alberca, La Cintora, Estrada, Blanca, Álvarez y Solís. Reporta en relación al fitoplancton, una dominancia de cianobacterias, cuyas especie más abundantes fueron: *Actinastrum* sp. (Chlorophyta), *Anabaena* sp., *Arthrospira platensis* y *Oscillatoria* sp. (Cyanobacteria), desconociendo en este periodo las características químicas del agua.

Escolero y Alcocer (2005), compilan trabajos referentes a los lagos cráter de Valle de Santiago para evaluar la dinámica hidráulica que presentan los sistemas. La forma de los lagos es circular a elíptica (Alberca y La Cintora), hasta ligeramente triangular (Rincón de Parangueo y San Nicolás Parangueo). Para el 2002 los lagos estaban secos y la Cintora y San Nicolás se secaron desde 1970. La Alberca presenta una conductividad de 2.3 mS/cm en 1986, mientras que en Rincón de Parangueo es de 25 mS/cm y para 1995. La Alberca registra una conductividad de 5 a 6 mS/cm, y Rincón de Parangueo de 70 a 80 mS/cm, ello atribuido a la sobreexplotación de los mantos freáticos y a la desecación que favoreció la concentración de sales en los lagos. Las concentraciones de Calcio y Magnesio

son bajas en La Alberca por que precipitan como carbonatos y con los sulfatos respectivamente. Con respecto a la salinidad La Alberca es hiposalina y Rincón de Parangueo es hipersalino, característica que genera un pH básico.

#### **2.2.2.6 LAGO CRÁTER DE LA ISLA ISABEL (Nayarit)**

En el Pacífico mexicano, Alcocer *et al.* (1998), realizan una evaluación de las características limnológicas del lago en noviembre de 1993. Observan el establecimiento de estratificación termal y consideran al lago como meromítico. El lago presenta una temperatura en la superficie de 33 °C y una capa termal homogénea entre los 13 y 17 m (26.71 a 26.91), lo cual sugiere una mezcla convencional. El oxígeno disuelto registra valores elevados en la superficie (7.5 mg/L), con un decrecimiento a los 0.5 m (2.5 mg/L) y condiciones anóxicas en el fondo. La transparencia es de 10 cm y se atribuye la turbidez a organismos fotosintetizadores. Las concentraciones de las formas del nitrógeno son elevadas en el estrato anaerobio, mientras que el máximo de clorofila se registró en la superficie (25.7 µg/L). Existe un agrupamiento biológico en la oxiclina dominado por bacterias y criptomonas, indicando que la salinidad limita la riqueza de especies.

#### **2.2.2.7. LAGO CÁTER LA ALBERCA DE TACÁMBARO (Michoacán)**

Zubieta *et al.* (2006), llevan a cabo una evaluación fisicoquímica y biológica del lago cráter para generar un plan de manejo para el Área Natural Protegida “Cerro Hueco a La Alberca”. El lago presenta una riqueza específica encabezada por cianobacterias y diatomeas, organismos indicadores de altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica, sobresaliendo; *Microcystis aeuroides*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena affinis*, *Peridiniopsis elpatiewski*, *Peridinium cinctum*, *Cyclotella ocellata*, *Synedra acus*, *S. rumpens*, *Trachelomonas hispida*, *Phacus acuminatus*, *Pediastrum simplex* y *Golenkinia radiata*. La profundidad máxima es de 29 m, con un hipolimnio anóxico después de los 10 m.

Medrano (2007), realiza una evaluación del estado trófico del lago. Menciona que el sistema es geológicamente joven y relativamente profundo (28 m). Registra una extinción vertical de la luz a los 13.7 m, la cual induce una ausencia de fotosíntesis a los 14 m. Se desarrolla estratificación térmica durante primavera y verano, lo cual genera una sobresaturación de oxígeno en la superficie (11.75 mg/L en verano) y los dos metros de

profundidad, hasta lograr un fondo anóxico durante todo el año. La temperatura promedio del sistema fue de 23.8 °C con el máximo para verano (27.5 °C) y el mínimo en invierno (17 °C), mientras el pH presentó valores altos en primavera (9.2) y el mínimo en invierno (6). La conductividad eléctrica presentó sus máximo y mínimo en otoño (232 y 165.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que la alcalinidad fue elevada en primavera (250 mg/L) y menor en otoño (160 mg/L), con concentraciones importantes de fósforo y amonio en la columna y sus máximos en el fondo. Con respecto al estado trófico, el lago presenta características de un sistema ligeramente eutrófico.

Hernández (2008), lleva a cabo un estudio para conocer la dinámica espacial y temporal del fitoplancton en el lago. Determina 136 especies representadas por Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Xantophyta, Cryptophyta y Chrysophyta. Menciona que la abundancia estuvo dada por Bacillariophyta en invierno y Chlorophyta el resto del año, con un florecimiento relevante de Cyanobacteria en otoño. Las especies más abundantes fueron *Didymocystis fina*, *Synedra acus*, *Tetraedron minimum*, *Merismopedia glauca* y *Nitzschia linearis*. La diversidad alfa fue elevada en verano e invierno y presentó su mínimo en primavera, la cual sostuvo una relación inversa con la dominancia. La distribución del fitoplancton fue dirigida principalmente por la temperatura y la conductividad. Con respecto al estado trófico y utilizando índices algales, el sistema es clasificado en proceso de eutroficación.

### **3. HIPÓTESIS**

Los lagos cratéricos tropicales La Alberca de Tacámbaro, La Alberca de los Espinos y La Alberca de Teremendo, presentan una alta similitud en la composición y estructura del fitoplancton, así como en su nivel trófico, debido a la analogía en las características limnológicas de estos y a su ubicación geográfica que permite un comportamiento térmico e hidrodinámico particular en los ecosistemas acuáticos profundos de la zona.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo General:**

Determinar la estructura y la composición de la comunidad del fitoplancton, además del estado trófico en relación con las variables ambientales de las Albergas de Tacámbaro, Los Espinos y Teremendo, para conocer la similitud entre los ecosistemas acuáticos.

#### **4.2 Objetivos particulares:**

1. Determinar el comportamiento térmico de los lagos cráter en un periodo anual.
2. Obtener un listado taxonómico del fitoplancton.
3. Describir los atributos morfológicos de los taxa determinados en los lagos Cráter de Michoacán.
4. Estimar la abundancia, la diversidad alfa y beta ( $\alpha$  y  $\beta$ ) y la dominancia del fitoplancton para cada lago cráter.
5. Determinar la diversidad  $\gamma$  (gama) del complejo lacustre.
6. Determinar el estado trófico de los lagos cráter.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

### 5.1 LA ALBERCA DE TACÁMBARO, MICHOACÁN

#### 5.1.1 Ubicación geográfica

El lago cráter La Alberca (Figura 1), se localiza al suroeste de la cabecera municipal de Tacámbaro de Codallos, Michoacán, México. Entre las coordenadas extremas  $19^{\circ} 14' 50''$  N y  $101^{\circ} 26' 41''$  O (INEGI, 2000).

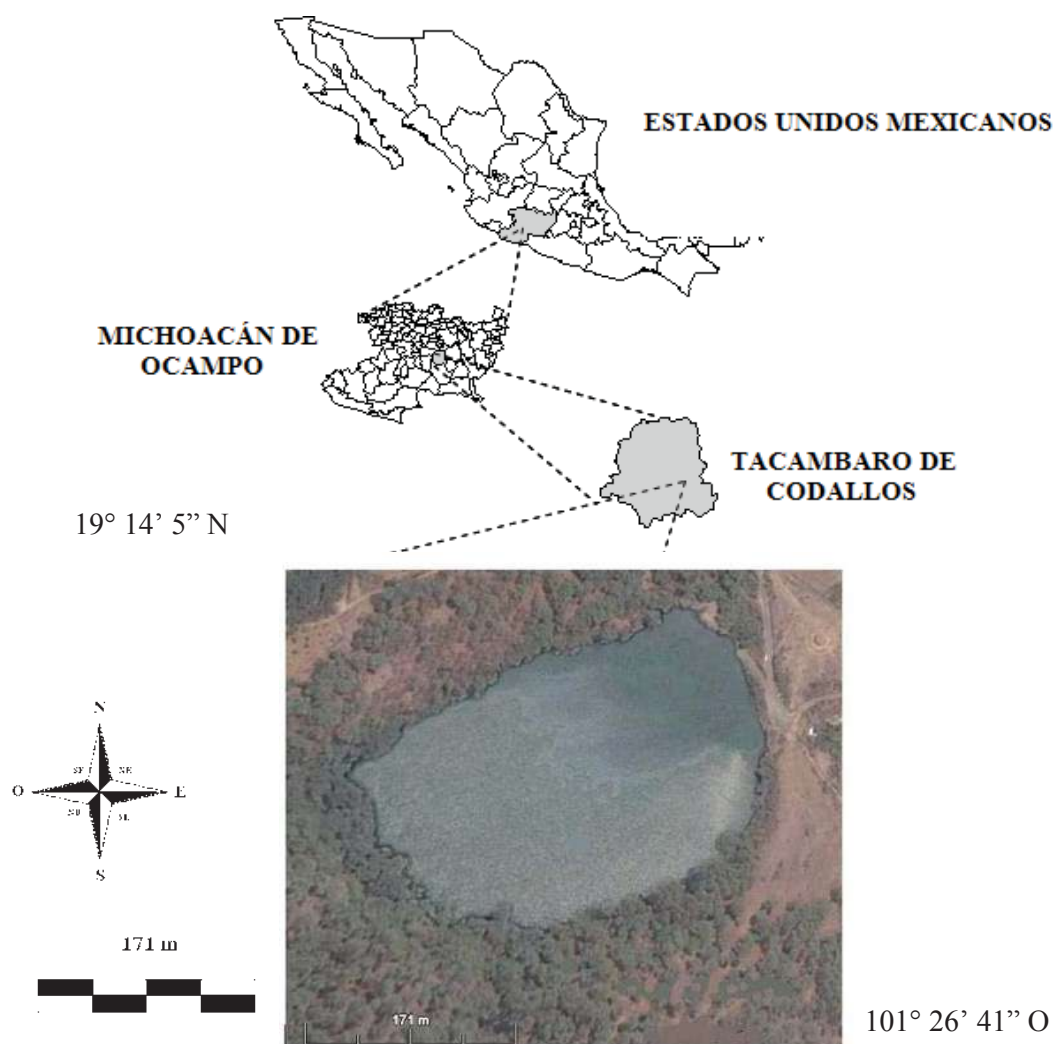


Figura 1. Ubicación geográfica del Lago Cráter “La Alberca”, Tacámbaro de Codallos, Michoacán de Ocampo, México.



### **5.1.2 Fisiografía**

El sistema se localiza dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano, el cual constituye parte de la franja volcánica del Cenozoico superior que cruza a la República Mexicana a la altura del paralelo 19 (Garduño *et al.*, 1999). Esta región presenta importantes elevaciones volcánicas que oscilan entre 1,320 y 1,745 m.s.n.m. (INEGI, 2000).

### **5.1.3 Geología**

El área se compone de rocas ígneas asignadas al cuaternario, constituidas por un amplia gama de rocas que van desde rocas extrusivas de composición basáltica hasta rocas ácidas. Se observa un pequeño sector correspondiente a depósitos fluviales destacando los conglomerados de gruesos a medios (INEGI, 1978).

### **5.1.4 Edafología**

El componente edáfico esta dado por asociaciones conformadas por andosoles ócricos y cambisoles districos de texturas medias (INEGI, 1983), de uso forestal y por el cambio de esta ocupación es también es agrícola y ganadero.

### **5.1.5 Clima**

La zona presenta un clima templado semifrío con un verano largo y fresco, subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación invernal menor al 2.06 %, isotermal con marcha tipo Ganges. La temperatura media del mes más cálido corresponden antes del solsticio de verano y no presenta heladas en invierno (García, 1988).

### **5.1.6 Hidrología**

#### **Hidrología superficial**

El lago se localiza dentro de la región hidrológica No. 18, en la cuenca del Balsas, ubicada en la subcuenca del Río Tacámbaro. La microcuenca del lago presenta corrientes efímeras intermitentes y dos arroyos perennes de primer orden, el primero en la porción

norte con dirección norteesur, el cual se conecta directamente con el espejo de agua y el segundo en la porción oeste con dirección oesteaeste (INEGI, 2000). En la porción este de esta poligonal Zubieta *et al.* (2006), ubica un tercer cauce de primer orden, no interpretado en la cartografía oficial, el cual se encuentra drenando fuera de los límites del área y se conecta directamente con el Río San Agustín.

### 5.1.7 Vegetación

El cráter por encontrarse en una zona climática transicional, presenta una alta diversidad florística terrestre, abarcando desde especies del Bosque Templado hasta la Selva Baja Caducifolia, destacando también la presencia de especies cultivadas.

Algunas de las especies representativas son: *Quercus magnoliifolia*, *Lysiloma microphylla*, *Spatodea campanulacea*, *Ficus petiolaris*, *Psidium guayaba*, *Salix bonplandiana* y *Manguijera indica*, en el estrato arbóreo. *Baccharis heterophylla*, *Buddleia cordata*, *Fuchsia arborea*, *Bocconia arborea*, *Piper* sp. y *Coffea arabica* en el arbustivo y *Adiantum andicola*, *Xantosoma robusta*, *Asclepias curasavica*, *Jaegeria hirta*, *Melampodium sanvitalia*, *Desmodium* sp., *Zeugytes americana* y *Lasiasis* sp. en el herbáceo (Zubieta *et al.*, 2006).

Por su parte la vegetación acuática se encuentra conformada principalmente por especies de sustrato no saturado, que han invadido esta área favorecida por la desecación del suelo, debido principalmente a la compactación y derrumbe de las orillas del lago, encontrándose: *Eleocharis acicularis*, *Polygonum mexicanum* y *P. punctatum*.

## 5.2 LA ALBERCA DE TEREMENDO, MICHOACÁN

### 5.2.1 Ubicación geográfica

La Alberca de Teremendo se localiza en la localidad de Teremendo de los Reyes al noroeste de la cabecera municipal de Morelia, Michoacán (Figura 2). Se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas extremas  $19^{\circ} 48' 23''$  N y  $101^{\circ} 27' 13''$  O (INEGI, 1985).

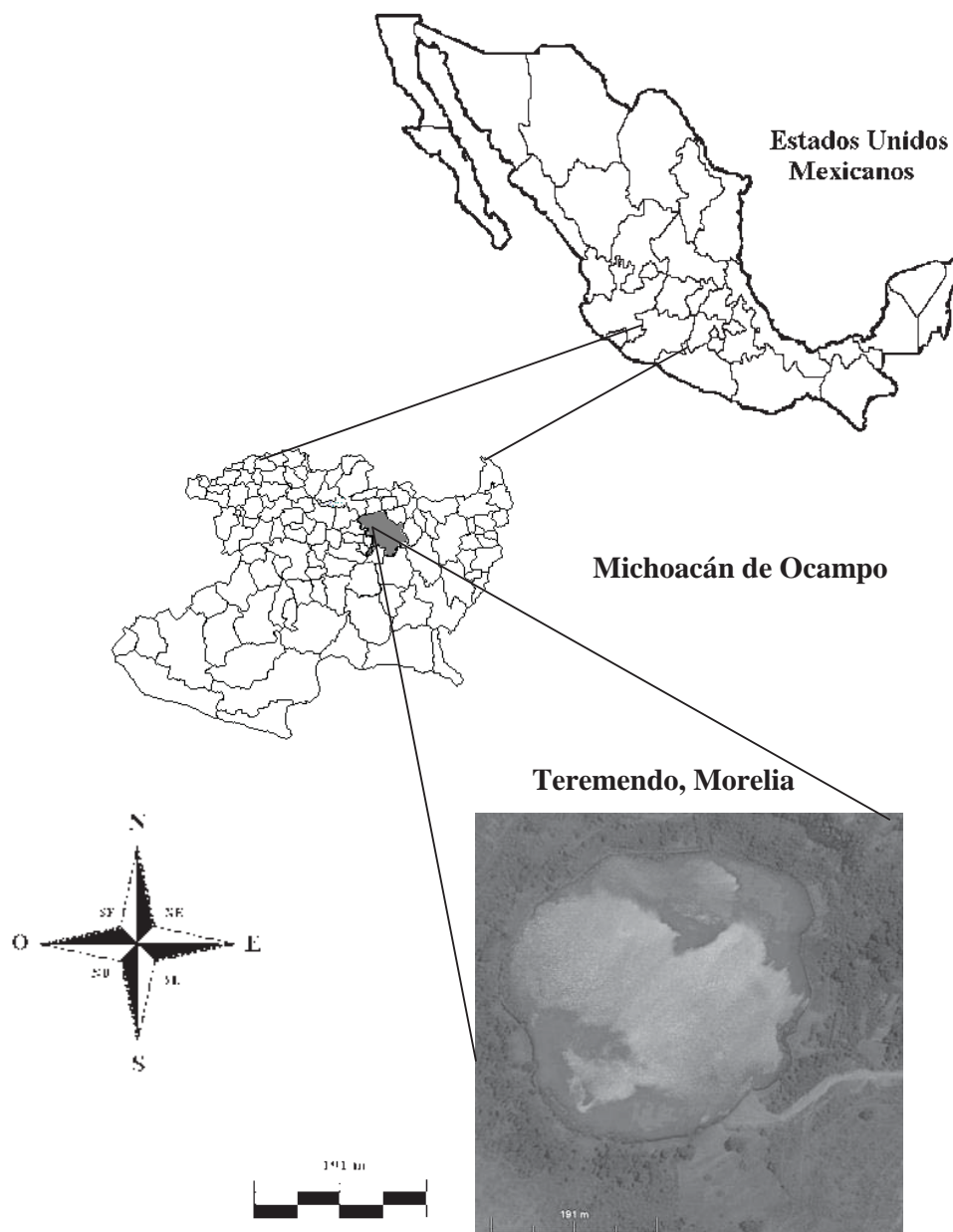


Figura 2. Ubicación geográfica del Lago Cráter de Teremendo, Teremendo de los Reyes, Morelia, Michoacán de Ocampo, México.

### 5.2.2 Fisiografía

El área se localiza dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano, formando parte de la franja del Cenozoico que atraviesa el país a la altura del paralelo 19 (Garduño *et al.*, 1999). La zona presenta un relieve accidentado, con elevaciones cercanas a los 2058 m.s.n.m. caracterizándose por la presencia de vulcanismo del Plioceno y del Cuaternario con volcanes cineríticos (INEGI, 1985).

### 5.2.3 Geología

La zona presenta rocas ígneas de permeabilidad alta, las cuales tienen su origen en el cuaternario. La cuenca presenta un fraccionamiento moderado y los aluviones desarrollados se acumulan en las partes bajas del cono volcánico (INEGI, 1977).

### 5.2.4 Edafología

Los suelos del área son de origen volcánico y se encuentran representados por feozem hálpico de texturas medias, con importantes cantidades de arena, seguidas de limo y arcilla, así como un 30% de materia orgánica. El suelo es moderadamente drenado y su uso actual es agrícola (INEGI, 1979).

### 5.2.5 Clima

El área de estudio se encuentra en una zona climática C (w<sub>1</sub>) (w) templada subhúmeda con lluvias en verano (García, 1988).

### 5.2.6 Hidrología

La microcuenca de Teremendo es endorreica y se encuentra en el límite de las subcuencas del Río Lerma a Chapala y de las cuencas de los lagos de Pátzcuaro, Cuitzeo a Yuriria, dentro de la región hidrológica No. 12 Lerma a Chapala a Santiago. La reducida cuenca no presenta escurrimientos superficiales evidentes (INEGI, 1999).

### 5.2.7 Vegetación

El área de estudio se encuentra en una zona impactada por el cambio de uso de suelo, removiendo el bosque tropical caducifolio dando lugar a la sucesión por vegetación secundaria densa (INEGI, 2006). Los estratos dominantes se representan por *Acacia pennatula*, *A. farmeciana* y *Opuntia* sp.

### 5.3 LA ALBERCA DE LOS ESPINOS MICHOACÁN

#### 5.3.1 Ubicación geográfica

La Alberca de los Espinos se localiza en la localidad de los Espinos al suroeste de la cabecera municipal de Jiménez, Michoacán (Figura 3). Se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas extremas  $19^{\circ} 54' 24.34''$  N y  $101^{\circ} 46' 0.8.02''$  O (INEGI, 1995).

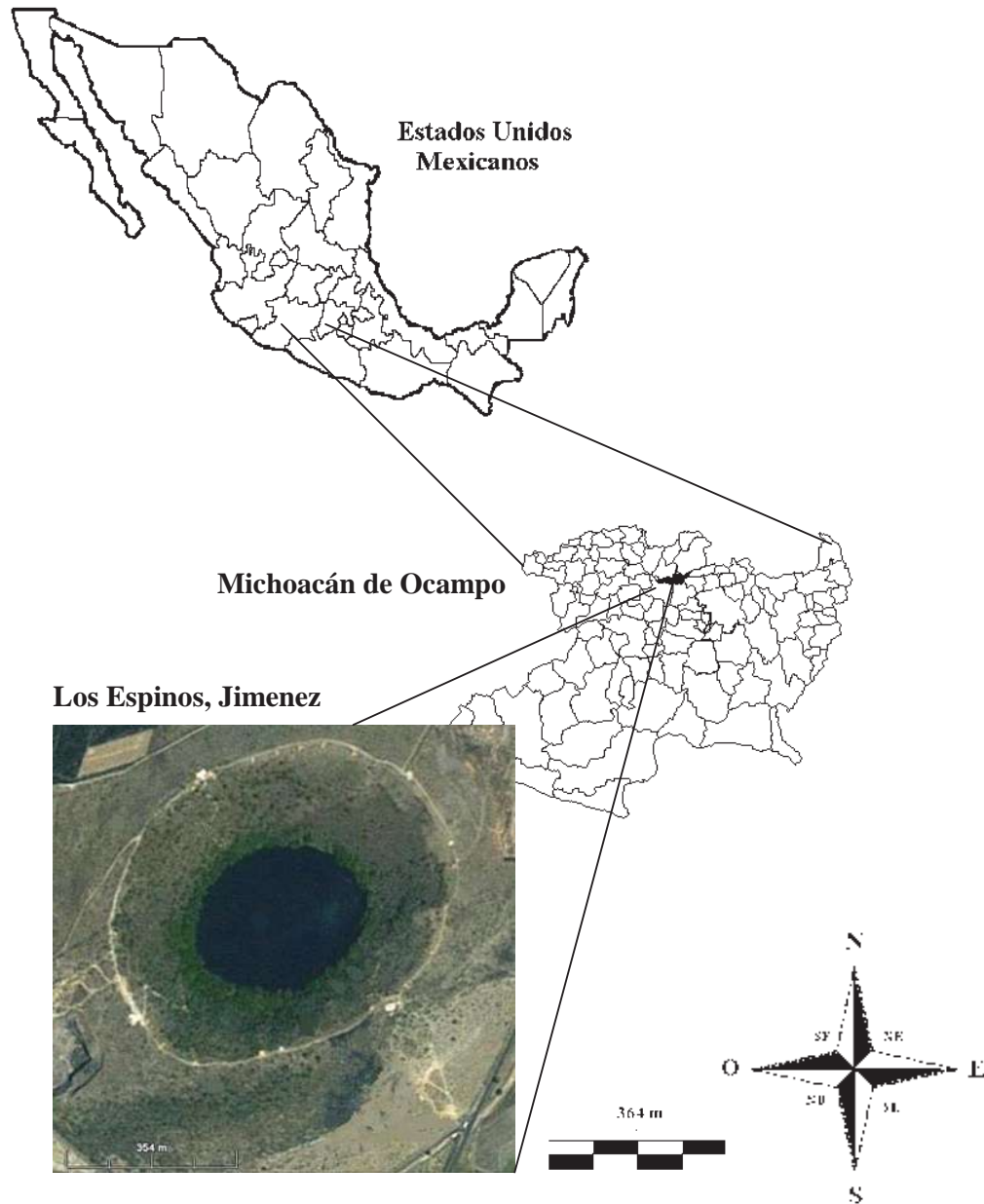


Figura 3. Ubicación geográfica del Lago Cráter de los Espinos, Villa Jiménez, Michoacán de Ocampo, México.

### 5.3.2 Fisiografía

El cono volcánico se localiza dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (Garduño *et al.*, 1999) y se caracteriza por largas planicies con el cerro Brinco del Diablo como elevación más importante (INEGI, 1995)

### 5.3.3 Geología

La zona presenta rocas ígneas, principalmente integradas por basaltos (INEGI, 1996)

### 5.3.4 Edafología

El componente edáfico se conforma por una asociación de suelos volcánicos representados por chernozem y podzólico, estos datan de los periodos Cenozoico y Paleoceno y actualmente su uso es agrícola y ganadero (INEGI, 1996).

### 5.3.5 Clima

El área de estudio se encuentra en una zona climática de transición dominada por un clima C (w<sub>1</sub>) (w) templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988) y una precipitación anual de 1,055 mm<sup>3</sup>, con una temperatura promedio de 16.8°C

### 5.3.6 Hidrología

La microcuenca del lago cráter se localiza dentro de la región hidrológica No. 12 Lerma a Chapala a Santiago, colindante con la ciénega de Zacapu. La parte interior del cono volcánico no presenta escurrimientos superficiales evidentes (INEGI, 1999).

### 5.3.7 Vegetación

En las áreas aledañas al cono volcánico predomina la vegetación de pradera y algunos representantes del bosque mixto. Con respecto a la superficie forestal, está constituida por *Quercus* sp. (INEGI, 1996).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 ACTIVIDADES DE CAMPO

#### 6.1.1 Calendario de Salidas.

El presente trabajo se desarrolló en un ciclo anual con muestreos mensuales durante el 2009. Asistiendo al campo de enero del 2009 a enero del 2010.

#### 6.1.2 Estaciones de colecta.

Se efectuó una salida preliminar a cada uno de los sistemas acuáticos para determinar las estaciones de colecta de acuerdo a las características limnológicas; como la entrada y la salida del flujo de agua, la zona centro y la parte más profunda, tomando en consideración la accesibilidad al lugar en cualquier época de muestreo, así como la zona con mayor influencia antropogénica.

Con estos criterios se propusieron para la colecta del material tres sitios para el lago cráter de La Alberca de Tacámbaro, dos para el lago Cráter de Teremendo y uno para el lago Cráter de los Espinos, los cuales serán referenciados con el apoyo de un GPS modelo Casio DBC-62 (Cuadro 1, 2 y 3 y figuras 4, 5 y 6).

En Tacámbaro el S1 “MANANTIAL”, se localiza al frente de la desembocadura de un cauce de primer orden, el S2 “CENTRO”, se localiza en la zona centro del lago caracterizado por ser nódulo de las corrientes acuáticas y el S3 “COMPUERTA”, se ubica al este del lago y corresponde a la salida de agua.

Cuadro 1. Ubicación y descripción de los sitios de colecta de La Alberca de Tacámbaro, Michoacán

ESTACIONES	COORDENADAS	PROFUNDIDAD
S1 MANANTIAL	19° 12' 43.23'' N 101° 27' 29.10'' O	15 m
S2 CENTRO	19° 12' 39.10'' N 101° 27' 32.02'' O	26.4 m
S3 COMPUERTA	19° 12' 40.39'' N 101° 27'' 25.60'' O	3.5 m

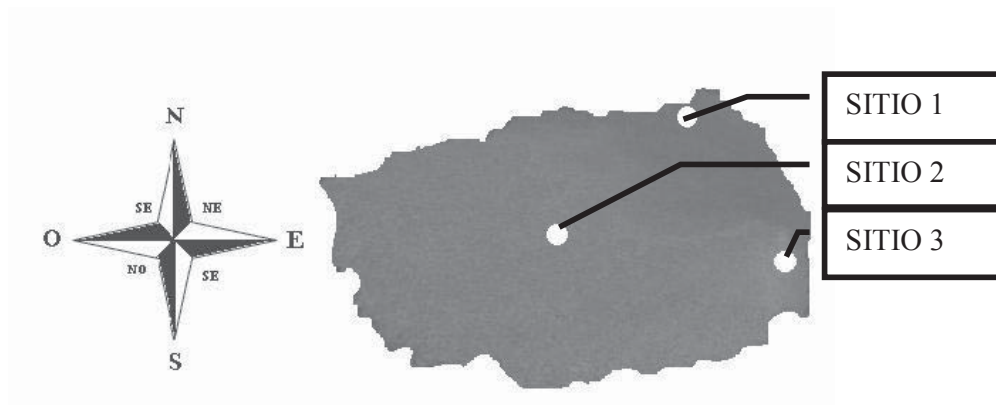


Figura 4. Localización de los sitios de colecta en La Alberca de Tacámbaro, Michoacán.

En Teremendo el S1 “CENTRO”, se localiza al centro del sistema, y presenta la profundidad máxima del lago, mientras el S2 “ORILLA”, se localiza al este del espejo de agua y colinda con un área de influencia antropogénica y ganadera.

Cuadro 2. Ubicación y descripción de los sitios de colecta de La Alberca de Teremendo, Michoacán.

ESTACIONES	COORDENADAS	PROFUNDIDAD
S1 CENTRO	19° 48' 26.21'' N 101° 27' 18.47'' O	9 m
S2 ORILLA	19° 48' 22.95'' N 101° 27' 13.47'' O	8.5 m

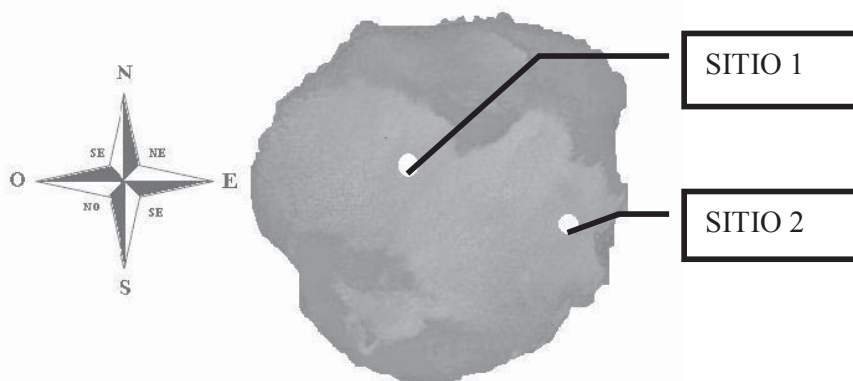


Figura 5. Localización de los sitios de colecta en La Alberca de Teremendo, Michoacán.

En Los Espinos el S1 “CENTRO”, se localiza en la parte centro y mas profunda del vaso lacustre.



Cuadro 3. Ubicación y descripción de los sitios de coleta de La Alberca de los Espinos, Michoacán.

ESTACIONES	COORDENADAS	PROFUNDIDAD
S1 CENTRO	19° 54' 24.34" N 101° 46' 0.8.02" O	26 m

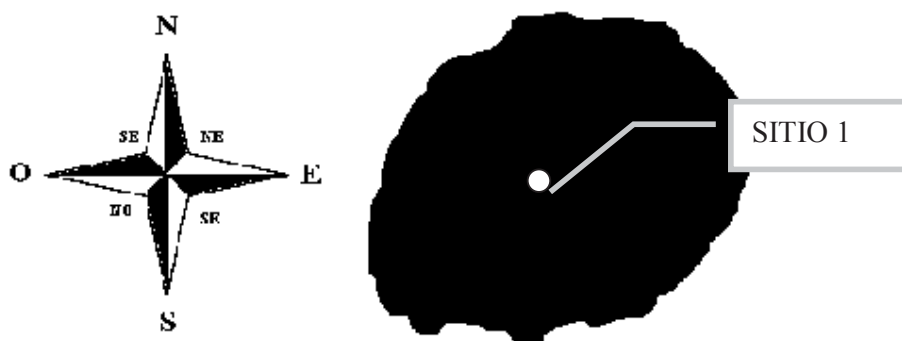


Figura 6. Localización de los sitios de coleta en La Alberca de Los Espinos, Michoacán.

### 6.1.3 Parámetros fisicoquímicos

En cada estación de coleta se determinaron las variables ambientales mensualmente (Cuadro 4), siguiendo los criterios de APHA AWWA WPCF (1992).

Cuadro 4. Variables fisicoquímicas registradas en campo.

VARIABLE	TÉCNICA
Temperatura del aire (°C)	Termómetro de mercurio
Temperatura del agua (°C)	Termómetro de mercurio
Transparencia (m)	Disco de Secchi
Profundidad (m)	Sonda graduada en metros
Nubosidad (%)	Observación directa
Velocidad y dirección del viento	Reportándola como: nulo, ligero e intenso, de acuerdo a los puntos cardinales
Oxígeno disuelto (mg/L)	Método de Winkler, modificado al azida de sodio

Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Conductivímetro de campo marca Hanna
Salinidad (00/100)	Conductivímetro de campo marca Hanna
Potencial hidrógeno	Colorimetría
Sólidos totales disueltos (mg/L)	Conductivímetro de campo marca Hanna

#### 6.1.4 Muestreos de agua en la columna

Para la determinación de las variables físicas y químicas del agua se tomaron muestras de 200 mL de la superficie al fondo con un intervalo de un metro cada una, mensualmente durante el 2009, en los siguientes sitios; Sitio 2 de La Alberca de Tacámbaro y sitio 1 de las Albercas de Teremendo y los Espinos.

Las muestras para la determinación de amonio, nitratos y nitritos, así como del fósforo orgánico e inorgánico, se tomaron trimestralmente con un volumen de 3 L de la superficie y fondo de cada uno de los sitios propuestos con anterioridad, para caracterizar el ambiente fisicoquímico en el que se desarrollan las microalgas en el apogeo de cada estación climática.

La colecta del material ficológico para la determinación de los taxa se realizó a través de un arrastre horizontal trimestral con una red cónica de 39  $\mu\text{m}$  y un filtrado por estrato de 6 L con una red de 10  $\mu\text{m}$ . Los estratos se presentan en el Cuadro 5, los cuales dependen de la profundidad del sitio. Estos niveles fueron colectados con la botella de Van-Dorn horizontal con capacidad de 3 L, tomando una submuestra de 250 mL por nivel para su posterior cuantificación.

Cuadro 5. Estratos de colecta en la columna de agua en los lagos cráter.

LAGO	SITIO	ESTRATOS
ALBERCA DE TACÁMBARO	1	0.5, 1, 5, 7, 10, 13 y 15 m
	2	0.5, 1, 5, 7, 10, 13, 15, 20, 25 y 26 m.
	3	0.5 y 3m
ALBERCA DE TEREMENDO	1	0.5, 1, 5, 7 y 9 m.
	2	0.5, 5, 7 y 8.4 m.

ALBERCA DE LOS ESPINOS	1	0.5, 1, 5, 7, 10, 13, 15, 20, 25 y 26 m.
---------------------------	---	---

El material colectado para identificación y cuantificación fue colocado en frascos de plástico y preservado con formol al 4%, depositándolo para su resguardo y posterior análisis en el Herbario Ficológico EBUM del Laboratorio de Biología Acuática “J. Javier Alvarado Díaz” de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## 6.2 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

### 6.2.1 Determinación del material ficológico

La determinación del material se realizó utilizando un microscopio compuesto marca Leitz con los objetivos de 40 y 100 X, con el apoyo de literatura especializada: Smith (1920 y 1924); Bourrelly (1966,1968 y 1970); Patrick y Reimer (1966, 1975); Whitford y Schumacher (1973); Prescott y Vinyard (1982); Conforti (1986); Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991 y 1991); Round *et al.* (1990); Dillard *et al.* (1990); Comas (1996); Krammer K. (2000 y 2002); Komárek y Anagnostidis (1999 y 2005) y John *et al.* (2002).

Se obtuvo la curva de acumulación de especies por el método propuesto por Braun-Blanquet (1979), con un tamaño mínimo de muestra, utilizando lugol para tinción de pirenoides y cloroplastos, estructuras más relevantes en la determinación taxonómica.

### 6.2.2 Cuantificación

La cuantificación de organismos se realizó utilizando un microscopio invertido modelo ID03 marca ZEISS con el objetivo de 32 X; empleando una modificación basada en el método de Utermöhl (1958), misma que considerará el conteo de todas las especies ocurrentes en el cuadrante principal (segmento céntrico de la cámara de sedimentación con un área de 28 mm<sup>2</sup>) y la cuantificación de las especies no reportadas en el segmento anterior y existentes en el resto del área de la cámara (125.93 mm<sup>2</sup>), (Schwoerbel, 1975),

llevando a cabo diferentes diluciones para conocer el tamaño muestral en la cuantificación, representando los datos en org/mL.

### 6.2.3 Análisis de variables fisicoquímicas

El análisis de las variables de laboratorio (Cuadro 6), se realizó considerando los criterios de APHA AWWA WPCF (1992), por triplicado, con réplicas durante el 2009 y 2010.

Cuadro 6. Análisis de las variables ambientales.

VARIABLE	TÉCNICA
Alcalinidad total (mg/L)	Técnica volumétrica con HCl 0.01 N
Alcalinidad a la fenoftaleína (mg/L)	Técnica volumétrica con HCl 0.01 N
Carbonatos (mg/L)	Cálculo indirecto
Dureza total (mg/L)	Técnica volumétrica con EDTA
Fósforo total ( $\text{PaPO}_4^{\text{a3}}$ ) ( $\mu\text{g/L}$ )	Técnica espectrofotométrica por digestión
Ortofosfato ( $\text{PO}_4^{\text{a3}}$ aP) ( $\mu\text{g/L}$ )	Técnica espectrofotométrica con reactivo mixto
Amonio ( $\text{NaNH}_4^+$ ) (mg/L)	Técnica espectrofotométrica con Nesler Reagent
Nitritos ( $\text{NaNO}_2^{\text{a}}$ ) (mg/L)	Técnica espectrofotométrica con reactivo de color
Nitratos ( $\text{NaNO}_3^{\text{a}}$ ) (mg/L)	Técnica espectrofotométrica con Brucina
Materia orgánica disuelta (mg/L)	Técnica indirecta de incubación y $\text{DBO}_5$
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	Técnica por extracción en metanol

## 6.3 ACTIVIDADES DE GABINETE

### 6.3.1 ABUNDANCIA

Se define como el número de individuos por unidad de área o volumen (Krebs, 1985), y se determinó por un conteo directo de acuerdo a lo señalado en el apartado de cuantificación del presente trabajo.

#### Abundancia relativa

La abundancia relativa de una especie dentro de una comunidad se refiere a la fracción con la que contribuye dicha especie a la abundancia total de la comunidad. Esta se determinó mediante la fórmula de Krebs (1985), la cual estima a la abundancia relativa, y ésta se enuncia como sigue:

$$AR = (A / AT) * 100$$

En donde:       AR = abundancia relativa de la especie X  
                  A  = abundancia de la especie X  
                  AT = sumatoria de abundancias de todas las especies.

### **6.3.2 DIVERSIDAD Y DOMINANCIA**

La diversidad expresa el número de las especies y sus abundancias en un área o sitio determinado (Moreno, 2001; Magurran, 2004 ). Y se determinó como sigue:

#### **Diversidad alfa**

La diversidad alfa hace referencia a la riqueza de especies de una comunidad en particular a la que se le considera homogénea (Moreno, 2001 y Magurran, 2004). Se calculó utilizando el paquete estadístico Biotool's versión 0.10 (Hanks, 1998) bajo el índice de Shannon-Wiener (Moreno, 2001), el cual expresa el grado de incertidumbre para discernir a que especie corresponderá cualquier individuo seleccionado al azar en una colección.

#### **Dominancia**

El índice de dominancia expresa el porcentaje de abundancia que corresponde a las dos especies más comunes y proporciona un diagnóstico del comportamiento de la comunidad, ya que considera a las especies que tienen un elevado éxito ecológico y determinan las condiciones bajo las cuales se desarrollan las especies vinculadas (Krebs, 1985). En la determinación de los valores de este índice, se utilizó el paquete estadístico Biotool's versión 0.10 (Hanks, 1998), considerando al índice de Simpson (Moreno, 2001). Mismo que manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar en una muestra sean de la misma especie, influyéndose por la importancia de las especies más dominantes (Moreno, 2001).

### Diversidad beta

La diversidad beta muestra cual es la variación a nivel específico de un sitio a otro (Moreno, 2001; Magurran, 2004). Se determinó mediante el Coeficiente de Sorensen (Moreno, 2001), utilizando el paquete estadístico MVSp versión 3.0 (Telfer, 1998).

### Diversidad gamma

La diversidad gamma muestra cual es la variación a nivel específico de un área geográfica a otra (Whittaker, 2001; Magurran, 2004). Se determinó mediante el Coeficiente de Sorensen (Moreno, 2001), utilizando el paquete estadístico MVSp versión 3.0 (Telfer, 1998).

### 6.3.3 ESTADO TRÓFICO

Muestra la concentración de nutrimentos en un sistemas acuático (Goldman y Horne, 1983 y Wetzel, 2001), variable que determina las fluctuaciones en la composición de las comunidades biológicas (Round, 1981), mismas que establecen la productividad primaria y se correlacionan con las concentraciones del oxígeno en la columna de agua (Lind, 1987). Su conocimiento es indispensable para conocer el grado de conservación del ecosistema y buscar las medidas necesarias para su remediación.

Se determinó utilizando los índices de Nygaard (1949) a excepción del de diatomeas, los cuales se basan en las características ecológicas de las asociaciones algales, factores intrínsecos que estiman el grado de mineralización de los sistemas acuáticos, desarrollados a continuación:

#### *Índice Compuesto de Nygaard (1949)*

$$IC = \frac{M + CH + C + E}{D}$$

Donde:

- IC = Índice compuesto
- M = Organismos pertenecientes a Cyanobacteria de la clase Myxophyceae
- CH = Organismos pertenecientes a Chlorophyta del orden Chlorococcales
- C = Organismos pertenecientes a Bacillariophyta del grupo Centrales
- E = Organismos pertenecientes a Euglenophyta del suborden Euglenineae
- D = Organismos pertenecientes a Chlorophyta del suborden Desmidiineae

El resultado de dicho índice expone una variación numérica que va de 0 a valores mayores a 3 con la siguiente interpretación:

VALOR	Interpretación
0 a 0.2	= Distrófico
0.2 a 1	= Oligotrófico
1 a 3	= Mesotrófico
y < 3	= Eutrófico

### ***Índice de Myxophyceae de Nygaard (1949):***

$$IM = M / D$$

Donde:

IM	= Índice de Myxophyceae
	Organismos pertenecientes a Cyanobacteria de la clase
M	= Myxophyceae
D	= Organismos pertenecientes a Chlorophyta del orden Desmidiace

El resultado de dicho índice expone una variación numérica que va de 0 hasta 3 con la siguiente interpretación:

VALOR	Interpretación
0 a 0.4	= Oligotrófico
0.41 a 0.79	= Mesotrófico
0.8 a 1.39	= Ligeramente Eutrófico
1.4 a 2	= Moderadamente Eutrófico
2.1 a 3	= Eutrófico

Y se utilizaron los índices convencionales para determinar el estado trófico en base a la productividad primaria, la transparencia y las concentraciones de nutrimentos (fósforo). Los cuales se describen a continuación:

### **Índice de Carlson (1977)**

$$TSI = (I_{DS} + I_{Chl} + I_{PT}) / 3$$

$$TSI \text{ (Disco de Secchi)} = 10 \times \frac{(6 - \ln DS)}{\ln 2}$$

$$TSI \text{ (Clorofila)} = 10 \times \frac{(6 - 2.04 - 0.68 \ln Cl)}{\ln 2}$$

$$TSI \text{ (Fósforo total)} = 10 \times \frac{(6 - \ln (48/PT))}{\ln 2,5}$$

Cuadro 7. Índice del Estado trófico de Carlson (Aizaki, 1981)

ESTADO TRÓFICO	TSI	Disco de Secchi (m)	Fósforo en superficie (mg/m <sup>3</sup> )	Clorofila en superficie (mg/m <sup>3</sup> )
<b>OLIGOTRÓFICO</b> ( < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
<b>MESOTRÓFICO</b> ( > 30 - 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
<b>EUTRÓFICO</b> ( > 60 - 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
<b>HIPEREUTRÓFICO</b> ( > 90)	100	0.062	768	1183

**Índice de la OCDE (1982)**

Cuadro 8. Estado Trófico de la OCDE

Grado de eutrofia	Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	Prof. Secchi (m)	P (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Ultraoligotrófico</b>	< 1	> 12	< 4
<b>Oligotrófico</b>	1-2,5	12-6	4-10
<b>Mesotrófico</b>	2,5-8	6-3	10-35
<b>Eutrófico</b>	8-25	3-1,5	35-100
<b>Hipereutrófico</b>	> 25	< 1,5	> 100

**Estado trófico en base a la clorofila *a***Cuadro 9. Índices convencionales para clorofila *a*

ESTADO TRÓFICO	ÍNDICES			
	SAKAMOTO (1996)	ACADEMY Duan (2007)	DOBSON	RAST Y LEE (1978)
OLIGOTRÓFICO	0.3a2.5	0 a 4	0 a 4.3	0 a 2
MESOTRÓFICO	1.0 a 15	4.0 a 10	4.3 a 8.8	2 a 6
EUTRÓFICO	15 a 140	> 10	> 8.8	> 6



**Índice de Walker (1979)**

$$I = ( I_{CA} + I_{TP} + I_{SD} ) / 3$$

$$I_{CA} = 20 + 33.2 ( \text{Log}_{10} CA )$$

$$I_{TP} = 15.6 + 46.1 ( \text{Log}_{10} TP )$$

$$I_{SD} = 75.3 + 44.8 ( \text{Log}_{10} ( 1/SD_{aa} ) )$$

**Donde:**

- I = Índice del estado trófico
- I<sub>CA</sub> = Clorofila a (µg/L)
- I<sub>TP</sub> = Fósforo total (µg/L)
- I<sub>SD</sub> = Profundidad de Secchi (m)

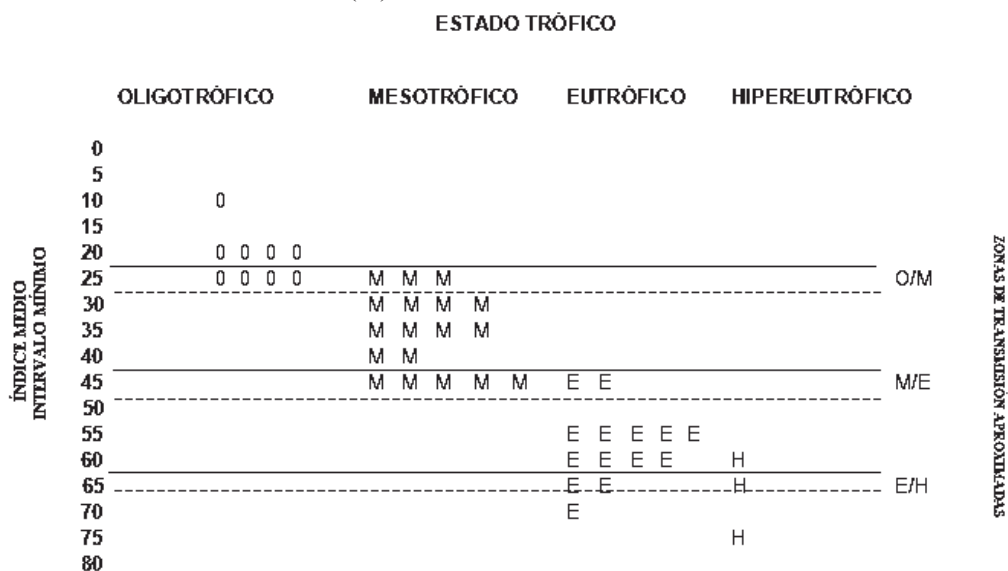


Figura 7. Estado Trófico de Walker (1979)

## **7. RESULTADOS**

### **7.1 CAPITULO I**

#### **ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA DE LOS LAGOS CRÁTER DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

## **7.1 ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA Y SUS IMPLICACIONES EN LA QUIMICA DEL AGUA EN LOS LAGOS CRÁTER DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

### **7.1.1 RESUMEN**

En el presente trabajo se determinaron las variables morfométricas, físicas, químicas y biológicas de los Lagos Cráter del Estado de Michoacán, con el fin de caracterizar los patrones de estratificación y mezcla que tienen lugar en la columna de agua. Se tomaron muestras mensuales en un ciclo anual (2009 a 2010) de superficie a fondo con intervalos de un metro, determinando los atributos morfométricos y 22 parámetros fisicoquímicos y Clorofila a. Se determina que las Albercas de Tacámbaro, Los Espinos y Teremendo son sistemas cálidos monomícticos con circulación en invierno, influyendo la estratificación térmica en la composición química espacial y temporal en los tres vasos lacustres. En la estratificación se desarrolla en los sistemas cratericos un epilimnio cálido, oxigenado, básico, de aguas moderadamente blandas y productivas, así como un hipolimnio anóxico, ligeramente ácido a ligeramente básico, poco productivo, con elevadas concentraciones de nutrimentos derivados de la mineralización de la materia orgánica y la reducción del Nitrógeno como nitratos. En la circulación se desarrolla una columna homogénea químicamente, poco productiva con alta reserva alcalina, variaciones influenciadas por la morfometría de los vasos lacustres y la presencia de los productores primarios.

### **7.1.2 INTRODUCCIÓN**

Los lagos profundos en México que son considerados cálidos monomícticos, se encuentran en vasos lacustres pequeños, los cuales presentan circulación en la temporada fría (Alcocer y Bernal-Brooks 2010). Alcocer *et al.* (2000), presentan una regionalización que amplía la distribución de los lagos tropicales en el país, reconociendo la variabilidad climática en función de la altitud, modificando los patrones de circulación y mezcla de embalses pequeños poco profundos.

En la parte central del país el lago con mayor someridad que presenta un periodo de mezcla en invierno y estratificación el resto del año es Zempoala (Quiroz *et al.* 2008) con una profundidad anual de 8 metros y una altitud de 2800 msnm. En los de tipo cráter

la profundidad mínima que permite esta categoría es de 13 metros, con una altitud de 180 msnm (Torres-Orozco *et al.* 1994), característica que permitirá el desarrollo de un hipolimnio anóxico, un aumento del CO<sub>2</sub> en verano y un incremento en la concentración de nutrientes en la estratificación tardía (Macek *et al.* 1994, Alcocer *et al.* 2000, Oliva *et al.*, 2001 y Vázquez *et al.* 2004 y 2005), influyendo en la distribución de las comunidades biológicas en la columna (Margalef 1983). Pero no solo el clima, la altitud y la latitud influyen en la estratificación y mezcla de la columna, también la morfometría de los vasos lacustres determinan el inicio y permanencia de holomixis, ya que el desarrollo de litoral influye en la formación de corrientes influenciadas por el viento que definirán la estabilidad de la termoclina en la columna. En el estado de Michoacán existen tres lagos cráter los cuales oscilan entre los 9 y 26 metros de profundidad, ocupando aparatos volcánicos que fueron construidos en el Pleistoceno (Garduño *et al.* 1999). Se desconoce su clasificación térmica y la relación que guarda esta con los procesos químicos presentes en la columna de agua, influyendo en la distribución de los productores primarios espacial y temporalmente, por ello el presente trabajo pretende describir dicha relación y establecer el régimen térmico del complejo lacustre.

### 7.1.3 AREA DE ESTUDIO

La Alberca de Tacámbaro se ubica a los 19° 12' 41.71" N y 101° 27' 36.27" W dentro de la región hidrológica número 18 correspondiente al Río Balsas (INEGI 2006). La Alberca de Teremendo se localiza a los 19° 48' 25.14" N y 101° 27' 15.52" W y la Alberca de Los Espinos se ubica a los 19° 54' 24.73" N y 101° 46' 6.39" W, ambas inmersas en la región hidrológica número 12 correspondiente al sistema Lerma Chapala (INEGI 2006). En la parte central norte del estado de Michoacán (Figura 1.1), dentro del Cinturón Volcánico Mexicano, en región conocida como el Corredor Tarasco el cual es resultado de una subducción que se constituye de magma calcialcalino (Garduño *et al.*, 1999), conformado por rocas ígneas extrusivas de composición básica, de las cuales sobresale el basalto (INEGI 1977, 1978 y 1996).

Los suelos de origen volcánico son ricos en hierro, algunos de ellos con advocación forestal conformados por Andosoles ocrícos y Cambisoles distrícos en el cráter de Tacámbaro, Feozem halpíco en el cráter de Teremendo y Chernozem y Podzólico en el Cráter de Los Espinos, estos últimos ricos en materia orgánica y con una alta capacidad de

intercambio catiónico (INEGI 1983, 1979, 1996). El clima predominante en la región es cálido sub húmedo con lluvias en verano, con precipitaciones invernales marcha tipo Ganges (García 1988).



Figura 1.1. Ubicación Geográfica de los Lagos Cráter de Michoacán

#### 7.1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

##### *Batimetría y Morfometría*

Los atributos morfométricos se obtuvieron siguiendo los criterios de Hakanson (1981), obteniendo 208 puntos en Tacámbaro, 211 en Teremendo y 244 en Los Espinos, determinando las variables enlistadas en el Cuadro 1.1.

##### *Parámetros fisicoquímicos y biológicos*

Se realizaron muestreos mensuales de febrero del 2009 a enero del 2010, en el sitio central y más profundo de cada uno de los lagos, para tener una representación de la columna y la zona de convergencia de corrientes, en donde fueron determinados 23 parámetros; temperatura del aire, transparencia, zona fótica, profundidad, temperatura del

agua, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, pH, alcalinidad total, alcalinidad parcial, hidroxilos, carbonatos, bicarbonatos, dureza total, demanda biológica de oxígeno, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno como nitratos, Nitrógeno como nitritos, Fósforo total, Fósforo reactivo y clorofila a, siguiendo los criterios de APHA AWWA WPCF (1992).

#### *Análisis de resultados*

Los datos obtenidos fueron procesados en el programa Surfer versión 8, para la obtención de clinas y perfiles, mientras que los gráficos de líneas y barras se obtuvieron con Office 2007. Los análisis estadísticos, así como los análisis de varianza fueron realizados en el paquete JMP versión 3.2.2.

### 7.1.5 RESULTADOS

#### *La Alberca de Tacámbaro*

El Lago Cráter La Alberca de Tacámbaro presenta un vaso cóncavo característico de los sistemas de origen volcánico, cuyo desarrollo de volumen indica que su fondo es elíptico asemejando una parábola. Es el lago con la menor área de los tres cráteres, conteniendo 3,783 km<sup>3</sup> de agua, con un desarrollo de litoral corto y una profundidad relativa elevada, característica de sistemas volcánicos, así como una profundidad de gravedad cercana al fondo (Cuadro 1.1 y Figura 1.2).

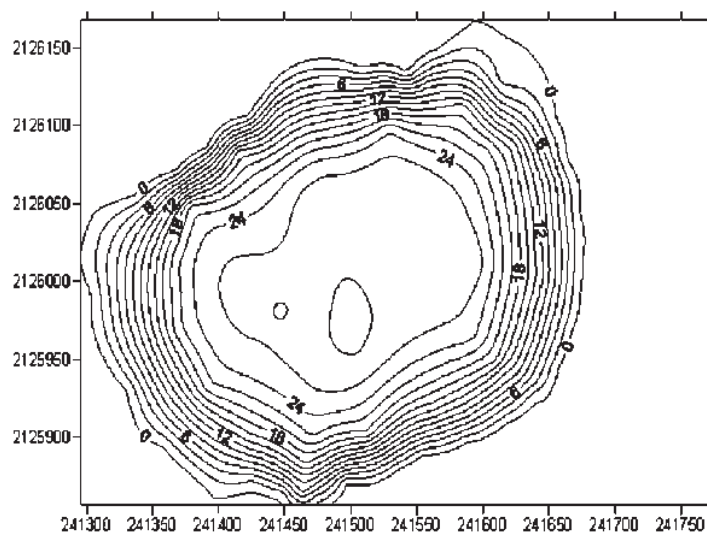


Figura 1.2. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Tacámbaro

Cuadro 1.1. Relaciones Morfométricas de Los Lagos Cráter de Michoacán, México.

VARIABLE	TACÁMBARO	ESPINOS	TEREMENDO	Unidad
Longitud máxima (I)	374.9	364.39	471.67	m
Longitud efectiva ( $L_f$ )	374.9	364.39	471.67	m
Línea de Costa (L)	1,121.95	1,020.97	1,455.58	m
Profundidad Máxima ( $Z_m$ )	28	28	9	m
Área (A)	286.60	322.86	648.46	km <sup>2</sup>
Volumen (V)	3,783.12	5,525.08	3, 139.33	km <sup>3</sup>
Desarrollo litoral ( $D_L$ )	0.00105386	0.00099293	.0221555	
Desarrollo del volumen ( $D_V$ )	1.41	1.31	1.61	
Profundidad relativa ( $Z_r$ )	4.63	4.36	0.99	%
Profundidad media (Z)	13.19	12.26	4.84	m
Profundidad de gravedad ( $Z_g$ )	25	24	7.2	m

Con respecto a la temperatura del agua, La Alberca de Tacámbaro presenta una columna estratificada de marzo a noviembre (Figura 1. 3), con el máximo de temperatura de Mayo a Septiembre de la superficie hasta los 6.5 metros, la cual presenta un epilimnio cálido que inicia a los 5, 7, 9 hasta alcanzar los 10 metros y un metalimnio con un espesor de 1.5 a 2 metros, con un evento de holomixis de Diciembre a Febrero con oscilaciones térmicas anuales de 17.1 a 28.4 °C, en donde la columna de agua en Febrero fue térmicamente desigual al periodo comprendido de Mayo a Octubre (F 2.103 y Prob>F 0.0232).

Se registra la presencia de oxiclina en el metalimnio de Marzo a Diciembre (Figura 1. 4), con un epilimnio oxigenado con la mayor concentración del gas a los 4 metros en Mayo, mientras que se desarrolla un hipolimnio hipóxico de Marzo a Mayo y de Octubre a Febrero, con ligera anoxia en la parte media del hipolimnio de Junio a Septiembre. Durante la holomixis, las concentraciones de oxígeno en la columna son homogéneas, desarrollando hipoxia después de los 7 metros, con oscilaciones anuales de 0 a 12.5 mg/L , sin observarse diferencias significativas en los promedios mensuales del Oxígeno Disuelto en el ciclo anual (F 0.8364 y Prob>F 0.6040).

La concentración iónica del lago cráter se incrementa en el periodo de circulación (Figura 1. 5), presentando una columna de agua con elevadas concentraciones de sólidos totales disueltos y de conductividad eléctrica, variables que disminuyen al comenzar la formación de estratos térmicos, dando lugar a un epilimnio de baja conductividad en

Marzo y de Mayo a Noviembre y un hipolimnio con elevada conductividad de Abril a Septiembre y de Noviembre a Enero. Mientras que de Septiembre a Octubre se desarrolla un hipolimnio de baja conductividad en la parte media y superficial de esta capa.

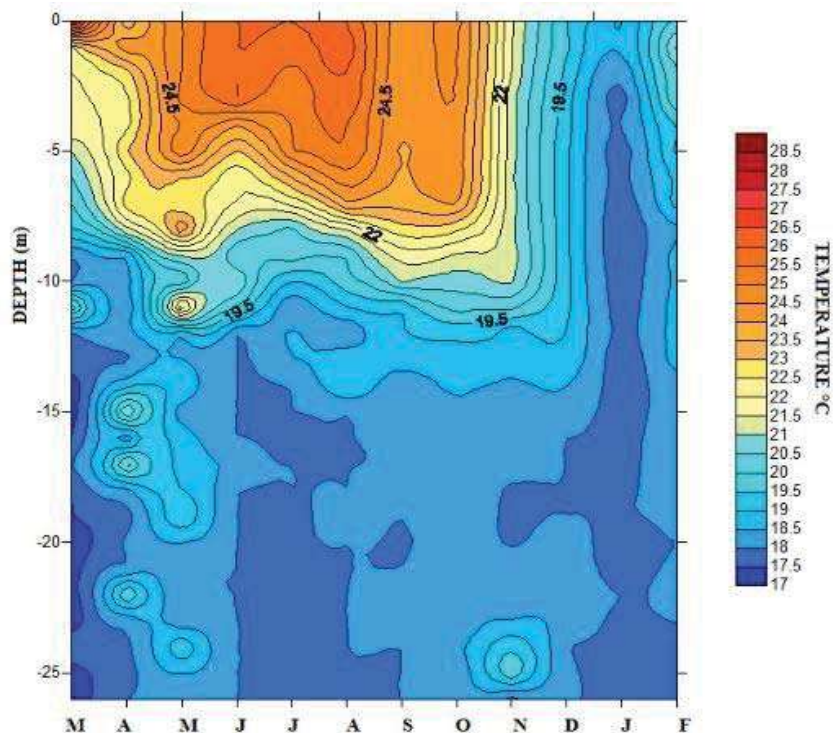


Figura 1. 3. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

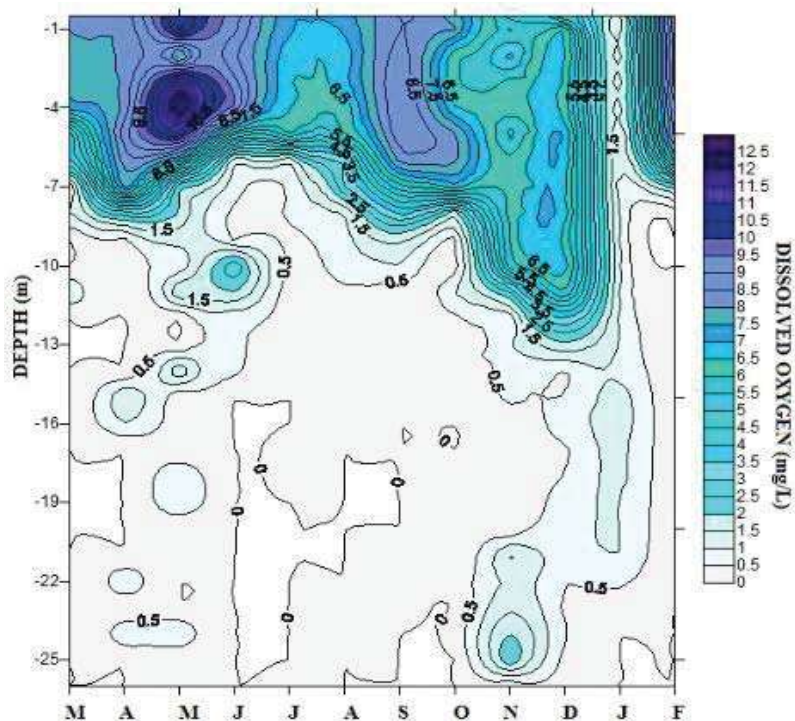


Figura 1. 4. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro



El promedio mensual de iones disueltos muestra que los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Octubre son significativamente parecidos, mientras que Abril, Mayo, Julio, Agosto, Noviembre, Diciembre y Enero son significativamente similares a diferencia del mes de Febrero el cual fue diferente al resto del año ( $F = 61.6722$  y  $Prob > F < .0001$ )

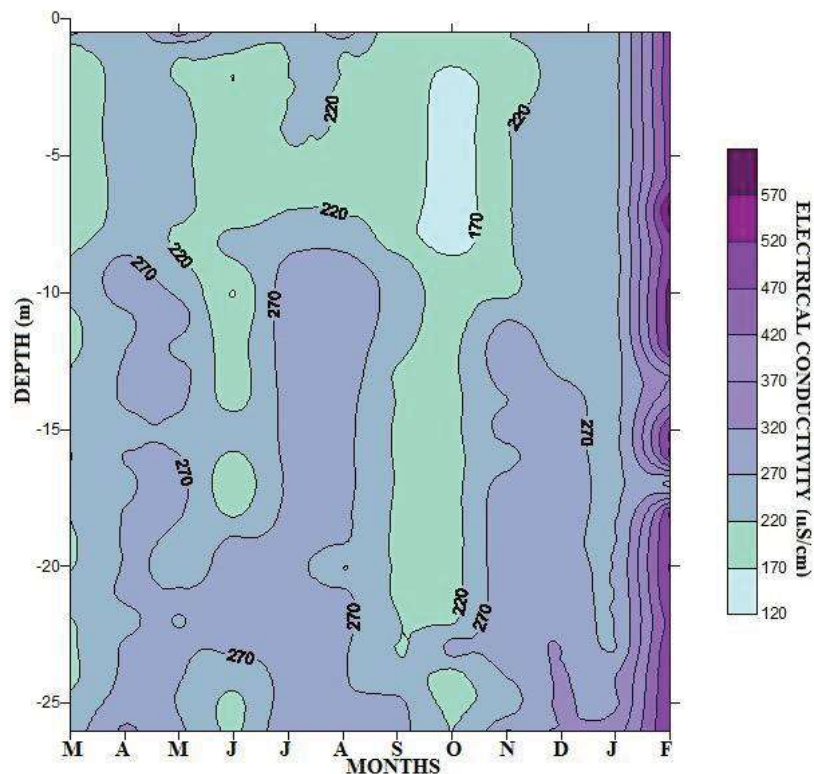


Figura 1. 5. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

La Alcalinidad Total (Figura 1. 6) en la columna de agua es elevada después del evento de mezcla en la estratificación temprana, la cual disminuye de Mayo a Enero y se incrementa en el fondo de Agosto a Septiembre, el máximo se encuentra en el hipolimnion de Abril a Mayo y no son evidentes diferencias significativas entre capas térmicas, mas sin embargo si existen diferencias en los promedios mensuales, siendo Abril, Mayo y Febrero significativamente iguales, difiriendo del resto de los meses, mientras que de Marzo a Octubre se registra el mismo comportamiento, difiriendo Noviembre al resto del año ( $F = 204.037$  y  $Prob > F < .0001$ ).

Con respecto a los aniones que contribuyen a la alcalinidad del medio se encuentra que se disponen de menor a mayor concentración de superficie a fondo, predominando los

Bicarbonatos en todo el año, incrementándose la concentración de Carbonatos de Mayo a Julio y en Noviembre, mientras que se observa en bajas concentraciones presencia de Bióxido de Carbono de Marzo a Abril y de Septiembre a Octubre así como de Diciembre a Febrero en la columna, sin concentraciones de radicales hidroxilo en el periodo de estudio (Figura 1. 7).

Las concentraciones de Bicarbonatos son en Abril, Mayo y Febrero significativamente iguales, difiriendo del resto de los meses, mientras que de Junio a Diciembre la presencia de dichos aniones es estadísticamente similar difiriendo de este grupo el mes de Octubre ( $F_{204.037}$  y  $Prob > F < .0001$ ). Con respecto a los Carbonatos se encuentra que sus concentraciones son significativamente similares de Junio a Noviembre con excepción de Octubre, el cual es estadísticamente similar al grupo formado de Diciembre a Mayo ( $F_{4.639}$  y  $Prob > F < .0001$ ).

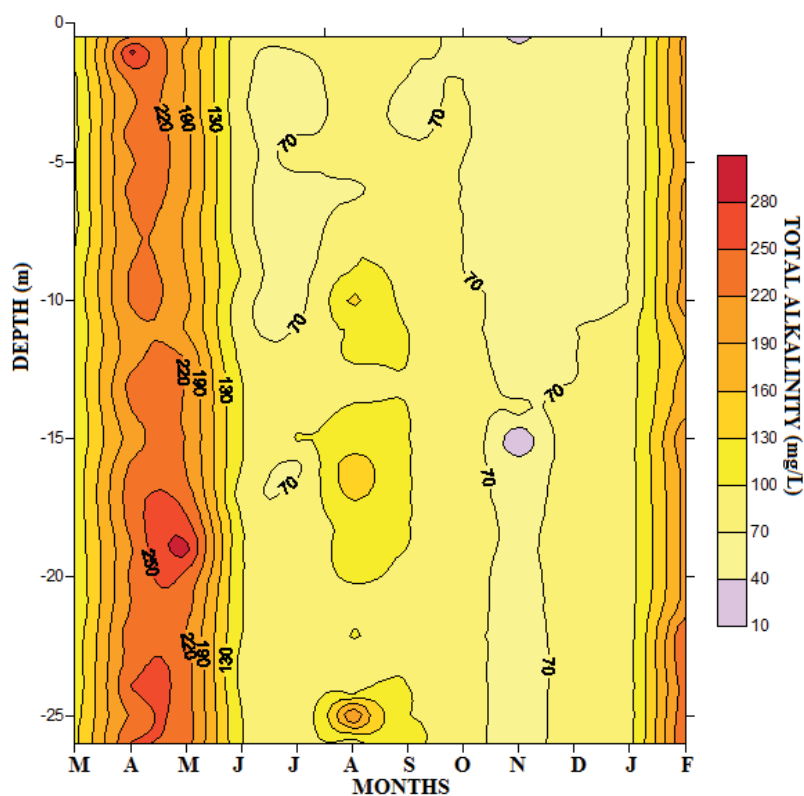


Figura 1. 6. Distribución vertical de Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

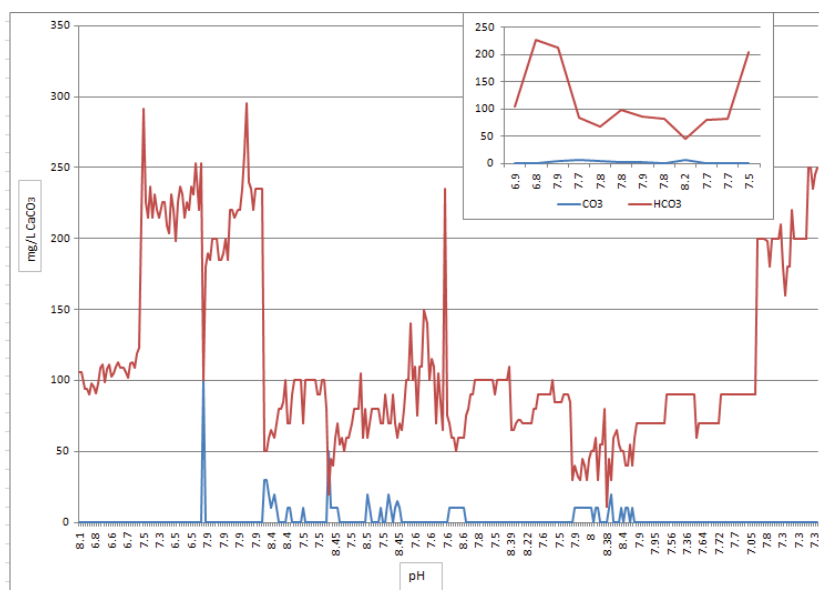


Figura 1. 7. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

En la columna de agua el Potencial Hidrógeno presenta su valor máximo en el epilimnio en Julio y de Agosto a Octubre, decreciendo de superficie a fondo hasta desarrollar un hipolimnio ligeramente ácido en la estratificación temprana. En el ciclo anual se observan dos incrementos en el pH en la columna de agua, ocurriendo el primero de Mayo a Junio y el segundo de Octubre a Diciembre, mientras que para el resto de los meses se observa un hipolimnio homogéneo desarrollando una ligera bacidez en el fondo (Figura 1. 8). Con respecto a los promedios mensuales, los meses de Marzo y Abril son significativamente similares, y diferentes al resto del año, mientras que de Mayo a Febrero los valores de pH son significativamente iguales ( $F = 12.265$  y  $Prob > F < .0001$ ).

La Dureza Total presenta su mínimo durante la mezcla, siendo el agua del fondo ligeramente más dura que la de superficie, incrementándose para primavera y decreciendo en toda la columna al verano, para volver a incrementar únicamente en el fondo cuando se presenta la estratificación tardía (Figura 1. 9).

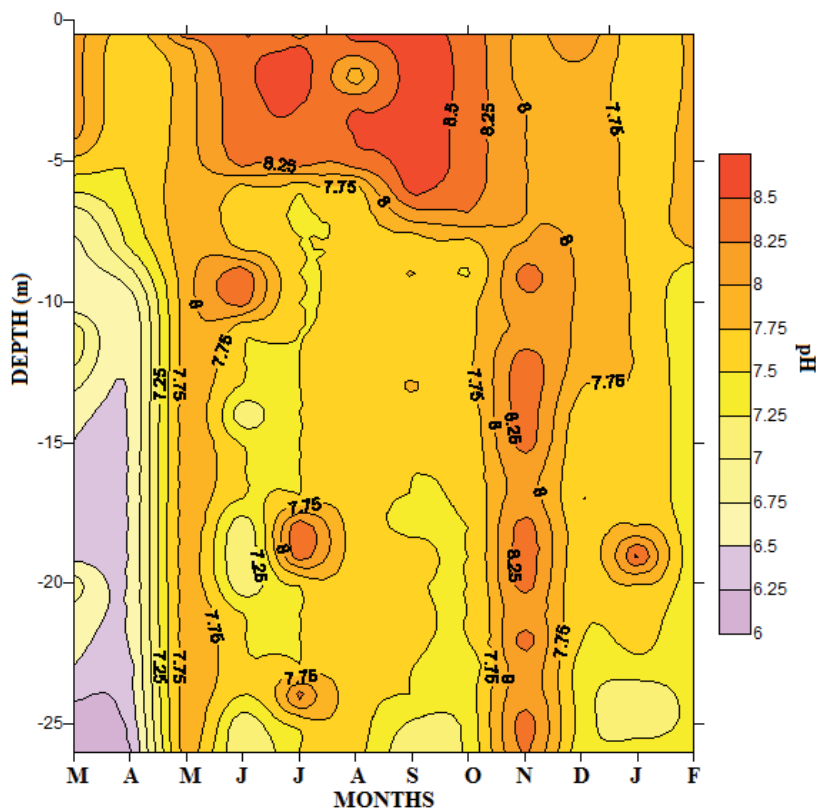


Figura 1. 8. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

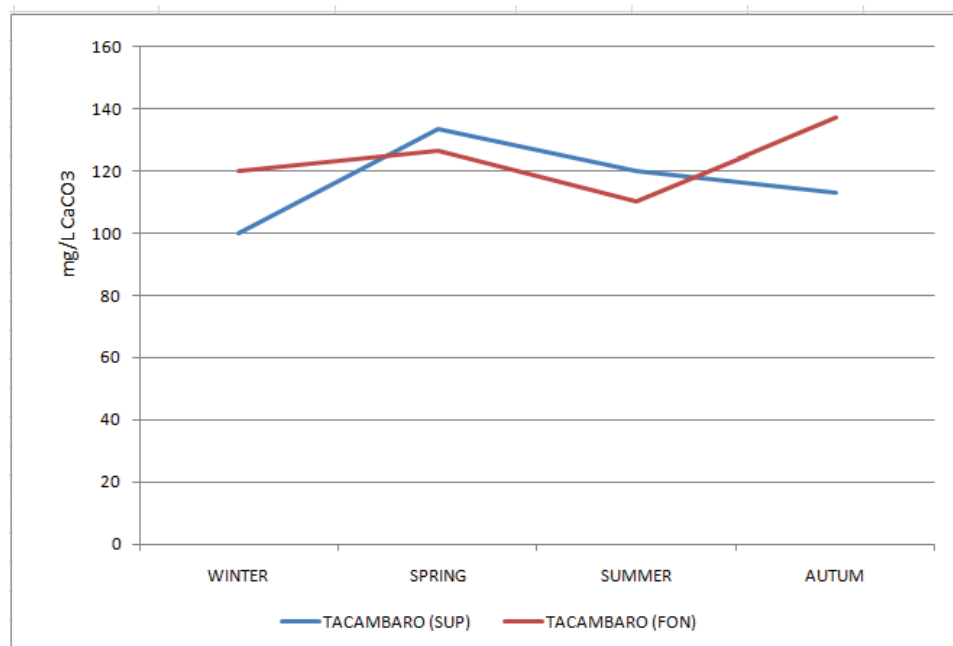


Figura 1. 9. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Tacámbaro

Con respecto a los nutrientes, las concentraciones de Nitrogeno amoniacal (Figura 1. 10 y 11) se incrementan de superficie a fondo, con el mínimo en el epilimnio de Abril a Mayo y el máximo en la parte baja del hipolimnio de Agosto a finales de Octubre, con un gradiente de disminución del nutriente debajo del metalimnio en la estratificación tardía, hasta homogenizar sus concentraciones en toda la columna en el periodo de circulación. El promedio mensual de la concentración de nitrógeno amoniacal muestra que de Marzo a Agosto no existen diferencias significativas, siendo diferentes al periodo de Septiembre a Diciembre, siendo estos últimos cuatro meses similares entre ellos ( $F_{9.020}$  y  $Prob>F <.0001$ ).

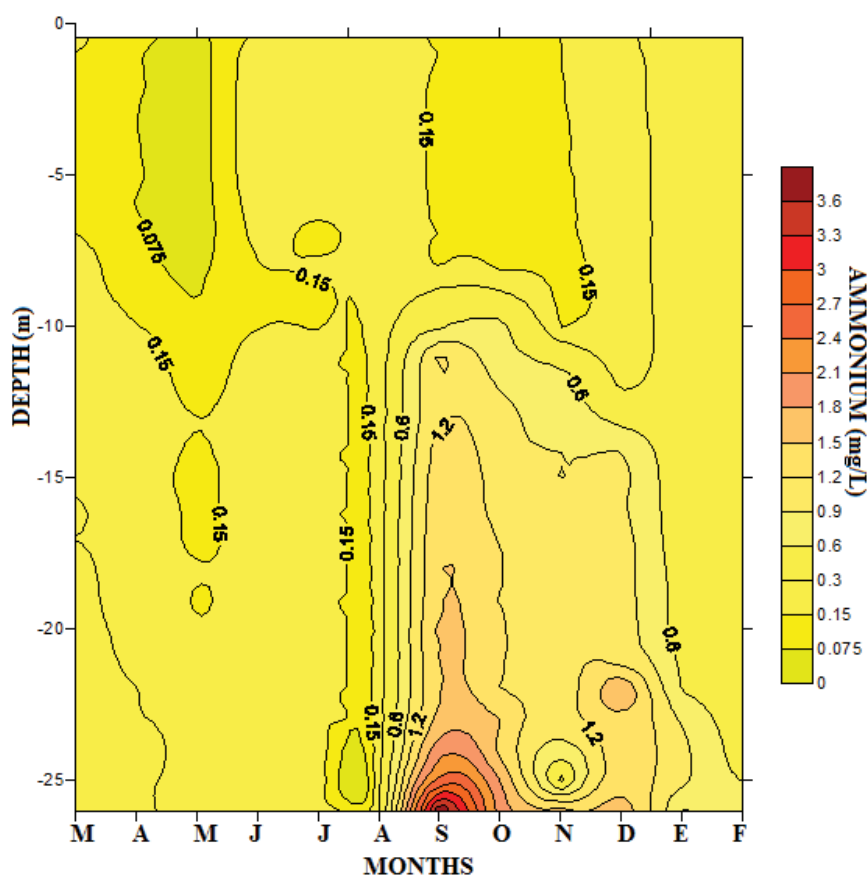


Figura 1. 10. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniacal en la columna de agua de La Alberca de Tacámbaro

Las concentraciones del Nitrógeno como nitratos se encontraron presentes en primavera y verano siendo casi imperceptibles, con el máximo en la superficie en Mayo y

el mínimo en el fondo en Septiembre, mientras que el Nitrógeno como nitritos no se detectó durante el ciclo anual a lo largo de la columna (Figura 1. 10).

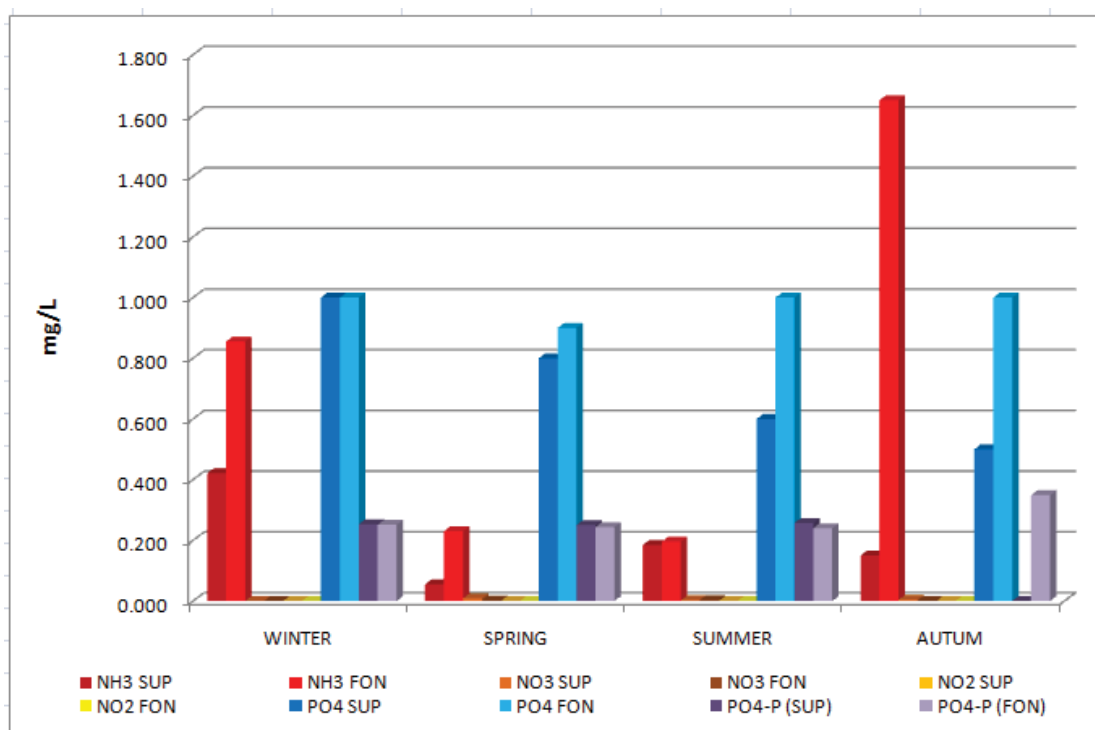


Figura 1. 11. Variación estacional de los nutrientes en La Alberca de Tacámbaro

El Fósforo Total presenta concentraciones homogéneas de superficie a fondo durante la circulación y decrece en la superficie al acentuarse la estratificación térmica, disminuyendo su disponibilidad en el epilimnio y encontrándose disponible en el hipolimnio, en donde el fondo contiene elevadas concentraciones del nutrimento. Comportamiento similar al Fosforo reactivo el cual es homogéneo de superficie a fondo en el evento de circulación y en la estratificación temprana, agotándose drásticamente sus concentraciones en la estratificación tardía en el epilimnio y metalimnio y elevando sus concentraciones en el fondo en ésta época (Figura 1. 11).

La transparencia presentó su máximo en Octubre, antes de la circulación de la columna disminuyendo a Noviembre, permitiendo que la zona eufótica abarcara hasta los 8 m, mientras que el mínimo ocurrió de Abril a Julio con un metro de transparencia, para este periodo la columna de agua presentó un olor a metano cercano a los 11 metros, el cual

disminuyó a los 16 metros en Noviembre, hasta no detectarse al inicio de la holomixis (Figura 1. 12).



Figura 1. 12. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Tacámbaro

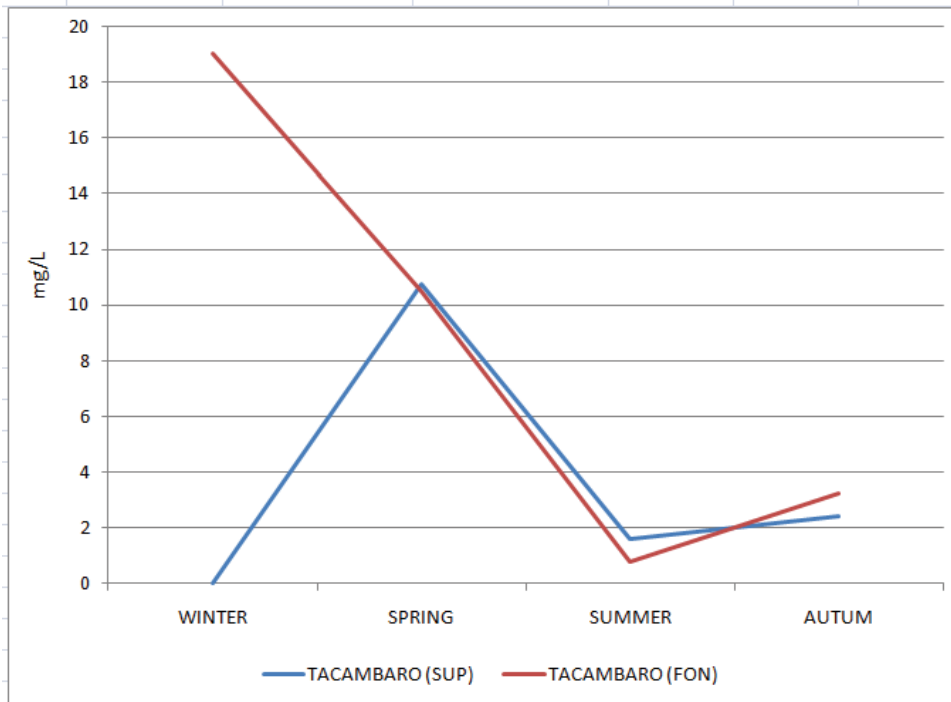


Figura 1. 13. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Tacámbaro

La Demanda Biológica de Oxígeno para la desintegración de la materia orgánica, durante la circulación fue cercana a los 19 mg/L de O<sub>2</sub> en el fondo, mientras que en la superficie fue nula, variable que para la primavera alcanzó los 10 mg/L de O<sub>2</sub> en la superficie y el fondo decreciendo en el fondo e incrementándose en la superficie con respecto a la época anterior, decreciendo mas al verano e incrementándose a el otoño (Figura 1. 13).

Con respecto a los productores primarios, se encuentra que el máximo de clorofila a se encuentra a los 8 metros en Julio, debajo del metalimnio, así como en Marzo y Octubre. Con el máximo de clorofila en el fondo a los 20 metros con 35 µg/L, cuando el epilimnio presenta su máximo espesor. Al inicio de la estratificación los productores primarios presentaron concentraciones bajas en el hipolimnio, así como en el epilimnio en la estratificación tardía, mientras que en la circulación la columna fue homogénea con mayores concentraciones en el fondo que en la superficie (Figura 1. 14), Concentraciones que fueron significativamente iguales en el ciclo anual con excepción de Febrero y Enero, los cuales presentaron las concentraciones mínimas (F 1.10 Prob>F 0.3642).

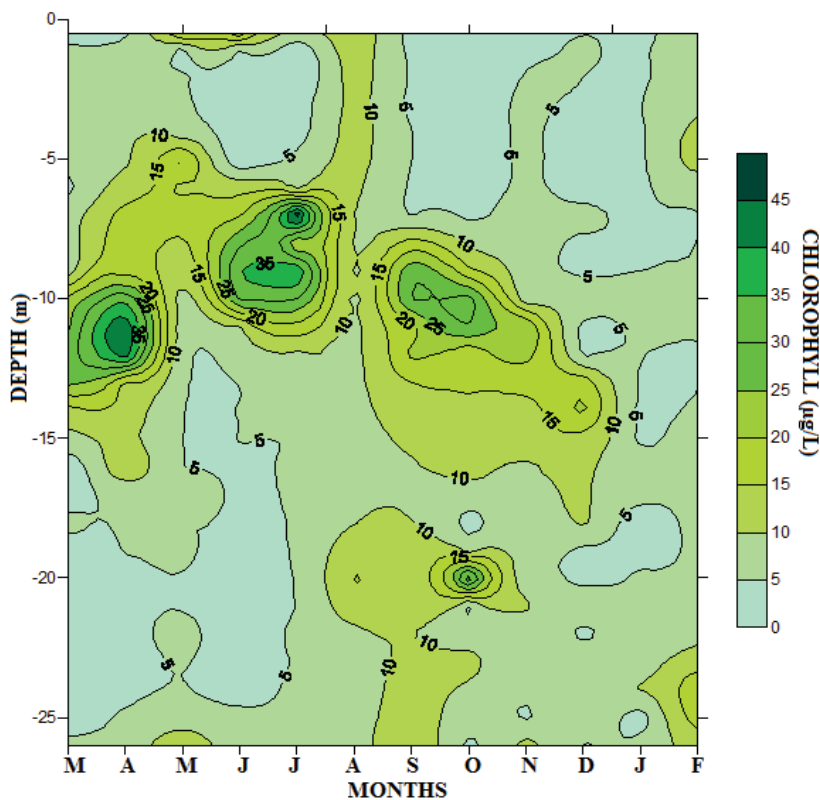


Figura 1. 14. Variación vertical de la clorofila “a” en La Alberca de Tacámbaro.



*La Alberca de Los Espinos*

Es el sistema con mayor volumen de los tres lagos cratéricos del estado. Presenta un vaso cóncavo, con un desarrollo de litoral corto, de profundidad relativa elevada, con un fondo elíptico evidenciado por su desarrollo de volumen. La forma del lago es elíptica con una profundidad máxima de 28 m, con una longitud corta en relación a las otras albercas del estado y una profundidad de gravedad cercana al fondo (Cuadro 1 y Figura 1. 15).

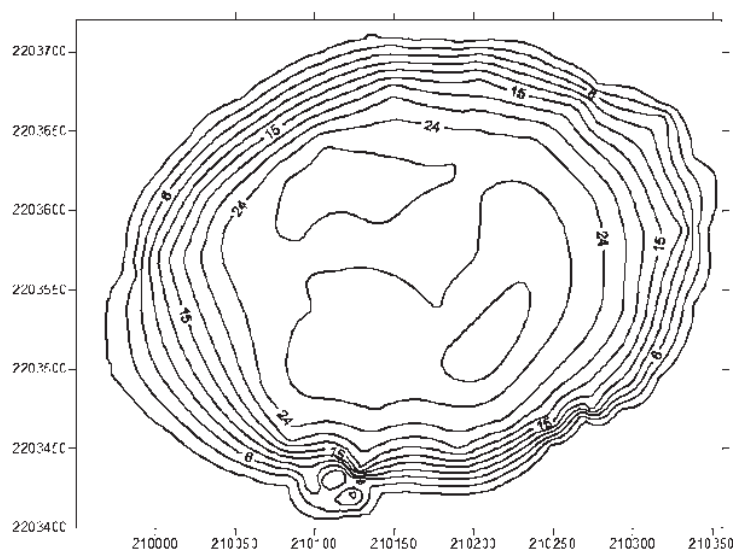


Figura 1. 15. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Los Espinos

La columna de agua presenta estratificación térmica de Marzo a Noviembre con una ampliación del epilimnio que comienza de 4, 10 hasta 13 metros antes de la holomixis, presenta una variación en la temperatura anual de 16 a 26 °C, mientras que en la circulación la diferencia térmica de la superficie al fondo es de 1 °C. El metalimnio en la estratificación temprana presenta un espesor de tres metros el cual alcanza una amplitud de 9 metros en la estratificación tardía. Con un hipolimnio frío durante todo el año. Y un evento de mezcla en la estación fría abarcando de Diciembre a Febrero (Figura 1. 16). Variaciones térmicas significativamente diferentes en dos ciclos, el evento de mezcla (Diciembre a principios de Marzo) y el periodo de Junio a Octubre con una estratificación térmica bien definida ( $F = 6.37$  y  $Prob > F < .0001$ ).

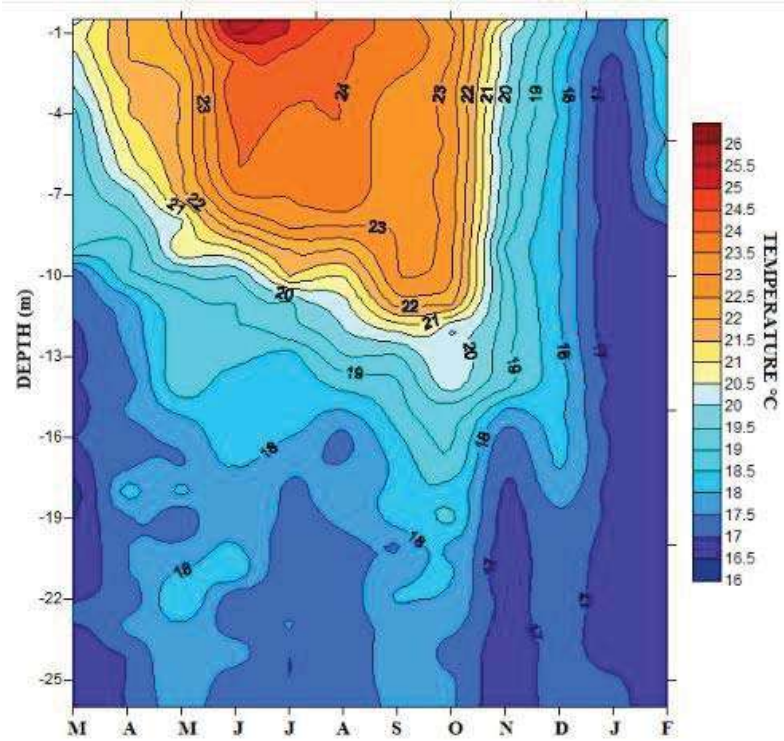


Figura 1. 16. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos

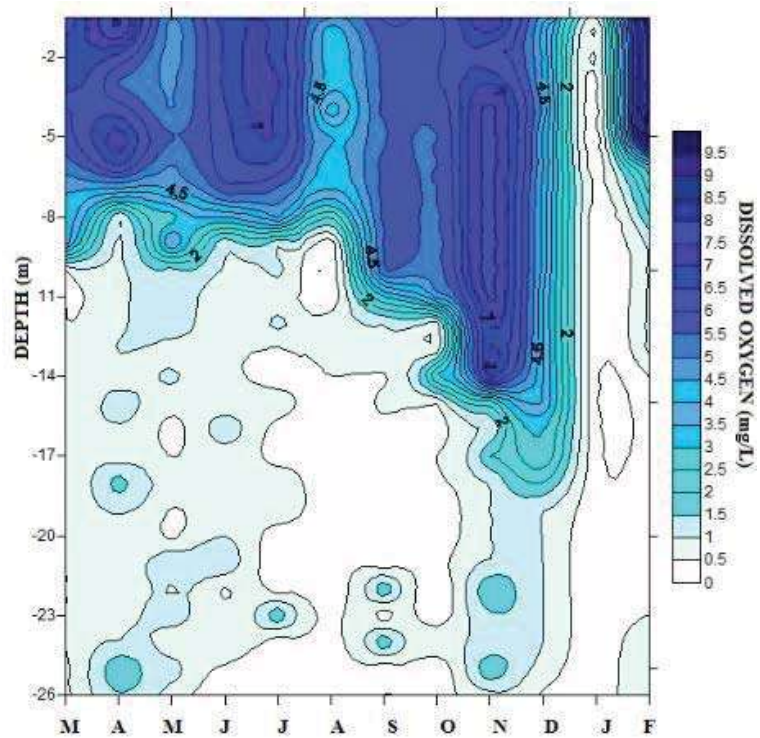


Figura 1. 17. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos

Con respecto al Oxígeno Disuelto, se encuentra una columna influenciada por la estratificación térmica la cual presenta un epilimnio oxigenado en el periodo de estratificación, con las concentraciones más altas del gas en la superficie de la columna en Abril, mientras se desarrolla un metalimnio oxigenado a lo largo de la estratificación con un hipolimnio hipóxico con anoxia de Julio a Octubre, mientras que en la holomixis se desarrolla anoxia de los 3.5 metros al fondo e hipoxia en la superficie, con una oscilación anual de 0 a 9.5 mg/L (Figura 1. 17). Variaciones que indican diferencias significativas entre Noviembre, donde se observó la mayor concentración del gas en el ciclo anual y Agosto y Febrero, los cuales presentan la menor concentración del gas, siendo similares las concentraciones de dicho compuesto el resto del año (F 2.555 y Prob>F 0.005).

La cantidad de iones disueltos se incrementa después de la circulación y disminuye en la estratificación temprana, generando un epilimnio y metalimnio con bajas concentraciones de sales disueltas y un hipolimnio con elevadas concentraciones de iones libres, principalmente de Septiembre a Diciembre de los 23 a 26 metros (Figura 1. 18). El promedio mensual de la variable exhibe que la concentración de iones en Marzo presenta diferencias significativas con el resto del año (F 177.95 y Prob>F <.0001).

La Alcalinidad Total en la columna es elevada después de la circulación y decrece al acentuarse la estratificación térmica, la cual se incrementa de superficie a fondo en toda la columna con sus valores más altos en el hipolimnio de Junio a Septiembre, y el mínimo en el epilimnio y metalimnio de Noviembre (Figura 1. 19). La media mensual evidencia que de Febrero a Abril la columna presenta concentraciones similares en Alcalinidad Total, siendo diferentes a los obtenidos de Mayo a Enero (F 10.584 y P>F <.0001).

Los iones que conforman el sistema Buffer en la columna de agua se encuentran dominados por Bicarbonatos en el ciclo anual, presentando concentraciones cercanas a los 400 mg/L como  $\text{Ca CO}_3$  al inicio de la estratificación y en la parte final de la circulación, disminuyendo al establecerse las capas térmicas, presentándose de Febrero a Marzo concentraciones elevadas, encontrando bajas concentraciones de dicho anión de Abril a Enero, siendo estadísticamente diferentes dichos periodos (F81.229 y Prob>F <.0001). Con respecto a los Carbonatos, la columna evidencia concentraciones de Mayo a Enero, son encontrarse durante la circulación y en la estratificación temprana (Febrero a Abril) evidenciando diferencias entre estos dos periodos (F 10.584 y Prob>F <.0001) en el

sistema. Mientras que con respecto al Bióxido de Carbono se observa que en el periodo de circulación e inicio de la estratificación se incrementa ligeramente al no encontrarse concentraciones de carbonatos. (Figura 1. 20).

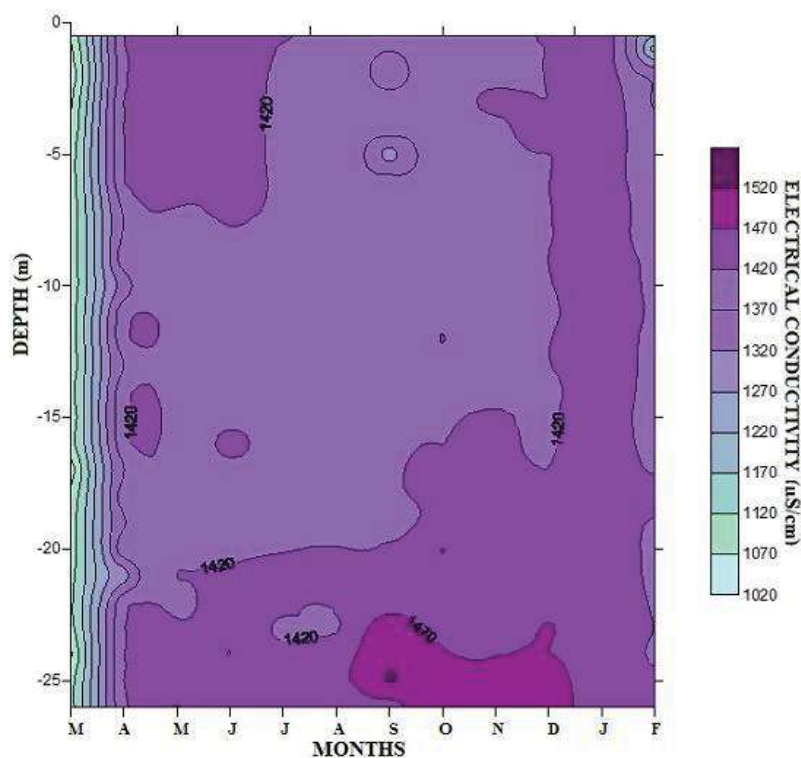


Figura 1. 18. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos

El potencial Hidrogeno en la columna de agua no alcanza la acidez durante el ciclo anual, desarrollando un epilimnio básico y un hipolimnio ligeramente básico, encontrándose una columna homogénea después de la estratificación temprana y durante la holomixis. El pH presentó sus valores máximos en la superficie de la columna de agua en Mayo y de Septiembre a Diciembre, mientras el mínimo se obtuvo en el fondo de Julio, mientras que incrementó su basicidad de la superficie a los 17 metros antes del evento de mezcla (Figura 1. 21). La media mensual muestra que de Mayo a Enero con excepción de Julio los valores de pH no presentan diferencias significativas, mientras que de Febrero a Abril y Julio los valores son menores a los obtenidos en la época estival ( $F = 18.603$  Prob  $> F < .0001$ ).

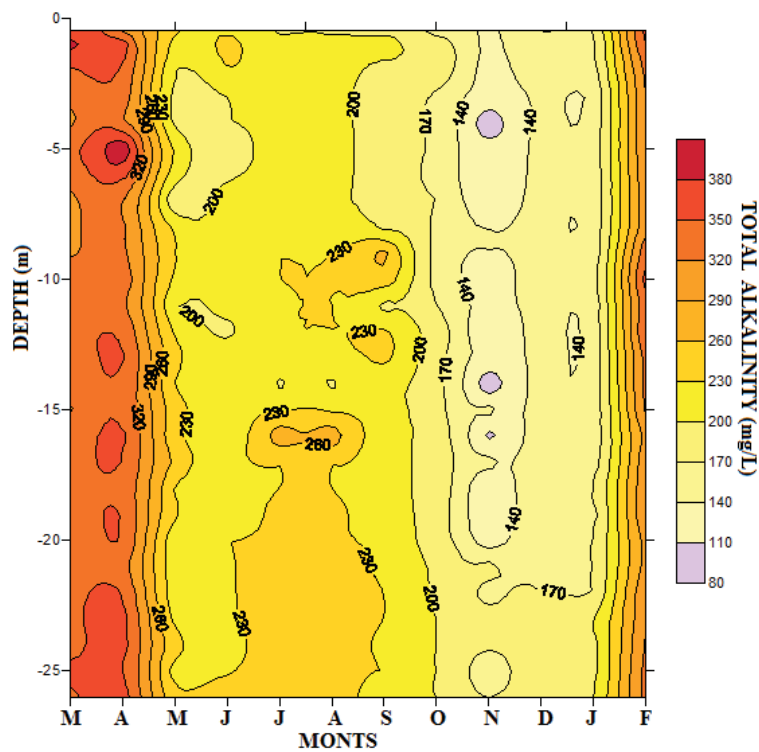


Figura 1. 19. Distribución vertical de la Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos

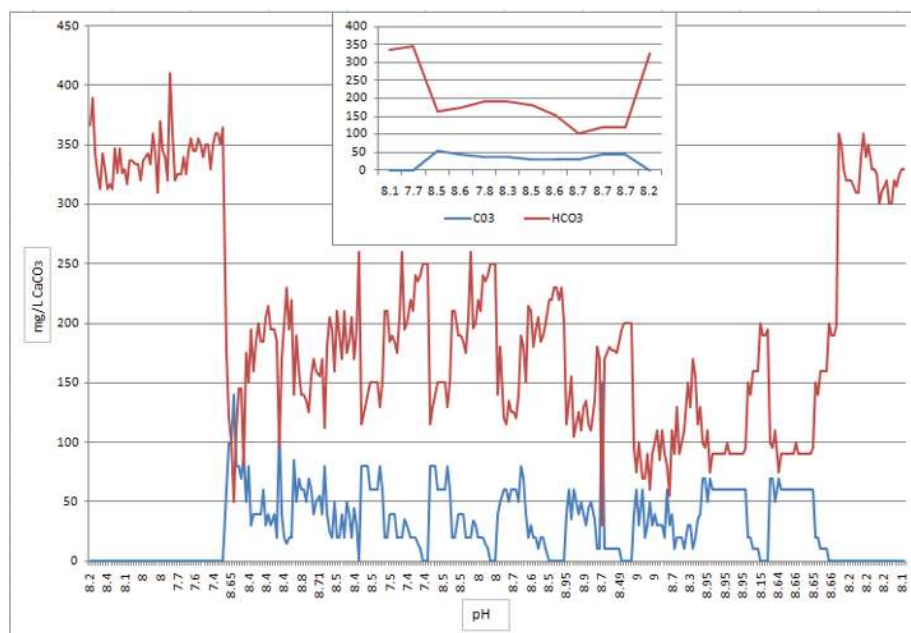


Figura 1. 20. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos.

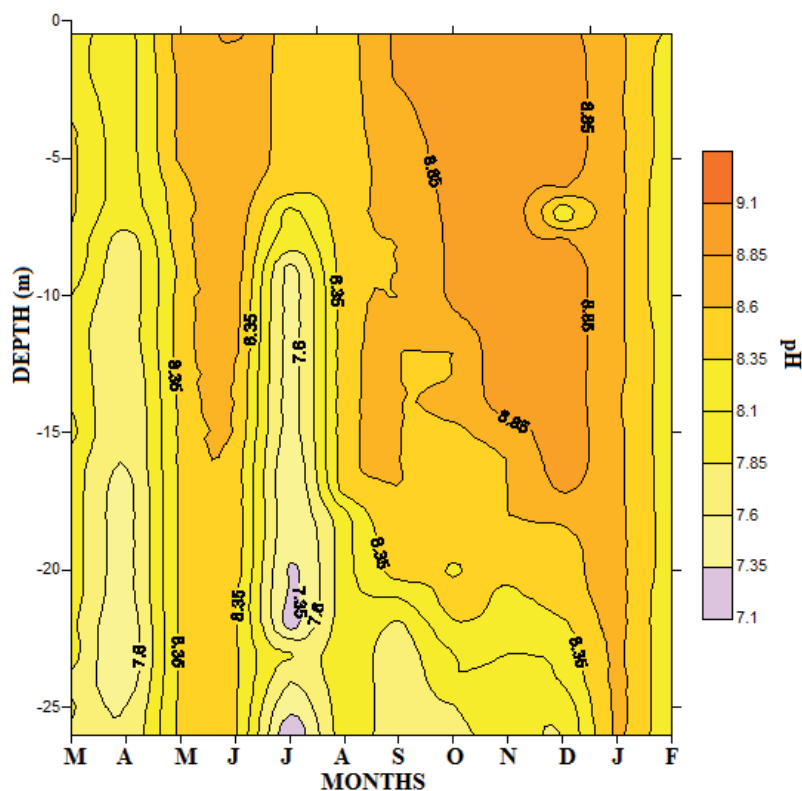


Figura 1. 21. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos.

La Dureza Total se incrementa de invierno al otoño en el fondo de La Alberca de los Espinos, mientras que en la superficie la variable se incrementa de invierno a primavera, disminuye en verano y se incrementa a otoño. Presentando su valor mínimo durante la circulación y su valor máximo durante la estratificación tardía, siendo las aguas del fondo más duras que las de la superficie (Figura 1. 22).

La concentración del Nitrógeno Amoniacal en la estratificación temprana es menor a la registrada durante el resto del año, con una columna homogénea de Junio a Febrero, interrumpida por un incremento de este nutriente en el hipolimnio de Septiembre a Enero, alcanzando una concentración de 2.8 mg/L en Octubre (Figura 1. 23). La media mensual muestra que de Marzo a Mayo las concentraciones son similares, siendo diferentes a las obtenidas de Junio a Febrero con excepción de Octubre, el cual presentó las concentraciones mas altas en el ciclo anual ( $F = 13.581$  y  $Prob > F < .0001$ ).

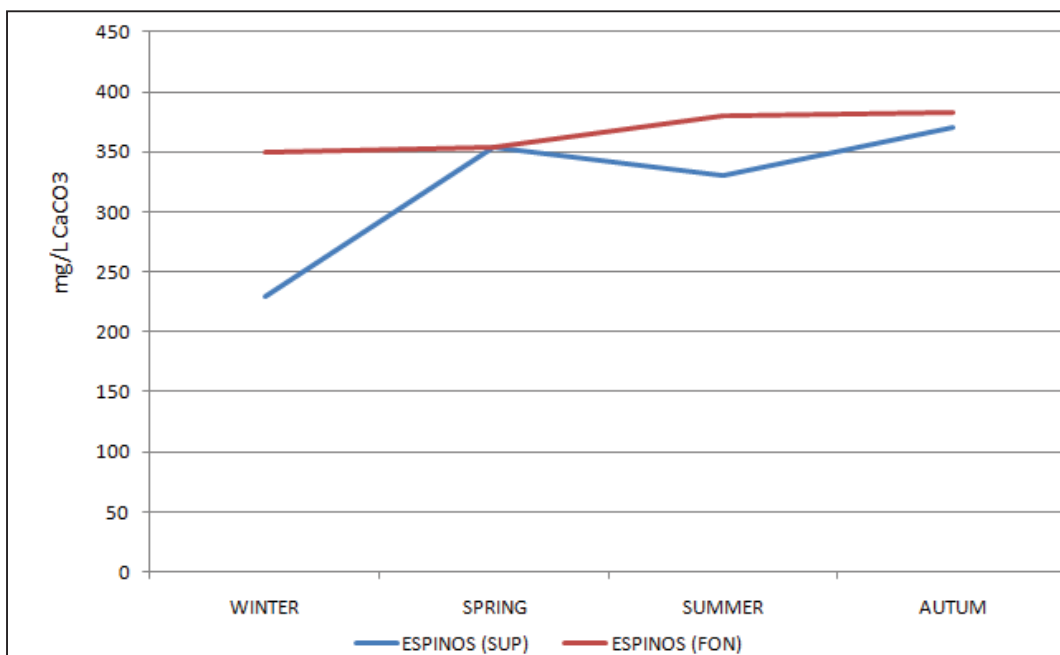


Figura 1. 22. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Los Espinos.

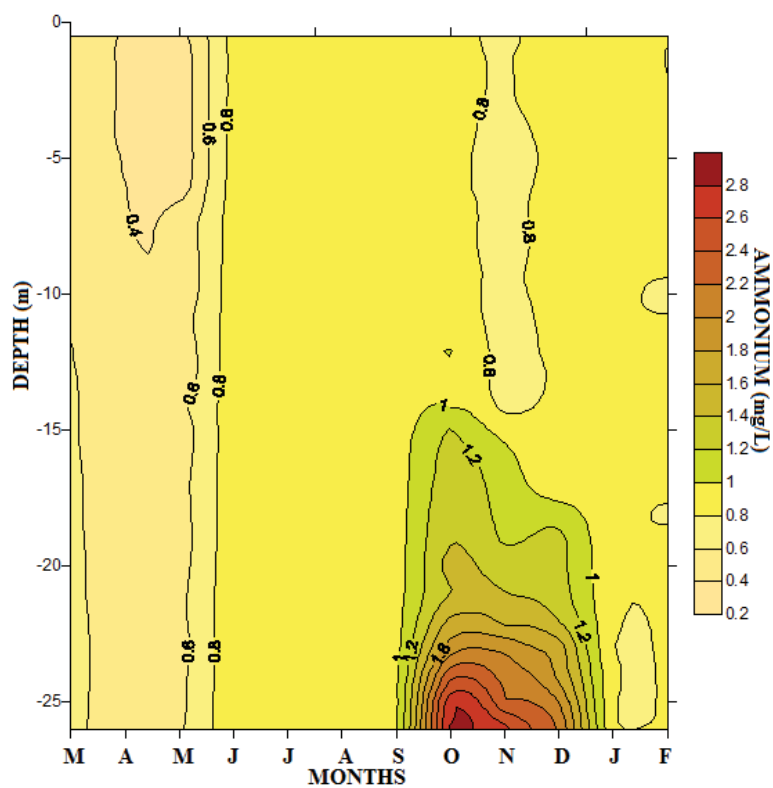


Figura 1. 23. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniaco en la columna de agua de La Alberca de Los Espinos



El Nitrógeno como Nitratos se presenta en primavera y verano, hasta no detectarse al Otoño, mientras que el Nitrógeno como Nitritos no se encontró en la columna de agua en el ciclo anual (Figura 1. 24).

El Fosforo total presenta las mismas concentraciones de la superficie al fondo durante la circulación, relación que disminuye al transcurrir la estratificación de la columna de agua, donde el Fósforo total es menor en la superficie que en el fondo, siendo una cuarta parte del Fosforo total el disponible en la superficie que el existente en el fondo. Comportamiento repetido por el Fosforo reactivo el cual disminuye su concentración en la superficie desde la circulación hasta el Otoño, e incrementándose al fondo (Figura 1. 24).

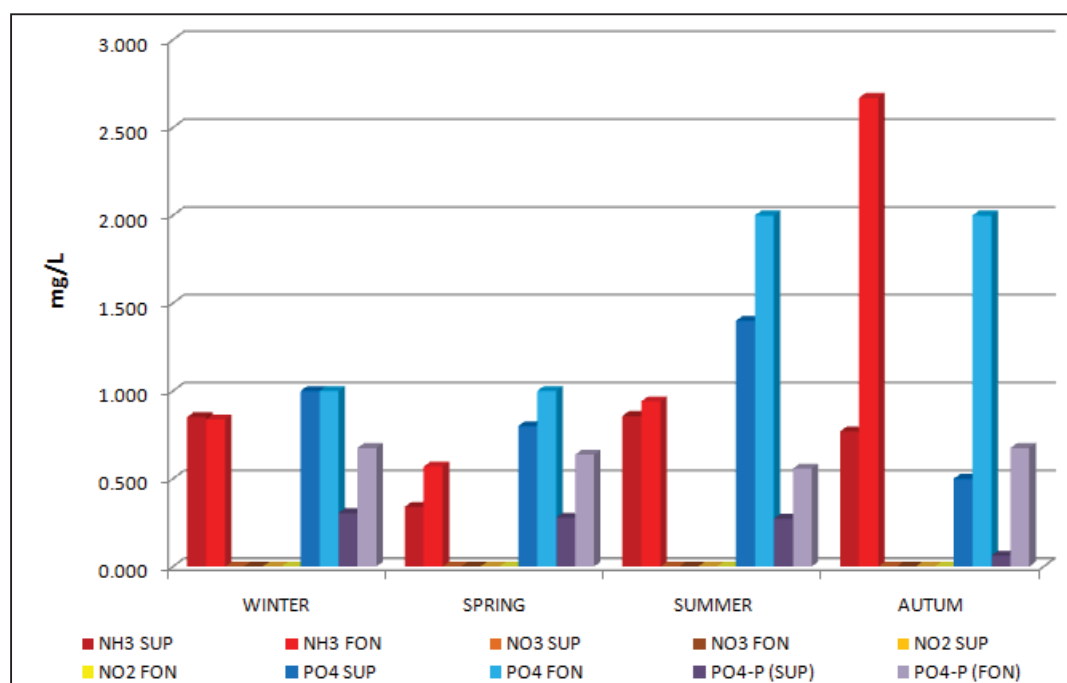


Figura 1. 24. Variación estacional de los nutrientes en La Alberca de Los Espinos



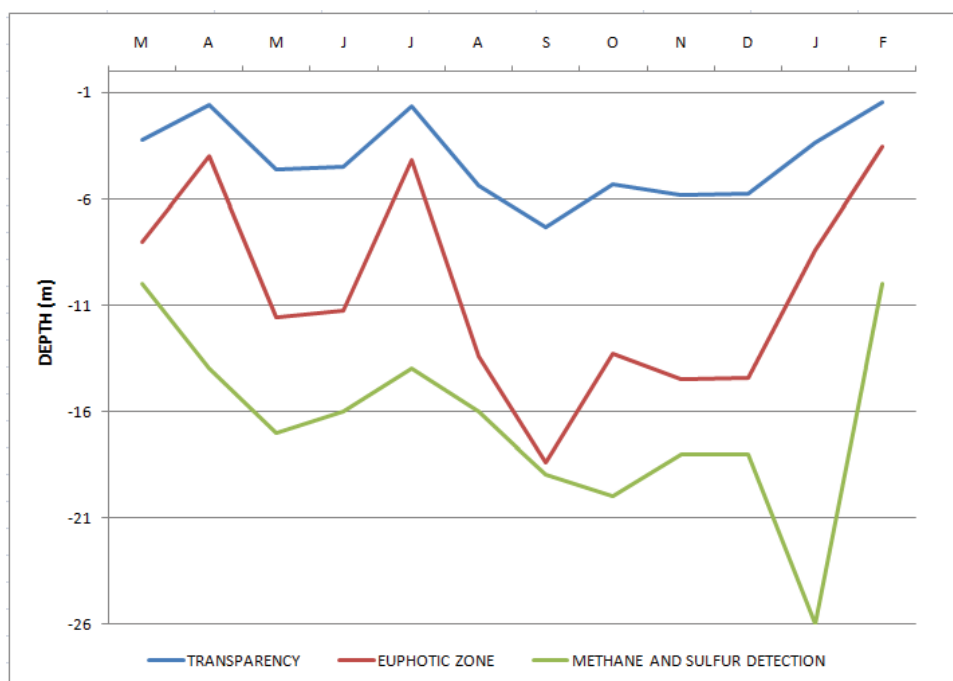


Figura 1. 25. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Los Espinos

La Transparencia en el sistema aumenta de Marzo a Septiembre ocupando en este mes su máximo, reduciéndose hacia el evento de holomixis. En Septiembre la zona eufótica ocupa su máximo espesor, llegando hasta los 17 metros, mientras que el registro del olor a Metano oscila entre los 11 y 16 metros hasta no ser detectable en Enero y comenzar a percibirse a los 11 en Febrero (Figura 1. 25).

La Demanda Biológica de Oxígeno es baja en el invierno, incrementándose en primavera, decreciendo al verano y aumentando en el fondo para octubre. Con el máximo de la demanda del gas en Otoño y el mínimo en Invierno (Figura 1. 26).

En relación a la distribución vertical de los productores primarios en la columna de agua, se encuentra que La Alberca de Los Espinos presenta un epilimnio poco productivo en la mayor parte del año, en el cual se incrementa la concentración de clorofila a de Agosto a Septiembre alcanzando hasta los 50  $\mu\text{g/L}$  de la superficie a los 16 metros, desarrollando una columna rica en carbón orgánico disponible (Figura 1. 27).

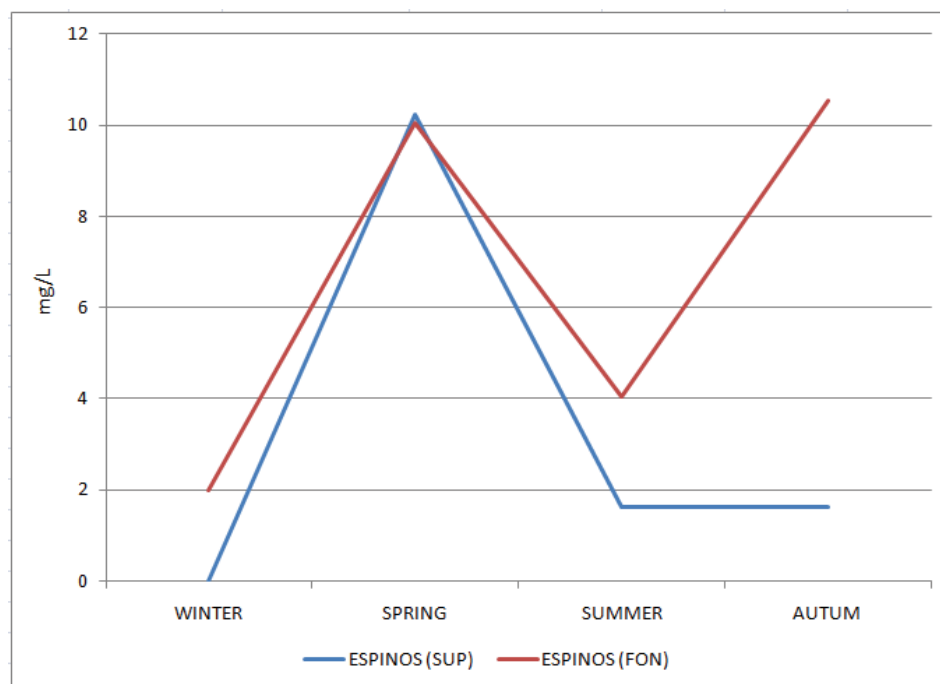


Figura 1. 26. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Los Espinos

La concentración máxima de clorofila *a* se encuentra en la superficie del mes de Febrero, una vez que el evento de mezcla llega a su término, mientras que durante la circulación la columna de agua presenta concentraciones imperceptibles de dicho pigmento fotosintético (Figura 1. 27). El máximo de clorofila en el fondo es de 50  $\mu\text{g/L}$  a los 20 metros en Septiembre y con respecto a la media mensual de la concentración de dicho pigmento, se encuentra que todo el año presenta concentraciones similares de clorofila a diferencia de Febrero donde ocurre un florecimiento algal en los primeros 15 metros de la columna ( $F$  3.756 y  $\text{Prob}>F <.0001$ ).

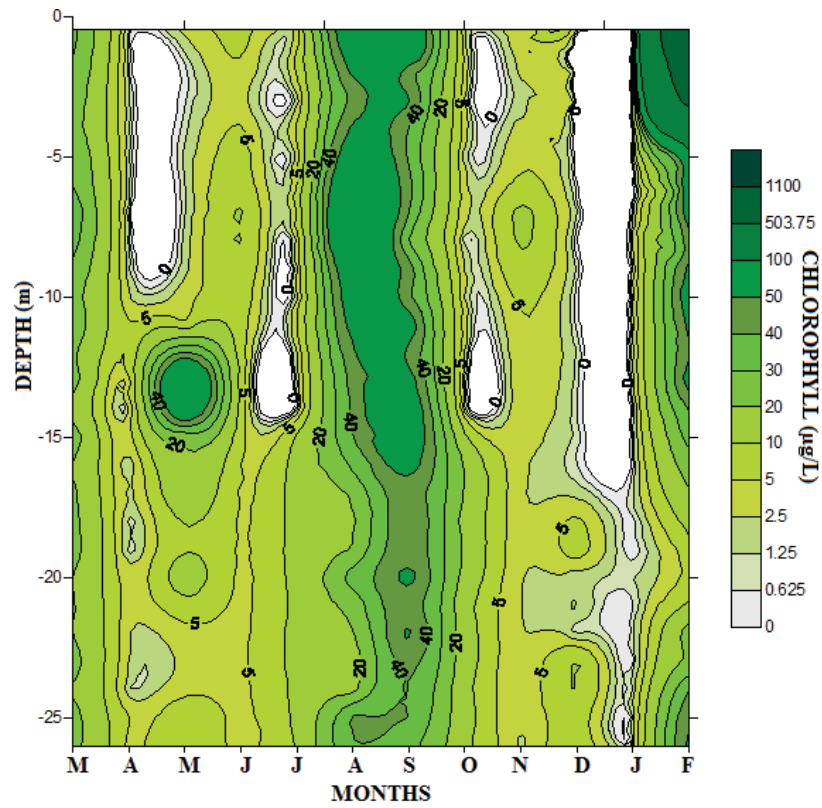


Figura 1. 27. Variación vertical de la clorofila a en La Alberca de Los Espinos.

*La Alberca de Teremendo*

Es el lago con menor profundidad de los tres lagos cratéricos existentes en el estado de Michoacán y el de mayor extensión; presenta forma circular, con un vaso cóncavo cuyo desarrollo de litoral es corto, con una profundidad relativa baja, característica de sistemas de origen tectónicoavolcánico. Su desarrollo de volumen indica que el fondo es elíptico asemejando una parábola (Cuadro 1 y Figura 1. 28).

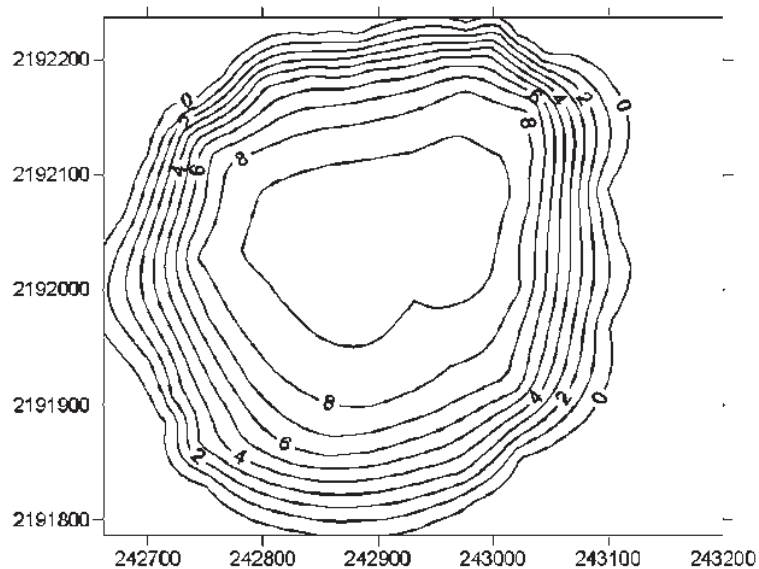


Figura 1. 28. Batimetría del Lago Cráter La Alberca de Teremendo

A pesar de la baja profundidad del lago, Teremendo presenta estratificación térmica de Marzo a Noviembre con una variación anual de 24.5 a 14 °C, desarrollando un epilimnio que se ensancha al transcurrir la estratificación y desaparece al ocurrir la holomixis, el cual comienza de los 2, 4 hasta alcanzar los 6 metros de profundidad, con un metalimnio que comienza con 1 metro de espesor hasta ensancharse a los dos metros y un hipolimnio que comienza con 5 metros de espesor para colapsar con 40 centímetros antes de la mezcla. La holomixis ocurre de finales de Noviembre a principios de Febrero, con una columna homogénea térmicamente (Figura 1. 29).

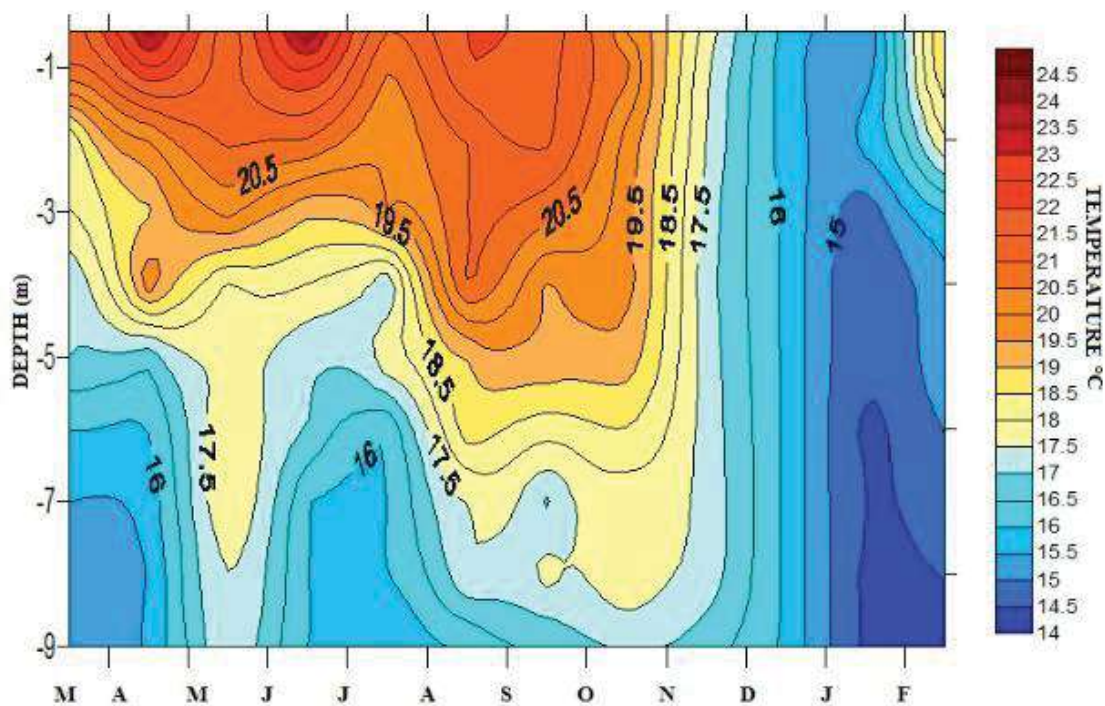


Figura 1. 29. Distribución vertical de la Temperatura en la columna de agua de La Alberca de Teremendo

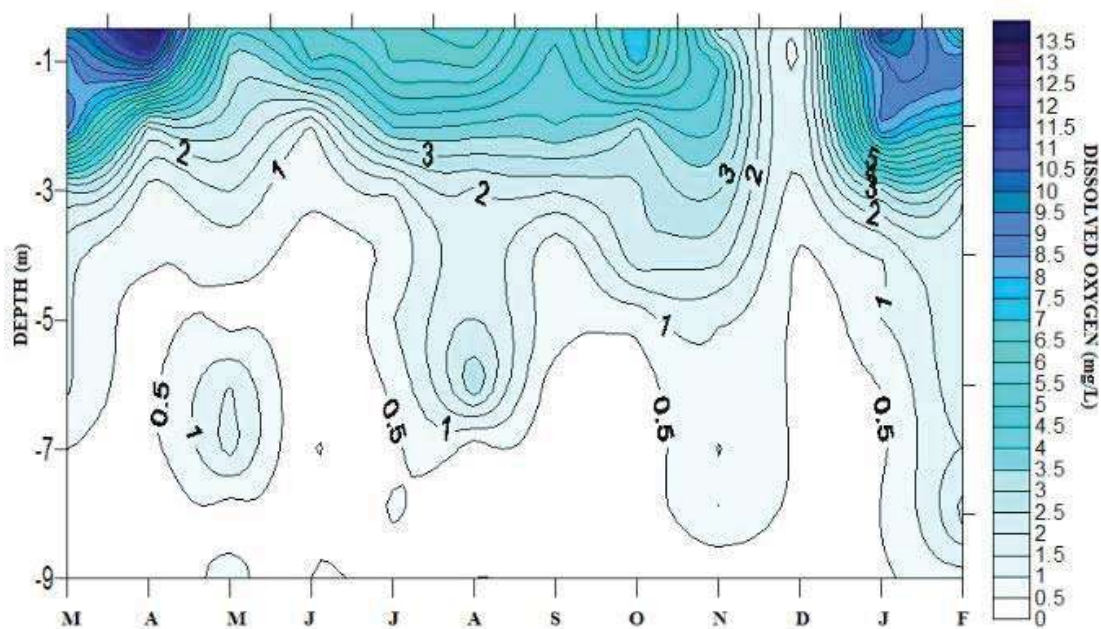


Figura 1. 30. Distribución vertical del Oxígeno Disuelto en la columna de agua de La Alberca de Teremendo

Presenta un epilimnio y metalimnio oxigenado y un hipolimnio hipóxico junto al metalimnio, con anoxia en la parte media y baja de esta capa. Durante la circulación la

columna desarrolla hipoxia de la superficie a los 4 metros y anoxia de esta profundidad hacia el fondo. Encontrándose oxígeno en toda la columna después de la mezcla. Ocurriendo el máximo de Oxígeno Disuelto en la superficie del mes de Abril, oscilando anualmente entre 0 y 13.5 mg/L (Figura 1. 30).

Con respecto a la concentración de iones disueltos, Teremendo presenta una conductividad eléctrica homogénea de la superficie al fondo de Noviembre a Febrero, la cual disminuye después de la circulación, formando estratos iónicos en la estratificación temprana, con un epilimnio de baja conductividad eléctrica durante la estratificación, y un hipolimnio con alto contenido de iones disueltos, el cual presenta la máxima conductividad eléctrica en el fondo para Octubre (Figura 1. 31). El promedio mensual evidencia que todo el año presenta concentraciones similares de iones disueltos, siendo Marzo y Mayo diferentes al resto del año, por contener concentraciones bajas en la variable (F 6.933 y Prob>F <.0001)

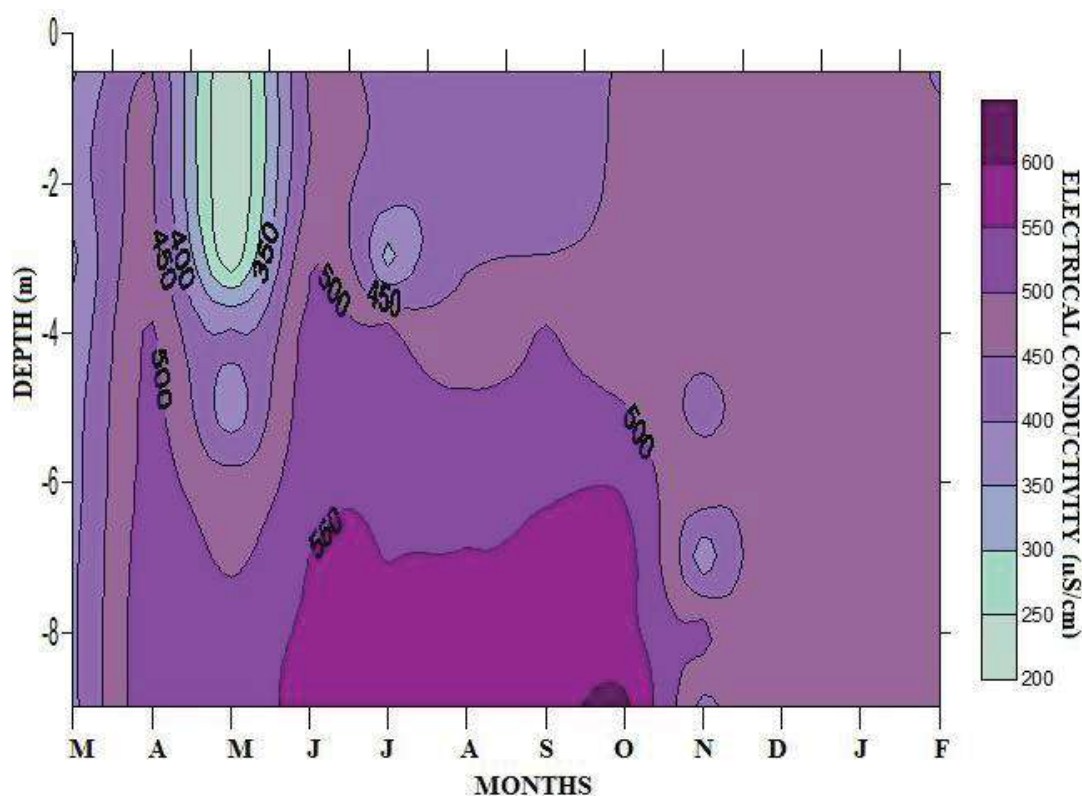


Figura 1. 31. Distribución vertical de la Conductividad Eléctrica en la columna de agua de La Alberca de Teremendo



Los valores de Alcalinidad Total son homogéneos de superficie a fondo de Octubre a Enero, la cual después de la circulación se incrementa hasta llegar a los 290 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  en Abril y principios de Mayo, decreciendo al transcurrir la estratificación y disminuyendo a 80 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  en Julio. Mientras que el hipolimnion en la estratificación tardía se alcaliniza hasta alcanzar los 160 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 1. 32). La concentración mensual de la variable muestra que de Febrero a Mayo la alcalinidad es similar, mientras que de Junio a Octubre con excepción de Julio no existen diferencias estadísticamente significativas, presentando el periodo de Octubre a Enero los mismos valores en la variable (F 117.33 y Prob>F <.0001).

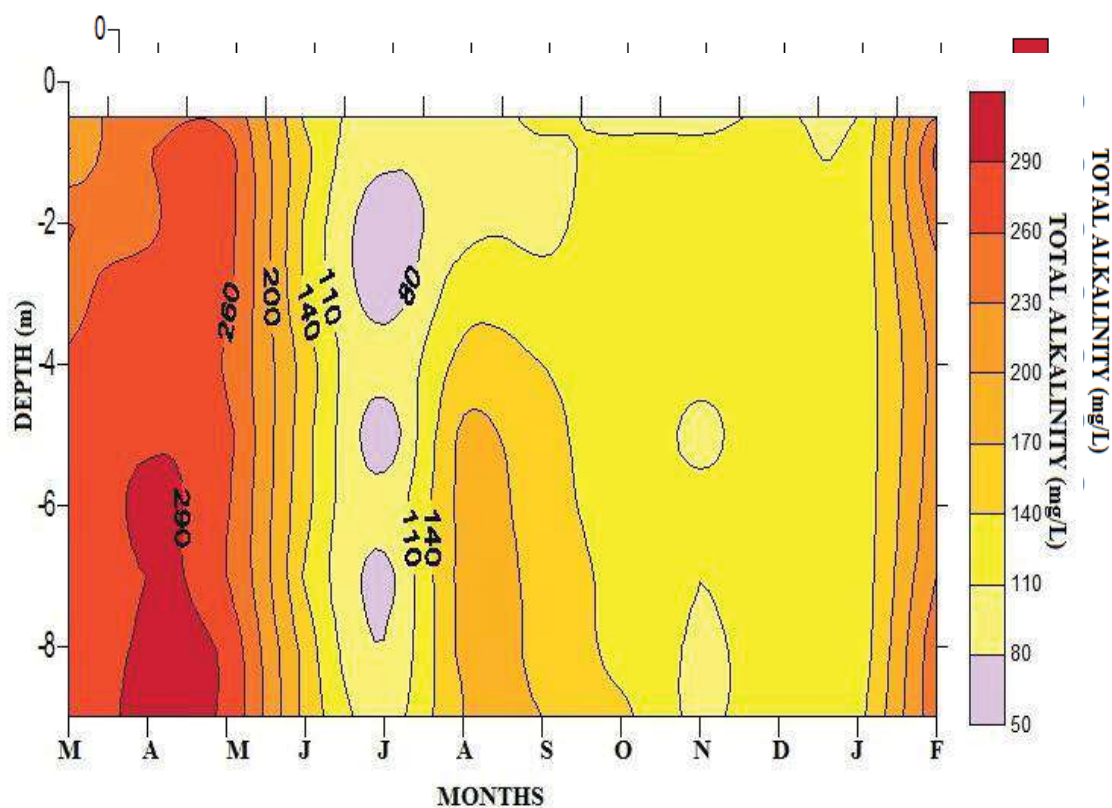


Figura 1. 32. Distribución vertical de la Alcalinidad Total en la columna de agua de La Alberca de Teremendo.

Los iones que conforman al sistema Buffer en el Lago se encuentran dominados por los Bicarbonatos en todo el ciclo anual, los cuales disminuyen en el periodo de estratificación y se incrementan en la holomixis y después de ella. Los Carbonatos no son los iones dominantes pero contribuyen a la alcalinidad del sistema de Junio a Noviembre,

con su máximo en Agosto, mientras el Bióxido de Carbono se presenta de Marzo a Junio y de Diciembre a Febrero, sin presencia de radicales Hidroxilo en la columna (Figura 1. 33).

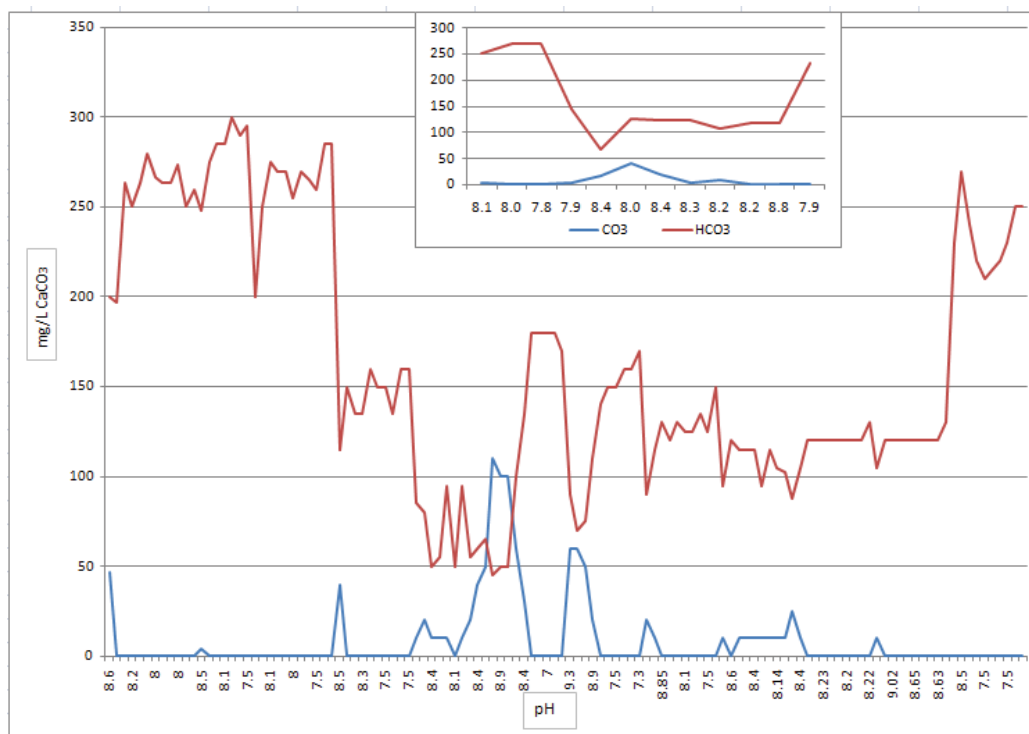


Figura 1. 33. Distribución temporal de Carbonatos y Bicarbonatos en la columna de agua de La Alberca de

Teremendo

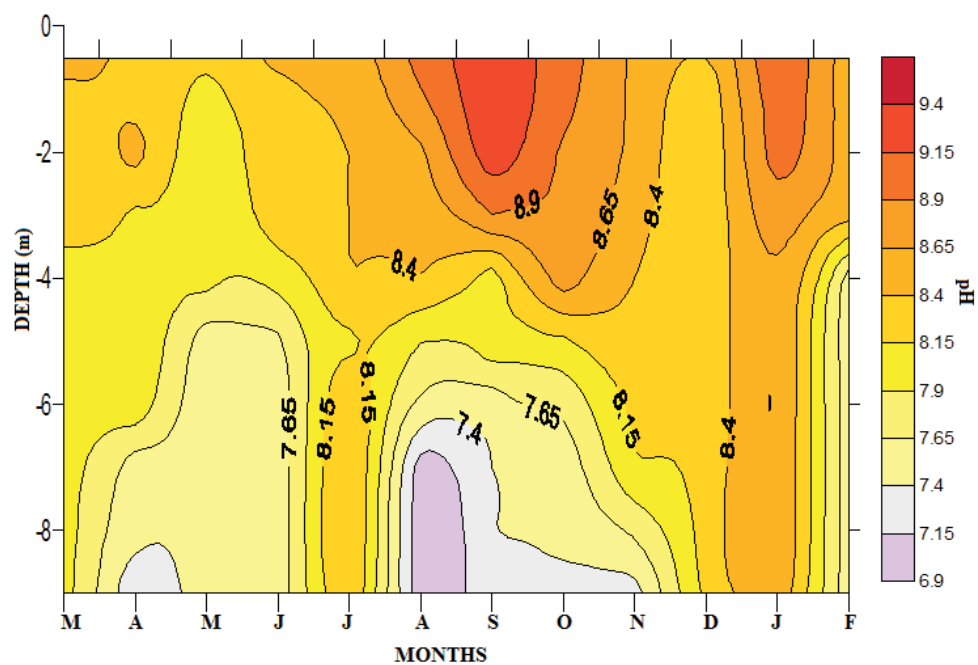


Figura 1. 34. Distribución vertical de Potencial Hidrógeno en la columna de agua de La Alberca de Teremendo



El potencial Hidrógeno presenta sus valores máximos en el epilimnio en Septiembre y sus valores mínimos en el hipolimnio en Agosto, desarrollando una columna con estratos ligeramente básicos de Marzo a Junio y un fondo ligeramente ácido en Abril y Agosto, mientras que durante la circulación la columna de agua es homogénea con una ligera basicidad en la superficie del mes de Enero (Figura 1. 34). Los valores mensuales de la variable muestran que no existen diferencias significativas entre los valores de pH registrados en el ciclo anual, sólo entre Enero y el periodo comprendido de Febrero, Abril, Mayo, Junio, y Agosto ( $F 3.030$  y  $Prob > F 0.0015$ ).

La Dureza Total se mantiene constante en el fondo con un ligero incremento en primavera, mientras que en la superficie disminuye desde el evento de mezcla a la estratificación tardía para ocupar su mínimo en verano y volverse a incrementar en otoño (Figura 1. 35).

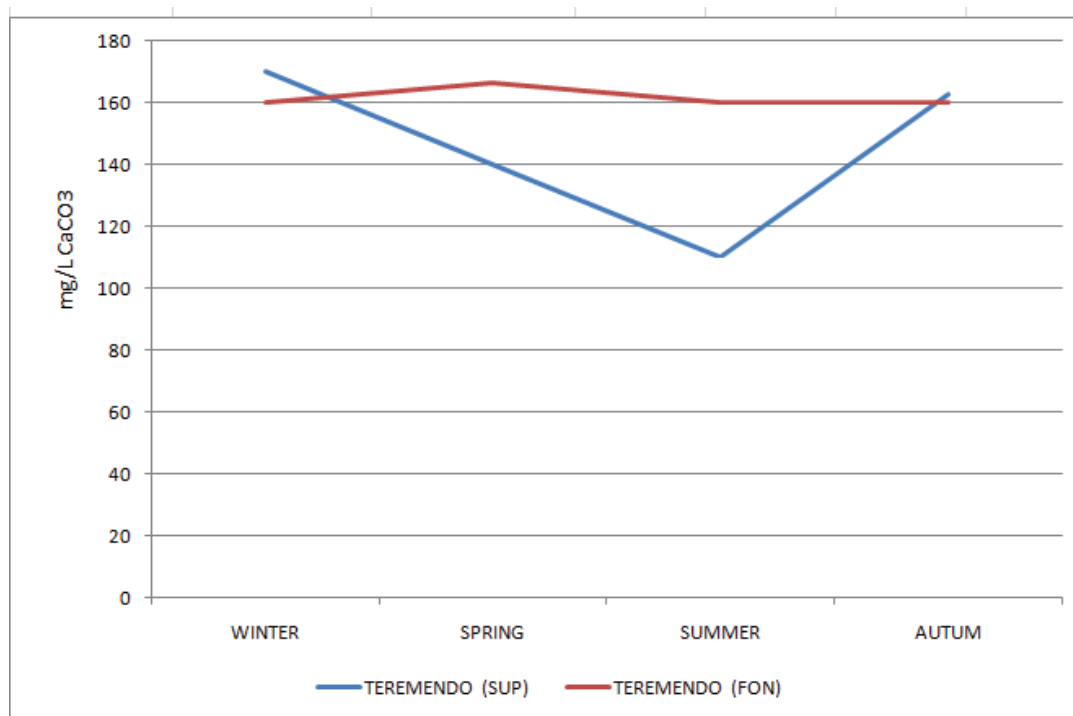


Figura 1. 35. Variación estacional de la Dureza Total en La Alberca de Teremendo.

El Nitrógeno amoniacal, presenta mayor concentración en el fondo durante la estratificación, incrementándose en el hipolimnio de Septiembre a Noviembre, alcanzando concentraciones de 4.8 mg/L, mientras que durante la holomixis la concentración de este

nutrimento es homogénea en toda la columna, decreciendo al comenzar la estratificación (Figura 1. 36). Los valores obtenidos en el ciclo anual muestran que de Diciembre a Agosto, no existen diferencias significativas en la variable, difiriendo a las concentraciones obtenidas de Septiembre a Noviembre (F 9.861 y  $P > F < .0001$ ).

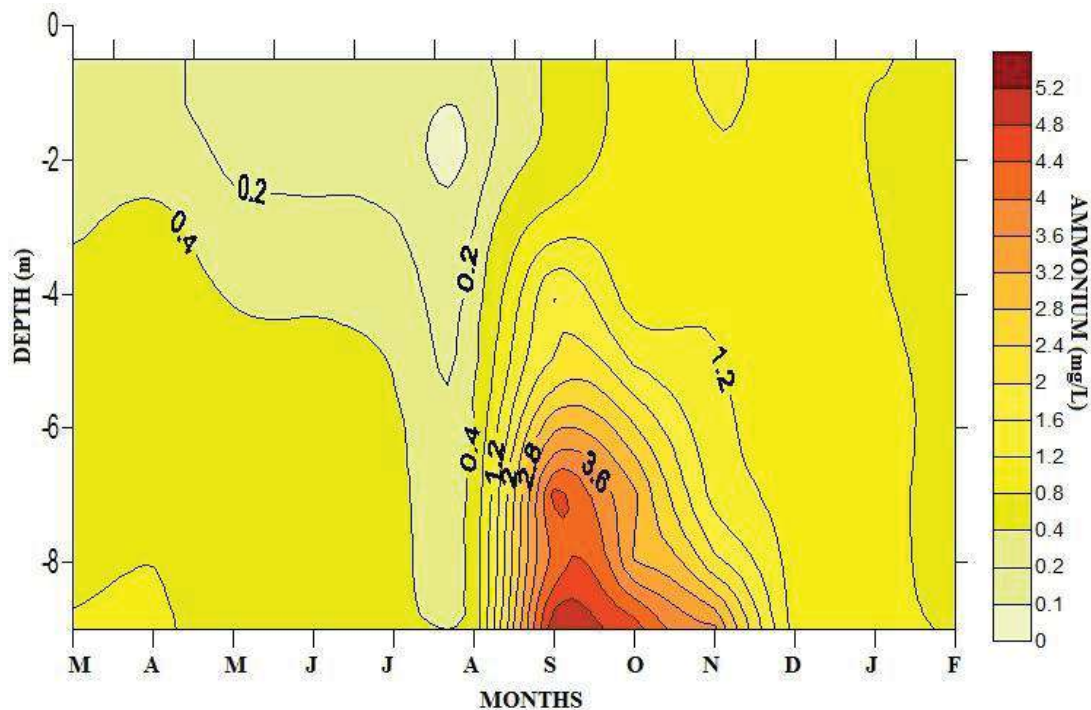


Figura 1. 36. Distribución vertical del Nitrógeno Amoniacal en la columna de agua de La Alberca de Teremendo.

El Nitrógeno como nitratos, se encuentra presente durante el ciclo anual con mayores concentraciones en el fondo que en la superficie, decreciendo sus concentraciones desde la circulación de la columna a la estratificación tardía, siendo imperceptible en el otoño, mientras que el Nitrógeno como nitritos fue imperceptible durante el ciclo anual (Figura 1. 37).

El Fosforo total presenta concentraciones mayores en el fondo que en la superficie durante todo el año en este sistema, con un incremento en las concentraciones en Verano, siendo 4 veces mayor la concentración del Fósforo total en el fondo que en la superficie para ésta época, mientras que el Fosforo reactivo presentó mayores concentraciones en la superficie durante la holomixis y en primavera, incrementándose sus concentraciones en el fondo para el verano y el otoño, siendo esta última estación la que presenta el mayor registro de este nutrimento (Figura 1. 37).

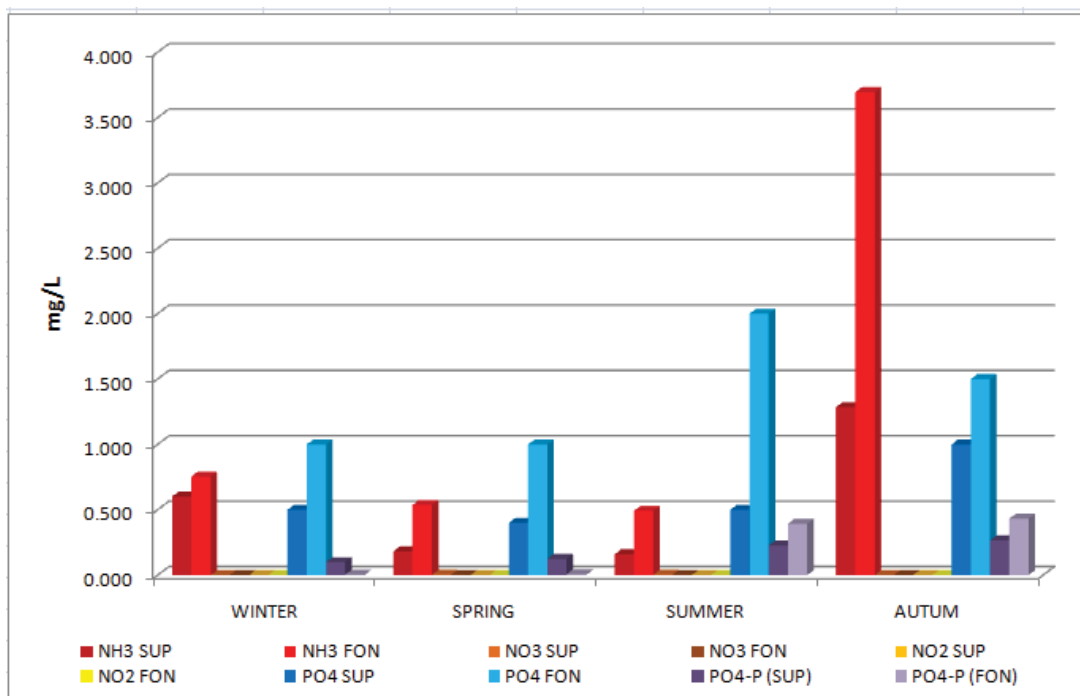


Figura 1. 37. Variación estacional de los nutrimentos en La Alberca de Teremendo.

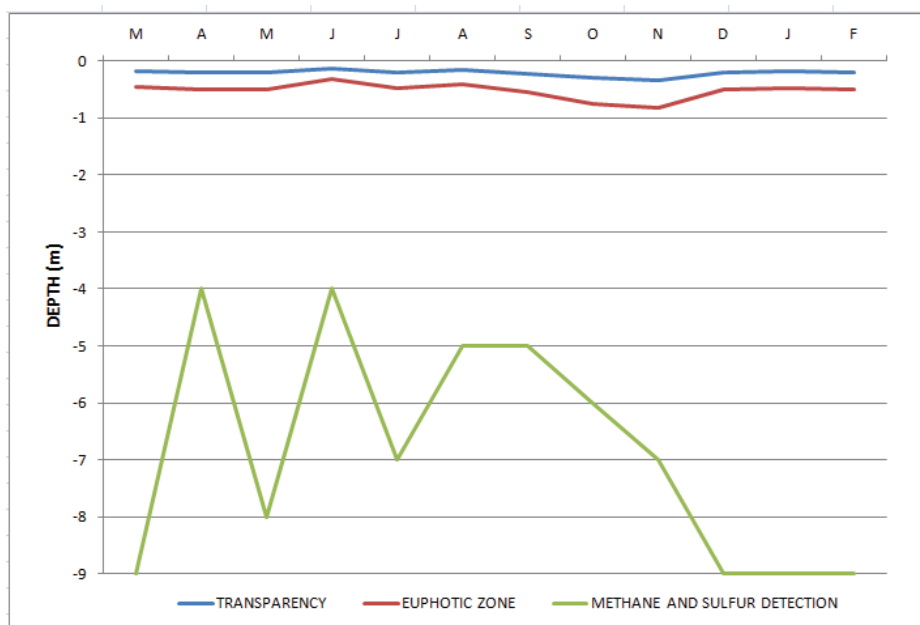


Figura 1. 38. Variación de la irradianza y la producción de metano en La Alberca de Teremendo

La transparencia en el cráter es reducida y permanece homogénea durante todo el año, con un ligero aumento de Septiembre a Noviembre, alcanzando en este mes su máximo. Lo cual permitió que la zona eufótica se ampliara hasta los 90 centímetros. La

detección del gas metano fue entre los cuatro y ocho metros en el periodo de estratificación y fue imperceptible durante la holomixis (Figura 1. 38).

La Demanda Biológica de Oxígeno en la Alberca de Teremendo presentó su valor mínimo en la holomixis, el cual se incrementó al verano en la superficie para disminuir en otoño, mientras que en el fondo se incrementó el requerimiento del gas para la desintegración de la materia orgánica particulada de la holomixis a primavera decreciendo al verano para volver a incrementarse al otoño (Figura 1. 39).

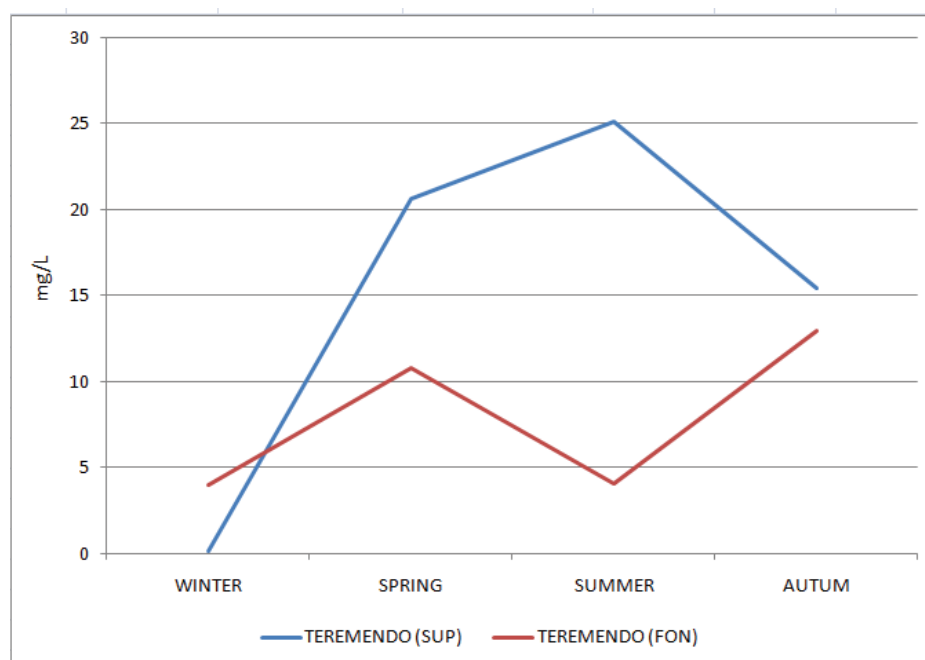


Figura 1. 39. Variación estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en La Alberca de Teremendo

La Clorofila *a* evidencia un hipolimnio poco productivo con bajas concentraciones del pigmento fotosintético de Abril a Enero, registrándose el máximo de clorofila en el fondo en Mayo con 40  $\mu\text{g/L}$ . La mayor concentración algal en el ciclo anual se encuentra en los primeros dos metros, con su máximo valor en la superficie de Agosto con 80  $\mu\text{g/L}$ . Mientras que en la holomixis la columna reduce su producción y la clorofila *a* se encuentra en bajas concentraciones de superficie a fondo (Figura 1. 40). Considerando los valores mensuales de la variable, Febrero y Agosto son los meses con diferencias en la concentración del pigmento, siendo el resto del año estadísticamente similar ( $F = 15.096$  y  $\text{Prob} > F < .0001$ )

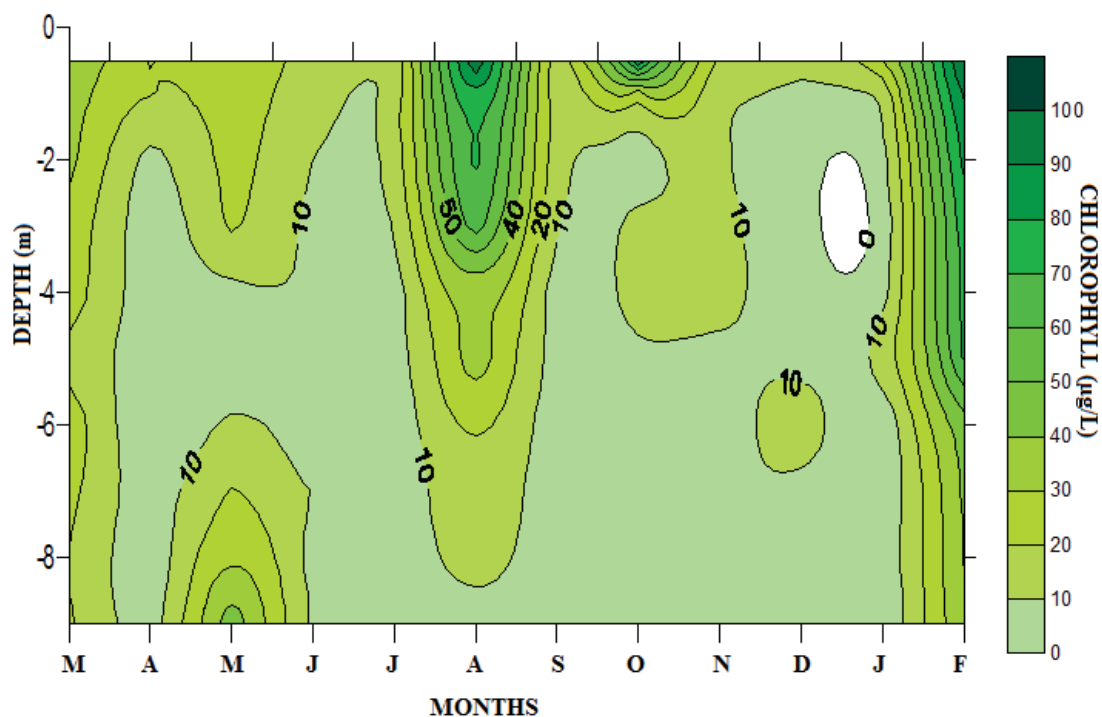


Figura 1. 40. Variación vertical de la clorofila "a" en La Alberca de Teremendo.

### 7.1.6 DISCUSIÓN

La Morfometría del vaso de recepción de un lago influye en la variabilidad de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la columna de agua definiendo las cadenas tróficas de los lagos (Wetzel 2001).

Uno de los parámetros morfométricos relevantes es la profundidad, con la cual se pueden discernir dos lagos cráter profundos en Michoacán (Las Albercas de Tacámbaro y Los Espinos) y uno somero (La Alberca de Teremendo), cuya profundidad relativa evidencia que La Alberca de Teremendo ha sufrido cambios en su cuenca de recepción, la cual ha sido azolvada con sedimentos, derivados quizá de deslaves de la caldera, evidentes en la porción suroeste y noreste, comportamiento observado por Torres-Orozco *et al.* (1996), en un lago de los Tuxtlas, cuya profundidad relativa es cercana a 0.23%, característica que ocasiona una elevada inestabilidad en la columna y promueve el evento de mezcla, factor que no ocurre en la Alberca de Teremendo por el tamaño de su caldera.

Parámetro contrario en las Albercas de Los Espinos y Tacámbaro cuya profundidad relativa es cercana al 5% generando una alta estabilidad en la columna (Cole 1979).

El desarrollo de litoral es corto en las tres albercas, variable que indica que existe una pendiente abrupta en la zona litoral, siendo distinta a la reportada por Arredondo *et al.* (1983) para los lagos de la cuenca oriental permitiendo a dichos sistemas un espacio amplio para el intercambio de nutrientes del sedimento a la superficie (Ryder 1992), fenómeno presente en mayor proporción en la Alberca de Teremendo que en las otras dos Albercas.

Los Lagos Cráter del Estado de Michoacán son Cálidos Monomícticos, característico de sistemas tropicales (Lewis 2000). Las Albercas de Tacámbaro y Los Espinos presentan holomixis en invierno, mientras que en la Alberca de Teremendo la circulación ocurre a finales del otoño y principios de invierno, ello por su desarrollo de litoral y profundidad relativa, variables que aunados al clima permiten una circulación temprana en dicho cráter (Cole 1979).

Este atributo térmico influye en la distribución del oxígeno disuelto en la columna, el cual propicia un epilimnio oxigenado durante el ciclo anual y el desarrollo de un hipolimnio anóxico en el periodo de estratificación, como ocurre en otros sistemas cálidos monomícticos en México (Torres-Orozco *et al.* 1996, Lugo *et al.* 1999, Alcocer *et al.* 2000 y 2007, Oliva *et al.* 2001, Macek *et al.* 1994 y 2009, Vázquez *et al.* 2004 y Bernal Brooks 1998), debido a la productividad primaria en la superficie, a la descomposición del material orgánico disuelto en el fondo y a la respiración (Wetzel 2001).

Este comportamiento se observa en la mayoría de los lagos profundos monomicticos o dimicticos, mientras que en lagos polimícticos el desarrollo de fondos anoxicos depende de su nivel trófico, con lagos oligotróficos que tendrán una columna oxigenada (Banderas *et al.* 1991 y Alcocer *et al.* 2004) y lagos eutróficos que desarrollarán anoxia en el fondo (Vázquez *et al.* 2004), ello a la alta tasa de producción de material orgánico y a su descomposición (Wetzel 2001).

En la circulación en lagos monomícticos es común encontrar valores homogéneos de oxígeno disuelto de la superficie al fondo (Margalef 1983), concentración que dependerá de la presencia de productores primarios ya que en sistemas oligotróficos durante este evento florecen comunidades algales que permiten la distribución homogénea del gas incrementándolo por arriba de los 4 mg/L (Lugo *et al.* 1999 y Oliva *et al.* 2001), evento que no ocurre en los lagos cráter de Michoacán ya que la baja concentración del fitoplancton no incrementa la concentración del gas y este se disminuye en toda la columna (< 1 mg/L) por la descomposición y la respiración (Margalef 1983).

La sectorización en la distribución del Oxígeno Disuelto durante la estratificación influye en los procesos químicos de la columna, ya que al desarrollarse hipoxia o anoxia en el medio disminuyen los procesos de oxidación, lo cual permite que se formen compuestos insolubles de Fósforo y disminuya con ello la concentración del Fósforo reactivo en la columna, dando paso a las reacciones de reducción incrementando la Alcalinidad total del sistema (Wetzel 2001 y Smolders *et al.* 2006). En la Alberca de Teremendo la disminución del Fósforo reactivo se correlaciona con la Alcalinidad Total ( $r^2 = -0.9693$ ) como función de la disminución de las reacciones de oxidación que podrían liberar al Fósforo que se encuentra unido con el Aluminio y el Hierro (Wetzel 2001).

Los nutrientes en los lagos cráter de Michoacán evidencian estacionalidad en su presencia y disposición en la columna de agua ya que en el periodo de circulación se encuentran disponibles de superficie a fondo, en elevadas concentraciones las cuales disminuyen paulatinamente en la superficie por la asimilación de los productores primarios (Wetzel 2001, Margalef 1983 y Darley 1987).

Mientras que en el periodo de estratificación dichas concentraciones se incrementan en el fondo, principalmente los derivados de la reducción del Nitrógeno (Smolders *et al.* 2006), ya que en el periodo de estratificación el Nitrógeno como nitratos se agota en el fondo reduciéndose a Nitrógeno Amoniacal, incrementándose la alcalinidad en un hipolimnio hipóxico a anóxico (Wetzel 2001), evento registrado en lagos monomícticos que desarrollan anoxia en la estratificación (Alcocer *et al.* 2000, Vázquez *et al.* 2004 y Margaritora *et al.* 2005), incrementando los nutrientes en esta capa e impidiendo su dispersión a la zona fótica por la barrera térmica producida por la termoclina, incrementando la concentración iónica en esta temporada (Wetzel 2001).

Las concentraciones de Fósforo registradas en el fondo en el periodo de estratificación son superiores a las encontradas en la superficie encontrándose en mayor proporción compuestos de Fósforo insolubles en esta capa anóxica, ya que no tienen lugar reacciones de oxidación que puedan liberar al Fósforo a la columna de agua en forma de Fósforo reactivo asimilable por los productores primarios (Margalef 1983).

Sin embargo hay una lenta liberación del Fósforo soluble en el fondo por la unión del nutrimento con coloides o bien por la mineralización de la materia orgánica (Roldán y Ramírez 2008). Dicho elemento no se agota en la capa fótica gracias a la circulación corta que presenta el Fósforo el cual es liberado por microorganismos antes de llegar a la capa anóxica, continuando disponible para ser asimilado por los productores primarios (Roldán y Ramírez 2008).

En la circulación la columna de agua de los lagos cráter de Michoacán es homogénea químicamente, debido al flujo de agua que se mezcla de la superficie al fondo por una diferencia de densidad (Wetzel 2001).

El pH disminuye con respecto a los valores alcanzados en la estratificación, siendo estable al incrementarse la reserva alcalina (Wetzel 2001), ya que la columna de agua reduce su tensión en el contenido de Bióxido de Carbono que contiene. Esto permite el ingreso de este gas de la atmósfera al medio acuático disociando al carbonato de calcio en bicarbonato, incrementando los valores en alcalinidad total y precipitando al calcio (Margalef 1983), ocasionando que paulatinamente la dureza del agua disminuya de la holomixis a la estratificación tardía en las capas superficiales.

Durante la estratificación en los lagos cráter de Michoacán se incrementan los valores de pH en el epilimnio, desarrollando capas fóticas básicas, ello debido a que los productores primarios de la superficie asimilan intensamente al CO<sub>2</sub>, precipitando carbonato de calcio que aumenta el pH y los carbonatos en esta capa (Margalef 1983).

Caso contrario a lo ocurrido en el hipolimnio, en donde la actividad bacteriana y los procesos de respiración generan cantidades importantes de bióxido de carbono, el cual en presencia del carbonato de calcio da lugar a los bicarbonatos y desarrolla capas ligeramente ácidas o ligeramente básicas (Margalef 1983).



El incremento del pH en el epilimnio después de la circulación se ha relacionado con los florecimientos algales de los lagos cráter (Oliva *et al.* 2001), mientras que en sistemas productivos es una constante (Alcocer *et al.* 1998 y Schabetsberger *et al.* 2004).

La concentración de iones disueltos en los lagos cráter también se ve influenciada por las barreras térmicas que se forman en la columna de agua, ya que durante la estratificación la conductividad eléctrica se incrementa en el hipolimnio por las concentraciones de Fósforo, Amonio, material detrítico y partículas suspendidas, las cuales en el periodo de holomixis y en la estratificación temprana son suspendidas de superficie a fondo formando una columna homogénea que disminuirá su concentración iónica al avanzar el periodo de estratificación ya que los productores primarios incorporan el material inorgánico suspendido a sus moléculas orgánicas liberando de esta carga iónica a la columna (Wetzel 2001, Margalef 1983 y Darley 1987).

En México los lagos cráter excluyendo a los de alta montaña presentan altos valores en conductividad eléctrica, la cual es atribuida a la desecación y a las actividades antropogénicas en algunos casos (Escolero y Alcocer 2005), así como a la descomposición del material orgánico y a la evaporación estacional (Lugo *et al.* 1999, Oliva *et al.* 2001, Vázquez *et al.* 2004 y Ramos-Higuera *et al.* 2008).

En los Lagos Cráter del estado de Michoacán el aumento en la concentración iónica puede deberse a varios factores ya que en Tacámbaro el corto periodo de residencia del agua es un factor decisivo para la dilución de la columna siendo este el lago el que presenta la menor concentración iónica, seguido de Teremendo el cual debe el aumento de iones a la agricultura y a la descomposición del material orgánico. En los Espinos es causado por la disolución de las rocas del cono volcánico y a la elevada concentración de sales disueltas dominadas por Calcio y el Magnesio.

La transparencia en los tres lagos Cráter de Michoacán está dada por la densidad de productores primarios, la cual disminuye en la estratificación tardía, permitiendo el ensanchamiento del epilimnio antes de la circulación, ya que se reduce la concentración algal en la superficie debido al aumento en la radiación lumínica y a la disminución de los nutrientes en esta capa (Margalef 1983). Propiciando una migración vertical, en donde la

mayor abundancia fitoplanctónica ocurre debajo del metalimnio como producto de la fotoaclimatación (Fennel *et al.* 2007).

En los lagos cráter profundos del Cinturón Volcánico Mexicano, la transparencia esta dada por la abundancia algal en la columna (Alcocer *et al.* 1998 y Vázquez *et al.* 2004 y 2005), la cual aumenta al disminuir los productores primarios en la estratificación al agotarse los nutrimentos en el epilimnio y al registrarse tasas elevadas de radiación UV.

Este proceso favorece una migración vertical del plancton, desarrollando un máximo de clorofila en el fondo en la estratificación tardía (Lugo *et al.* 1999, Alcocer *et al.* 2000, Oliva *et al.* 2001), permitiendo el máximo ensanchamiento de la capa fótica en el año, sin influir el nivel trófico del sistema o la latitud (Margaritora *et al.* 2005 y McIntire *et al.* 2007).

Durante el evento de holomixis la concentración de los productores primarios en los tres lagos cráter decrece, ocupando valores mínimos en este periodo en el ciclo anual, lo cual trae consigo una menor producción de oxígeno en la columna, desarrollando una capa hipóxica con un fondo anóxico, ya que las bajas concentraciones del gas son agotadas por la descomposición del material orgánico en la columna de agua, desarrollando condiciones anóxicas en las capas inferiores (Roldán y Ramírez 2008).

Evento que limita la distribución de heterótrofos por la baja saturación del gas en la columna, permitiendo el ligero incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, causando una mayor alcalinidad total al no encontrarse carbonatos, aumentando la reserva alcalina, causando una ligera disminución del pH y la dominancia de bicarbonatos en la época (Margalef 1983 y Wetzel 2001). Fenómeno precedido por un florecimiento de productores primarios que incrementan el oxígeno disuelto en la estratificación temprana y la disminución paulatina de la alcalinidad en la superficie al transcurrir la estratificación térmica.

Dicho decrecimiento algal es debido en los Espinos al incremento en la dureza, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos, mientras que en Tacámbaro y Teremendo las variables fisicoquímicas no evidencian una limitación en la productividad primaria, lo cual sugiere que un proceso biológico como la depredación por heterótrofos

sea la causa probable del decrecimiento algal en la holomixis, ya que dicha comunidad es controlada por los consumidores primarios al incrementar su biomasa (Lugo *et al.* 1999).

### 7.1.7 CONCLUSIONES

- Los lagos cráter de Michoacán presentan vasos cóncavos, con una profundidad relativa que le otorga a Los Espinos y a Tacámbaro estabilidad a la columna favoreciendo el establecimiento de una termoclina, mientras que en Teremendo la formación de la termoclina se debe a la geoforma de la caldera volcánica.
- Son sistemas cálidos monomícticos con circulación en invierno y estratificación el resto del año.
- La estratificación de la columna del agua influye en los procesos fisicoquímicos y biológicos de los tres lagos.
- Los productores primarios son la principal fuente de abastecimiento del oxígeno disuelto en la columna y el agotamiento del gas se debe a la respiración y a la descomposición del material orgánico.
- La Alcalinidad en la columna se debe a los procesos de reducción en la columna y a la captura carbono por los productores primarios.
- Las concentraciones de nutrientes son homogéneas de superficie a fondo en la circulación y disminuyen en el epilimnio incrementándose en el hipolimnio por eventos de oxidación y posterior reducción.
- La transparencia es debida a la abundancia de los productores primarios, incrementándose en la estratificación tardía al ocurrir una migración vertical por fotoaclimatación.

- El decrecimiento de la irradianza en la columna del agua y de la temperatura, la disminución de los nutrimentos y la depredación por heterótrofos son las causas principales de la disminución de la abundancia algal en los lagos cráter de Michoacán, así como el incremento en la dureza total y la concentración iónica en los Espinos.

## **7.2 CAPITULO II**

### **DIVERSIDAD TAXONÓMICA DEL FITOPLANCTON Y SU OCURRENCIA EN LOS LAGOS CRÁTER DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

### 7.2.1 RESUMEN

En el presente capítulo se aborda la riqueza específica del Fitoplancton y su abundancia en la columna de agua en los tres Lagos Cráter del Estado de Michoacán, para lo cual se colectaron 145 muestras en seis sitios a diferentes profundidades en un ciclo anual con la botella de Van Dorn (3 L), tomando alícuotas de 250 mL preservándolas con formol neutralizado con borax a una concentración final de 4%, determinándose a nivel específico con literatura especializada. Se determinan 139 taxa pertenecientes a siete divisiones, 10 clases, cinco subclases, 24 órdenes, 42 familias, tres subfamilias, 73 géneros y 137 especies, de las cuales 126 corresponden a Tacámbaro, 55 a los Teremendo y 32 a los Espinos. Se encuentra que Chlorophyta encabeza la abundancia en Tacámbaro y Los Espinos mientras que Cyanobacteria lo hace en Teremendo. Las especies con mayor concentración celular son *Botryococcus terribilis*, *Ankyra ancora* y *Limnothrix brachynema*. Con respecto a la correspondencia con las variables fisicoquímicas se establece que la Temperatura, la Conductividad Eléctrica la profundidad y los nutrientes (Nitrogeno Amoniacal y Fósforo reactivo) determinan la ocurrencia del fitoplancton influenciados por los eventos de estratificación y holomixis en los ecosistemas cratéricos.

### 7.2.2. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton en los lagos cráter de México se encuentra representado por Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Heterokontophyta, Chrysophyta y Xantophyta, en diversas asociaciones dependiendo del nivel trófico que presente el ecosistema (Alcocer *et al.* 1994 y 1996, Banderas Tarabay 1994, Banderas y González 1998, Oliva *et al.* 2001, Vázquez *et al.*, 2004 y 2005 y Hernández 2008), presenta estacionalidad en cuanto a la abundancia específica con dominancia de diatomeas en invierno, algas verdes y cianobacterias en primavera y verano, así como la presencia de algas verdes, cianobacterias y algas flageladas en otoño (Oliva *et al.* 2001, Vázquez *et al.* 2005 y Hernández 2008), comportamiento que en algunos de los casos y dependiendo del nivel trófico del sistema se ajusta a la sucesión propuesta por Lewis (1968 y 1976) para los lagos tropicales profundos. Su permanencia en la columna de agua se rige por el clima y factores internos como la circulación (Estevez 1998), la cual provee nutrientes y iones disueltos, así como la turbulencia, la cual en conjunto con la densidad del agua permite la ocurrencia algal en las diversas capas fóticas. El presente

trabajo determina la sucesión de la comunidad del fitoplancton en un ciclo anual y los factores abióticos que determinan su ocurrencia en los Lagos Cráter de Michoacán.

### 7.2.3 RESULTADOS

#### 7.2.3.1 LISTADO TAXONÓMICO

Del análisis de 145 muestras se determinaron 139 taxa pertenecientes a siete divisiones, 10 clases, cinco subclases, 24 órdenes, 42 familias, tres subfamilias, 73 géneros y 137 especies.

En Tacámbaro ocurren 126 de los taxa determinados, encabezando las Bacillariophyta la riqueza específica con 54% de los taxa, seguida de las Chlorophyta (25.4 %), las Cyanobacteria (11.9 %), las Euglenophyta (4 %), las Dinophyta (3.2 %), las Cryptophyta (0.8 %) y las Heterokontophyta (0.8 %), mientras que en Teremendo se identificaron 55 organismos, siendo las Chlorophyta quienes encabezan la diversidad taxonómica con el 41.8% de los taxa, seguida de las Bacillariophyta (27.3 %), las Cyanobacteria (25.5 %), las Cryptophyta (1.8 %), las Dinophyta (1.8 %) y las Heterokontophyta (1.8 %), así como 32 taxa para Los Espinos en donde las Chlorophyta encabezan la variable con 37.5 % de los organismos, seguida de las Cyanobacteria (31.3 %), las Bacillariophyta (25 %), las Cryptophyta (3.1 %) y las Heterokontophyta (3.1 %) (Cuadro 2.1).

Las cuales se ordenaron siguiendo el orden evolutivo propuesto por Hoek *et al.* (1995) con excepción de las Bacillariophyta, utilizando para las actualizaciones taxonómicas el portal <http://www.algaebase.org>, enlistándose como sigue:

DIVISIÓN Cyanobacteria  
 CLASE Cyanophyceae  
 SUBCLASE Synechococcophycideae  
 ORDEN Pseudanabaenales  
 FAMILIA Pseudanabaenaceae  
 SUBFAMILIA Pseudanabaenoideae  
 GÉNERO *Limnothrix* Meffert  
 ESPECIE *Limnothrix brachynema* (Skuja) Hindák et Trifonova  
 GÉNERO *Jaaginema* Anagnostidis et Komárek

- ESPECIE *Jaaginema geminatum* (Meneghini ex  
 Gomont) Anagnostidis et Komárek  
 GÉNERO *Pseudanabaena* Lauterborn  
 ESPECIE *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann)  
 Komárek  
 ORDEN Synechococcales  
 FAMILIA Merismopediaceae  
 GÉNERO *Aphanocapsa* Nägeli  
 ESPECIE *Aphanocapsa elachista* W. et G. S. West  
 ESPECIE *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann)  
 Cronberg et Komárek  
 SUBFAMILIA Merismopedioideae  
 GÉNERO *Synechocystis* Sauvageau  
 ESPECIE *Synechocystis diplococca* (Pringsheim)  
 Bourrelly  
 ESPECIE *Synechocystis minuscula* Voronichin  
 ESPECIE *Synechocystis pevalekii* Ercegovic  
 GÉNERO *Merismopedia* Meyen  
 ESPECIE *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing  
 ESPECIE *Merismopedia marssonii* Lemmermann  
 ESPECIE *Merismopedia punctata* Meyen  
 GÉNERO *Snowella* Elenkin  
 ESPECIE *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et  
 Hindák  
 SUBCLASE Oscillatoriophyceidae  
 ORDEN Chroococcales  
 FAMILIA Microcystaceae  
 GÉNERO *Microcystis* Kützing ex Lemmermann  
 ESPECIE *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing  
 ESPECIE *Microcystis ichthyobable* Kützing  
 ESPECIE *Microcystis smithii* Komárek et  
 Anagnostidis  
 FAMILIA Chroococcaceae  
 GÉNERO *Chroococcus* Nägeli  
 ESPECIE *Chroococcus limneticus* Lemmermann  
 ESPECIE *Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli  
 ESPECIE *Chroococcus dispersus* (Keissler)  
 Lemmermann  
 ORDEN Oscillatoriales  
 FAMILIA Oscillatoriaceae  
 GÉNERO *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont  
 ESPECIE *Oscillatoria quasiperforata* Skuja  
 FAMILIA Phormidiaceae  
 SUBFAMILIA Phormidioideae  
 GÉNERO *Planktothrix* Anagnostidis et Komárek  
 ESPECIE *Planktothrix agardhii* (Gomont)  
 Anagnostidis et Komárek  
 DIVISIÓN Cryptophyta  
 CLASE Cryptophyceae  
 ORDEN Cryptomonadales



- FAMILIA Cryptomonadaceae  
 GÉNERO *Cryptomonas* Ehrenberg  
 ESPECIE *Cryptomonas ovata* Ehrenberg
- DIVISIÓN Euglenophyta  
 CLASE Euglenophyceae  
 ORDEN Euglenales  
 FAMILIA Euglenaceae  
 GÉNERO *Euglena* Ehrenberg  
 GÉNERO *Phacus* Dujardin  
 ESPECIE *Phacus caudatus* Hübner  
 GÉNERO *Trachelomonas* Ehrenberg emend. Deflandre.  
 ESPECIE *Trachelomonas hispida* var. *coronata* Lemm.  
 ESPECIE *Trachelomonas hispida* var. *cranulato-collis* fa *patula* Deflandre  
 ESPECIE *Trachelomonas granulosa* Playfair
- DIVISIÓN Dinophyta  
 CLASE Dinophyceae  
 ORDEN Peridinales  
 FAMILIA Peridiniaceae  
 GÉNERO *Peridinium* Ehrenberg  
 ESPECIE *Peridinium bipes* Lemmermann  
 ESPECIE *Peridinium inconspicuum* Lemmermann  
 ESPECIE *Peridinium cinctum* (O.F. Müller) Ehrenberg  
 GÉNERO *Peridiniopsis* Lemmermann  
 ESPECIE *Peridiniopsis elpatiewskyi* (Ostenfeld) Bourrelly
- DIVISIÓN Heterokontophyta  
 CLASE Synurophyceae  
 ORDEN Synurales  
 FAMILIA Mallomonadaceae  
 GÉNERO *Mallomonas* Perty  
 ESPECIE *Mallomonas caudata* Ivanov
- DIVISIÓN Bacilariophyta  
 CLASE Mediophyceae  
 ORDEN Thalassiosirales  
 FAMILIA Stephanodiscaceae  
 GÉNERO *Cyclotella* (Kützing) Brébisson  
 ESPECIE *Cyclotella ocellata* Pantocsek  
 ESPECIE *Cyclotella meneghiniana* Kützing  
 GÉNERO *Stephanodiscus* Ehrenberg  
 ESPECIE *Stephanodiscus medius* Håk  
 ESPECIE *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve et Möller  
 ESPECIE *Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg  
 FAMILIA Thalassiosiraceae  
 GÉNERO *Thalassiosira* Cleve  
 ESPECIE *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) G. Fryxell et Hasle

- SUBCLASE Coscinodiscophicidae  
 ORDEN Aulacoseirales  
 FAMILIA Aulacoseiraceae  
 GÉNERO *Aulacoseira* Thwaites  
 ESPECIE *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer  
 ESPECIE *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg)  
 Simonsen  
 ESPECIE *Aulacoseira valida* (Grunow) Krammer
- CLASE Bacillariophyceae  
 SUBCLASE Fragilariophycidae  
 ORDEN Fragilariales  
 FAMILIA Fragilariaceae  
 GÉNERO *Fragilaria* Lyngbye  
 ESPECIE *Fragilaria fasciculata* (C. Agardh) Lange-  
 Bertalot  
 GÉNERO *Pseudostaurosira* D.M. Williams et Round  
 ESPECIE *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow)  
 D.M. Williams et Round  
 GÉNERO *Staurosirella* D. M. Williams et. Round  
 ESPECIE *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D. M.  
 Williams et. Round  
 GÉNERO *Synedra* Ehrenberg  
 ESPECIE *Synedra amphicephala* Kützing  
 ESPECIE *Fragilaria famelica* (Kützing) Lange-  
 Bertalot  
 ESPECIE *Synedra ulna* var. *subaequalis* Grunow  
 GÉNERO *Staurosira* C.G. Ehrenberg  
 ESPECIE *Staurosira construens* Ehrenberg  
 GÉNERO *Tabularia* (F.T. Kützing) D.M. Williams et Round  
 ESPECIE *Tabularia fasciculata* (C. Agardh)  
 D.M. Williams et Round  
 GÉNERO *Ulnaria* Compère  
 ESPECIE *Ulnaria delicatissima* (W. Smith) M. Aboal  
 et P.C. Silva  
 ESPECIE *Ulnaria delicatissima* var. *angustissima*  
 (Grunow) M. Aboal & P.C. Silva  
 ESPECIE *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère
- ORDEN Bacillariales  
 FAMILIA Bacillariaceae  
 GÉNERO *Denticula* Ehrenberg  
 ESPECIE *Denticula valida* (Pedicino) Grunow  
 GÉNERO *Nitzschia* Hassall  
 ESPECIE *Nitzschia amphibia* Grunow  
 ESPECIE *Nitzschia alpina* Hustedt  
 ESPECIE *Nitzschia gracilis* Hantzsch  
 ESPECIE *Nitzschia palea* Grunow  
 ESPECIE *Nitzschia intermedia* Hantzsch
- SUBCLASE Bacillariophycidae  
 ORDEN Cymbellales

- FAMILIA Anomoeoneidaceae  
 GÉNERO *Anomoeoneis* Pfitzer  
 ESPECIE *Anomoeoneis sphaerophora* E. Pfitzer
- FAMILIA Cymbellaceae  
 GÉNERO *Encyonema* Kützing  
 ESPECIE *Encyonema mesianum* (Cholnoky) D.G. Mann  
 ESPECIE *Encyonema prostratum* (Berkeley) Kützing  
 ESPECIE *Encyonema silesiacum* (Bleisch) D.G. Mann
- GÉNERO *Cymbella* Agardh  
 ESPECIE *Cymbella aspera* (Ehrenberg) Cleve  
 ESPECIE *Cymbella mexicana* var. *kamtschatica* Krammer  
 ESPECIE *Cymbella muelleri* Hustedt  
 ESPECIE *Cymbella parviformis* Krammer  
 ESPECIE *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck
- FAMILIA Gomphonemataceae  
 GÉNERO *Gomphonema* Ehrenberg  
 ESPECIE *Gomphonema affine* Kützing  
 ESPECIE *Gomphonema augur* Ehrenberg  
 ESPECIE *Gomphonema entolejum* E.V.Østrup  
 ESPECIE *Gomphonema gracile* Ehrenberg  
 ESPECIE *Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson  
 ESPECIE *Gomphonema pseudoaugur* Lange-Bertalot
- FAMILIA Rhoicospheniaceae  
 GÉNERO *Rhoicosphenia* Grunow  
 ESPECIE *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot
- ORDEN Achnanthales
- FAMILIA Achnanthaceae  
 GÉNERO *Achnanthes* Bory  
 ESPECIE *Achnanthes depressa* (Cleve) Hustedt  
 ESPECIE *Achnanthes exigua* Grunow  
 ESPECIE *Achnanthes holsatica* Hustedt in Schmidt  
 ESPECIE *Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve et Grunow ssp *lanceolata*  
 ESPECIE *Achnanthes submarina* Hustedt
- FAMILIA Achnanthidiaceae  
 GÉNERO *Achnanthidium* Kützing  
 ESPECIE *Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki
- GÉNERO *Planothidium* Round et L. Bukhtiyarova  
 ESPECIE *Planothidium dubium* (Grunow) Round et L. Bukhtiyarova  
 ESPECIE *Planothidium rostratum* (Oestrup) Lange-Bertalot
- FAMILIA Cocconeidaceae

- GÉNERO *Cocconeis* Ehrenberg  
 ESPECIE *Cocconeis placentula* var. *lineata*  
 (Ehrenberg) Van Heruck
- ORDEN Thalassiophysales  
 FAMILIA Catenulaceae  
 GÉNERO *Amphora* Ehrenberg in Kützing  
 ESPECIE *Amphora libyca* Ehrenberg  
 ESPECIE *Amphora montana* Krasske  
 ESPECIE *Amphora normanii* Rabenhorst  
 ESPECIE *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing
- ORDEN Naviculales  
 FAMILIA Pinnulariaceae  
 GÉNERO *Pinnularia* Ehrenberg  
 ESPECIE *Pinnularia borealis* Ehrenberg
- FAMILIA Sellaphoraceae  
 GÉNERO *Sellaphora* Mereschkovsky  
 ESPECIE *Sellaphora pupula* (Kützing)  
 Mereschkovsky
- FAMILIA Naviculaceae  
 GÉNERO *Navicula* Bory  
 ESPECIE *Navicula gastrum* Ehrenberg  
 ESPECIE *Navicula kotschy* Grunow  
 ESPECIE *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing  
 ESPECIE *Navicula perminuta* Grunow  
 ESPECIE *Navicula laterostrata* Hustedt  
 ESPECIE *Navicula* sp.
- FAMILIA Stauroneidaceae  
 GÉNERO *Stauroneis* Ehrenberg  
 ESPECIE *Stauroneis anceps* Ehrenberg
- FAMILIA Amphipleuraceae  
 GÉNERO *Frustulia* Rabenhorst  
 ESPECIE *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni
- ORDEN Rhopalodiales  
 FAMILIA Rhopalodiaceae  
 GÉNERO *Epithemia* Brébisson  
 ESPECIE *Epithemia argus* (Ehrenberg) Kützing
- GÉNERO *Rhopalodia* O. Müller  
 ESPECIE *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller
- ORDEN Surirellales  
 FAMILIA Surirellaceae  
 GÉNERO *Surirella* Turpin  
 ESPECIE *Surirella elegans* Ehrenberg
- DIVISIÓN Chlorophyta  
 CLASE Chlorophyceae  
 ORDEN Volvocales  
 FAMILIA Chlamydomonadaceae  
 GÉNERO *Chlamydomonas* Ehrenberg  
 ESPECIE *Chlamydomonas globosa* J.W.Snow
- ORDEN Chlorococcales  
 FAMILIA Golenkiniaceae

- GÉNERO *Golenkinia* R. Chodat  
 ESPECIE *Golenkinia radiata* Chodat
- FAMILIA Botryococcaceae  
 GÉNERO *Botryococcus* Kützing  
 ESPECIE *Botryococcus protuberans* W. West et  
 G.S. West  
 ESPECIE *Botryococcus terribilis* Komárek et Maran
- FAMILIA Sphaeropleaceae  
 GÉNERO *Ankyra* Fott  
 ESPECIE *Ankyra ancora* (G.M. Smith) Fott
- FAMILIA Hydrodictyaceae  
 GÉNERO *Pediastrum* Meyen  
 ESPECIE *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini  
 ESPECIE *Pediastrum integrum* Nägeli  
 ESPECIE *Pediastrum simplex* Meyen  
 ESPECIE *Pediastrum simplex* var. *biwaense* Fukushi
- ORDEN Tetrasporales  
 FAMILIA Palmellaceae  
 GÉNERO *Sphaerocystis* R. Chodat  
 ESPECIE *Sphaerocystis planctonica* (Korshikov)  
 Bourrelly
- ORDEN Sphaeropleales  
 FAMILIA Scenedesmaceae  
 GÉNERO *Acutodesmus* (Hegewald) Tsarenko  
 ESPECIE *Acutodesmus acuminatus* (Lagerheim)  
 Tsarenko  
 GÉNERO *Crucigeniella* Lemmermann  
 ESPECIE *Crucigeniella rectangularis* (Nägeli)  
 Komárek  
 ESPECIE *Crucigenia tetrapedia* (Kirchner) W. West  
 et G.S. West  
 GÉNERO *Coelastrum* Nägeli  
 GÉNERO *Didymocystis* Korshikov  
 ESPECIE *Didymocystis fina* J. Komárek  
 GÉNERO *Didymogenes* Schmidle  
 ESPECIE *Didymogenes anomala* (G.M. Smith)  
 Hindák  
 GÉNERO *Scenedesmus* Meyen  
 ESPECIE *Scenedesmus arthrodesmiiformis* Schröder  
 ESPECIE *Scenedesmus dispar* Brébisson  
 ESPECIE *Scenedesmus opoliensis* P.G. Richter
- FAMILIA Neochloridaceae  
 GÉNERO *Planktosphaeria* G.M. Smith  
 ESPECIE *Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith  
 GÉNERO *Schroederia* Lemmermann  
 ESPECIE *Schroederia setigera* (Schröder)  
 Lemmermann  
 GÉNERO *Tetraedron* Kützing  
 ESPECIE *Tetraedron minimum* (A. Braun) Hansgirg
- FAMILIA Ankistrodesmaceae

GÉNERO *Ankistrodesmus* CordaESPECIE *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) RalfsESPECIE *Ankistrodesmus nannoselene* SkujaGÉNERO *Closteriopsis* LemmermannESPECIE *Closteriopsis acicularis* (G.M. Smith) J.H.  
Belcher et SwaleESPECIE *Closteriopsis longissima* (Lemmermann)  
LemmermannGÉNERO *Keratococcus* PascherESPECIE *Keratococcus bicaudatus* (A. Braun ex  
Rabenhorst) J.B. PetersenGÉNERO *Kirchneriella* SchmidleESPECIE *Kirchneriella obesa* (West) SchmidleESPECIE *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) K. MöbiusGÉNERO *Monoraphidium* Komárková-LegnerováESPECIE *Monoraphidium contortum* (Thuret)

Komárková-Legnerová

ESPECIE *Monoraphidium griffithii* (Berkeley)

Komárková-Legnerová

## CLASE Trebouxiophyceae

## ORDEN Oocystales

## FAMILIA Oocystaceae

GÉNERO *Lagerheimia* R. ChodatESPECIE *Lagerheimia subsalsa* LemmermannGÉNERO *Oocystis* Nägeli ex A. BraunESPECIE *Oocystis borgei* J. SnowESPECIE *Oocystis solitaria* Wittrock

## CLASE Zygnematophyceae

## ORDEN Zygnematales

## FAMILIA Desmidiaceae

GÉNERO *Staurastrum* Meyen ex RalfsESPECIE *Staurastrum manfeldtii* DelponteESPECIE *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense*  
Schumacher et WhitfordESPECIE *Staurastrum smithii* Teiling

## FAMILIA Zygnemataceae

GÉNERO *Mougeotia* C. Agardh

Cuadro 2.1. Riqueza de Taxa en Los Lagos Cráter de Michoacán durante el 2009.

ESPECIES DETERMINADAS	TACÁMBARO	TEREMENDO	ESPINOS
CYANOBACTERIA			
<i>Limnothrix brachynema</i>	X	X	
<i>Jaaginema geminatum</i>	X	X	
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	X		
<i>Aphanocapsa elachista</i>		X	
<i>Aphanocapsa incerta</i>		X	
<i>Synechocystis diplococca</i>	X		
<i>Synechocystis minuscula</i>	X	X	
<i>Synechocystis pevalekii</i>		X	X
<i>Merismopedia glauca</i>	X	X	X
<i>Merismopedia marssonii</i>	X		X
<i>Merismopedia punctata</i>	X	X	X
<i>Snowella lacustris</i>	X		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X
<i>Microcystis ichthyobable</i>			X
<i>Microcystis smithii</i>	X		
<i>Chroococcus limneticus</i>	X	X	X
<i>Chroococcus minor</i>	X	X	
<i>Chroococcus dispersus</i>	X	X	X
<i>Oscillatoria quasiperforata</i>	X	X	X
<i>Planktothrix agardhii</i>		X	X
CRYPTOPHYTA			
<i>Cryptomonas ovata</i>	X	X	X
EUGLENOPHYTA			
<i>Euglena</i> sp.	X		
<i>Phacus caudatus</i>	X		
<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>coronata</i>	X		
<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>cranulato-collis</i> fa <i>patula</i>	X		
<i>Trachelomonas granulosa</i>	X		
DINOPHYTA			
<i>Peridinium bipes</i>	X		
<i>Peridinium inconspicuum</i>	X	X	
<i>Peridinium cinctum</i>	X		

ESPECIES DETERMINADAS	TACÁMBARO	TEREMENDO	ESPINOS
<i>Peridiniopsis elpatiewskyi</i>	X		
HETEROKONTOPHYTA			
<i>Mallomonas caudata</i>	X	X	X
BACILLARIOPHYTA			
<i>Cyclotella ocellata</i>	X	X	X
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	X	X	
<i>Stephanodiscus medius</i>	X		
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	X		
<i>Stephanodiscus niagarae</i>	X		
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	X		X
<i>Aulacoseira alpigena</i>	X		
<i>Aulacoseira granulata</i>	X		
<i>Aulacoseira valida</i>	X		
<i>Fragilaria fasciculata</i>	X		
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	X	X	
<i>Staurosirella pinnata</i>	X	X	
<i>Synedra amphicephala</i>	X		
<i>Fragilaria famelica</i>	X		
<i>Synedra ulna</i> var. <i>subaequalis</i>	X		
<i>Staurosira construens</i>	X	X	
<i>Tabularia fasciculata</i>			X
<i>Ulnaria delicatissima</i>	X		
<i>Ulnaria delicatissima</i> var. <i>angustissima</i>	X	X	X
<i>Ulnaria ulna</i>	X		
<i>Denticula valida</i>	X		
<i>Nitzschia amphibia</i>	X		X
<i>Nitzschia alpina</i>	X		
<i>Nitzschia gracilis</i>			X
<i>Nitzschia palea</i>	X		X
<i>Nitzschia intermedia</i>	X		
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	X		
<i>Encyonema mesianum</i>	X	X	
<i>Encyonema prostratum</i>	X		
<i>Encyonema silesiacum</i>	X		
<i>Cymbella aspera</i>	X	X	
<i>Cymbella mexicana</i> var. <i>kamtschatica</i>	X		
<i>Cymbella muelleri</i>	X		
<i>Cymbella parviformis</i>	X		



ESPECIES DETERMINADAS	TACÁMBARO	TEREMENDO	ESPINOS
<i>Cymbella tumida</i>	X		
<i>Gomphonema affine</i>	X		
<i>Gomphonema augur</i>	X	X	
<i>Gomphonema gracile</i>	X	X	
<i>Gomphonema olivaceum</i>	X		
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	X	X	
<i>Gomphonema vibrio</i> var. <i>intricatum</i>	X		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	X		
<i>Achnanthes depressa</i>	X	X	
<i>Achnanthes exigua</i>	X		
<i>Achnanthes holsatica</i>	X		
<i>Achnanthes lanceolata</i> subsp. <i>lanceolata</i>	X		
<i>Achnanthes submarina</i>	X		
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	X		X
<i>Planothidium dubium</i>	X	X	
<i>Planothidium rostratum</i>	X		
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	X		
<i>Amphora libyca</i>	X		
<i>Amphora montana</i>	X		
<i>Amphora normanii</i>	X		
<i>Amphora ovalis</i>	X	X	
<i>Pinnularia borealis</i>	X		
<i>Sellaphora pupula</i>	X		
<i>Nitzschia amphibia</i>	X		X
<i>Nitzschia alpina</i>	X		
<i>Nitzschia gracilis</i>			X
<i>Nitzschia palea</i>	X		X
<i>Nitzschia intermedia</i>	X		
<i>Navicula gastrum</i>	X		
<i>Navicula kotschy</i>	X		
<i>Navicula peregrina</i>	X		
<i>Navicula perminuta</i>	X		
<i>Navicula laterostrata</i>	X	X	
<i>Navicula</i> sp.	X		
<i>Stauroneis anceps</i>	X		
<i>Frustulia rhomboides</i>	X		
<i>Epithemia argus</i>	X		
<i>Rhopalodia gibba</i>	X		
<i>Surirella elegans</i>	X		

ESPECIES DETERMINADAS	TACÁMBARO	TEREMENDO	ESPINOS
CHLOROPHYTA			
<i>Chlamydomonas globosa</i>	X	X	
<i>Golenkinia radiata</i>	X		
<i>Botryococcus protuberans</i>	X		
<i>Botryococcus terribilis</i>	X	X	X
<i>Ankyra ancora</i>			X
<i>Pediastrum boryanum</i>	X		
<i>Pediastrum integrum</i>	X		
<i>Pediastrum simplex</i>	X	X	
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>biwaense</i>	X		
<i>Sphaerocystis planctonica</i>		X	
<i>Acutodesmus acuminatus</i>	X	X	
<i>Crucigeniella rectangularis</i>	X	X	
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	X		X
<i>Coelastrum</i> sp.	X		
<i>Didymocystis fina</i>	X		
<i>Didymogenes anomala</i>		X	
<i>Scenedesmus arthrodesmiformis</i>	X	X	
<i>Scenedesmus dispar</i>	X	X	
<i>Scenedesmus opoliensis</i>		X	
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	X		X
<i>Schroederia setigera</i>	X	X	
<i>Tetraedron minimum</i>	X	X	
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	X	X	X
<i>Ankistrodesmus nannoselene</i>	X	X	X
<i>Closteriopsis acicularis</i>	X	X	
<i>Closteriopsis longissima</i>	X		X
<i>Keratococcus bicaudatus</i>		X	
<i>Kirchneriella obesa</i>	X	X	
<i>Kirchneriella lunaris</i>	X		
<i>Monoraphidium contortum</i>	X	X	
<i>Monoraphidium griffithii</i>	X	X	X
<i>Lagerheimia subsalsa</i>	X	X	
<i>Oocystis borgei</i>	X		X
<i>Oocystis solitaria</i>		X	
<i>Staurastrum manfeldtii</i>	X	X	X
<i>Staurastrum manfeldtii</i> var. <i>fluminense</i>	X		X
<i>Staurastrum smithii</i>	X	X	X
<i>Mougeotia</i> sp.	X		

**7.2.3.2 DESCRIPCIONES DE LOS TAXA DETERMINADOS EN EL 2009.*****Limnothrix brachynema* (Skuja) Hindák et Trifonova**

Tricoma corto, recto o ligeramente curvado delgado, fino, mucilaginoso de color café claro a amarillo verdoso brillante, con granulos en la superficie. Estecho en las terminaciones, con un contenido homogéneo o con pequeños gránulos (aerotopos) cerca de las paredes; las células adultas presentan varios aerotopos. La célula apical es redondeada o bien cónica redondeada, sin caliptra, sin pared celular gruesa. Los tricomas miden de 30 a 58.74 (100)  $\mu\text{m}$  de largo y de 1.98 a 2.5 de ancho, con 1.8 a 2.2  $\mu\text{m}$  de ancho en las terminaciones sin constricciones o ligeramente constreñidos cerca de la pared.

Ecología: Filamento solitario, se le encuentra en el plancton, algunas veces común en lagos poco profundos (cerca de 7 metros) junto con otros cianoprocariontes.

***Jaaginema geminatum* (Meneghini ex Gomont) Anagnostidis et Komárek**

Tricomas variablemente curvados, algunas veces rectos, de color azul, amarillo verdoso a verde esmeralda o de verde esmeralda a verde oliva pálido o brillante, inmóvil, translúcido y sin granulaciones cerca de las paredes, sin atenuaciones en las terminaciones, siendo rectas. Célula apical redondeada sin caliptra o engrosamientos fuera de la pared celular, raramente vista con terminaciones ligeramente cónicas. Las células del tricoma son más largas que anchas, raramente cortas o isodiamétricas de 3.3 a 5.28  $\mu\text{m}$  de largo y de 2.64  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Kómarek**

Tricomas solitarios, rectos o ligeramente curvados, flexibles, fuertemente constreñido entre las paredes translucidas, gruesas y hialinas, o casi sin constricción, sin aerotopos; los tricomas presentan terminaciones no atenuadas, ocasionalmente con un mucílago delgado o vaina. Células cilíndricas alargadas de color verde azul pálido u oliva verde azul, El contenido celular es homogéneo con un cromatoplasma ligeramente distintivo. Las células apicales son redondeadas sin aerotopos, con (2.6) 2.5 a 8 veces más largo que ancho, (1.2) 4 a 12 (20)  $\mu\text{m}$  de largo y (1.8) (1) 1.2 a 1.5 (2)  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Se le encuentra en el bentos o en el lodo de charcas, albercas, embalses artificiales y lagos, también se le encuentra en el ticoplancton y en el plancton de aguas contaminadas, muy probablemente distribuida en una amplia zona templada y tropical.

***Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) Cronberg et Komárek**

Colonias microscópicas, esféricas, algunas veces ligeramente aplanadas, raramente irregulares con un gran número de agregados celulares densos de color verde amarillo. Mucílago incoloro o amarillento, difluente indistintivo en el margen. Las células son esféricas, con pequeños gránulos verde amarillos o azul verde pálido, sin aerotopos de 0.5 a 2.7  $\mu\text{m}$  de diámetro

Ecología: Comúnmente en el plancton de ambientes eutróficos, considerada una especie cosmopolita.

***Aphanocapsa elachista* W. et G. S. West**

Colonias microscópicas, esféricas u ovales, con células solitarias muy esparcidas, que después de la división se encuentran en pares. Mucílago homogéneo, incoloro, usualmente difluente. Células esféricas, gris o azul verde pálido sin aerotopos, con un diámetro de 1.3 a 2  $\mu\text{m}$ . Colonia de hasta 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Ecología: Ocurre en el plancton de aguas eutróficas, muy común en países tropicales, rara en regiones cálidas de áreas templadas (Europa), ocasionalmente en áreas cálidas o durante la estación de verano en grandes cuerpos de agua. Los registros de otros biotopos pueden ser otras especies.

***Synechocystis diplococca* (Pringsheim) Bourrelly**

Células globulares, solitarias o en pares (después de la división), de color verde azul pálido sin mucílago. De 1 a 1.4  $\mu\text{m}$  de diámetro (durante la división hasta 2.4  $\mu\text{m}$  de largo).

Ecología: Se encuentra en muestras bénticas de lodo, registradas en fisuras de rocas y guijarros, influenciadas por exalaciones de fumarolas termales volcánicas.

### ***Synechocystis minuscula* Voronichin**

Células globulares solitarias de contenido azul verde homogéneo, sin cromatoplasma visible, con envolturas gelatinosas individuales. Diámetro: (1.8) 1.98 a 2.64 (4.5)  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Se encuentra en manantiales y albercas alcalinas y en sistemas termales algunas veces en sistemas salinos. Registrada para Asia y N. América.

### ***Synechocystis pevalekii* Ercegovic**

Células solitarias, esféricas, después de la división hemi esféricas, de contenido homogéneo verde azul. Con un diámetro de 2.4 a 3.5  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Especie sub aerofítica, formando mucílago cuando se les encuentra epifitando algas, presentes en rocas calcáreas, distribuidas ampliamente en el centro de Europa.

### ***Merismopedia marssonii* Lemmermann**

Colonias planas o ligeramente curvadas, más o menos rectangulares con mas de 128 (>200) células arregladas densamente. Mucílago distintivo, hialino de 3 $\mu\text{m}$  más allá de las células. Células esféricas o subesféricas después de la división, con contenido verde azul y con mas de 3 aerotopos en la parte central de la célula, las cuales tienen in diámetro de 1.3 a 2 (3.3)  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Ocurre en el plancton de agua dulce (lagos eutróficos y charcas sobre la zona templada Eurasia) pero esporádicos; con registros en países tropicales (de India con colonias de 4 células y células ligeramente largas; E. Africa a Lago Victoria) probablemente representan otras especies.

***Merismopedia punctata* Meyen**

Colonia microscópica formando placas cuadradas o rectangulares de células, comúnmente con subcolonias adyacentes, ampliamente esparcidas. El margen del mucílago es distintivo, extendiéndose más allá de las células. Células esféricas, elipsoidales o hemi esféricas, de 2 a 4  $\mu\text{m}$  de diámetro, de color verde azul pálido.

Ecología: Distribuida en aguas salinas y dulces, sobre el limo, epifitando macrófitas y habitando el plancton de ambientes mesotróficos.

***Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák**

Colonia esférica, elipsoidal o irregular cuando forma colonias hijas. Células elipsoidales a ovoides, usualmete pero no siempre, sin aerotopos. Las células se encuentran bien espaciadas en unas de otras en colonias jóvenes y aglomeradas en colonias viejas. Se distinguen tractos mucilaginosos delgados. Las colonias presentan un diámetro de 80  $\mu\text{m}$  y las células de 1.5 a 3.5  $\mu\text{m}$  y (1.5) 2 a 4  $\mu\text{m}$

Ecología: Ampliamente distribuida con bajas concentraciones celulares en el plancton de embalses y lagos eutróficos y mesotróficos.

***Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing**

Colonias mucilaginosas microscópicas, más o menos esféricas, débilmente elongadas, que llegan a formar colonias macroscópicas, irregulares, lobadas, distintivamente elongadas, usualmente con forma de red con espacios o compuesta por subcolonias, con arreglo irregular de densos paquetes celulares. El mucílago es incoloro, sin estructura, difluente, algunas veces formando un margen distintivo pero no muy ancho, alrededor de las células (usualmente entre 5 y 8  $\mu\text{m}$ ). Células esféricas, algunas veces con un diámetro ligeramente elongado antes de la división, color verde azul pálido, con numerosos aerotopos, con un diámetro de 3.96 a 5.94  $\mu\text{m}$ , las colonias presentan un diámetro de (40) 600 a 900 (1000)  $\mu\text{m}$ , raramente alcanzan tamaños por arriba de 8 mm.

Ecología: Se les encuentra en aguas salobres, en el plancton de cuerpos de agua eutróficos, algunas veces encabezando los florecimientos algales. Especie cosmopolita, no se le encuentra en regiones polares y subpolares.

***Microcystis ichthyoblabe* Kützing**

Colonias irregulares, compuestas de pequeños grupos de células, agrupadas en subcolonias, inmersas en una envoltura gelatinosa homogénea, transparente, fina e incolora. Las subcolonias se componen de células esféricas y ovadas con aerotopos, esparcidas en un mucílago dejando espacios en entre sí equivalentes a 1 o 1.5 veces su diámetro, el cual es de 2.64  $\mu\text{m}$ , las subcolonias miden de 25.08 a 60.72 y 29.7 a 105.6  $\mu\text{m}$

Ecología: Se localiza en agua dulce, en el plancton de ambientes mesotróficos o ligeramente eutróficos, pero no en lagos contaminados. Algunas veces forman parte de florecimientos algales. Se les localiza en regiones del norte en zonas templadas, es probable que se encuentren en países tropicales.

***Microcystis smithii* Komárek et Anagnostidis**

Colonias libres flotantes en ambientes pelágicos, mas o menos esféricas o ligeramente irregulares, gelatinosas, nunca clatradas. El arreglo celular es raramente denso, las células son esféricas y ovadas, azul verdes u oliva, inmersas en un mucílago fino casi incoloro, difuso sin margen refractivo, mas o menos esparcidas, solitarias o en pares después de la división, con uno o varios aerotopos. Las células presentan un diámetro de 3.3 a 3.96  $\mu\text{m}$ , mientras que las colonias miden de 36 a 45  $\mu\text{m}$  de diámetro

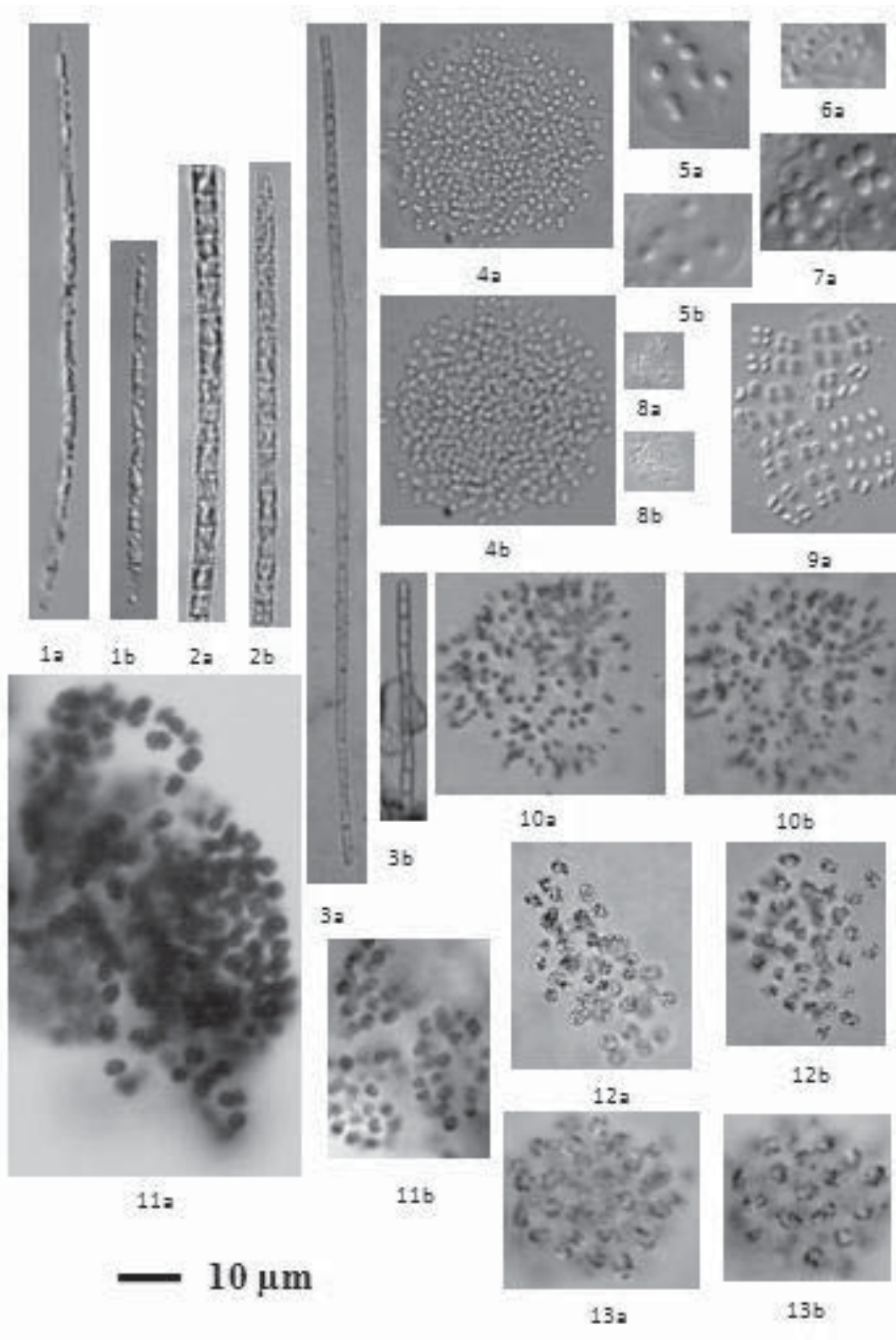
Ecología: Se encuentran en el plancton de agua dulce, en lagos limpios de N. América, Argentina (Tierra del Fuego), N. Europa, Poland (cerca de Lublin), N. Grecia

## LAMINA I

<i>Limnothrix brachynema</i> (Skuja) Hindák et Trifonova	1
<i>Jaaginema geminatum</i> (Meneghini ex Gomont) Anagnostidis et Komárek	2
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Kómarek	3
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) Cronberg et Komárek	4
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. et G. S. West	5
<i>Synechocystis diplococca</i> (Pringsheim) Bourrelly	6
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	7
<i>Merismopedia marssonii</i> Lemmermann	8
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	9
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek et Hindák	10
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	11
<i>Microcystis ichthyobable</i> Kützing	12
<i>Microcystis smithii</i> Komárek et Anagnostidis	13



LAMINA I



***Chroococcus limneticus* Lemmermann**

Colonia libre flotante, ovoide o irregular, de margen distintivo y algunas veces difluente. Las células se encuentran inmersas en un mucílago incoloro en grupos de 2 o 4, hemiesféricas sin aerotopos. Su diámetro varía de 6 a 20  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Especie planctónica de lagos y embalses mesotróficos. Presente a lo largo del año constituyendo en bajas proporciones al plancton de agua dulce.

***Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann**

Colonias flotantes de 4 a 32 células subesféricas o elípticas sin aerotopos, ocasionalmente con una vaina estrecha indistintiva, pero embebidas en un mucílago homogéneo incoloro con una capa distintiva o difluente. Células de 3 a 5  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Se le encuentra en plancton de aguas con un ligero enriquecimiento de nutrientes, presente en invierno en lagos y embalses eutróficos con un fondo anaeróbico.

***Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli**

Colonias pequeñas de 2 a 8 células, esféricas u ovoides de margen firme, el cual puede ser irregular si es difluente. Las células son esféricas o hemiesféricas con una vaina amplia homogénea de 4 a 12  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Especie de agua dulce y salina, presente comúnmente en embalses y lagos poco profundos. Se le encuentra epifitando macrófitas y constituyendo al plancton.

***Oscillatoria quasiperforata* Skuja**

Tricomas rectos verde amarillo, largos, compuesto de células con aerotopos polares solitarios, células de 1.3 a 1.5  $\mu\text{m}$  de ancho, tricomas de 5.5 a 16  $\mu\text{m}$  de largo.

***Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis et Komárek**

Tricomas usualmente planctónicos, solitarios o en agregados, rectos o curvados ligeramente atenuados hacia el ápice con terminaciones redondeadas ligeramente cónicas o puntiagudas sin caliptra. Constituidos por células de forma rectangular más anchas que largas, sin constricciones en las paredes, algunas veces presentan gránulos cerca de la pared celular y aerotopos, su diámetro es de 4 a 6  $\mu\text{m}$  de ancho y 2.5 a 4  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Especie planctónica de agua dulce y salobre, se le encuentra en embalses, lagos y ríos formando poblaciones densas en estos últimos.

***Cryptomonas ovata* Ehrenberg**

Células comúnmente con un moderado grado de compresión lateral, en la terminación anterior, a menudo aparece con una ligera protuberancia dorsal aguda y 2 cuerpos refringentes, con terminación posterior redondeada. Presenta una vacuola contráctil en la parte anterior de la célula y flagelos iguales o casi iguales, tan largos o tan cortos como las proporciones de la célula. Dos cloroplastos presentes por célula. La célula es de color verde oliva, verde amarillento o café amarillento y con núcleo en la parte media posterior de la célula, sus dimensiones son: 5 a 20  $\mu\text{m}$  de ancho y 14 a 80  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Especie cosmopolita, encontrada frecuentemente en el plancton.

***Phacus caudatus* Hübner**

Células elípticas ligeramente torcidas, a veces alargadas; con una proyección terminal que no esta claramente separada. Célula más o menos asimétrica. Película rayada (pliegues en el periplasto). Quilla dorsal aguda con continuación hasta la cauda. Presenta un gránulo de paramilo central grande y algunos pequeños. Sus dimensiones son: (20) 34  $\mu\text{m}$  y (10) 15 a 20 (22.8)  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Se le encuentra en ambientes mesosapróbicos. Es común en el plancton de lagos, charcas, estanques, y manantiales particularmente contaminados.

***Trachelomonas hispida* var. *coronata* Lemmermann**

La lórica es densa y poco espinosa (espinas iguales). Presenta una corona de espinas más gruesas que las del resto de la lórica en la parte apical, las cuales están unidas entre sí por la base. La lórica por lo común es más delgada que *T. hispida*. Presenta un largo entre (36.96) 37 a 40  $\mu\text{m}$  y un ancho de 19 a (20.96) 21  $\mu\text{m}$

***Trachelomonas hispida* var. *cranulato-collis* fa *patula* Deflandre**

Abertura de la salida del flagelo amplia, la corona es más amplia en la parte periférica, con espinas, presenta 2.64  $\mu\text{m}$  de alto y 5.28  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Trachelomonas granulosa* Playfair**

Lórica elipsoidal, densamente cubiertas de gránulos en forma de perlas. Cuello muy bajo o nulo. Lórica de color marrón amarillento o marrón rojizo oscuro. Con un largo de 17 (18) a 26  $\mu\text{m}$  y un ancho de 13 (13.8) a 22  $\mu\text{m}$

Ecología: Se le encuentra distribuida en zonas templadas y tropicales

***Peridinium bipes* Lemmermann**

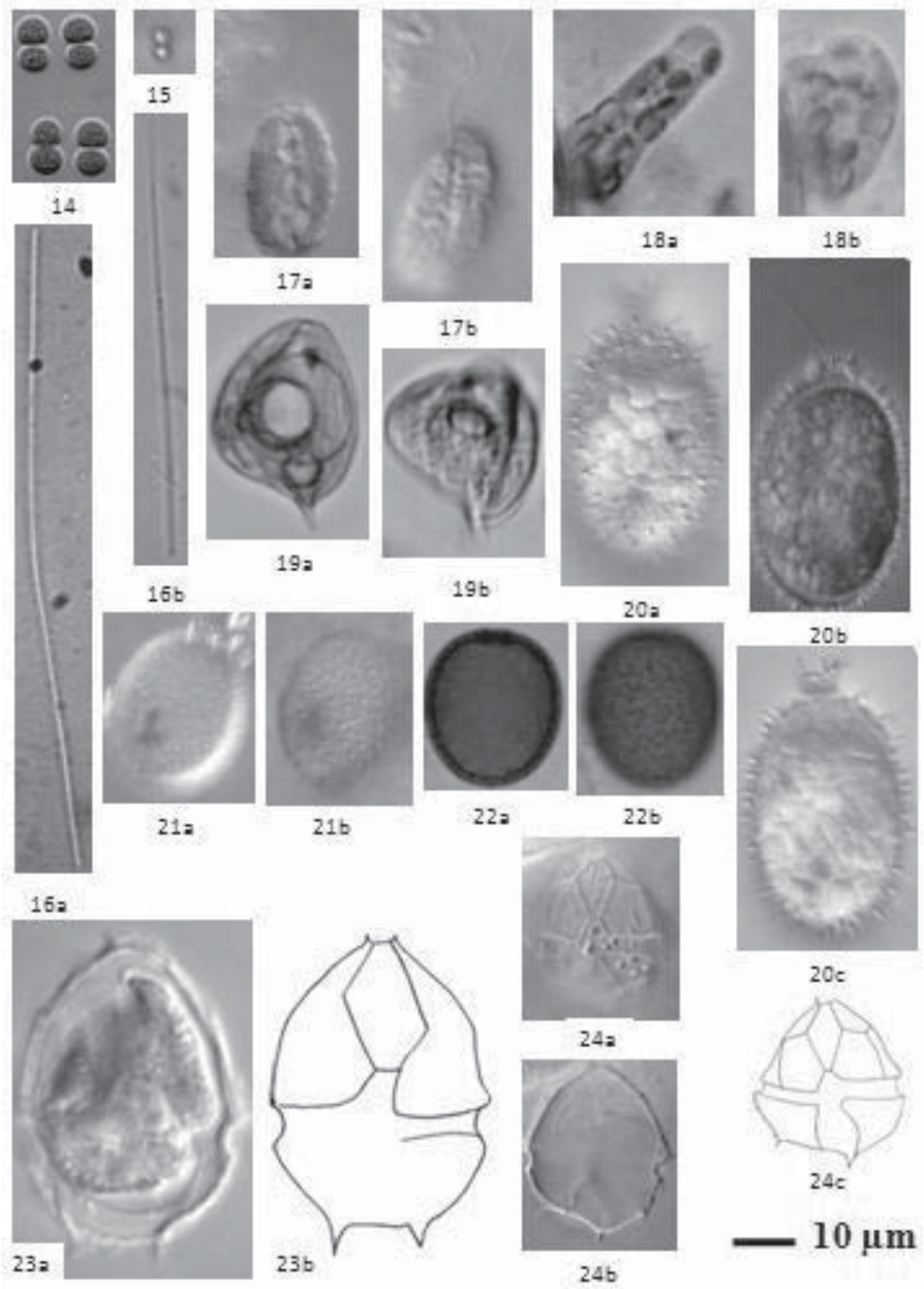
Células redondeadas a ovadas, ligeramente aplanadas dorsoventralmente, la epiteca es generalmente cónica con los vértices entre las placas *intercalares anteriores* y *precingulares* orientados ligeramente hacia el ápice. Presenta un cuerno apical no pronunciado, con la epiteca más larga que la hipoteca; la hipoteca está aplanada y presenta dos espinas gruesas; el cingulo está bien definido con constricción circular de ornamentación lisa y estriada. El sulcus penetra la epiteca y desciende, enanchándose, hasta el antapice de la hipoteca; la pared celular esta compuesta de placas tecadas, cubiertas por ornamentación reticulada, rodeada de poros. La formula de placas es: Po, x, 4', 3<sup>a</sup>, 7'', 5c, ¿4? S, 5'', 2''', poro apical distintivo, rodeado por un ala corta, algunas veces extendiéndose en el ápice. Las bandas intercalares pueden ser anchas, presenta un ancho de 38 a 90  $\mu\text{m}$  y 40 a 95  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Se tienen registros para Europa, es común en charcas, lagos y reservorios, en abundancia las especies pueden modificar el color del agua.

## LAMINA II

<i>Chroococcus limneticus</i> Lemmermann	14
<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	15
<i>Oscillatoria quasiperforata</i> Skuja	16
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	17
<i>Euglena</i> Ehrenberg	18
<i>Phacus caudatus</i> Hübner	19
<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>coronata</i> Lemmermann	20
<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>cranulato-collis</i> fa <i>patula</i> Deflandre	21
<i>Trachelomonas granulosa</i> Playfair	22
<i>Peridinium bipes</i> Lemmermann	23
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	24

LAMINA II



***Peridinium inconspicuum* Lemermann**

Células generalmente esféricas, aplanadas en las terminaciones terminales, cíngulo recto ligeramente desplazado, posmediano y por lo tanto la epiteca es de mayor tamaño que la hipoteca. La pared celular está compuesta de delicadas placas lisas. La fórmula de las placas es: Po, 4', 2<sup>a</sup>, 7'', ?c, ?s, 5''', 2'', la primer placa apical ancha, dos placas intercalares separadas por 3' y 4'' siendo unidas. El borde de la placa sulcal posterior porta de 3 a 4 pequeñas espinas. Sus dimensiones son: 12 a 25 (19.8) µm de ancho y 15 a 30 (29.6) µm de largo.

Ecología: Especie cosmopolita, presente en el plancton de lagos.

***Peridinium cinctum* (O.F. Müller) Ehrenberg**

Células redondeadas a ovoides, algunas veces dorsoventralmente aplanadas; el cíngulo es ligeramente posmediano y ancho haciendo característica que provoca que hipoteca sea mas corta que la epiteca. El sulcus presenta alas cortas, extendiéndose una tercera parte de la epiteca, descendiendo al antapice de la hipoteca. La pared celular se conforma de gruesas placas de ornamentación reticulada, cada ornamentación con alrededor de 1 a 3 poros y en células adultas la ornamentación se constituye por pequeñas espinas. La formula de placas es: 4', 3<sup>a</sup>, 7'', 5c, ¿5?s, 5''', 2''''', bandas intercalares de estriación constreñida, placas antapicales frecuentemente de tamaño desigual; poro apical ausente; cloroplastos numerosos, café oscuro y arreglados alrededor en la periferia de la célula, sus dimensiones son: 35 a 73 µm de ancho y 40 a 78 µm de largo.

Ecología: De amplia distribución en el mundo, se encuentra en el plancton de albercas, lagos, charcas y embalses; especie predominante en invierno y primavera.

***Peridiniopsis elpatiewskyi* (Ostenfeld) Burrelly**

Las células tienen una forma pentagonal a ovoide y ligeramente aplanado dorsoventralmente. La epiteca es cónica y más grande que la hipoteca, la cual es redondeada y excavada en el antapice. El cíngulo circunscribe la célula; el sulcus se ensancha a lo largo de la hipoteca y llega al antápice. Las placas son cóncavas y



ornamentadas por filas de finos puntos. Algunas espinas o proyecciones en forma de dientes están presentes en la hipoteca. Los cloroplastos son numerosos y discoidales. Las hipno esporas son algo ovales con una pared celular gruesa. Sus dimensiones son: 22 a 45 (29.7)  $\mu\text{m}$  de largo y 22 a 35 (28.38)  $\mu\text{m}$  de ancho. Las hipno esporas son entre 36 x 28  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Se le encuentra en el plancton de lagos y turberas en Europa central y Asia.

### ***Mallomonas caudata* Ivanov**

Células ovoides o en forma de pera algunas veces con una cauda y cerdas dentadas tan largas como el largo de la célula, las cuales cubren a ésta. Sus dimensiones son: 10 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho y hasta de 100  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Especie ampliamente distribuida, principalmente en el hemisferio norte.

### ***Cyclotella ocellata* Pantocsek**

Frústulas solitarias. Las frústulas son circulares con una ligera ondulación y sin espinas periféricas. Presentan de una a tres excéntricas fultopórtulas, dispersas y cuatro rimopórtulas periféricas. Las estrías marginales son agudas, diferentes y por arriba de 2/3 del radio, de 16 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ . En el área central, las areolas son muy finas. Además tres cavidades redondeadas y radiadas se encuentran presentes en esta zona. El diámetro de la frústula va de 38.10 a 11.62  $\mu\text{m}$ .

### ***Cyclotella meneghiniana* Kützing**

Frústulas solitarias. Las frústulas son circulares con ondulaciones pronunciadas y pequeñas espinas periféricas, 2 a 4 rimopórtulas evidentes marginales y 1 o 2 cercanas al centro, fultopórtula aislada. Las estrías son gruesas en el margen y agudas en el centro de la frústula. Las areolas no son visibles. Presenta estrías marginales agudas, entre 8 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ . El diámetro de la frústula es de 10 a 20  $\mu\text{m}$ , y el diámetro del área central es de 4 a 12  $\mu\text{m}$ .



Ecología: Especie cosmopolita que habita ambientes alcalinos, presente en substratos cársticos.

### ***Stephanodiscus medius* Håkansson**

Frústulas solitarias, cóncavas, sin anillos marginales hialinos, con un área central diferencial al área marginal. Las costillas son más estrechas que las estrías uniseriadas. Las areolas se encuentran arregladas libremente hacia el centro y de forma radiada hacia el margen. Una fultopórtula ocurre en cada costa del margen. Presenta de 7 a 8 costillas en 10  $\mu\text{m}$ , con un diámetro de frústula de 20 a 22  $\mu\text{m}$  y 20 estrías marginales en 10  $\mu\text{m}$ .

### ***Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve et Möller**

Frústulas solitarias con pequeñas elevaciones en el centro o depresiones circulares, a menudo difíciles de observar en microscopia de luz. Presenta areolas individuales en el centro agrupadas de manera irregular y 2 o 3 filas de areolas que parten del área cercana al centro hacia el margen. Las franjas radiales se encuentran ligeramente curvadas con espinas en los extremos. Los procesos marginales se encuentran separados por una espina en una areola. Diámetro de 2 a 12  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Especie cosmopolita, se le encuentra en el plancton. Habita en aguas muy contaminadas y de conductividad alta.

### ***Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg**

Frústulas solitarias, circulares con un centro ligeramente convexo. Presenta en la frústula estrías conformadas de areolas radiales, dispuestas en fascículos biseriados en el margen a uniseriados al centro. Las areolas se encuentran de 11 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Presenta espinas marginales al término de las hileras de areolas. Al centro contiene de 2 a 5 fultopórtulas con dos a tres poros. Los cloroplastos son discoidales. Diámetro de 25 a 135  $\mu\text{m}$ .

Ecología: Especie planctónica, distribuida en América del Norte. Habita ambientes mesotróficos y eutróficos.

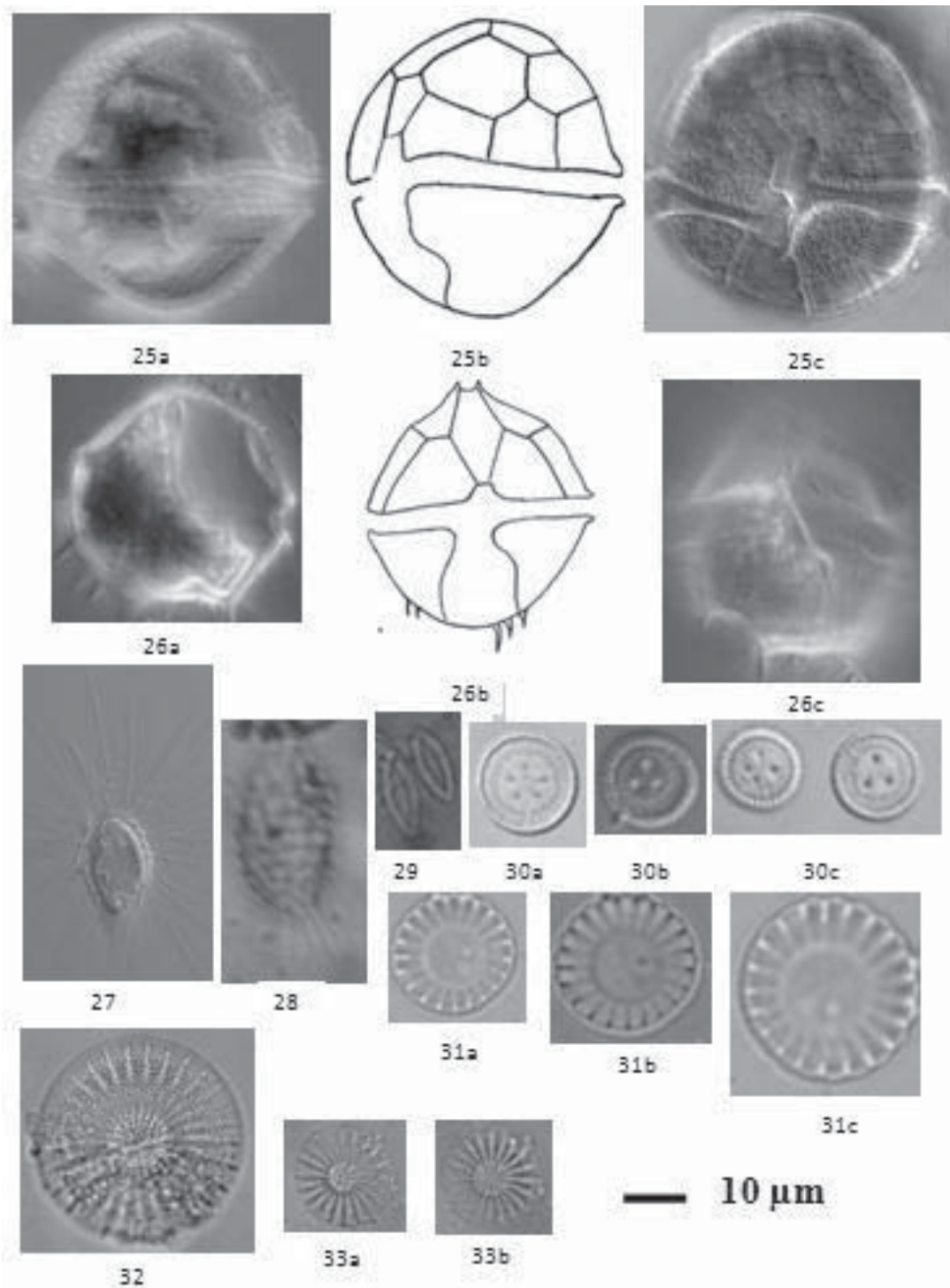
---

---

**LAMINA III**

<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg	25
<i>Peridiniopsis elpatiewskyi</i> (Ostenfeld) Bourrelly	26
<i>Mallomonas caudata</i> Ivanov	27
<i>Mallomonas hamata</i> Asmund	28
<i>Navicula perminuta</i> Grunow	29
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	30
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	31
<i>Stephanodiscus medius</i> Håk	32
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kützing) Cleve et Möller	33

LAMINA III



***Thalassiosira weissflogii* (Grunow) G. Fryxell et Hasle**

Frústulas con forma de tambor en vista cingular, casi planas con el centro ligeramente convexo o cóncavo. Areolas poligonales presentes en la superficie de la frústula, apenas visibles en microscopia de luz. Un anillo marginal de procesos se observa en la superficie de la frústula. Diámetro de 4 a 32  $\mu\text{m}$ .

***Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer**

Frústulas cilíndricas con márgenes rectos, largas, bien conectadas entre células. Pseudosulcus recto y poco desarrollado. La pared celular es gruesa y presenta conexiones con pequeñas espinas, con crecimiento lateral lo cual les da una forma característica. El sulcus es indistintivo y los anillos son relativamente cortos. Con 4 a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro y 4 a 7  $\mu\text{m}$  de alto. La relación entre la altura y el diámetro es de 0.35

***Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen**

Las frústulas forman cadenas relativamente cortas o largas. Presentan 1 o 2 espinas largas y 4 a 8 cortas en el margen de la valva, con surcos longitudinales donde por medio de las espinas se unen a las células vecinas. Las estrías son paralelas al eje perfrústular. Areolas densas están perpendiculares a cada areola. Esta presente un sulcus relativamente corto y el pseudo sulcus no es aparente. Las estrías perfrústulares son 10 cada 10  $\mu\text{m}$  con 8 areolas en cada 10  $\mu\text{m}$ . El diámetro de la frústula va de 6 a 13  $\mu\text{m}$ , 10 a 16  $\mu\text{m}$  del manto.

***Aulacoseira valida* (Grunow) Krammer**

Frústulas cilíndricas con terminaciones convexas. Presenta líneas paralelas internas y lados rectos. Disco convexo. El pseudosulcus se observa como un profundo surco. Las paredes celulares son gruesas. Presenta de 18 a 22 puntos en 10  $\mu\text{m}$ . Largas con un diámetro de 10 a 25  $\mu\text{m}$  y una altura de 10 a 18  $\mu\text{m}$ . La relación entre el diámetro y el alto es de 0.6 a 3.

Ecología: Especie cosmopolita, con registros en Europa y Norte América en ambientes distróficos y oligotróficos.

***Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M. Williams et Round**

Frústulas solitarias, rectas en vista conectiva. Frústulas simétricas y lineares con terminaciones rostradas. Márgenes rectos en vista frústular sin espinas. El área axial es amplia y lanceolada. La estriación es marginal, ligeramente radiada de 13 a 17 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 12 a 23  $\mu\text{m}$  de largo y 3 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams et. Round**

Frústula rectangular en vista cingular, rara vez en forma redondeada, a menudo de forma alargada, siendo poco común en agregados zigzag. Las estrías de las frústulas pequeñas pueden ser más amplias que las estrías de frústulas grandes, con una densidad de 5 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Las frústulas son muy variables, van de elípticas a lineares elípticas o lineares, con terminaciones amplias y redondeadas, así como formas lanceoladas redondeadas u ovals. Dimensiones: de 3 a 36 (38.18)  $\mu\text{m}$  de largo y de 2 a 8  $\mu\text{m}$  (11.62)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Ulnaria delicatissima* (W. Smith) M. Aboal et P.C. Silva**

Frústulas muy largas y solitarias. Su forma es linear con forma de aguja, con el eje apical recto; las terminaciones son extendidas, subcapitadas con polos redondeados. Presenta una forma cónica del centro a los polos. El área central es inconspicua, lanceolada a rectangular; abarcando 1/3 de la frústula. En la parte apical es evidente una rimopórtula. Las estrías son cortas y presentan un arreglo regular.

***Synedra amphicephala* Kützing**

Frústulas solitarias, en vista conectiva estrechas y en vista frústular reducidas hacia el área axial. Frústulas rectas. Área axial estrecha y área central amplia con estrías paralelas de 9 a 22 en 10  $\mu\text{m}$ . En microscopía electrónica de barrido se observa una rimopórtula. Dimensiones: de 10 a 100  $\mu\text{m}$  de largo y 2 a 6.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Se le encuentra en ambientes oligotróficos y mesotróficos, alcalinos y de conductividad alta.

***Fragilaria famelica* (Kützing) Lange-Bertalot**

Frústulas lineares y rectangulares en vista conectiva. Frústulas lineares, subcapitadas, con el ápice redondeado. Pseudorafe estrecho, distintivo. El área central es usualmente lisa y pequeña. Las estrías son paralelas con una densidad de 15 a 18 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 10 a 100  $\mu\text{m}$  de largo y 2.5 a 4  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Synedra ulna* var. *subaequalis* Grunow**

Frústula linear, ligeramente estrecha en algunas de las terminaciones rostradas, Pseudorafe muy estrecho. Área central usualmente ausente y si presenta es pequeña. Presenta de 7 a 9 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Un area central puede estar presente también. La carencia de espacio intermedio no hace que la frústula sea linear lanceolada, sino solamente linear. Dimensiones: de 200 a 250  $\mu\text{m}$  de largo y de 3 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Staurosira construens* Ehrenberg**

Frústulas solitarias que forman cadenas de forma romboidal. Simétricas, en vista cingular rectas. Las frústulas presentan terminaciones redondeadas, algunas veces capitadas y son amplias en la parte central, con espinas cortas. Pseudorafe linear distintivo. El área apical es estrecha y lanceolada. La estriación es radial con areolas elongadas de 14 a 18 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 7 a 25  $\mu\text{m}$  de largo y de 5 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Habita en agua alcalina, indiferente al cloro. Especie planctónica y béntica.

***Tabularia fasciculata* (C.Agardh) D.M.Williams et Round**

Frústula comúnmente en vista conectiva, solitarias o unidas a otras, cortas o demasiado largas, con forma de banda, con una proporción entre el largo y el ancho muy variable. Frústulas lanceoladas o linear lanceoladas, rara vez redondeada, la cual linealmente se reduce abruptamente en los apices. El área central es muy variable de moderada a amplia. El acomodo de las estrías es muy variable (acortadas al margen), muy variables en anchura, encontrándose de 7.5 (9) a 26 en 10  $\mu\text{m}$ , con las terminaciones sin

ornamentaciones, con una rimopórtula reconocible. La longitud de la frústula es de (12) 20 a 400  $\mu\text{m}$ , con un ancho de 2 a 8  $\mu\text{m}$ .

***Ulnaria delicatissima* (W. Smith) M. Aboal et P.C. Silva**

Frústulas lineares con forma de aguja, las cuales disminuyen hacia los apices redondeados. Pseudorafe muy estrecho, pero distintivo, más largo que ancho, el cual no alcanza a llegar al margen de la frústula. En el margen de la frústula en cada lado del área central se encuentran estrías muy cortas, las cuales son paralelas y cubren toda la frústula, con una densidad de 11 a 14 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: ancho de 100 a 230  $\mu\text{m}$  y una relación largo ancho de 30 a 1 y 50 a 1.

***Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère.**

Frústulas largas y solitarias, con frústulas lineares con eje apical recto; los apices son extendidos, rostrados de polos redondeados. En vista valvar las células presentan márgenes rectos. El área central es rectangular, mientras el área axial se reduce. Rimopórtula apical evidente. Las estrías son lineares, con un arreglo regular.

***Denticula valida* (Pedicino) Grunow**

Frústula solitaria. En vista valvar de forma linear o linear lanceolada y rectangular en vista conectiva. Los ápices son ligeramente agudos, con polos redondeados. Rafe distintivo en la mitad de la valva. Las costillas son agudas, capitadas en vista conectiva. Las estrías se componen de filas de areolas. Presenta 2 a 4 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$  y 16 a 20 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 28 a 65  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 11  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Anomoeoneis sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer**

Las frústulas son elípticas lanceoladas con terminaciones rostradas. El área axial es linear con una fila de puntos aislados de las estrías; el área central está desarrollada unilateralmente; las estrías son punteadas y radiadas a paralelas. Las fisuras proximales del rafe son rectas; las fisuras distales son curvadas para el mismo lado. Mientras que el

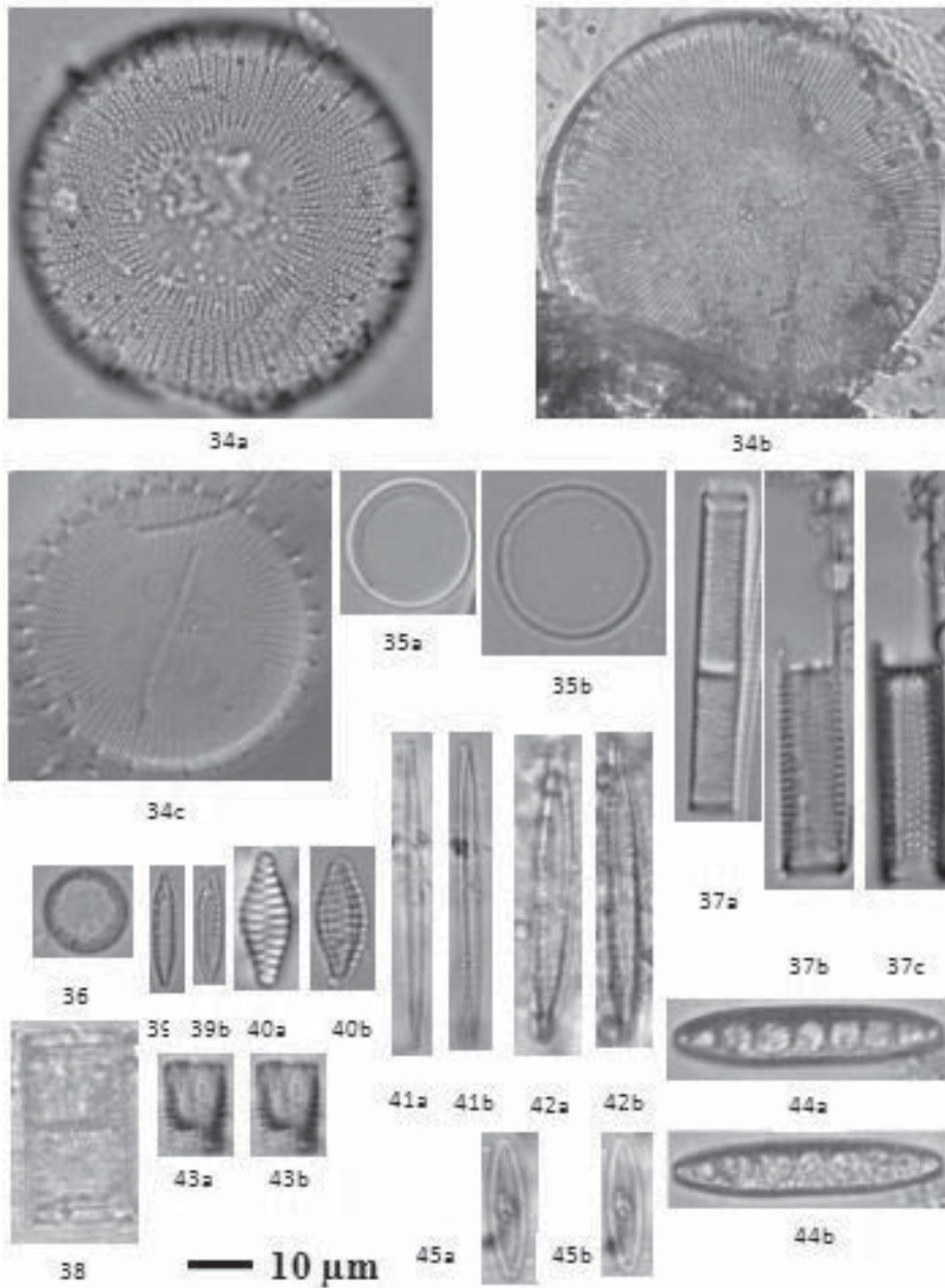
arreglo de las estrías es de 13 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 25 a 200  $\mu\text{m}$  de largo y de 12 a 60  $\mu\text{m}$  de ancho.

#### LAMINA IV

<i>Stephanodiscus niagarae</i> Ehrenberg	34
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) G. Fryxell et Hasle	35
<i>Aulacoseira alpigena</i> (Grunow) Krammer	36
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) var. <i>angustissima</i>	37
<i>Aulacoseira valida</i> (Grunow) Krammer	38
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) D.M. Williams et Round	39
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams et. Round	40 y 43
<i>Synedra amphicephala</i> Kützing	41
<i>Fragilaria famelica</i> (Kützing) Lange-Bertalot	42
<i>Denticula valida</i> (Pedicino) Grunow	44
<i>Anomoeoneis</i> sp.	45



LAMINA IV



***Encyonema prostratum* (Berkeley) Kützing**

Frústulas solitarias de forma semielíptica o elongada, isopolar con simetría dorsiventral. Rafe ligeramente recto presente en vista valvar, con terminaciones inclinadas hacia la parte dorsal y las apicales dobladas a la parte ventral. Margen dorsoventral arqueado, margen ventral convexo. Terminaciones redondeadas, estigma ausente. La densidad de estrías es de 7 a 22 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 38 a 92  $\mu\text{m}$  de largo y 16 a 31  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Encyonema silesiacum* (Bleisch) D.G. Mann**

Frústulas de forma cimbeloide con un margen dorsal fuertemente curvado y un margen ventral recto. Los ápices no se proyectan y presenta polos agudos. El area axial es estrecha y recta, mientras que no presenta un area central distintiva. El rafe se observa en vista ventral, grueso con fisuras proximales e inclinación al margen dorsal. Las fisuras distales se encuentran curvadas hacia la parte ventral. Presenta un nódulo central pequeño, un estigmoide cercano a la estria dorsal céntrica. Las densidad de estrías es de 14 a 16 /10  $\mu\text{m}$  en la parte dorsal y de 16 a 18 /10  $\mu\text{m}$  en la parte ventral. Dimensiones: de 20 a 25  $\mu\text{m}$  de largo y de 5 a 6.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Cymbella aspera* (Ehrenberg) Cleve**

Frústulas moderadamente a claramente dorsoventrales, margen dorsal uniformemente arqueado, margen con la porsión central gibosa. Los ápices de las valvas no alargados y por lo general redondeados. El área axial es moderadamente ancha, linear, amplia en la mitad de la frústula para formar un área central poco profunda, cerca de  $\frac{1}{4}$  del ancho de la valva, mientras que en especímenes pequeños es cercano a  $\frac{1}{3}$  del ancho de la valva. El rafe es cercano a la línea media, fuertemente lateral cerca de las terminaciones proximal y distal, comenzando filiforme cerca de las terminaciones proximales y ligeramente reverso lateral cerca de las terminaciones distales. Las terminaciones del rafe proximal con poros centrales redondeados, los cuales son moderadamente distantes y ligeramente amplios en el margen ventral. Con 6.5 a 8 estrías en 10  $\mu\text{m}$  en el centro y 10 estrías en 10  $\mu\text{m}$  cerca del ápice. Dimensiones: de 110 a 200  $\mu\text{m}$  de largo y de 26 a 35  $\mu\text{m}$  de ancho, proporción máxima entre el largo y el ancho de 5.7.

***Encyonema mesianum* (Cholnoky) D. G. Mann**

Frústulas asimétricas al ápice con el margen ventral ensanchado ligeramente en la porción central de la frústula. Los ápices no se prolongan y presentan polos redondeados. El área axial no es distintiva. El rafe se localiza en la porción ventral. Las fisuras distales del rafe en el ápice se inclinan a la parte ventral. Presenta un estigmoide en el lado dorsal del área central. Las estrías centrales son ligeramente radiadas y paralelas en el ápice, claramente punteadas, con una densidad de 7 a 11 en 10  $\mu\text{m}$  y 18 a 22 puntos en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 30 a 70  $\mu\text{m}$  de largo y de 9 a 14  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Cymbella mexicana* var. *kamtschatica* Krammer**

Frústula con el margen dorsal arqueado, el margen ventral ligeramente convexo con un ensanchamiento en el centro de la frústula. El área axial es arqueada y la central es pequeña, ovoide con un estigma en el centro. El rafe es lateral iniciando filiforme en el ápice proximal y distal. Las estrías son punteadas, con una densidad de 7 a 8 en 10  $\mu\text{m}$  y 10 a 12 puntos en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 80 a 165  $\mu\text{m}$  de largo y 24 a 33  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Cymbella muellerii* Hustedt**

Frústulas fuertemente dorsiventrales con ápices puntiagudos, no muy comúnmente redondeados. El área axial es linear o lanceolada, con el área central amplia. Las areolas centrales son grandes, alineadas del margen al centro. Los estigmas no se observan. La densidad de las estrías es de 6.5 en 10  $\mu\text{m}$  en la parte central y de 10 a 11 en 10  $\mu\text{m}$  en el ápice. Dimensiones: de 30 a 150  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Cymbella parviformis* Krammer**

Frústulas fuertemente dorsiventrales, semilanceolada, margen ventral distintivamente convexo. Apices redondeados. El área axial es estrechamente lineal, con ausencia de área central. El rafe ligeramente a moderadamente se desplaza ventralmente, comenzando filiforme cerca de la región distal y reverso lateral cerca del ápice. Estrías ligeramente radiadas, comenzando más radiadas cerca del ápice. Presenta un estigma largo aislado, situado justo al final de la media estría en la parte ventral. Las estrías en la parte

media son entre 8 a 9 en 10  $\mu\text{m}$  en el costado dorsal y cerca de 10 estrías en 10  $\mu\text{m}$  en el costado ventral, comenzando de 14 a 15 en 10  $\mu\text{m}$  y de 26 a 30 en 10  $\mu\text{m}$  en los ápices. Dimensiones: de 26 a 42  $\mu\text{m}$  de largo y de 7.5 y 9.5  $\mu\text{m}$  de ancho, con una proporción de 4.6  $\mu\text{m}$ .

### ***Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck**

Frústulas fuertemente dorsiventrales, margen dorsal fuertemente convexo, la parte ventral ligeramente convexa, recta o ligeramente cóncava, comúnmente ligeramente gibosa en la porción central. Los ápices de las frústulas son comúnmente distintivos, pero algunas veces poco extendidos del cuerpo de la frústula, siendo rostradas. El área axial se encuentra constreñida y arqueada. El rafe se encuentra cercano a la línea media, ligeramente lateral, siendo filiforme cerca de las porciones distal y proximal. El rafe proximal presenta poros centrales distintivos. El estigma es muy largo con su foramen en la parte ventral del nódulo central. Las estrías son distintivamente radiadas en la porción central y ligeramente radiadas cerca del ápice, distintivamente punctadas lineoladas. Presenta de (4) 8 a 11 estrías en 10  $\mu\text{m}$  en la parte central de la valva y 12 a 13 en los ápices. Con 14 a 19 puntos en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 35 a 95  $\mu\text{m}$  de largo y de 16 a 22 (24)  $\mu\text{m}$  de ancho con proporción máxima de 4.

### ***Gomphonema affine* Kützing**

Frústulas lineal lanceoladas, estrechas y afiladas, la parte apical por encima del nódulo central es más corta que la parte basal. El polo apical es redondeado y el polo basal es afilado. El área axial es estrecha y recta. El área central está formada por estrías pequeñas las cuales son inconspicuas en uno de los extremos. Presenta un estigma en la parte central. Las estrías punteadas son paralelas o ligeramente radiadas y se separan más en el centro de la valva. La estriación en cerca del ápice es ligeramente radial a curveada. Estrías en la parte central 8 a 13 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 30 a 100 (109.5)  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 12 (19.9)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Gomphonema augur* Ehrenberg**

Frústula solitaria o en agregados con margen convexo cerca al ápice, iniciando ligeramente cóncavo hasta la base. Área axial estrecha. Rafe estrecho filiforme. Área central formada por estrías cortas en cada lado del nódulo central, las cuales se agrupan de manera radial. Las estrías son finamente punteadas, con una densidad de 11 a 15 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 17 a 50  $\mu\text{m}$  de largo y 9 a 13  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Especie distribuida en amplios rangos de dureza y pH cercano a la neutralidad.

***Gomphonema gracile* Ehrenberg**

Frústulas lineares lanceoladas, casi de forma romboidal. La parte apical de la frústula por encima del nódulo central es mas corta que la parte basal. Ambos polos son agudos. El ancho del área axial es de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{3}$  del ancho de la valva. El área central es corta, no evidente y contiene un estigma central. Las estrías son punteadas, cortas e irregulares. La distancia entre las estrías y la parte central es la misma en ambos lados de la valva. En el centro alguna estría puede ser más separada que en resto de las estrías. El arreglo de las estrías centrales es radial, mientras las estrías cercanas al ápice son paralelas. Estrías en 10  $\mu\text{m}$  10 a 15 en la parte central y 12 a 16 en el ápice. Es evidente un poro apical en el polo inferior. Dimensiones: de 43.4 a (66.4) 87.5  $\mu\text{m}$  y 7.5 a 11.6  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson**

Frústula con el ápice obtuso y márgenes rectos o ligeramente cóncavos hasta terminar estrecho en la base. El área axial es estrecha. Las fisuras del rafe cercanas al ápice son rectas o ligeramente curvadas. El área central es rectangular. No presenta estigma o puntos. Las estrías son ligeramente curvadas, radiales a casi paralelas en el ápice a fuertemente radiadas en la base con una densidad de 11 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 15 a 40  $\mu\text{m}$  de largo y 5 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Gomphonema pseudoaugur* Lange-Bertalot**

Frústula de forma lanceolada ovalada, ensanchada en el ápice y estrecha en la base con un ápice redondeado.. Área axial linear y área central pequeña. El arreglo de las estrías es radial a ligeramente paralelo en la base sin puntos visibles en microscopia de luz, con una densidad de 9 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 25 a 55  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología Se le encuentra en ambientes mesotróficos y eutróficos ( $\beta$  mesosapróbicos).

***Gomphonema vibrio* var. *intricatum* (Kützing) Playfair**

Frústulas asimétricas en la parte transapical y simétrica en la parte apical (heteropolar). El rafe es evidente en la parte media de la frústula. Las estrías son ligeramente radiales con una densidad de 9 a 12 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 12 a 130  $\mu\text{m}$  de largo y un ancho de 3 a 12  $\mu\text{m}$ .

***Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot**

Frústula solitaria o formando agregados, heteropolar y simétrica en vista valvar. Cuneada y adnada en vista conectiva. Polo redondeado. Rafe recto presente en ambas frústulas en vista valvar, el cual ocupa menos del tercio de la longitud en una valva, mientras que en la otra valva se dispone de ápice a ápice. La densidad de estrías es de 15 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 10 a 75  $\mu\text{m}$  de largo y 3 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Achnanthes depressa* (Cleve) Hustedt**

Frústulas elípticas amplias, redondas, con ápices anchos. Con estrías centrales rectas, rafe filiforme. Dimensiones: de 18 a (28) 30  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 10 (13)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Achnanthes exigua* Grunow**

Frústulas lineares o lineares elípticas con el cuerpo de la frústula cuadrangular proyectando ápices rostrados. El rafe es evidente con un área axial y con un área central evidente, la cual se extiende desde los márgenes de la frústula. El rafe es filiforme. La densidad de estrías es de 24 a 25 en 10  $\mu\text{m}$ , están dispuestas radialmente en el centro y ligeramente radiadas o paralelas en los extremos. Dimensiones de 7 a 17  $\mu\text{m}$  de largo y 4.5 a 6  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Especie alcalófila, habita aguas cálidas en lagos y ríos.

***Achnanthes holsatica* Hustedt in Schmidt**

Frústulas elípticas con ápices anchos. Rafe filiforme. Área axial pequeña y área central pronunciada. Con una densidad de estrías de 18 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ , las cuales están agrupadas de manera radial. El área central es amplia y presenta una densidad de estrías de 13 a 19 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones de 6 a 13  $\mu\text{m}$  de largo y 5 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Se le encuentra en ambientes eutróficos alcalinos de conductividad alta.

***Planothidium rostratum* (Oestrup) Lange-Bertalot**

Frústulas elípticas, elípticas lanceoladas y lanceoladas, con ápices redondeados. La densidad de estrías es de 13 a 20 en 10  $\mu\text{m}$  y presentan dos areolas compuestas. Dimensiones: de 4 a 30  $\mu\text{m}$  de largo y 3.5 a 7  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve et Grunow**

Frústulas elípticas a lanceoladas, con los extremos redondeados obtusos. Presenta rafe filiforme con un área axilar estrecha y un área central amplia, rectangular. Las estrías se encuentran ordenadas ligeramente radiales, siendo pequeñas las del centro, con una densidad de 11 a 14 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 12 a 31  $\mu\text{m}$  de largo y 4.5 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho.

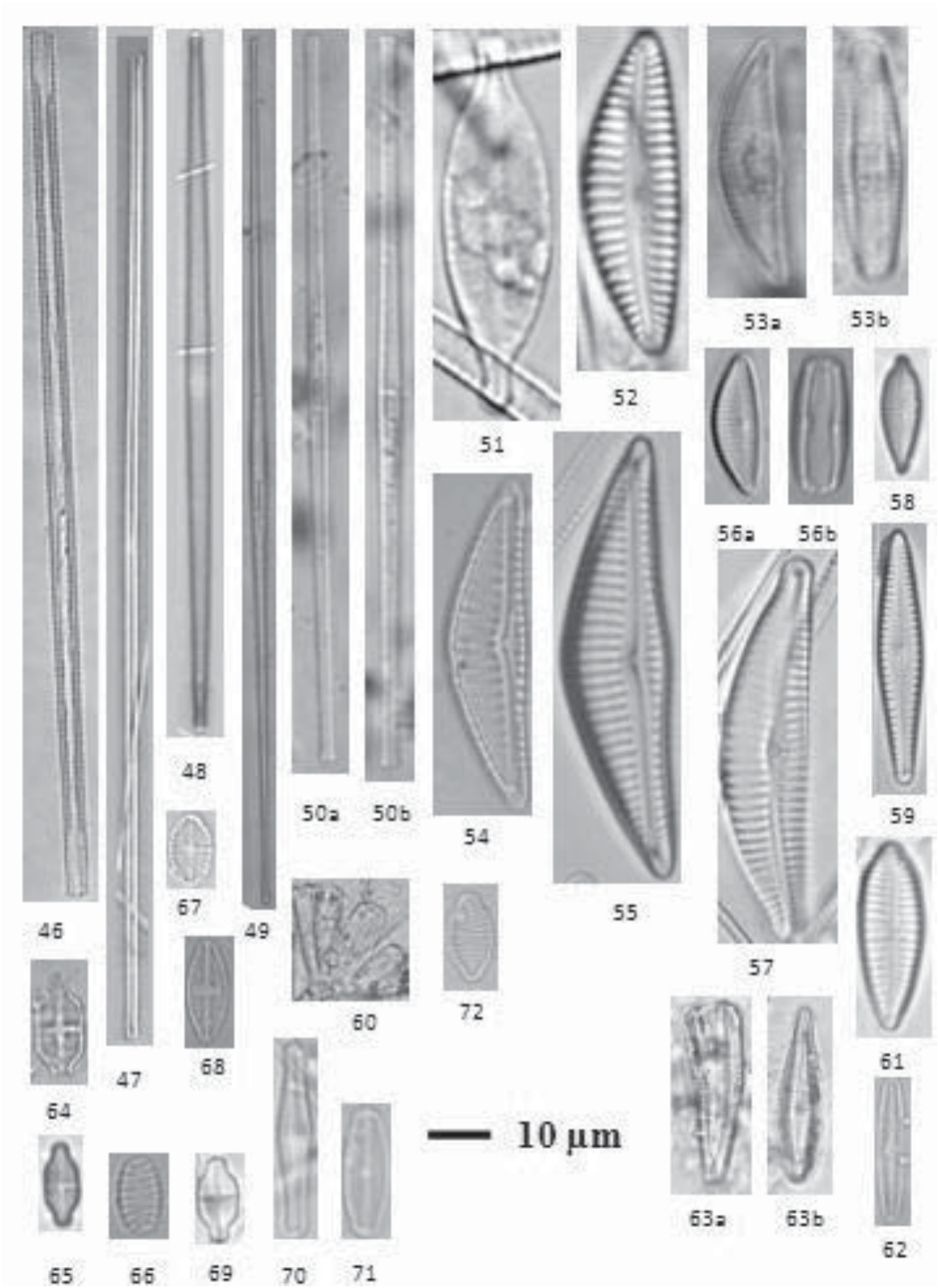
Ecología: Se le encuentra en aguas bien oxigenadas con un pH neutro, alcalinidad media y no existen registros de su ocurrencia en ambientes con altas concentraciones de materia orgánica.

### LAMINA V

<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M. Williams et Round	46
<i>Ulnaria delicatissima</i> (W. Smith) M. Aboal et P.C. Silva	47
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	48
<i>Ulnaria delicatissima</i> var. <i>angustissima</i> (Grunow) M.Aboal & P.C.Silva	49
<i>Synedra ulna</i> var. <i>subaequalis</i> Grunow	50
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> E. Pfitzer	51
<i>Encyonema prostratum</i> (Berkeley) Kützing	52
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch)	53
<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) D. G. Mann	54
<i>Cymbella muelleri</i> Hustedt	55
<i>Cymbella parviformis</i> Krammer	56
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	57
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg	58
<i>Gomphonema entolejum</i> E.V.Østrup	59
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	60
<i>Gomphonema pseudoaugur</i> Lange-Bertalot	61
<i>Achnantheidium</i> sp.	62
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	63
<i>Achnanthes depressa</i> (Cleve) Hustedt	64
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	65 y
	69
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams et. Round	66
<i>Planothidium rostratum</i> (Oestrup) Lange-Bertalot	67
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson) Grunow in Cleve et Grunow ssp <i>lanceolata</i>	68
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	70
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	71
<i>Planothidium dubium</i> (Grunow) Round et L.Bukhtiyarova	72



LAMINA V



***Achnanthes submarina* Hustedt**

Frústulas anchas elipsoidales a lineares elípticas. Presenta rafe filiforme y un área axial linear. En el centro se encuentra una pequeña área central. Las estrías se encuentran arregladas de manera radial en el centro y paralelas en el ápice, con una densidad de 28 a 34 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones de 8 a 14  $\mu\text{m}$  de largo y 4.5 a 6.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki**

Frústulas lineares con prolongaciones, con ápices rostrados a subrostrados. El rafe es recto, filiforme con las fisuras proximales cerradas y rectas. 1 a 2 estrías centrales pequeñas están más espaciadas. El área axial es estrecha y recta. Las estrías son lineares y paralelas. El área central no se distingue. Presenta 26 a 34 estrías en 10  $\mu\text{m}$  en el centro de la frústula y de 30 a 32 en 10  $\mu\text{m}$  en la frústula del rafe menor. Dimensiones: de 18 a 24 (38)  $\mu\text{m}$  de largo y 2.8 a 3 (6.3)  $\mu\text{m}$  de largo. La proporción es de 6 a 8.

***Planothidium dubium* (Grunow) Round et L.Bukhtiyarova**

Frústula elíptica ancha, con apices rostrados o subrostrados. Presenta una densidad de estrías de 10 a 17 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 8 a 16  $\mu\text{m}$  de ancho y 3.5 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heruck**

Estrías en la frústula del pseudo rafe menores en número que en la variedad designada. Los puntos son más distantes formando distintivas líneas longitudinales hialinas ondulantes. La densidad de estrías es de (10) 19 a 23 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 10 a 70  $\mu\text{m}$  de largo y 8 a 40 (49.8)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Amphora libyca* Ehrenberg**

Frústulas elipsoidales en vista conectiva con apices rectos, en vista valvar fuertemente dorsoventrales, con el margen dorsal convexo y el ventral cóncavo. Rafe marginal. La densidad de estrías es de 11 a 15 en 10  $\mu\text{m}$  en la parte céntrica dorsal y estas

se encuentran ordenadas radialmente. Dimensiones: de 20 a 80  $\mu\text{m}$  de largo y 14 a 35  $\mu\text{m}$  de ancho.

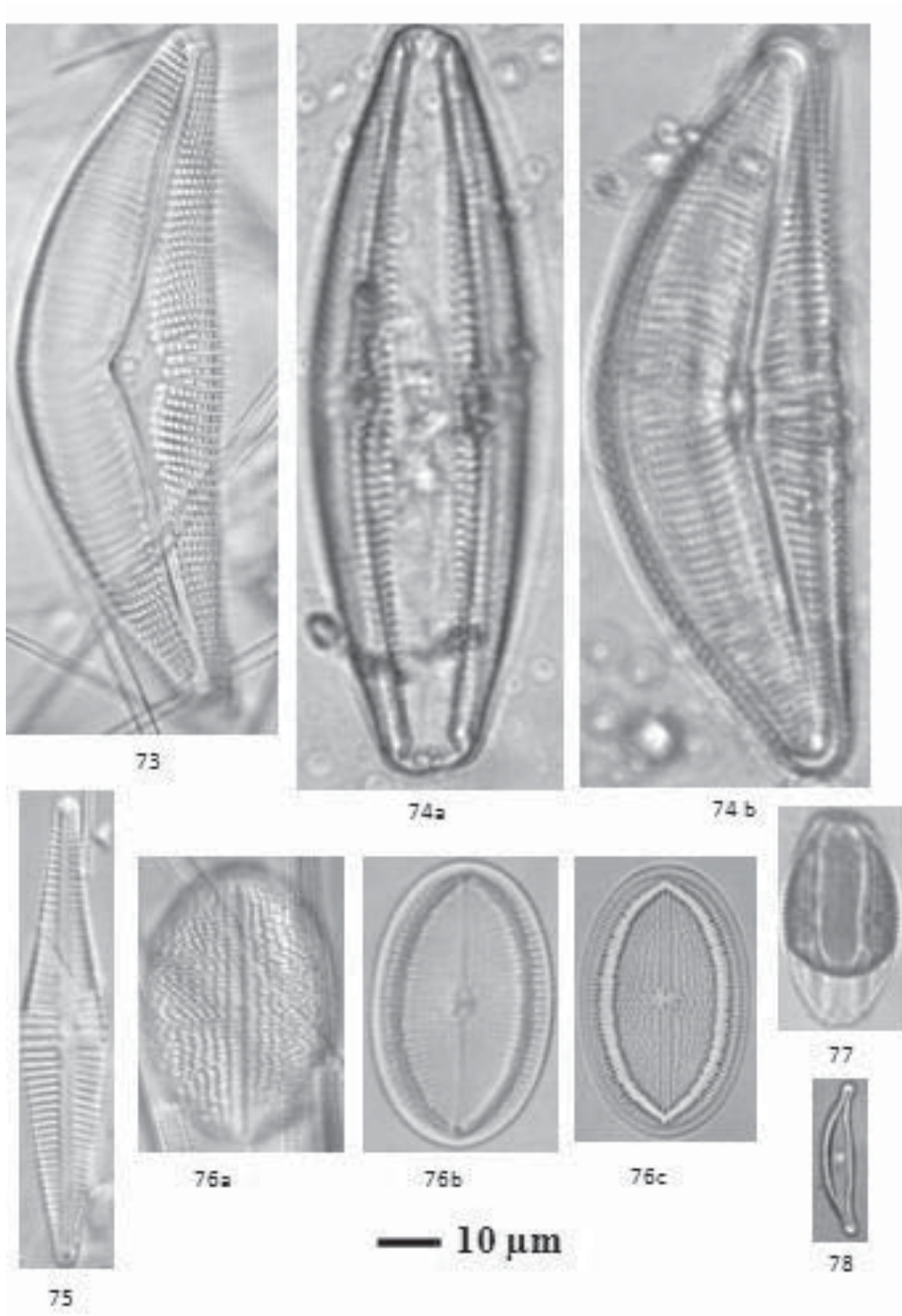
### *Amphora montana* Krasske

Frústulas convexas en la parte dorsal y ventral en vista valvar y redondeadas en vista conectiva. Presenta ápices redondeados proyectados. El rafe es filiforme desviado a la parte dorsal con un punto evidente en la parte central. La densidad de estrías es de 27 a 36 en 10  $\mu\text{m}$  y se ordenan de manera radial. Dimensiones: de 9 a 25  $\mu\text{m}$  de largo y 7 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.

## LAMINA VI

<i>Cymbella mexicana</i> var. <i>kamtschatica</i> Krammer	73
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	74
<i>Gomphonema affine</i> Kützing	75
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heruck	76
<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg	77
<i>Amphora montana</i> Krasske	78

LAMINA VI



***Amphora normanii* Rabenhorst**

Frústulas con un margen recto o ligeramente convexo. Los ápices son evidentes, rostrados o capitados, rectos o ligeramente curvados ventralmente. El área axial es estrecha lanceolada, mientras que el área central se desarrolla en la parte dorsal solamente, más o menos rectangular y extendiéndose hasta el margen. Rafe filiforme casi recto y orientado hacia la parte dorsal del área central. Las estrías dorsales presentan un arreglo radial y las estrías ventrales son muy cortas. La densidad de estrías es de 16 a 18 en 10  $\mu\text{m}$  en la parte dorsal y de 24 a 27 en 10  $\mu\text{m}$  en la parte ventral. Dimensiones: de 15 a 40  $\mu\text{m}$  de largo y 4 a 6  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Amphora ovalis* (Kützing) Kützing**

Frústulas en vista cingular anchas y elípticas, mientras que en vista valvar presenta forma de media luna, con el margen dorsal convexo y el ventral cóncavo con los ápices cortos. Las partes dorsales son muy amplias, con la misma estructura del lado del rafe y separadas por un área hialina estrecha, visible en microscopía de luz como una línea marginal longitudinal. Parte del rafe se encuentra dispuesto entre al área hialina, es relativamente estrecho y fuertemente curvado, en la parte anterior y distal se encuentra fuertemente desviado. La zona axial es muy estrecha y se encuentra cubierta por el rafe, mientras que el área central sólo se observa como una banda ancha. Dimensiones: largo 30 a 105  $\mu\text{m}$  y de 17 a 50  $\mu\text{m}$  de ancho, 10 a 13 estrías en 10  $\mu\text{m}$ .

***Pinnularia borealis* Ehrenberg**

Frústulas lineares con márgenes rectos ligeramente paralelos, con ápices redondeados. El área axial es estrecha, recta y se extiende 1/6 del ancho de la frústula, siendo el área central rectangular. El rafe es recto, ligeramente lateral con fisuras proximales como pequeños poros y fisuras distales que presentan forma de un signo de interrogación. Las estrías son secundarias, anchas y paralelas. La apertura interna del alveolo no es evidente. Las estrías van de 4 a 6 (7) por cada 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 24 a (31.54) 110 de largo y 5 a (11.6) 18  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Sellophora pupula* (Kützing) Mereschkovsky**

Frústulas solitarias de talla media a larga. Las frústulas lineares presentan márgenes rectos a convexos con ápices ligeramente capitados, con una pequeña diferenciación del cuerpo de la valva. Polos anchos y redondeados con un pseudo septo. Rafe filiforme con un conopeum; las fisuras proximales del rafe son rectas y cerradas, mientras que las fisuras distales son rectas. El área axial es estrecha y el área central es rectangular y suave. La valva entera presenta estrías radiadas, curvadas con areolas finas. Todas las estrías presentan el mismo ancho. Las estrías del centro son rectas, irregulares y cortas, las cuales presentan mayor espacio entre ellas a diferencia de las del resto de la frústula. Las inter estrías presentan un ancho similar como las estrías. Estrías 14 a 22 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 44 a 55 (132.8  $\mu\text{m}$ ) de largo y 9.8 a 11 (28.22)  $\mu\text{m}$  de ancho

***Nitzschia amphibia* Grunow**

Frústulas pequeñas, de forma lanceolada a linear lanceoladas; en vista valvar rectas con márgenes cóncavos a ligeramente rectos y con los ápices agudos redondeados con los polos redondeados. Eje apical y perfrústular recto. Frústula fuertemente silificada, plana con una quilla corta. El rafe es marginal con fíbulas anchas esparcidas regularmente, cuneiformes y de diferente longitud. Un nódulo central se encuentra presente. Las estrías coinciden con las fíbulas, rectas en el centro de la valva y curvadas acercándose al ápice, siendo punctadas. La areolación no se alinea longitudinalmente. Con (5) 10 a 15 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$  y 13 a 15 estrías en 10  $\mu\text{m}$ , así como 24 areolas en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 15 a 33 (35.2)  $\mu\text{m}$  de largo y de 3.9 a 5.6 (6.64)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Nitzschia gracilis* Hantzsch**

Frústulas de forma linear, rectas y largas, con márgenes rectos; los ápices son extendidos con polos redondeados. La superficie de la valva es plana con un rafe marginal con fíbulas irregulares en forma de pequeños dientes. Carece de nódulo central. Las estrías se observan muy tenues con una densidad de 28 o más en 10  $\mu\text{m}$  y de 10 a 14 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 57 a 70  $\mu\text{m}$  de largo y 3.5 a 4.5 de ancho.

***Nitzschia palea* Grunow**

Frústulas pequeñas, lineares lanceoladas, ligeramente constreñidas en el centro en vista valvar, presentan márgenes paralelos rectos, ápices agudos y polos redondeados. Los ejes apicales y pervalvares son rectos. La superficie valvar es plana y presenta quillas estrechas. El rafe es marginal con fíbulas irregulares distantes. Las fíbulas son rectangulares con forma de dientes no punteagudos y variables en longitud. Con 9 a 16 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$ . El nódulo central se encuentra ausente. Las estrías son apenas perceptibles, de 30 a 32 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones de 20 a 65  $\mu\text{m}$  y 4 a 5.5 (8.3)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Nitzschia intermedia* Hantzsch**

Las frústulas son largas, lineares lanceoladas sin una constricción en el centro y con un nódulo central, los márgenes son rectos o ligeramente cóncavos; los ápices son ligeramente extendidos, subrostrados con polos no afilados. Los ejes apicales y pervalvares son rectos. La superficie de la valva es plana y presenta pequeñas quillas. El rafe es marginal con fíbulas regularmente distantes, pequeñas y no afiladas, ocupando menos de  $\frac{1}{4}$  del ancho de la frústula con una densidad de 7 a 16 en 10  $\mu\text{m}$ . Las estrías son rectas, lineares y algunas de ellas coinciden con las fíbulas, con una densidad de 20 a 30 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 65 a 100  $\mu\text{m}$  de largo y de 5 a 9  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Navicula gastrum* (Ehrenberg) Kützing**

Las frústulas son de forma ligeramente lanceoladas cimbeloide, elípticas, pequeñas y anchas, planas y redondeadas. El rafe es filiforme ligeramente lateral y poco arqueado con ápices curvos. Área axial estrecha, lineal, con el área central moderadamente gruesa, a menudo ampliada en la parte transversal media. Las estrías se ubican radialmente al área central, encontrándose de 8 a 13 en 10  $\mu\text{m}$ , con 25 puntos en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 20 a (31.5) 60  $\mu\text{m}$  de largo y 10 a (14.9) 20  $\mu\text{m}$  de ancho.



***Navicula kotschy* Grunow**

Frústulas elípticas, elípticas lanceoladas a lineares elípticas, con ápices redondeados. Rafe filiforme apenas evidente sin un poro central. El área axilar es linear y el área central es estrecha. Las estrías se ordenan de manera radial y se encuentran en una densidad de 20 a 26 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 15 a 26  $\mu\text{m}$  de largo y 5 a 7  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Navicula perminuta* Grunow**

Frústulas lanceoladas a linear lanceoladas con ápices ligeramente redondeados. Rafe filiforme. Área axial estrecha y área central muy extendida, debido al acortamiento del ápice. Las estrías presentan un arreglo radial con una densidad de 14 a 20 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 5.5 a 20  $\mu\text{m}$  de largo y 2 a 4  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing**

Frústulas ligeramente lanceoladas, con ápices redondeados. El rafe se localiza en la parte media, con un poro presente en el centro. La zona axial esta ligeramente ampliada en la parte proximal. El área central es rectangular a transversalmente elíptica, las estrías presentan un arreglo radial convergiendo hacia el ápice, con una densidad de 5 a 7 en 10  $\mu\text{m}$ . Densidad de 40 a 180  $\mu\text{m}$  y de 10 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Navicula laterostrata* Hustedt**

Frústulas lanceoladas a elípticas lanceoladas, con ápices rostrados constreñidos. El área axial es estrecha, distintiva, al igual que el área central. Las estrías presentan un arreglo radial a lo largo de la valva e irregular en el área central, algunas veces alternadas largas de cortas, con una densidad de 15 estrías en 10  $\mu\text{m}$  al centro de la valva y de 24 en 10  $\mu\text{m}$  cerca del ápice. Dimensiones: de 20 a 30  $\mu\text{m}$  de largo y 8 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Navicula* sp.**

Frústulas elípticas lanceoladas a lineares lanceoladas con las ápices ligeramente redondeados. Presenta rafe filiforme con un área axial reducida y área central variable. El



ordenamiento de las estrías es variable, va de ligeramente radial a paralelo, siendo comúnmente radial, con una densidad de 11 a 14 estrías en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones de 16 a 40  $\mu\text{m}$  de largo y 6.5 a 9  $\mu\text{m}$  de ancho.

### ***Stauroneis anceps* Ehrenberg**

Frústulas elíptico lanceoladas a linear lanceoladas, con ápices rostrados o capitados. El área axial es linear con excepción de las zonas cercanas al ápice donde se estrecha. Rafe recto, ligeramente estrecho a las regiones distal y proximal. La densidad de las estrías es de 26 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 24 a 75  $\mu\text{m}$  de largo y 9 a 15  $\mu\text{m}$  de ancho.

### ***Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni**

Frústula romboide lanceolada, estrecha bruscamente y con ápice redondeado. Las áreas axial y central son estrechas pero distintivas. Las estrías son perpendiculares al rafe al centro de la frústula, radiadas en los ápices. La densidad de estrías es de 20 a 30 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 70 a 160  $\mu\text{m}$  de largo y 15 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho.

### ***Epithemia argus* (Ehrenberg) Kützing**

Frústulas con margen ventral recto y margen dorsal convexo, con los ápices sin proyecciones y polos redondeados. El rafe es curvado ventralmente hacia el centro y principalmente recto en el margen. El nódulo central se encuentra posicionado en el margen dorsal. Las costillas son capitadas en vista conectiva, mientras que en vista valvar son radiadas y presentan 4 a 8 filas de areolas entre ellas. La densidad de estrías es de 10 a 14 en 10  $\mu\text{m}$  y de 12 a 14 areolas en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 65 a 70  $\mu\text{m}$  de largo y 10 a 11  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: especie cosmopolita alcalófila.

### ***Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Muller**

En vista conectiva las frústulas son lineares y presentan ápices no prolongados. En vista valvar, las frústulas son lineares a ligeramente curvadas, con una parte engrosada en

el centro de la frústula, los ápices son curvados. El margen dorsal se constriñe al centro, mientras el margen ventral es recto. Las estrías con una densidad de 19 a 20 estrías en 10  $\mu\text{m}$  están compuestas de una hilera solitaria de puntos. Las fíbulas son paralelas en una densidad de 8 a 10 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$ . Dos hileras de areolas se localizan entre cada costilla.. Dimensiones: de 22 a 300  $\mu\text{m}$  de largo y 18 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho.

### ***Surirella elegans* Ehrenberg**

Frústula heteropolar a casi isopolar de forma oval, oval lanceolada a casi lanceolada, con una parte convexa y lados casi convexos, de ápice estrecho o redondeado. Presenta canales anchos y un área axial evidente. Los canales son paralelos al centro de la valva y ligeramente radiales cerca al ápice, con una densidad de 1 a 2.1 en 10  $\mu\text{m}$ . Dimensiones: de 110 a 140  $\mu\text{m}$  de largo y 35 a 90  $\mu\text{m}$  de ancho.

### ***Chlamydomonas globosa* J.W.Snow**

Células esféricas sin papilas. Cloroplasto en forma de copa, basalmente ligeramente engrosada, con un pequeño pirenoide basal. Dimensiones: de 5 a 8  $\mu\text{m}$  de diámetro

Ecología: Cosmopolita

### ***Golenkinia radiata* Chodat**

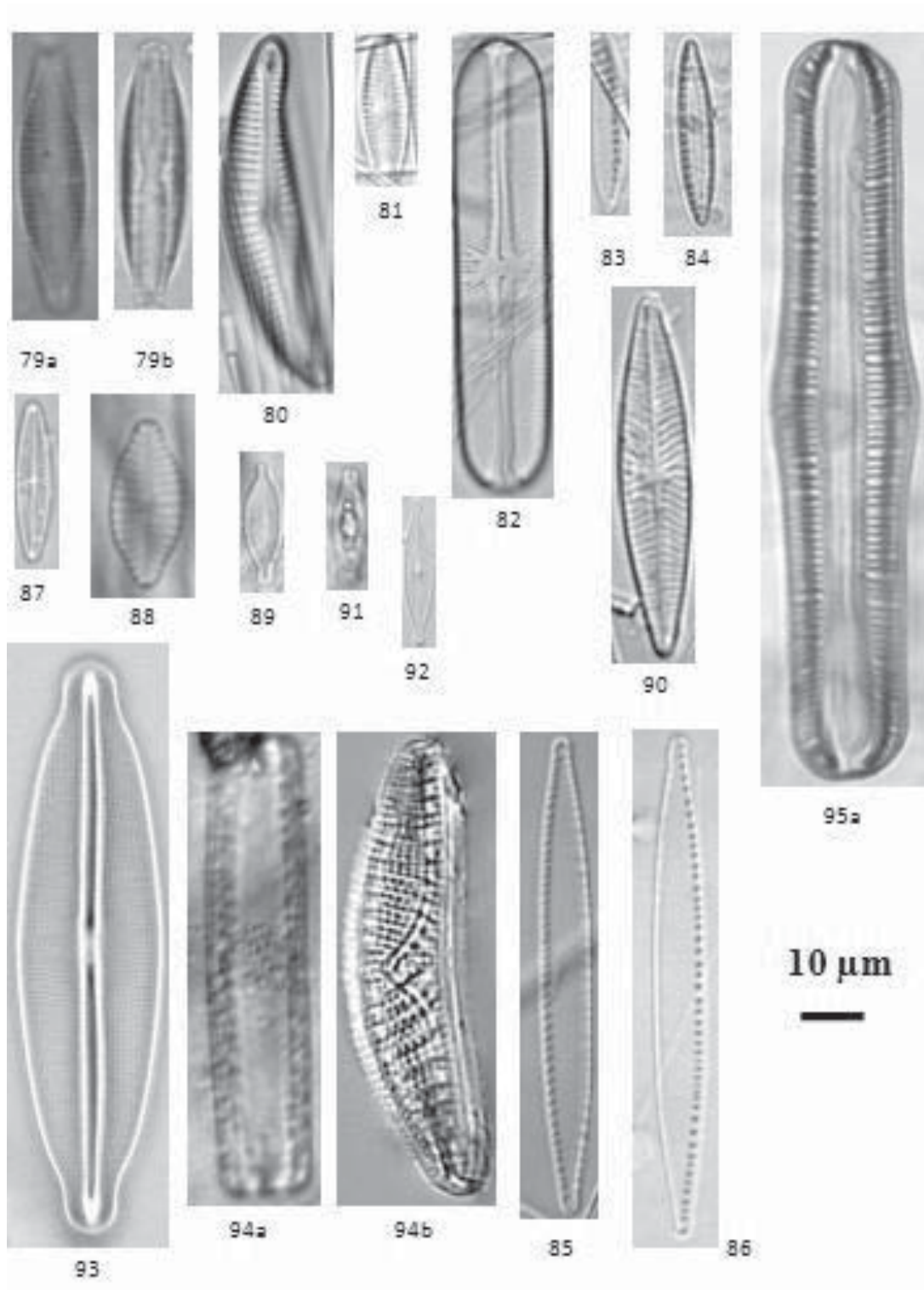
Células esféricas de pared celular lisa, con un mucílago visible y bien desarrollado. Espinas de 21 a 65  $\mu\text{m}$  de largo usualmente menos de 15 por célula. Cloroplasto en forma de copa con un pirenoide, esférico con almidón confinado al lado convexo si presenta forma de copa. Dimensiones: de 6.4 a 21  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Cosmopolita del plancton de agua en movimiento.

## LAMINA VII

<i>Amphora normanii</i> Rabenhorst	79
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	80
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	81
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	82
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	83
<i>Nitzschia alpina</i> Hustedt	84
<i>Nitzschia palea</i> Grunow	85
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch	86
<i>Navicula</i> sp.	87
<i>Navicula gastrum</i> Ehrenberg	88
<i>Navicula kotschyi</i> Grunow	89
<i>Navicula peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	90
<i>Navicula laterostrata</i> Hustedt	91
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	92
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	93
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing	94
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	95

LAMINA VII

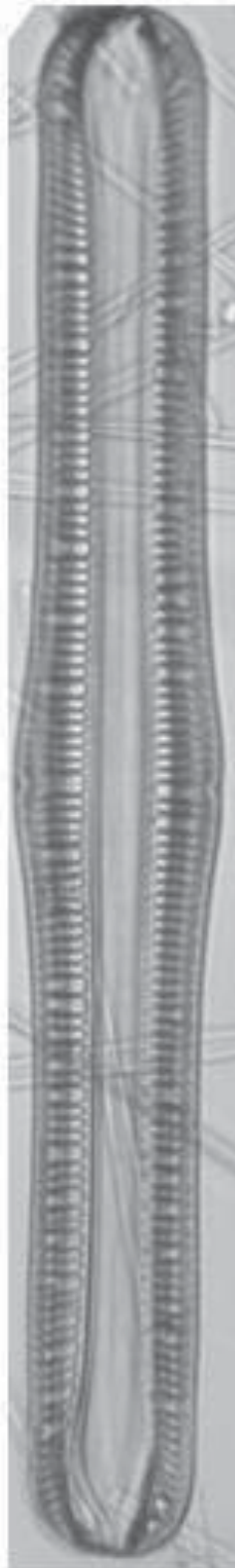


**LAMINA VIII**

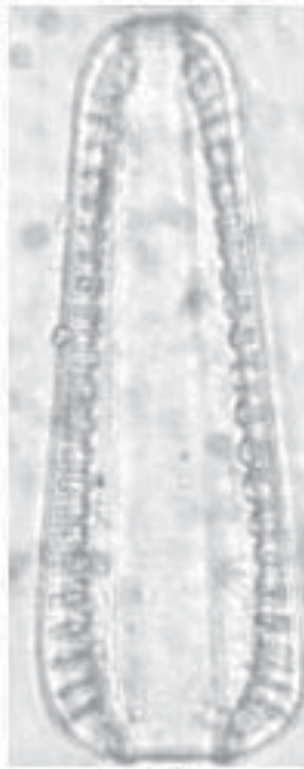
*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller 95

*Surirella elegans* Ehrenberg 96

LAMINA VIII



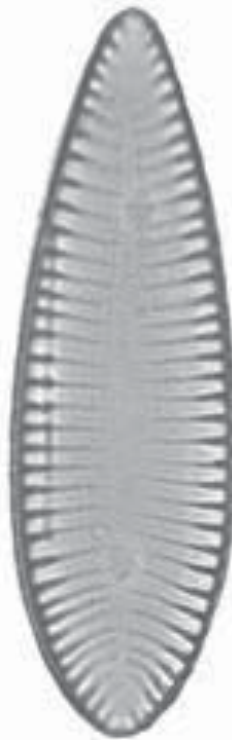
95b



96a



96b



96c

—  
10 μm

***Botryococcus protuberans* W.West et G.S.West**

Células elongadas, elipsoidales u ovoides, prominentes proyectándose de la periferia de una masa de mucílago estratificado. Dimensiones: de 7.2 a 14.4  $\mu\text{m}$  de ancho y de 12 a 20  $\mu\text{m}$  de largo

***Botryococcus terribilis* Komárek et Maran**

Colonias multicelulares, mayormente irregulares donde las células densamente aglomeradas se disponen más o menos radialmente en la periferia de la matriz colonial, cubiertas totalmente o hasta la mitad de su longitud. El sistema de túbulos de cierta consistencia, es a veces poco evidente, incoloro, amarillo pardo; células elongado ovoides u ovadas; cloroplasto parietal con un pirenoide inconspicuo; reproducción por 4 a 8 autoesporas. Dimensiones: 6 a 8 (11.88)  $\mu\text{m}$  de largo y 2.5 a 3.6 (5.28)  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Cosmopolita, planctónica, aparece en Cuba en los acuarios desde oligo hasta mesotrófico, más o menos alcalinos, frecuente en florecimientos.

***Ankyra ancora* (G.M.Smith) Fott**

Células, rectas o ligeramente curvadas, con un lado recto y el otro convexo, estrechas al ápice terminando con una espina curvada y en la base una extensión recta o bifida; la extensión algunas veces esta pobremente desarrollada o muy reducida. Cloroplasto en forma de H con un pirenoide en la porción central engrosada. Dimensiones: de 5 a 14  $\mu\text{m}$  de ancho y 35 a 150  $\mu\text{m}$  de largo.

***Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini**

Colonia entera con 4 a 64 células, paredes celulares granuladas, con los márgenes extendidos en 2 procesos poco afilados en las células externas. Células de la periferia de 5 a 28  $\mu\text{m}$  de ancho y 5 a 30  $\mu\text{m}$  de largo.

***Pediastrum integrum* Nägeli**

Cenobio de 4 8 16 o 32 (64) células; células marginales redondeadas o con algún ángulo, sin proyecciones o con una o dos muy cortas proyecciones; células interiores con arreglo irregular, similar en forma a las células marginales sin espacios intercelulares; paredes granulares.

Ecología: Especie cosmopolita, ampliamente distribuida en las Islas Británicas pero más frecuente en aguas de pantanos y turberas en el este de Inglaterra.

***Pediastrum simplex* Meyen var. *simplex***

Cenobio usualmente de 4, 8, 16 o 32 (a128) células, de 65 a (180) 250  $\mu\text{m}$  de ancho; las células marginales son enanchadas en la base y disminuyen hacia el ápice hasta terminar en proyecciones cónicas o bien afiladas, mientras que las centrales presentan de tres a cinco lados, son ovoides o subesféricas, con o sin espacios intercelulares u ocasionalmente con un espacio central; paredes celulares granuladas o con espinas. Las células centrales presentan un largo de (8) 11.7 a (18) 46.5 (a57)  $\mu\text{m}$  y un ancho de 6 a (18) 30 (a38)  $\mu\text{m}$ , mientras que las marginales miden entre (6) 10.5 a (22.8) 40  $\mu\text{m}$  de largo y (6) 7 a (34.8) 36  $\mu\text{m}$  de ancho.

Ecología: Cosmopolita, ocasionalmente en pequeños cuerpos de agua, en las partes altas de ríos y ricos en nutrimentos, y en lagos durante los meses de verano.

***Pediastrum simplex* var. *biwaense* Fukushi**

Cenobios más o menos circulares, con células ordenadas concéntricamente o en espiral, perforados; células externas más o menos trapezoides, asimétricas en su base; las internas triangulares; las proyecciones de las células externas muy próximas entre células vecinas y más o menos en paralelo, debido a que una de sus bases es más corta; proyecciones cónicas en la base, con un apéndice elongado cilíndrico. Las células presentan (5.94) 10 a 45  $\mu\text{m}$  de largo y (3.63) 8 a 24  $\mu\text{m}$  de ancho.



Ecología: Tipo morfológico muy frecuente en regiones tropicales, en ambientes eutróficos en el plancton y en el perifiton.

***Sphaerocystis planctonica* (Korshikov) Bourrelly**

Cenobio de 4, 8 o 16 (32) células en una envoltura mucilaginoso esférica. El mucílago es distintivo; las células presentan un esporangio de (11.88) 12.5  $\mu\text{m}$  de ancho, mientras que las dimensiones celulares van de a 4 a 9  $\mu\text{m}$  de ancho, embebidas en un cenobio de (30.36) 35 a (50) a 124 pero menos de 150  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Ecología: Probablemente cosmopolita en el plancton de lagos y en los meandros poco fluidos de ríos.

***Crucigeniella rectangularis* (Nägeli) Komárek**

Cenobio romboidal, comúnmente formando múltiples colonias de 16 o más células. Células elongadas ovoides o cilíndricas, inclinadas con un ligero ángulo a la otra y dejando un espacio romboidal interno. Las células adjuntas se encuentran lateralmente y apicalmente. Dimensiones: Células de 3 a 7  $\mu\text{m}$  de ancho y 4 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho, en un cenobio de 7 a 14  $\mu\text{m}$  de ancho y 8 a 20  $\mu\text{m}$  de largo.

***Crucigenia tetrapedia* (Kirchner) W. West et G.S. West**

Cenobio regular cuadrado con un pequeño espacio interno. Comúnmente formando colonias de 16 o más células, las cuales se presentan dispuestas en paquetes. Las células presentan forma triangular con lados rectos o ligeramente cóncavos entre 2.5 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho, mientras que la colonia mide de 8 a 15.5  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Coelastrum* sp.**

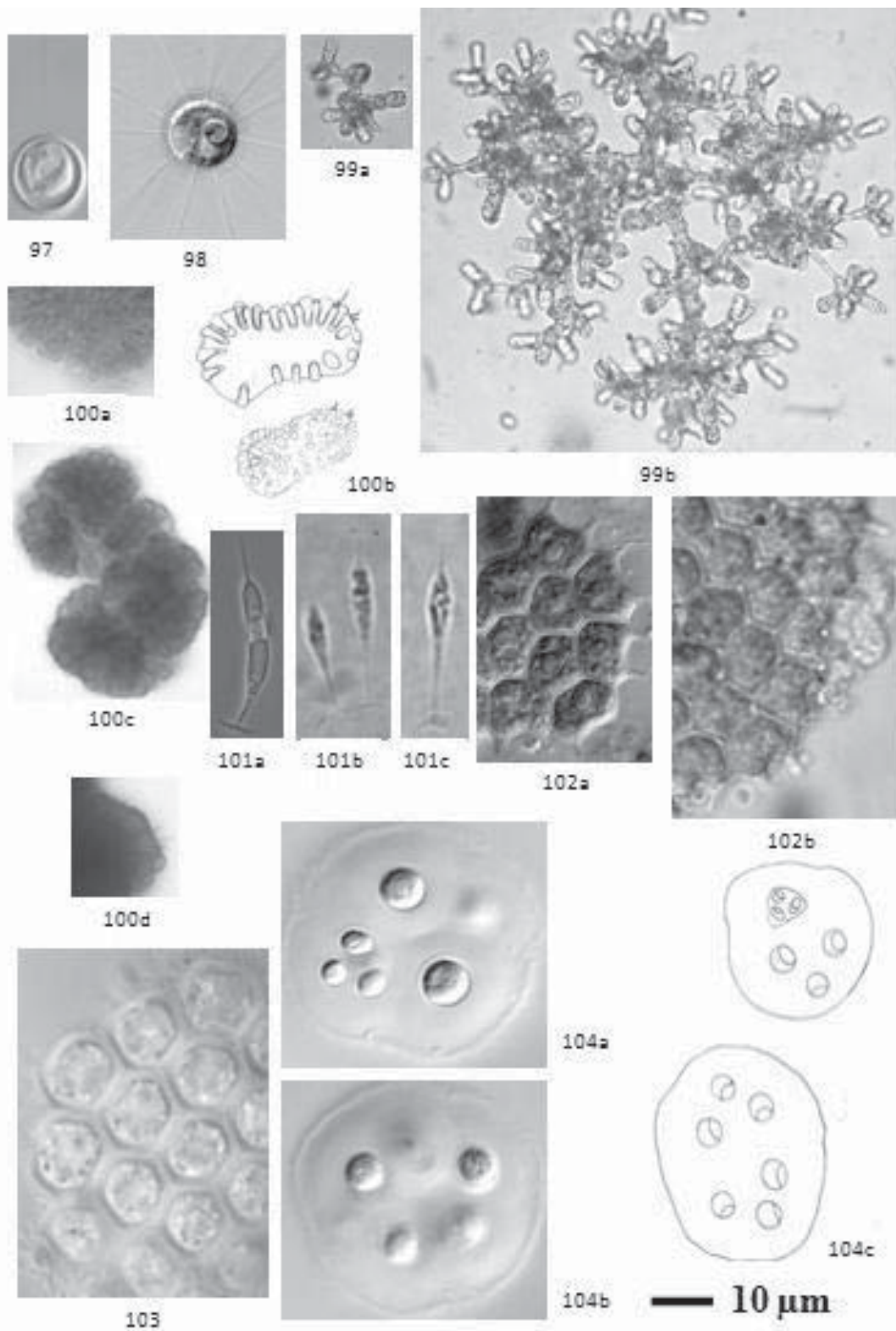
Cenobio esférico a ovoide, de (4) 8, 16 o 32 células, conformado de células esféricas a ligeramente elipsoidales, conectadas con las células vecinas por una solitaria (raramente 2) elongación de la pared. Se observan de 5 a 9 (a12) protuberancias huecas derivadas de el otro polo de cada célula, las cuales presentan la parte posterior cóncava y la parte anterior

recta, los cuales al ensamblarse con las células al presionarlas ocasionan zonas en forma de plato en la pared celular en la base de cada puente; el cenobio hijo algunas veces permanece unido a la colonia por remanentes de la pared celular madre y mucílago. Dimensiones: las células presentan un diámetro de 3.3 a 15  $\mu\text{m}$  de diámetro en un cenobio de 17 hasta 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.

### LAMINA IX

<i>Chlamydomonas globosa</i> J.W.Snow	97
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	98
<i>Botryococcus protuberans</i> W.West et G.S.West	99
<i>Botryococcus terribilis</i> Komárek et Marvan	100
<i>Ankyra ancora</i> (G.M.Smith) Fott	101
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini	102
<i>Pediastrum integrum</i> Nägeli	103
<i>Sphaerocystis planctonica</i> (Korshikov) Bourrelly	104

LAMINA IX



***Didymocystis fina* J.Komárek**

Cenobio bicelular, compuesto por células paralelas de forma cilíndrica, elongada oblonga de polos redondeados. Las células se encuentran unidas completamente por uno de sus lados. Un cloroplasto presente parietal sin pirenoide. Dimensiones: de 4.3 a 8  $\mu\text{m}$  de largo y 3.2 a 7  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Didymogenes anomala* (G.M.Smith) Hindák**

Células, de forma cilíndrica, ligeramente curvadas de paredes lisas, generalmente con 1 a 3 espinas en cada ápice periférico. El cenobio liberado por la pared celular madre se divide en cuatro partes y los remanentes de la pared celular persisten. Dimensiones: de 1.2 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho y 6 a 17.8  $\mu\text{m}$  de largo.

***Scenedesmus arthrodesmiformis* Schröder**

Cenobio compuesto por 2 o 4 células agregadas en una serie linear. Las células son de forma elongada a elipsoidal con ápices redondeados. Presentan una proyección o pequeña espina en la parte apical de la células, así como una fila de granulos en cada lado de las células. Dimensiones: de 10  $\mu\text{m}$  de ancho y 12  $\mu\text{m}$  de largo.

***Acutodesmus acuminatus* (Lagerheim) Tsarenko**

Cenobio formado por 2 o 4 (8) células lineares, curvadas a semicirculares o retorcidas, inmersas en un mucílago. Las células presentan forma alargada, como un arco a sigmoideas, con el lado periférico cóncavo, disminuyendo en grosor gradualmente hasta ápices extendidos. Dimensiones: de 2 a 5.5  $\mu\text{m}$  de ancho y 9.2 a 34.5 (40)  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Probablemente cosmopolita, presente en diversos ambientes acuáticos incluyendo ríos que fluyen despacio, bebederos de animales, charcas, lagos, embalses y canales

***Scenedesmus dispar* Brébisson**

Colonia de 2 a 4 células, formando una serie lineal de células alternadas, las cuales son elongadas, ovadas a cilíndricas. En los polos de las células centrales pueden o no encontrarse espinas (1 o 2), mientras que en los polos de las células externas se encuentran de 1 a 2 espinas. Dimensiones: de 2.3 a 8 µm de ancho y 8 a 19 µm de largo.

***Scenedesmus opoliensis* Richter**

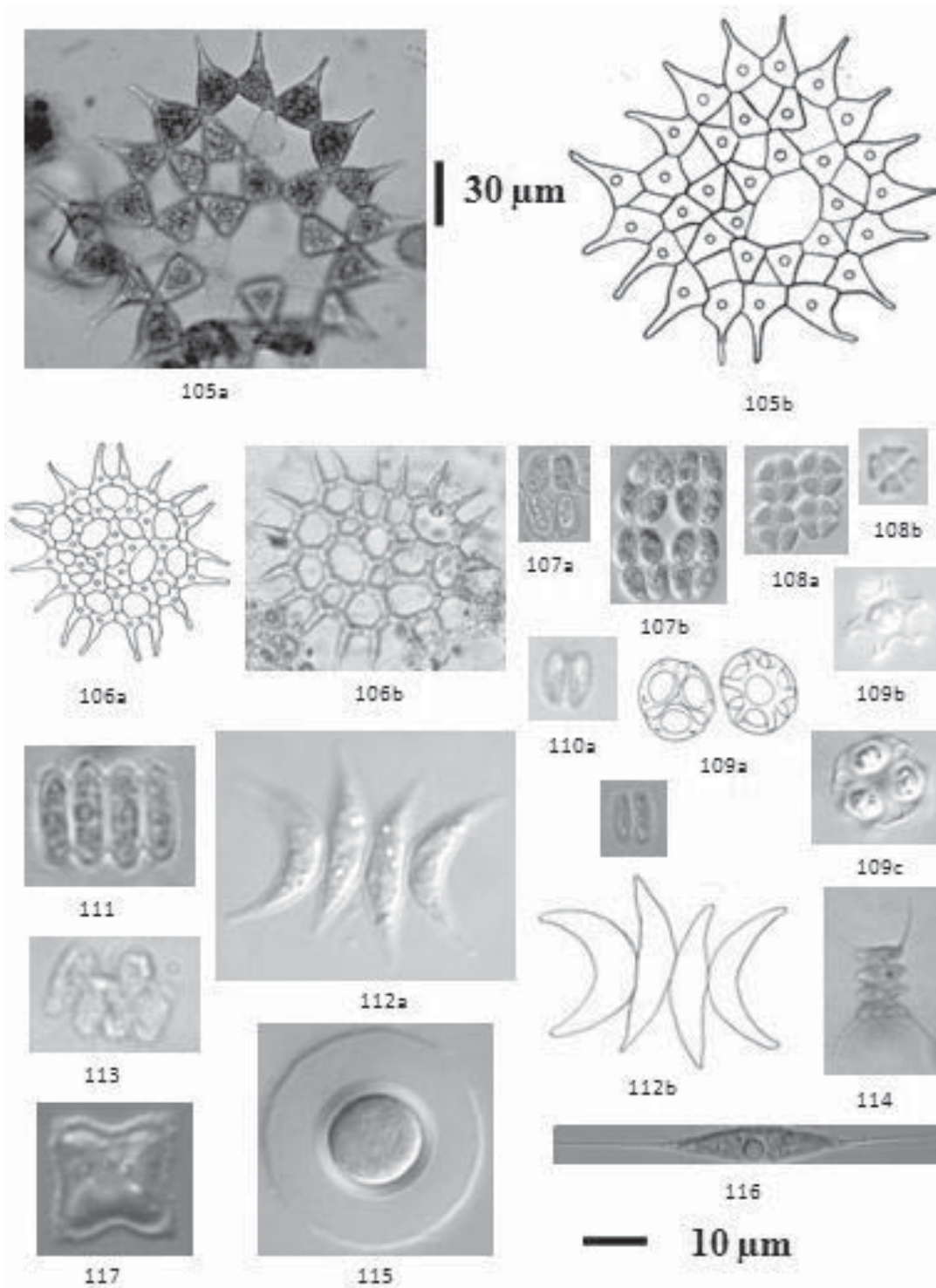
Cenobios de 4 a 8 células, alineados o marcadamente alternados; células más o menos elipsoidales hasta fusiformes (las internas), unidas  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{1}{3}$  del largo celular; extremos atenuados, polos más o menos truncados en las células externas; células marginales algo arqueadas, rectas las internas; en los polos de las células marginales 2 espinas principales, observando 4 espinas en el cenobio, localizadas hacia los ángulos de los polos. Las células presentan un largo de (12) 18.8 a 25 µm y un ancho de 2 a (4.8) 5 µm. Las espinas son de 10 a (12) 22 µm de largo.

Ecología: Cosmopolita, muy frecuente en ambientes eutróficos.

**LAMINA X**

<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	105
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>biwaense</i> Fukushi	106
<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Nägeli) Komárek	107
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) W. West et G.S. West	108
<i>Coelastrum</i> sp.	109
<i>Didymocystis fina</i> J. Komárek	110
<i>Scenedesmus arthrodesmiformis</i> Schröder	111
<i>Acutodesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Tsarenko	112
<i>Scenedesmus dispar</i> Brébisson	113
<i>Scenedesmus opoliensis</i> Richt	114
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G. M. Smith	115
<i>Schroederia setigera</i> (Schröder) Lemmermann	116
<i>Tetraedron mínimum</i> (A. Braun) Hansgirg	117

LAMINA X



***Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith**

Células solitarias, o más comúnmente como colonias con células rodeadas por una envoltura de mucílago firme y homogéneo, esféricas con paredes moderadamente densas; las zoosporas tienen un ancho de 5 a 7  $\mu\text{m}$ , son esféricas a generalmente ovales y presentan flagelos de casi 3 veces el largo de la célula. Dimensiones: Células de 4 a 25 (46)  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Ecología: Se tienen registros para Europa, Norte América, en gran parte de las Islas Británicas ampliamente en el plancton de embalses, común en el lago inglés y en los lagos de Escocia, algunas veces presente en gran abundancia.

***Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann**

Células rectas raramente curvadas, estrecha en las terminaciones y amplía en el centro. Cada ápice termina en una delicada espina recta, raramente curvada la cual abarca de 13 a 50  $\mu\text{m}$  de largo. El cloroplasto presenta de 1 a 2 pirenoides. Dimensiones: células de 2.5 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho y 41 a 200  $\mu\text{m}$  de largo.

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

Célula de cuatro lados, plana, con los lados opuestos cóncavos profundos en células jóvenes y en células adultas con lados planos o ligeramente convexos, algunas veces con las esquinas redondeadas, con 1 a 5 dientes y terminaciones en una papila, pared celular gruesa con gránulos, arrugada o verrugosa. Dimensiones: de 4.62 a 6.6 (25)  $\mu\text{m}$  de ancho.

***Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs**

Colonias de 2, 4 o más células, usualmente unidas por lados convexos si se encuentran curvadas. Algunas veces se les encuentra presentes en paquetes con células más o menos paralelas, encerradas en un mucílago. Las células son como agujas, usualmente curvadas o sigmoides, reduciéndose gradualmente en ápices agudos. Dimensiones: de 1 a 7  $\mu\text{m}$  de ancho y 20 a 165  $\mu\text{m}$  de largo.



***Ankistrodesmus nannoselene* Skuja**

Células solitarias o en pequeños grupos de células, de forma lunada, algunas veces sigmoide, los polos se extienden en puntos anchos. Dimensiones: de 0.5 a 2  $\mu\text{m}$  de ancho y 2 a 6  $\mu\text{m}$  de largo.

***Closteriopsis acicularis* (G.M. Smith) J.H. Belcher et Swale**

Célula estrecha de forma alargada, recta o ligeramente curvada, disminuyendo bruscamente en ápices puntiagudos no redondeados, cloroplasto recto o torcido en forma de espiral, cada uno con un pirenoide solitario. Dimensiones: de 2 a 3 (6.5)  $\mu\text{m}$  de ancho y de (10) 20 a 150 (210)  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Probablemente cosmopolita, se asocia con plantas acuáticas y plancton en pequeños cuerpos de agua, así como como albercas, lagos, embalses y agua corriente.

***Closteriopsis longissima* (Lemmermann) Lemmermann**

Células muy estrechas con forma de aguja, rectas o ligeramente curvadas, adelgazándose a los ápices como espina en forma de aguja. Cloroplasto en forma de banda o en espiral con 2 a 42 pirenoides. Dimensiones: de 3 a 17  $\mu\text{m}$  de ancho y 190 a 570  $\mu\text{m}$  de largo.

***Keratococcus bicaudatus* (A.Braun ex Rabenhorst) J.B.Petersen**

Células en forma de huso, cilíndricas, comúnmente asimétricas de ápices agudos o algunas veces prolongados en una espina o cabello. El cloroplasto es parietal, solitario o fragmentado, con pirenoide presente pero algunas veces indistinto. Dimensiones: de 2.5 a 5.8  $\mu\text{m}$  de ancho y 13 a 36  $\mu\text{m}$  de largo.

***Kirchneriella obesa* (West) Schmidle**

Células de contorno casi circular, de forma de luna gruesa, cóncava, usualmente con lados casi paralelos, ápices redondeados o generalmente agudos; pirenoide presente. Dimensiones: de 2 a 8 (a16)  $\mu\text{m}$  de ancho y 6 a 16  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Probablemente cosmopolita; algunas veces frecuente en el plancton de charcas y lagos; moderadamente distribuidas en el plancton durante el verano de los lagos del oeste de Escocia.

***Kirchneriella lunaris* (Kirchner) K.Möbius**

Célula casi circular, fuertemente en forma de medialuna, usualmente cóncava con lados curvados, ápices bruscamente punteados a ligeramente redondeados. Cloroplasto con pirenoide presente. Dimensiones: de 1.2 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho y 4 a 14  $\mu\text{m}$  de largo.

***Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová**

Célula usualmente 10 veces más larga que ancha, de forma alargada constreñida, recta o usualmente ligeramente doblada a torcerse en forma de espiral (por arriba de 1.5 vueltas) constreñida gradualmente a los ápices, 2, 4 u 8 autoesporas por célula. Dimensiones: de 1 a 2.2 (5.2)  $\mu\text{m}$  de ancho y 7 a 40 (45)  $\mu\text{m}$  de largo.

Ecología: Probablemente cosmopolita, común a lo largo del año en el plancton, o asociado con superficies sumergidas pobres en nutrimentos hasta aguas altamente contaminadas. En algunos tipos de hábitats acuáticos como ríos, charcas, lagos, embalses, diques y bebederos de animales.

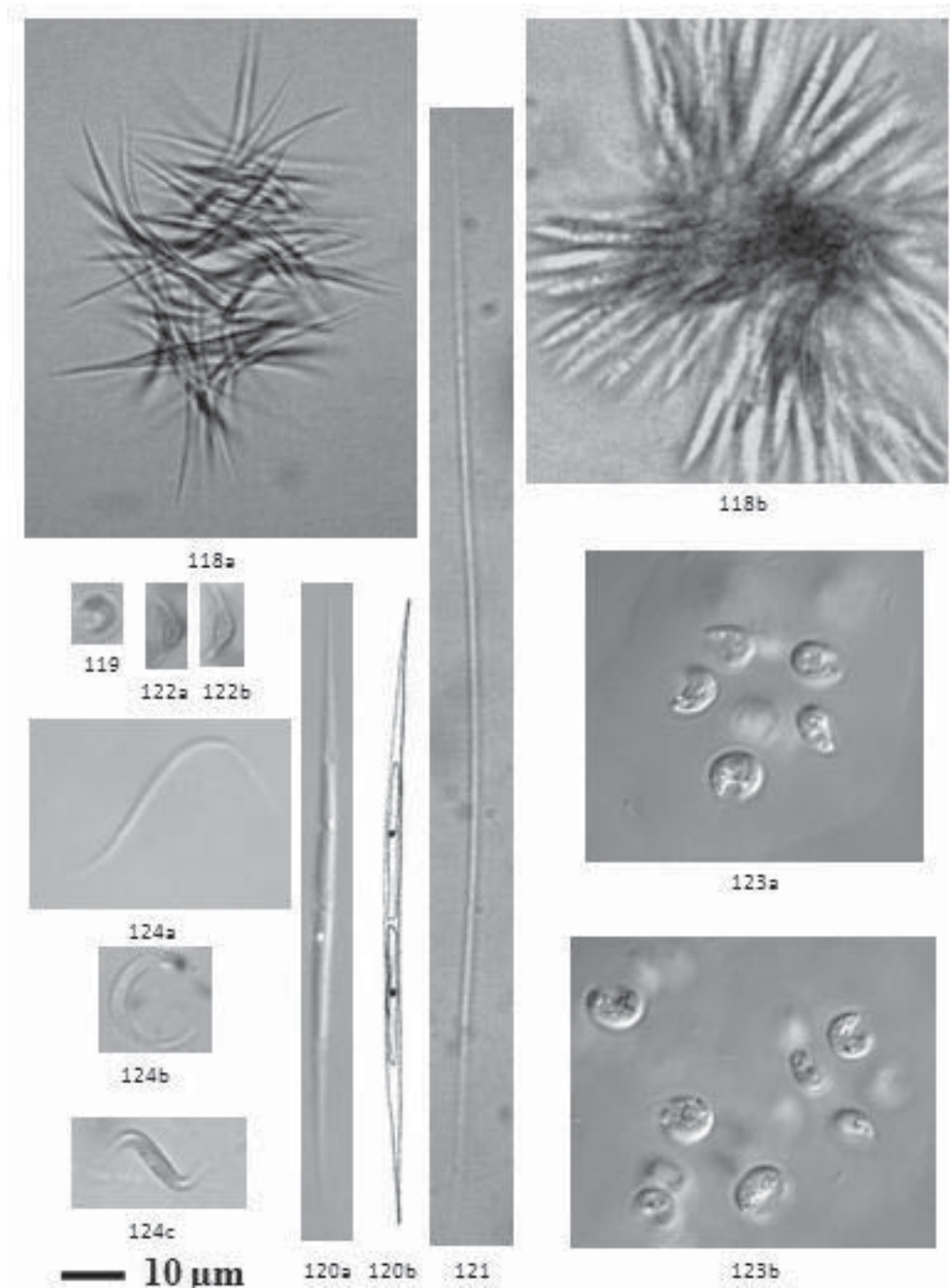
***Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová**

Célula usualmente 12 veces más larga que ancha, estrecha, con forma de huso, recta, cada ápice gradualmente se reduce hasta terminar en un extremo agudo o una espina corta. Dimensiones: de 1 a 4.5  $\mu\text{m}$  de ancho y 28 a 110  $\mu\text{m}$  de largo.

**LAMINA XI**

<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	118
<i>Ankistrodesmus nannoselene</i> Skuja	119
<i>Closteriopsis acicularis</i> (G.M. Smith) J.H. Belcher et Swale	120
<i>Closteriopsis longissima</i> (Lemmermann) Lemmermann	121
<i>Keratococcus bicaudatus</i> (A.Braun ex Rabenhorst) J.B.Petersen	122
<i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle	123
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	124

LAMINA XI



***Lagerheimia subsalsa* Lemmermann**

Células ovoides o elipsoidales con terminaciones redondeadas, raramente en forma casi de limón con 2 a 5 espinas en cada ápice, las espinas son de 2 a 26  $\mu\text{m}$  de largo, gradualmente estrechas apicalmente hasta ser como agujas, rectas o ligeramente curvadas, tan largas como tan corta sea la célula, incoloras o de color café. Dimensiones: de 2.5 a 9  $\mu\text{m}$  de ancho y 4.5 a 16  $\mu\text{m}$  de largo.

***Oocystis borgei* J.Snow**

Células solitarias o constituyendo un cenobio de 2, 4 u 8 células, en paquetes densos y arreglos tetrahedricos. La forma de las células es ovoide o elipsoidal, con ápices redondeados y usualmente sin engrosamientos polares en la pared. Cloroplastos de 1 a 4, con un pirenoide cada uno. Dimensiones: Células de 6 a 20  $\mu\text{m}$  de ancho y 9 a 20  $\mu\text{m}$  de largo, usualmente 1.5 veces mas larga que ancha.

***Oocystis solitaria* Wittrock**

Células solitarias o formando un cenobio de 2, 4 u 8 células; en un inicio aglomeradas pero después separadas por la estriación de la pared celular de la madre. Las células presentan forma ovoide o elipsoidal con apices redondeados a ligeramente agudos, cada uno con un engrosamiento polar de la pared celular. Los cloroplastos son largos de 4 a 20 por célula con márgenes comúnmente lobados, ocasionalmente poligonales cuando se encuentran encerrados en paquetes, con un pirenoide cada uno. Dimensiones: de 3 a 29.7  $\mu\text{m}$  de ancho y 7 a 52.8  $\mu\text{m}$  de largo, 1.5 a 2 veces más largas que anchas.

***Staurastrum manfeldtii* Delponte var. *manfeldtii***

Células de tamaño medio a largo, cerca de 1 1/3 veces más anchas que largas, con procesos. Presentan una constricción media relativamente pequeña, el sinus es linear con un istmo ancho. Las semicelulas anchas presentan forma de tazón con la porción basal inflada. El margen es convexo y diverge directamente a los ángulos ápicales, los cuales producen procesos gruesos y convergentes con inclinación hacia el centro del organismo. Estos márgenes presentan ondulaciones aserradas con tres dientes en las puntas, el margen

apical es truncado y recto con una serie de verrugas. En vista apical la célula es triangular o cuadrangular con un margen convexo o recto entre los procesos. El cuerpo de la célula presenta verrugas en cada lado, las verrugas comienzan en una fila de dientes hasta la mitad de los procesos. Dimensiones: de 42 a 57  $\mu\text{m}$  de largo y de 55 a 100.8  $\mu\text{m}$  de ancho, incluyendo los procesos, mientras que el Itsmo es de 9 a 13  $\mu\text{m}$ .

***Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense* Schumacher et Whitford**

Presenta márgenes prominentemente espinosos, provisto de cuatro brazos con espinas como dientes, con verrugas en el margen apical prominentemente desarrolladas. La cara de las semicélulas presentan espinas dispersas así como un grupo de espinas debajo de cada proceso, junto al itsmo. La célula es triangular en vista apical con márgenes rectos entre los procesos, los cuales son espinosos y presentan pequeñas verrugas en cada lado de la base. El cuerpo de la célula contiene series intra marginales de 8 verrugas en cada lado. Dimensiones: de 41 a 43  $\mu\text{m}$  de largo sin los procesos y el ancho es de 90 a 96  $\mu\text{m}$ , con un itsmo de 10 a 11  $\mu\text{m}$ .

***Staurastrum smithii* Teiling**

Células de tamaño medio a largo con procesos, cerca de dos veces más largas que ancha con una constricción media en forma de U, abiertas ampliamente. Las semicélulas presentan forma de tazón. Los márgenes laterales y basales son convexos a los ángulos apicales, los cuales producen procesos largos, horizontales y ligeramente curvados de márgenes con espinas y terminando en tres dientes. El margen apical es biconvexo. En vista apical la célula es ancha, elíptica u oval con los polos extendidos en largos procesos con los brazos opuestos a las semicélulas extendiéndose aproximadamente al ángulo derecho. Dimensiones: La célula sin los procesos mide 12  $\mu\text{m}$  de largo y de 10.5 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho, mientras que con los procesos llega a medir de 36 a 67  $\mu\text{m}$  de largo y de 44 a 119  $\mu\text{m}$  de ancho.

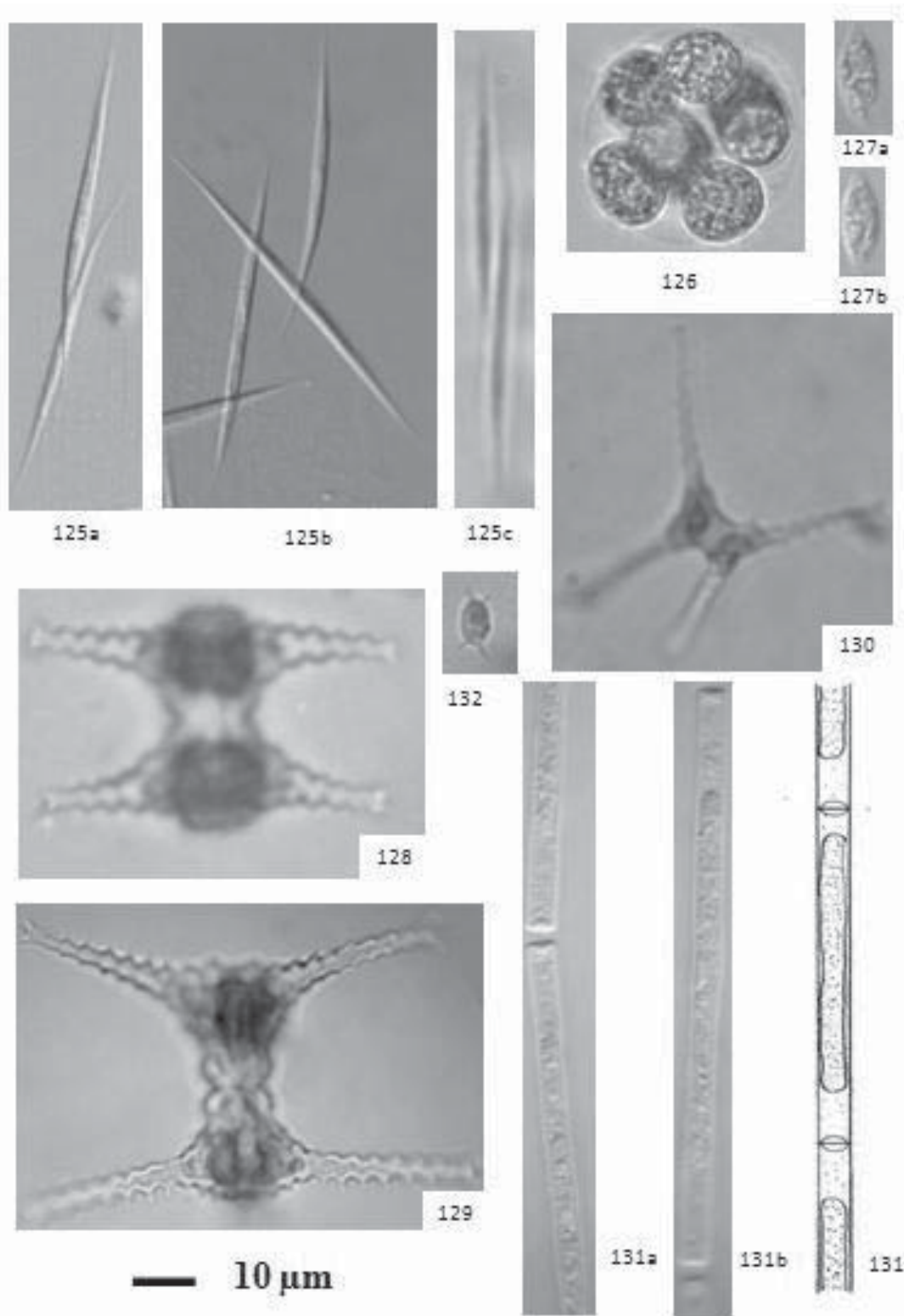
***Mougeotia* sp.**

Filamentos solitarios libres, compuestos de células cilíndricas 5 a 20 o más veces más largas que anchas, con terminaciones planas. Las células presentan un cloroplasto, (raramente dos) plano o ligeramente curvado aplanado, el cual ocupa la mayoría del largo de la célula con una o más líneas de pirenoides, ocasionalmente dispersos. Cuando sólo se presenta un cloroplasto, el núcleo se encuentra junto a la pared celular, mientras que cuando se presentan 2 el núcleo se encuentra entre los cloroplastos.

**LAMINA XII**

<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	125
<i>Oocystis borgei</i> J.Snow	126
<i>Oocystis solitaria</i> Wittrock	127
<i>Staurastrum manfeldtii</i> Delponte	128
<i>Staurastrum manfeldtii</i> var. <i>fluminense</i> Schumacher et Whitford	129
<i>Staurastrum smithii</i> Teiling	130
<i>Mougeotia</i> sp.	131
<i>Lagerheimia subsalsa</i> Lemmermann	132

LAMINA XII





### 7.2.3.3 RIQUEZA DE TAXA DEL FITOPLANCTON DURANTE EL 2009.

En Tacámbaro las Bacillariophyta fueron el grupo dominante en invierno en cuanto a riqueza de taxa se refiere, mientras que las Chlorophyta encabezaron el parámetro el resto del año. Las Cyanobacteria fueron el tercer grupo que contribuyó a la variable, otorgando en verano y otoño su mayor número de especies. El cuarto grupo fueron Euglenophyta las cuales presentaron su mayor número de especies en invierno y otoño. Mientras que las Dinophyta lo hicieron en verano y las Cryptophyta para primavera y otoño al igual que las Heterokontophyta, ambas sin registros en verano (Figura 2.1).

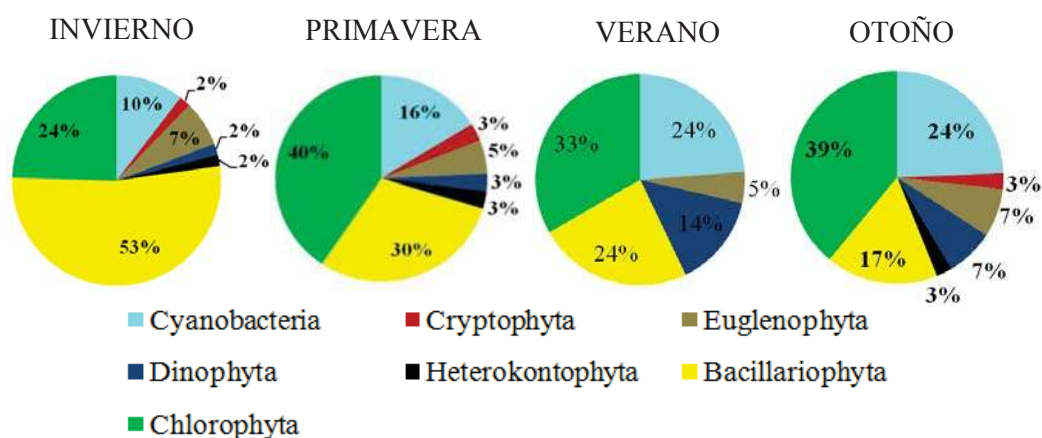


Figura 2.1. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Tacámbaro durante el 2009.

Para Teremendo las Cyanobacteria fueron el grupo que aportó el mayor número de especies, con sus máximos en primavera y verano, mientras que en otoño contribuyen con el mismo número de taxa que las Chlorophyta, ocupando estas últimas el mayor porcentaje de la diversidad taxonómica en invierno. Las Bacillariophyta fueron el tercer grupo que aportó un considerable número de organismos, con el máximo en otoño y sin registros para verano. Mientras que las Cryptophyta se presentan en tres épocas aportando su mayor diversidad de taxa en verano, manteniéndose sin registros en primavera. Siendo verano la única época que registra a las Heterokontophyta (Figura 2.2).

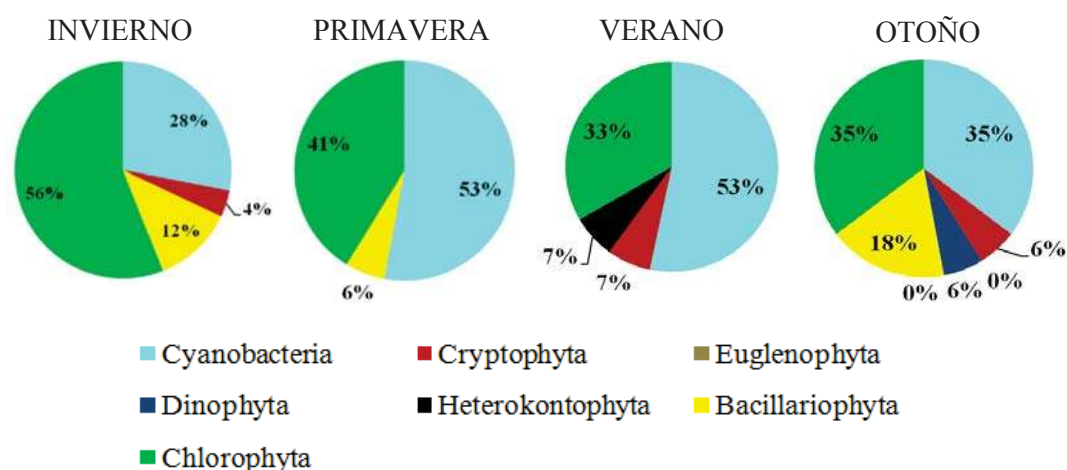


Figura 2.2. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Teremendo durante el 2009.

Las Chlorophyta fueron el grupo que encabezó la diversidad de taxa en Los Espinos durante las cuatro épocas del año, compartiendo el mismo número de especies en invierno con las Cyanobacteria, las cuales aportan una menor cantidad de taxones en primavera y verano para incrementarse de nuevo en otoño. Las Bacillariophyta son el tercer grupo en la diversidad de taxa, las cuales contribuyen con valores elevados en primavera, para disminuir en verano y otoño y mantenerse sin registros en invierno. Mientras que las Cryptophyta presentan especies en invierno y verano así como las Heterokontophyta quienes aportan individuos en verano (Figura 2.3).

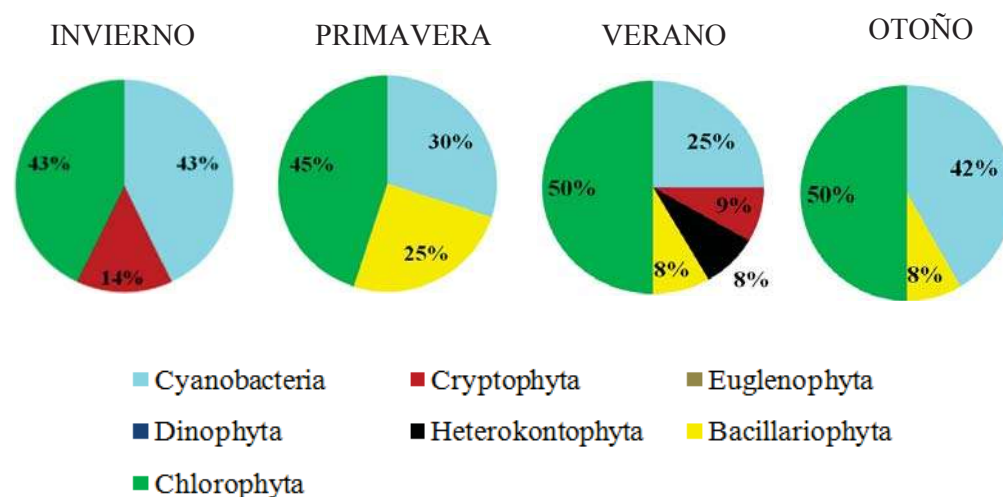


Figura 2.3. Diversidad Taxonómica del Fitoplancton en Los Espinos durante el 2009.

### 7.2.3.4 ABUNDANCIA DEL FITOPLANCTON DURANTE EL 2009.

#### 7.2.3.4.1 ABUNDANCIA EN TACÁMBARO DURANTE INVIERNO.

Durante invierno Tacámbaro se encontró dominado por las algas verdes, las cuales estuvieron presentes en toda la columna de agua, siendo las más abundantes de superficie a fondo *Closteriopsis longissima* y *Crucigeniella rectangularis*, así como *Chlamydomonas globosa* en el metalimnio. Las Cyanobacteria fueron el segundo grupo dominante, ocurriendo también en toda la columna con *Merismopedia marssonii* como especie sobresaliente y *Chroococcus minor* como codominante a altas profundidades (18 m). Las Bacillariophyta, fueron el tercer grupo con valores elevados en abundancia en la época, las cuales presentaron un incremento importante en el fondo del lago, en donde *Achnantheidium minutissimum* y *Cyclotella ocellata* encabezaron el parámetro, tal y como lo hizo *Navicula kotschy* en la superficie (Figura 2.4).

El cuarto grupo fueron las Cryptophyta, las cuales se encontraron en concentraciones importantes a los cinco y ocho metros de profundidad (*Cryptomonas ovata*), sin registros en el fondo. Las Euglenophyta fueron el quinto grupo abundante en la columna de agua, las cuales se encontraron en la superficie (*Trachelomonas granulosa*) y de los siete metros al fondo (*Phacus caudatus*), mientras que las Heterokontophyta se encontraron en el epilimnio e hipolimnio del lago (*Mallomonas caudata*) y las Dinophyta a los 5 m con *Peridinium cinctum* como especie sobresaliente (Figura 2.4).

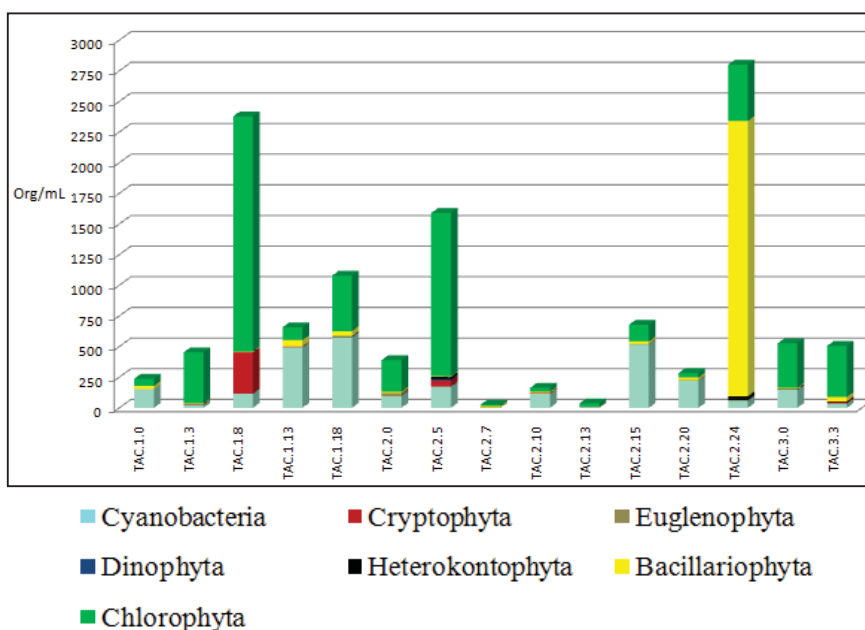


Figura 2.4. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante invierno.

### 7.2.3.4.2 ABUNDANCIA EN TACÁMBARO DURANTE PRIMAVERA

Para primavera, el parámetro se reestructura y la columna de agua se encontró dominada por las Cyanobacteria, siendo *Chroococcus dispersus* y *Chroococcus minor* las especies más abundantes, presentes de la superficie a los 7 m. Mientras que las Chlorophyta ocuparon el segundo lugar con *Coelastrum* sp. codominando a los 5 m y en la superficie ocurriendo en toda la columna (Figura 2.5).

Bacillariophyta fueron el tercer grupo abundante, presentándose concentraciones elevadas en la superficie y a los 5 m (*Cyclotella ocellata*), manteniéndose ausente a los 10 y 15 m (Figura 2.5).

Las Euglenophyta aportaron para la superficie y cinco metros a *Trachelomonas granulosa* y *Phacus caudatus* respectivamente sin registros para el resto de la columna de agua, considerándose el cuarto grupo, mientras que las Cryptophyta y las Dinophyta se presentaron en la superficie con *Cryptomonas ovata* y *Peridinium cinctum* respectivamente, así como las Heterokontophyta con *Mallomonas caudata* en los 5 metros, sin registros para el resto del perfil (Figura 2.5).

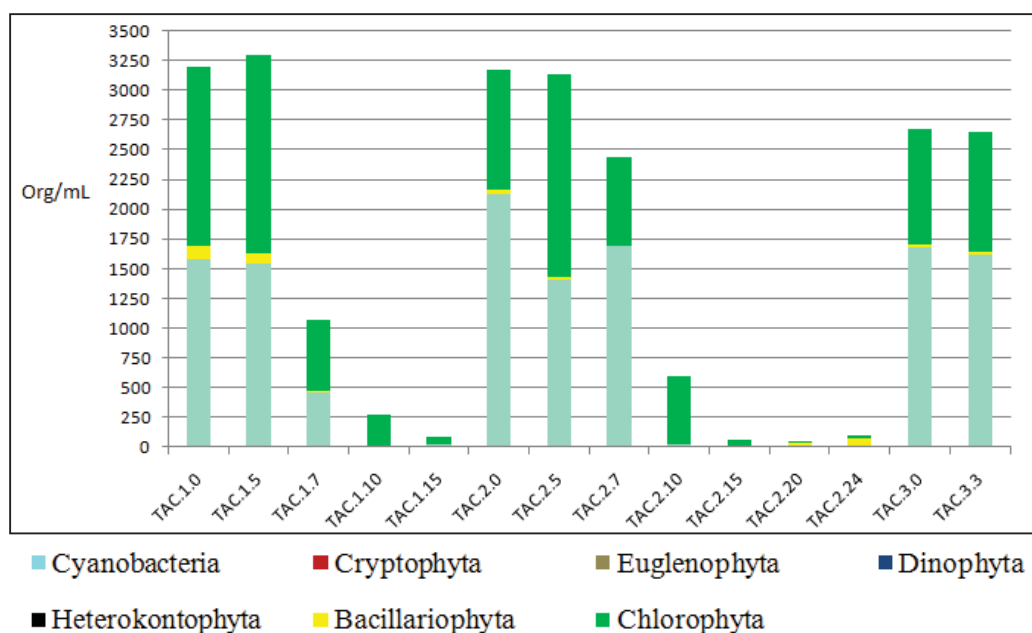


Figura 2.5. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante primavera.

### 7.2.3.4.3 ABUNDANCIA EN TACÁMBARO DURANTE VERANO

En verano Tacámbaro presentó un florecimiento de las Chlorophyta con *Botryococcus terrebilis* como especie dominante, la cual se encontró en altas concentraciones a los 20 metros seguida de las Bacillariophyta con *Cyclotella meneghiniana* presente de la superficie a los siete metros, sin representantes de los 15 metros al fondo, así como *Cyclotella ocellata*, encontrada en la superficie y 5 m, mientras que las Cyanobacteria se mantuvieron a los 5, 10, 15, 20 y 25 metros con *Merismopedia marssonii* encabezando la abundancia del grupo (Figura 2.6).

Las flageladas como las Dinophyta se presentan en la superficie, tres (*Peridinium inconspicuam*) y cinco metros (*Peridiniopsis elpatiewskyi*) así como las Euglenophyta a los cinco metros con *Trachelomonas hispida* var. *coronata* como representante (Figura 2.6).

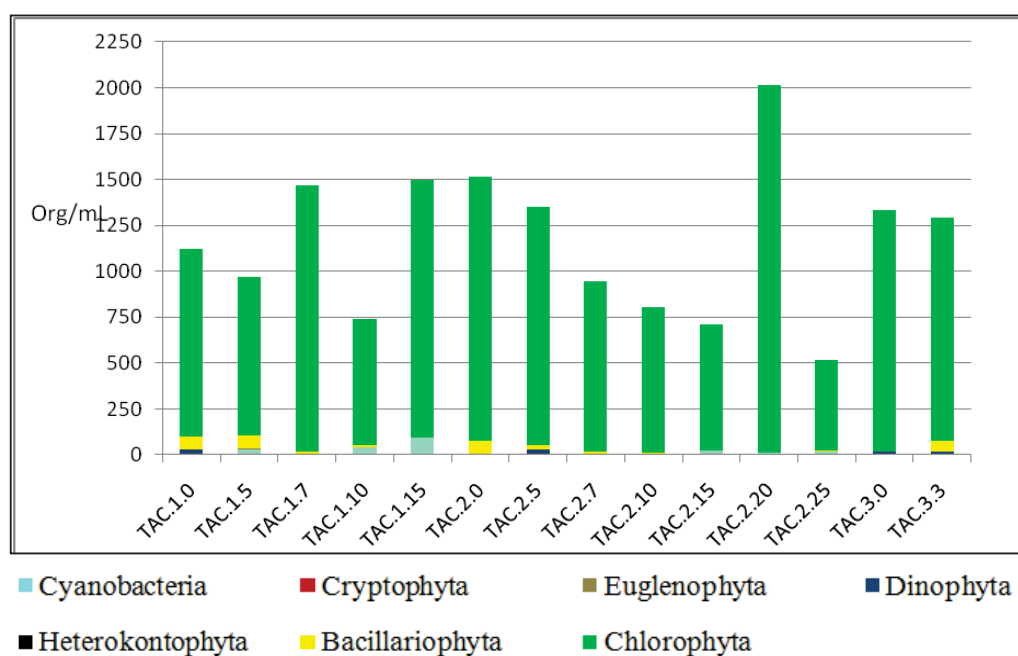


Figura 2.6. Abundancia del Fitoplancton en Tacámbaro durante verano.

### 7.2.3.4.4 ABUNDANCIA EN TACÁMBARO DURANTE OTOÑO.

En otoño las Bacillariophyta fueron el grupo más abundante en el lago, encontrándose de la superficie al fondo, presentando elevadas concentraciones a los siete metros con *Ulnaria acus* como especie dominante, seguida de *Cyclotella meneghiniana* (Figura 2.7).

Es evidente el incremento de las concentraciones de las Cyanobacteria a los 10 metros en donde *Merismopedia marssonii* y *Oscillatoria quasiperforata* son las especies dominantes y no aportan registros a los 7 y 25 metros (Figura 2.7).

El tercer grupo sobresaliente fueron las Chlorophyta, las cuales se encontraron en toda la columna de agua, representadas por *Tetraedron minimum*, ocupando su máximo a los cinco metros, seguido de *Ankistrodesmus falcatus* el cual se encontró en la superficie, siete, 10, 15, 20 y 25 metros, con elevadas concentraciones a los 25 m (Figura 2.7).

Las flageladas se incrementaron en la época, siendo las Euglenophyta las que aportan un número importante de organismos, con su máximo a los siete y 10 metros, con *Trachelomonas hispida* var. *coronata* y *Trachelomonas hispida* var. *crenulatocollis* f. *patula* presente esta última de la superficie a los siete metros.

Las Dinophyta se encontraron con representantes a los siete metros siendo *Peridiniopsis elpatiewskyi* la más abundante en esta capa, seguida de *Peridinium cinctum*, la cual ocurre a los cinco, 10, 15 y 25 metros. Cabe resaltar que en esta época las Heterokontophyta presentaron registros a los 25 metros con *Mallomonas caudata* como representante, misma que en la época anterior se manifestó ausente (Figura 2.7).

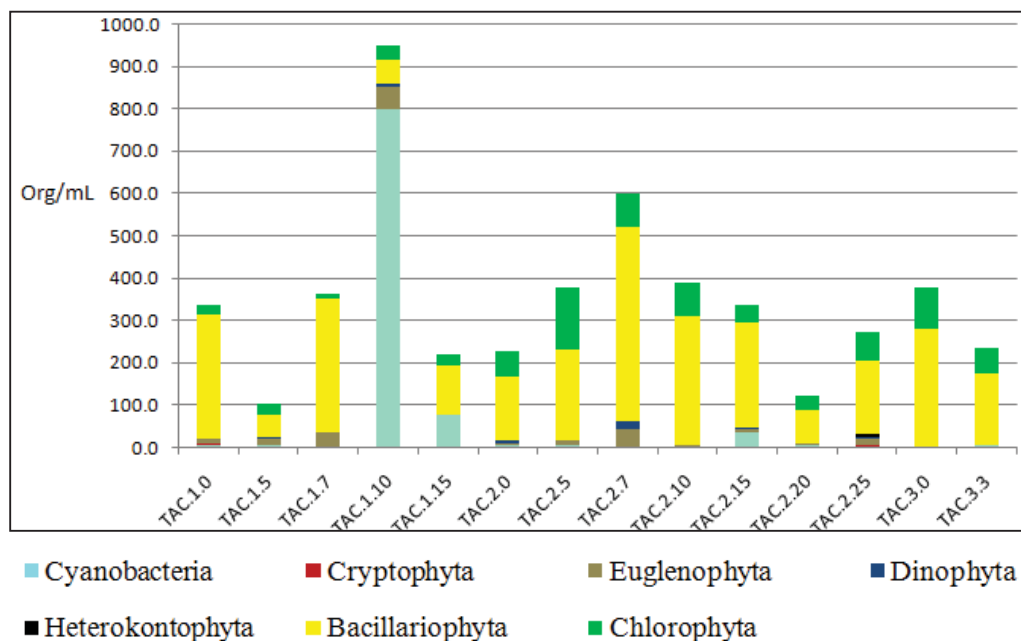


Figura 2.7. Abundancia del Fitoplancton en Tacambaro durante otoño.

#### **7.2.3.4.5 CORRESPONDENCIA DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS CON EL FITOPLANCTON.**

En este sistema lacustre, la comunidad del Fitoplancton estuvo dirigida en el espacio multivariado con un coeficiente de variación del 85.68 % por nueve variables (Cuadro 2.2), sobresaliendo seis de ellas (Temperatura, Fósforo reactivo, profundidad, dureza total alcalinidad total y conductividad eléctrica) por la elevada variación que presentan en la columna, influyendo en la sucesión algal.

Durante el 2009, se forman seis grupos algales conformados por diversas especies de las siete divisiones registradas para el Lago Cráter de Tacámbaro, de ellos el de mayor tamaño es el grupo 5, en el cual convergen especies influenciadas por concentraciones intermedias de Nitrógeno amoniacal (N2), un pH que va de ligeramente ácido a ligeramente básico (pH2), condiciones presentes en la columna de agua durante la circulación y en el fondo al inicio y término de la estratificación, característica que le permite a este grupo distribuirse en la superficie y en el fondo principalmente en este periodo (Figura 2.8 y Cuadro 2.2).

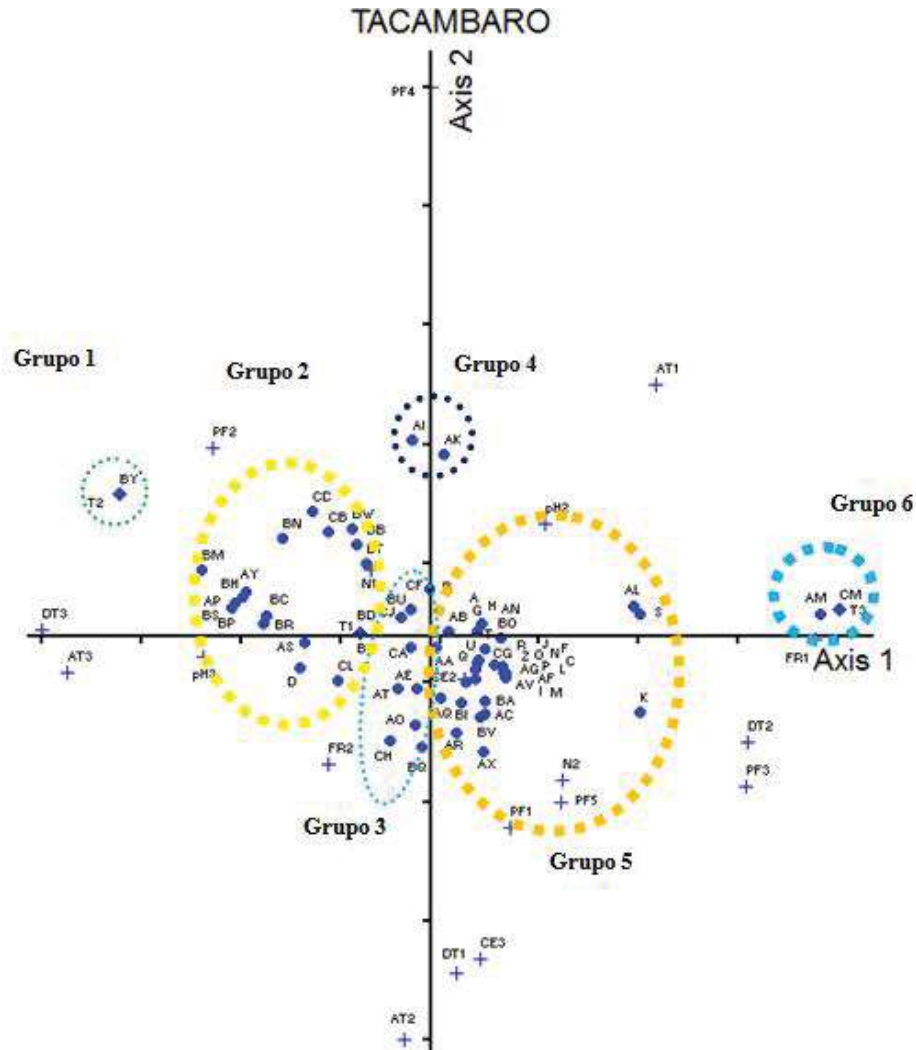
El segundo conglomerado con mayor número de especies es el grupo 2, el cual se encuentra influenciado por valores intermedios de Fósforo reactivo (FR2), con un pH básico (pH3) y temperatura moderadamente cálida (T1 y T2), el cual se presenta principalmente en el metalimnio con valores elevados de alcalinidad (AT3) (Figura 2.8 y Cuadro 2.2).

El tercer agregado con un número importante de especies corresponde al grupo 3 el cual presenta afinidad con concentraciones moderadas del Fósforo reactivo (FR2), y valores intermedios de alcalinidad (AT2) así como con valores mínimos de temperatura (T1), grupo caracterizado por contener especies que ocurren en el metalimnio en la columna de agua (Figura 2.8 y Cuadro 2.2).

Y por último se encuentran tres grupos, los cuales están integrados por 1 a 2 especies, quienes ocurren con especificidad cuando la columna de agua presenta valores intermedios de temperatura (T2) en el metalimnio (PF2) (grupo 1) al comienzo de la estratificación, habitando en el hipolimnio (PF3 y PF4) y en el metalimnio (PF2)



prefiriendo valores intermedios de pH y de temperatura (pH2 y T2) (grupo 4) en la época de estiaje, en concentraciones bajas de Fósforo reactivo (FR1) en una columna cálida (T3), comúnmente al término de la estratificación (Figura 2.8 y Cuadro 2.2).



(A) *Achnanthes exigua*, (B) *Achnanthes holsatica*, (C) *Achnantheidium minutissimum* (D) *Anomoeoneis* sp., (E) *Anomoeoneis sphaerophora*, (F) *Aulacoseira granulata*, (G) *Cocconeis placentula* var. *lineata*, (H) *Cyclotella meneghiniana*, (I) *Cyclotella ocellata*, (J) *Cymbella parviformis*, (K) *Cymbella tumida*, (L) *Encyonema silesiacum*, (M) *Epithemia argus*, (N) *Pseudostaurastrum brevistriata*, (O) *Staurastrum construens*, (P) *Frustulia rhomboides*, (Q) *Gomphonema affine*, (R) *Gomphonema vibrio* var. *intricatum*, (S) *Gomphonema gracile*, (T) *Gomphonema olivaceum*, (U) *Navicula kotschy*, (V) *Navicula laterostrata*, (W) *Nitzschia amphibia*, (X) *Nitzschia palea*, (Y) *Nitzschia gracilis*, (Z) *Rhoicosphenia abbreviata*, (AA) *Stauroneis anceps*, (AB) *Ulnaria acus*, (AC) *Fragilaria famelica*, (AD) *Tabularia fasciculata*, (AE) *Thalassiosira weissflogii*, (AF) *Ulnaria delicatissima*, (AG) *Ulnaria ulna*, (AH) *Stephanodiscus minutulus*, (AI) *Ankistrodesmus falcatus*, (AJ) *Ankistrodesmus nanoselene*, (AK) *Ankyra ancora*, (AL) *Botryococcus terribilis*, (AM) *Chlamydomonas globosa*, (AN) *Closteriopsis acicularis*, (AO) *Closteriopsis longissima*, (AP) *Coelastrum*, (AQ) *Crucigeniella rectangularis*, (AR) *Crucigenia tetrapedia*, (AS) *Cryptomonas ovata*, (AT) *Didymocystis fina*, (AU) *Didymogenes anomala*, (AV) *Golenkinia radiata*, (AW) *Keratococcus bicaudatus*, (AX) *Kirchneriella obesa*, (AY) *Kirchneriella lunaris*, (AZ) *Lagerheimia subsalsa*, (BA) *Mallomonas caudata*, (BB) *Monoraphidium contortum*, (BC) *Monoraphidium griffithii*, (BD) *Mougeotia*, (BE) *Oocystis borgeti*, (BF) *Oocystis solitaria*, (BG) *Planktosphaeria gelatinosa*, (BH) *Acutodesmus acuminatus*, (BI) *Scenedesmus arthrodesmiformis*, (BJ) *Scenedesmus opoliensis*, (BK) *Schroederia setigera*, (BL) *Staurastrum smithii*, (BM) *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense*, (BN) *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense*, (BO) *Tetraedron minimum*, (BP) *Aphanocapsa elachista*, (BQ) *Chroococcus limneticus*, (BR) *Chroococcus minor*, (BS) *Chroococcus dispersus*, (BT) *Jaaginema geminatum*, (BU) *Limnithrix brachynema*, (BV) *Merismopedia marssonii*, (BW) *Merismopedia glauca*, (BX) *Merismopedia punctata*, (BY) *Microcystis aeruginosa*, (BZ) *Microcystis smithii*, (CA) *Planktothrix agardhii*, (CB) *Oscillatoria quasiperforata*, (CC) *Pseudanabaena limnetica*, (CD) *Synechocystis diplococca*, (CE) *Synechocystis pevalekii*, (CF) *Euglena*, (CG) *Phacus caudatus*, (CH) *Trachelomonas granulosa*, (CI) *Trachelomonas hispida* var. *coronata*, (CJ) *Trachelomonas hispida* var. *crenulato-collis* f. *patula*, (CK) *Peridiniopsis elpatiewskiyi*, (CL) *Peridinium cinctum*, (CM) *Peridinium inconspicuum*.

Figura 2.8. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Tacámbaro y los parámetros fisicoquímicos durante el 2009.



Cuadro 2.2. Variables fisicoquímicas que determinan la presencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Tacámbaro.

VARIABLE	SIMBOLO	RANGO		
Temperatura (°C)	T1	>	17.1	≤ 20.9
	T2	>	20.9	≤ 24.6
	T3	>	24.6	≤ 28.4
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	N1	>	0.3	≤ 1.3
	N2	>	1.3	≤ 2.6
	N3	>	2.6	≤ 3.9
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	CE1	>	127	≤ 309.7
	CE2	>	309.7	≤ 492.3
	CE3	>	492.3	≤ 675.0
Carbonatos (mg/L)	CA1	>	0.0	≤ 36.7
	CA2	>	36.7	≤ 73.3
	CA3	>	73.3	≤ 110.0
Alcalinidad Total (mg/L)	AT1	>	50	≤ 133.3
	AT2	>	133.3	≤ 216.7
	AT3	>	216.7	≤ 300.0
Potencial Hidrógeno	pH1	>	6.1	≤ 6.9
	pH2	>	6.9	≤ 7.8
	pH3	>	7.8	≤ 8.6
Profundidad (m)	PF1	>	1	≤ 5.0
	PF2	>	5.0	≤ 10.0
	PF3	>	10.0	≤ 15.0
	PF4	>	15.0	≤ 20.0
	PF5	>	20.0	≤ 26.0
Fósforo reactivo (mg/L)	FR1	>	0.0007	≤ 0.11
	FR2	>	0.11	≤ 0.23
	FR3	>	0.23	≤ 0.34
Dureza Total (mg/L)	DT1	>	100	≤ 112.3
	DT2	>	112.3	≤ 124.7
	DT3	>	124.7	≤ 137.0

#### 7.2.3.4.6 ABUNDANCIA EN TEREMENDO DURANTE INVIERNO

Para Teremendo las Cyanobacteria fueron el grupo dominante, presentes en toda la columna con incremento de los cinco metros a la superficie, evidenciando sus máximas concentraciones en la capa superficial del centro del vaso lacustre. Las especies dominantes son *Limnothrix brachynema*, *Jaaginema geminatum* y *Chroococcus dispersus* contribuyendo *Limnothrix brachynema* con valores elevados en la superficie del centro del lago (Figura 2.9).

El segundo grupo que encabezó la abundancia del fitoplancton fueron las Chlorophyta, las cuales aportaron valores elevados a los cinco metros con *Oocystis solitaria* y *Keratococcus bicaudatus* como especies sobresalientes, mientras que para la superficie *Oocystis solitaria*, *Cryptomonas ovata* y *Monoraphidium contortum* fueron las especies más recurrentes (Figura 2.9).

Las Cryptophyta fueron el tercer grupo en importancia en el lago, ausentes a los siete metros y con elevadas concentraciones en la superficie con *Cryptomonas ovata* como única especie concurrente en el grupo. Mientras que el cuarto grupo fue formado por las Bacillariophyta presentes de los cinco metros al fondo con *Cyclotella ocellata* y *Pseudostaurosira brevistriata* como representantes (Figura 2.9).

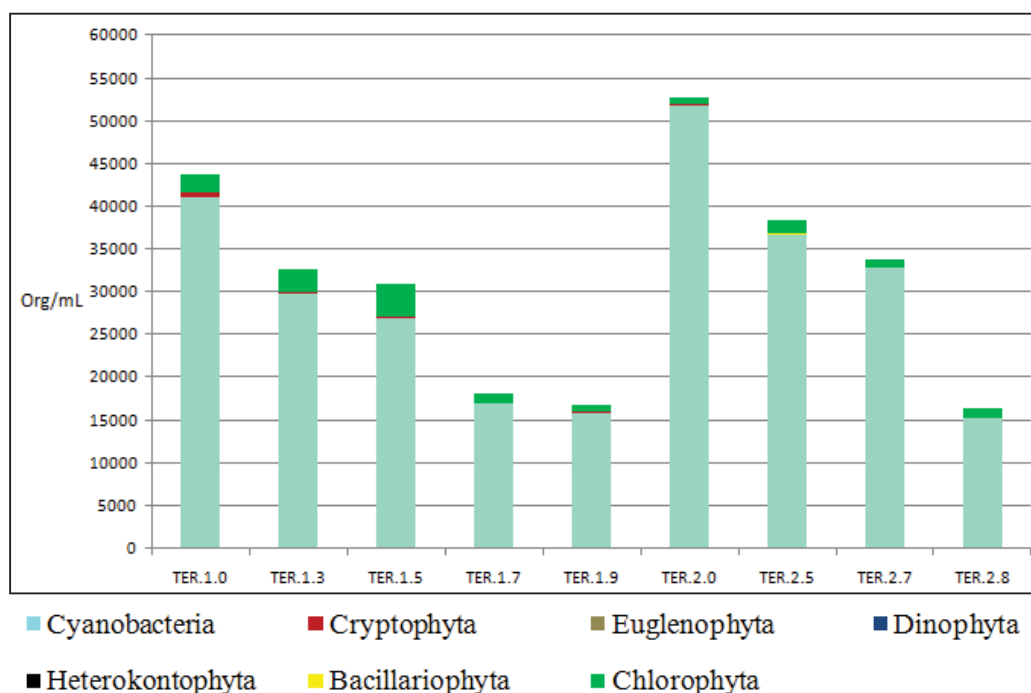


Figura 2.9. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante invierno.

#### 7.2.3.4.7 ABUNDANCIA EN TEREMENDO DURANTE PRIMAVERA

En primavera las Cyanobacteria continuaron como grupo dominante en el lago, pero con incrementos a los ocho y nueve metros de profundidad, ocurriendo en esta capa *Limnotrrix brachynema* y *Jaaginema geminatum*, disminuyendo la concentración del grupo en la superficie en donde *Jaaginema geminatum* fue la especie predominante (Figura 2.10).

Las Chlorophyta presentaron registros en la época aunque en bajas concentraciones, mostrando sus valores más altos a los cinco y siete metros con *Monoraphidium contortum* y *Monoraphidium griffithii* como especies sobresalientes, mientras que en la superficie destacaron *Monoraphidium contortum*, *Acutodesmus acuminatus* y *Monoraphidium griffithii* (Figura 2.10).

El tercer grupo que se presentó en la columna fue integrado por las Bacillariophyta las cuales aportaron registros a los cinco metros del sitio cercano al litoral en donde *Cyclotella meneghiniana* fue la especie sobresaliente (Figura 2.10).

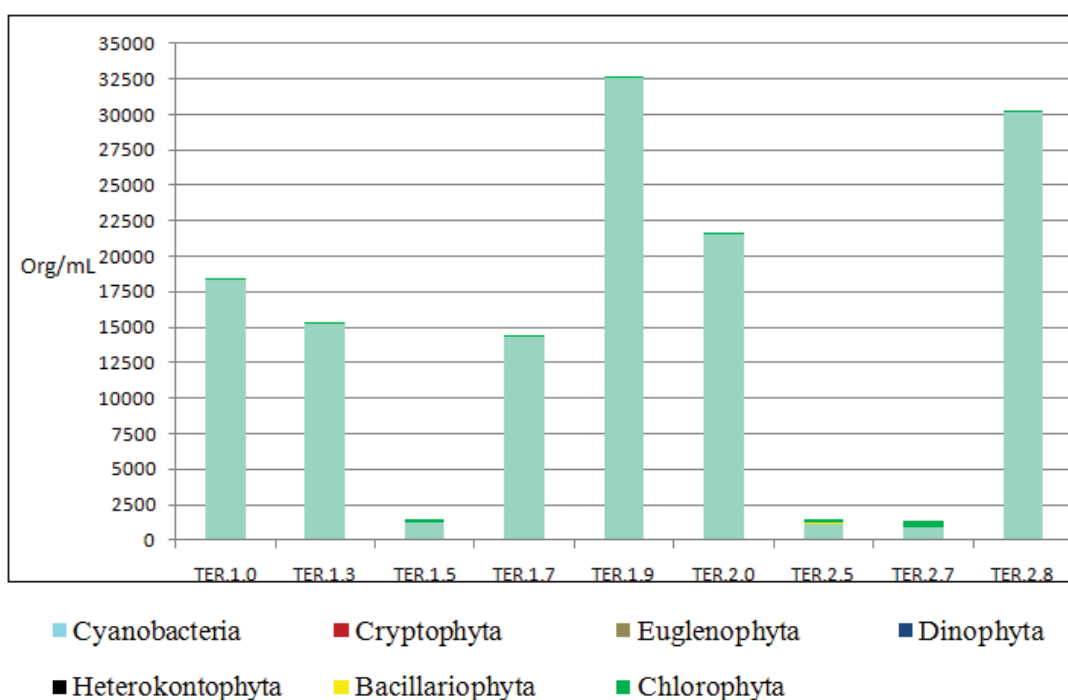


Figura 2.10. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante primavera.

#### 7.2.3.4.8 ABUNDANCIA EN TEREMENDO DURANTE VERANO

Para verano la abundancia algal volvió a incrementarse de los cinco metros a la superficie con un aumento a los siete metros en el sitio cercano al litoral. Las especies dominantes fueron *Limnothrix brachynema*, *Jaaginema geminatum* y *Oscillatoria quasiperforata*, con ésta última como mejor representante en el fondo (Figura 2.11).

Las Chlorophyta se incrementaron ligeramente en ésta época ocurriendo ahora de los cinco metros a la superficie, siendo las especies más abundantes *Botryococcus terribilis* y *Monoraphidium contortum*, mientras que en el fondo sobresalió *Closteriopsis aciccularis* (Figura 2.11).

Del grupo de las flageladas las Cryptophyta fueron el grupo que se presentó en la época con registros a los cinco metros en el centro del lago (*Cryptomonas ovata*) (Figura 2.11).

Mientras que las Heterokontophyta aportaron valores a los tres metros en el centro del lago (*Mallomonas caudata*), presentes sólo para esta época (Figura 2.11).

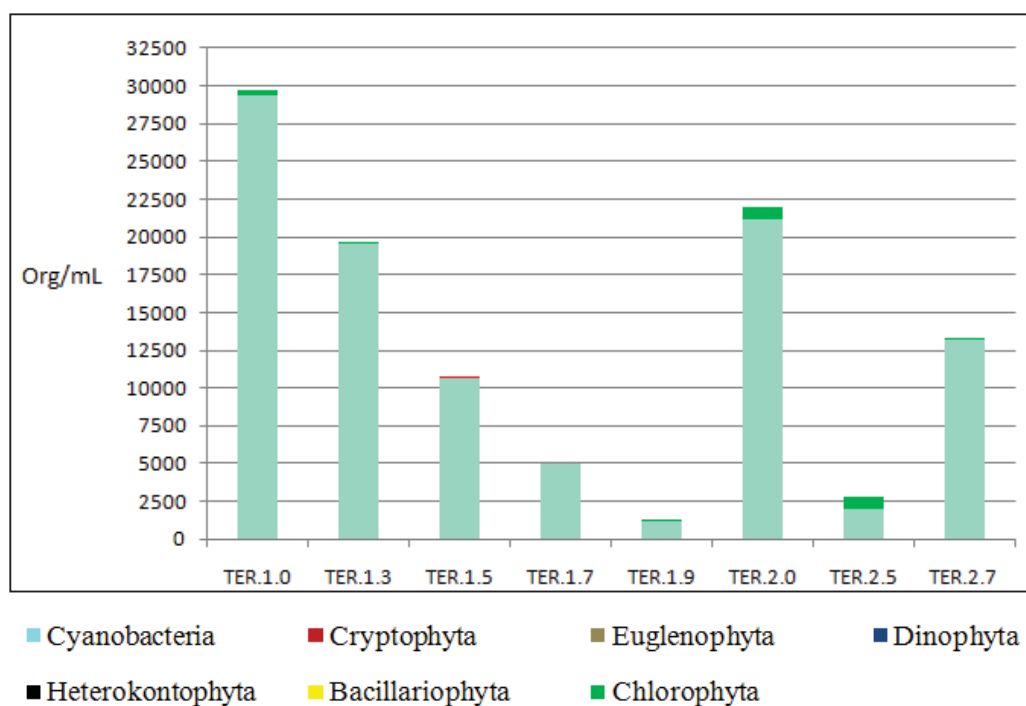


Figura 2.11. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante verano.

#### 7.2.3.4.9 ABUNDANCIA EN TEREMENDO DURANTE OTOÑO

En otoño las Cyanobacteria continuaron siendo el grupo dominante con valores elevados en la superficie, sobresaliendo *Oscillatoria quasiperforata*, *Merismopedia glauca*, *Jaaginema geminatum* y *Limnothrix brachynema*, las cuales fueron los taxa dominantes a su vez en toda la columna (Figura 2.12).

En segundo lugar se encontraron las Chlorophyta, quienes incrementaron sus concentraciones con respecto a la época anterior ocupando sus máximos a los ocho y cinco metros, con *Akistrodesmus falcatus* como especie sobresaliente, manteniéndose sin registros para la superficie del centro del vaso lacustre (Figura 2.12).

Las Bacillariophyta ocuparon el tercer lugar en abundancia, con su máxima concentración a los cinco metros con *Cyclotella ocellata* como especie recurrente. Mientras las Cryptophyta incrementaron su distribución en la columna, presentándose en la superficie y cinco metros (*Cryptomonas ovata*), tomando el cuarto lugar en la variable (Figura 2.12).

Las Dinophyta se presentaron en la superficie, cinco y ocho metros ocupando altas concentraciones en la superficie, sobresaliendo *Peridinium inconspicuum* en el grupo (Figura 2.12).

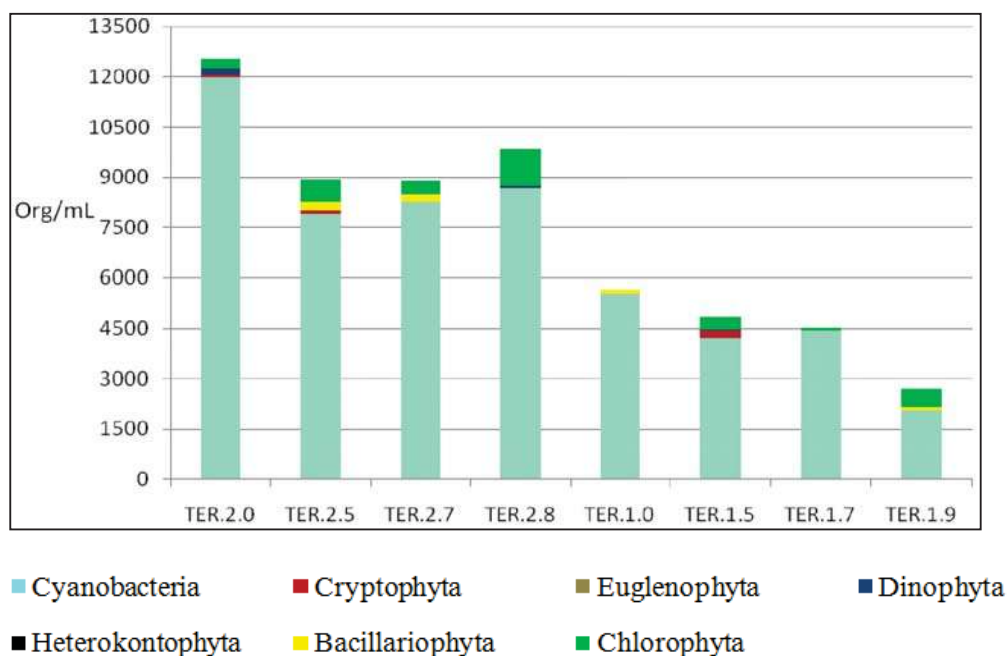


Figura 2.12. Abundancia del Fitoplancton en Teremendo durante otoño.

#### **7.2.3.4.10 CORRESPONDENCIA DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS CON EL FITOPLANCTON.**

En el Lago cráter de Teremendo, nueve variables rigen la ocurrencia de las especies en el espacio multivariado con un coeficiente de variación del 86.7 % (Cuadro 2.3), de las cuales seis presentan el menor número de especies y ordenan la formación de grupos concurrentes de algas en el plancton (Nitrógeno amoniacal, Fósforo reactivo, Conductividad eléctrica, potencial Hidrógeno, dureza total y profundidad) durante el 2009 (Figura 2.13).

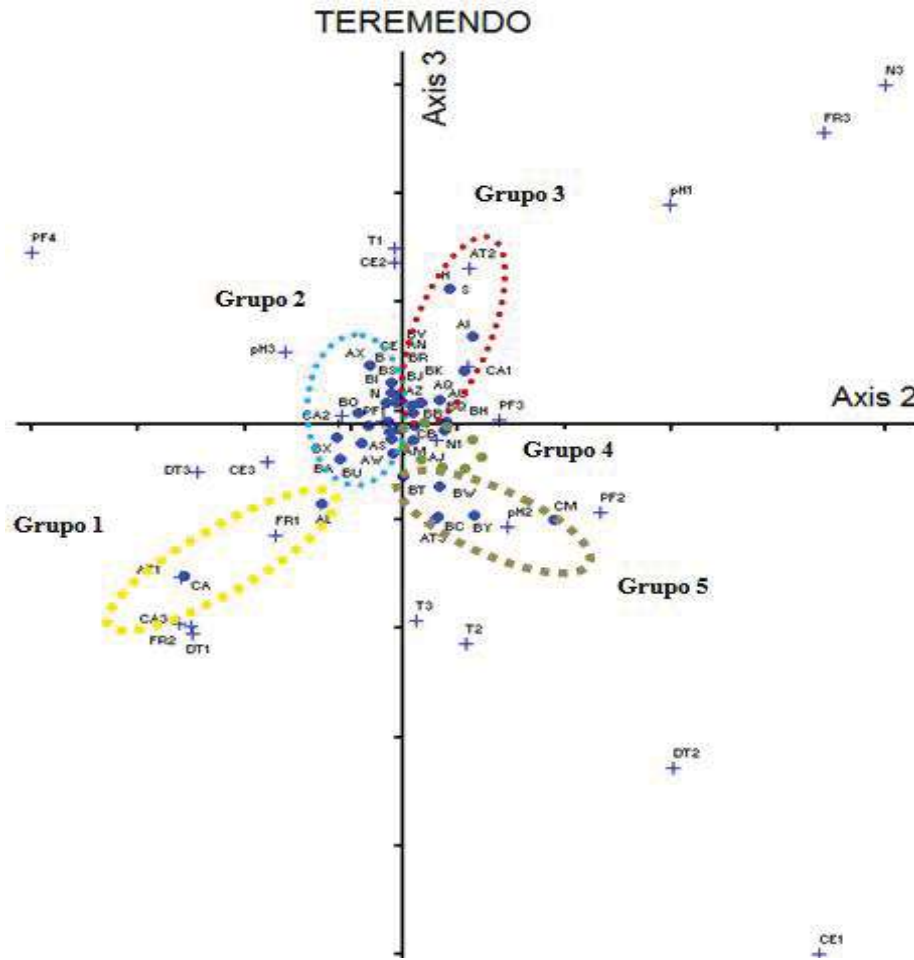
En esta correspondencia de las variables fisicoquímicas y la presencia del fitoplancton se forman cinco grupos de los cuales el grupo 2 se constituye por el mayor número de especies, las cuales se encuentran influenciadas por valores mínimos de temperatura (T1) y valores intermedios a elevados de conductividad eléctrica (C2 y CE3), presentándose principalmente en la superficie en aguas carbonatadas de pH básico (PF1, CA2 y pH3), con abundancias mínimas en el fondo (PF4), siendo cinco de ellas (BU, BA, CX, AW, AS) afines a concentraciones bajas a moderadas de Fósforo reactivo (FR1 y FR2) (Figura 2.13 y Cuadro 2.3).

El segundo conglomerado con mayor número de especies es el grupo 3, el cual se integra por especies presentes en la parte alta del hipolimnio (PF3), con bajas concentraciones de carbonatos (CA1), pH ligeramente básico (pH1) y elevadas concentraciones de Fósforo reactivo y Nitrógeno amoniacal (FR3 y N3) (Figura 2.12 y Cuadro 2.3).

El grupo 5 es el agregado que continúa en cuanto al número de especies que contiene, el cual se conforma de organismos que habitan en el metalimnio (PF2), en aguas de baja conductividad eléctrica (CE1) y pH moderadamente básico (pH2), presentes en temperaturas calidas (T2 y T3), condiciones propias del periodo de máxima estratificación (Figura 2.13 y Cuadro 2.3).

El siguiente conglomerado (grupo 4) se conforma por tres especies, las cuales se encuentran ordenadas por las variables del grupo 5, más sin embargo presentan una mayor relación con valores bajos de Nitrógeno amoniacal (N1) influyendo dicha variable en la

ordenación de sus especies, mientras que el grupo 1 se constituye de dos especies, las cuales se presentan en bajas a moderadas concentraciones de Fósforo reactivo (FR1 y FR2), en aguas moderadamente duras (DT1) ricas en carbonatos (CA3) y de baja alcalinidad (AT1), condiciones presentes en el metalimnio (Figura 2.13 y Cuadro 2.3).



(A) *Achnanthes exigua*, (B) *Achnanthes holsatica*, (C) *Achnantheidium minutissimum*, (D) *Anomoeoneis* sp., (E) *Anomoeoneis sphaerophora*, (F) *Aulacoseira granulata*, (G) *Cocconeis placentula* var. *lineata*, (H) *Cyclotella meneghiniana*, (I) *Cyclotella ocellata*, (J) *Cymbella parviformis*, (K) *Cymbella tumida*, (L) *Encyonema silesiacum*, (M) *Epithemia argus*, (N) *Pseudostaurisira brevistriata*, (O) *Staurisira construens*, (P) *Frustulia rhomboides*, (Q) *Gomphonema affine*, (R) *Gomphonema vibrio* var. *intricatum*, (S) *Gomphonema gracile*, (T) *Gomphonema olivaceum*, (U) *Navicula kotschy*, (V) *Navicula laterostrata*, (W) *Nitzschia amphibia*, (X) *Nitzschia palea*, (Y) *Nitzschia gracilis*, (Z) *Rhoicosphenia abbreviata*, (AA) *Stauroneis anceps*, (AB) *Ulnaria acus*, (AC) *Fragilaria famelica*, (AD) *Tabularia fasciculata*, (AE) *Thalassiosira weissflogii*, (AF) *Ulnaria delicatissima*, (AG) *Ulnaria ulna*, (AH) *Stephanodiscus minutulus*, (AI) *Ankistrodesmus falcatus*, (AJ) *Ankistrodesmus nannoselene*, (AK) *Ankyra ancora*, (AL) *Botryococcus terribilis*, (AM) *Chlamydomonas globosa*, (AN) *Closteriopsis acicularis*, (AO) *Closteriopsis longissima*, (AP) *Coelastrum*, (AQ) *Crucigeniella rectangularis*, (AR) *Crucigenia tetrapedia*, (AS) *Cryptomonas ovata*, (AT) *Didymocystis fina*, (AU) *Didymogenes anomala*, (AV) *Golenkinia radiata*, (AW) *Keratococcus bicaudatus*, (AX) *Kirchneriella obesa*, (AY) *Kirchneriella lunaris*, (AZ) *Lagerheimia subsalsa*, (BA) *Mallomonas caudata*, (BB) *Monoraphidium contortum*, (BC) *Monoraphidium griffithii*, (BD) *Mougeotia*, (BE) *Oocystis borgei*, (BF) *Oocystis solitaria*, (BG) *Planktosphaeria gelatinosa*, (BH) *Acutodesmus acuminatus*, (BI) *Scenedesmus arthrodesmiformis*, (BJ) *Scenedesmus opoliensis*, (BK) *Schroederia setigera*, (BL) *Staurastrum smithii*, (BM) *Staurastrum manfeldtii*, (BN) *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense*, (BO) *Tetraedron minimum*, (BP) *Aphanocapsa elachista*, (BQ) *Chroococcus limneticus*, (BR) *Chroococcus minor*, (BS) *Chroococcus dispersus*, (BT) *Jaaginema geminatum*, (BU) *Limnithrix brachynema*, (BV) *Merismopedia marssonii*, (BW) *Merismopedia glauca*, (BX) *Merismopedia punctata*, (BY) *Microcystis aeruginosa*, (BZ) *Microcystis smithii*, (CA) *Planktothrix agardhii*, (CB) *Oscillatoria quasiperforata*, (CC) *Pseudanabaena limnetica*, (CD) *Synechocystis diplococca*, (CE) *Synechocystis pevalekii*, (CF) *Euglena*, (CG) *Phacus caudatus*, (CH) *Trachelomonas granulosa*, (CI) *Trachelomonas hispida* var. *coronata*, (CJ) *Trachelomonas hispida* var. *crenulatocollis* f. *patula*, (CK) *Peridiniopsis elpatievskiyi*, (CL) *Peridinium cinctum*, (CM) *Peridinium inconspicuum*.

Figura 2.13. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Teremendo y los parámetros fisicoquímicos durante el 2009.

Cuadro 2.3. Variables fisicoquímicas que determinan la presencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Teremendo.

VARIABLE	SIMBOLO	RANGO		
Temperatura (°C)	T1	>	14.4	≤ 17.6
	T2	>	17.6	≤ 20.8
	T3	>	20.8	≤ 24.0
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	N1	>	0.115	≤ 1.81
	N2	>	1.81	≤ 3.51
	N3	>	3.51	≤ 5.21
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	CE1	>	203	≤ 340.3
	CE2	>	340.3	≤ 477.7
	CE3	>	477.7	≤ 615.0
Carbonatos (mg/L)	CA1	>	0.0	≤ 36.7
	CA2	>	36.7	≤ 73.3
	CA3	>	73.3	≤ 110.0
Alcalinidad Total (mg/L)	AT1	>	50	≤ 133.3
	AT2	>	133.3	≤ 216.7
	AT3	>	216.7	≤ 300.0
Potencial Hidrógeno	pH1	>	7	≤ 7.8
	pH2	>	7.8	≤ 8.5
	pH3	>	8.5	≤ 9.3
Profundidad (m)	PF1	>	0.0	≤ 1.0
	PF2	>	1.0	≤ 5.0
	PF3	>	5.0	≤ 7.0
	PF4	>	7.0	≤ 9.0
Fósforo reactivo (mg/L)	FR1	>	0.003	≤ 0.15
	FR2	>	0.15	≤ 0.29
	FR3	>	0.29	≤ 0.43
Dureza Total (mg/L)	DT1	>	110	≤ 130.0
	DT2	>	130.0	≤ 150.0
	DT3	>	150.0	≤ 170.0

#### 7.2.3.4.11 ABUNDANCIA EN LOS ESPINOS DURANTE INVIERNO

En Los Espinos el grupo dominante en el lago fueron las Chlorophyta con concentraciones elevadas en la superficie del lago, siendo la especie más abundante *Ankyra ancora*, la cual se encuentra presente en toda la columna con excepción del fondo (Figura 19). Otra clorofita que aportó valores importantes al parámetro fue *Closteriopsis longissima* la cual se encontró en elevadas concentraciones a los cinco metros en la parte central del lago (Figura 2.14).



El segundo grupo abundante en la columna en la época fueron las Cyanobacteria, las cuales aportaron representantes de la superficie al fondo con su máximo a los 25 metros siendo *Merismopedia marssonii* la especie más recurrente, mientras los valores mínimos se encontraron a los 10 metros con *Planktothrix agardhii* como especie abundante (Figura 2.14).

Las Cryptophyta fueron el tercer grupo con aportes celulares en la columna, en los cinco metros con un representante (*Chlamydomonas ovata*) (Figura 2.14).

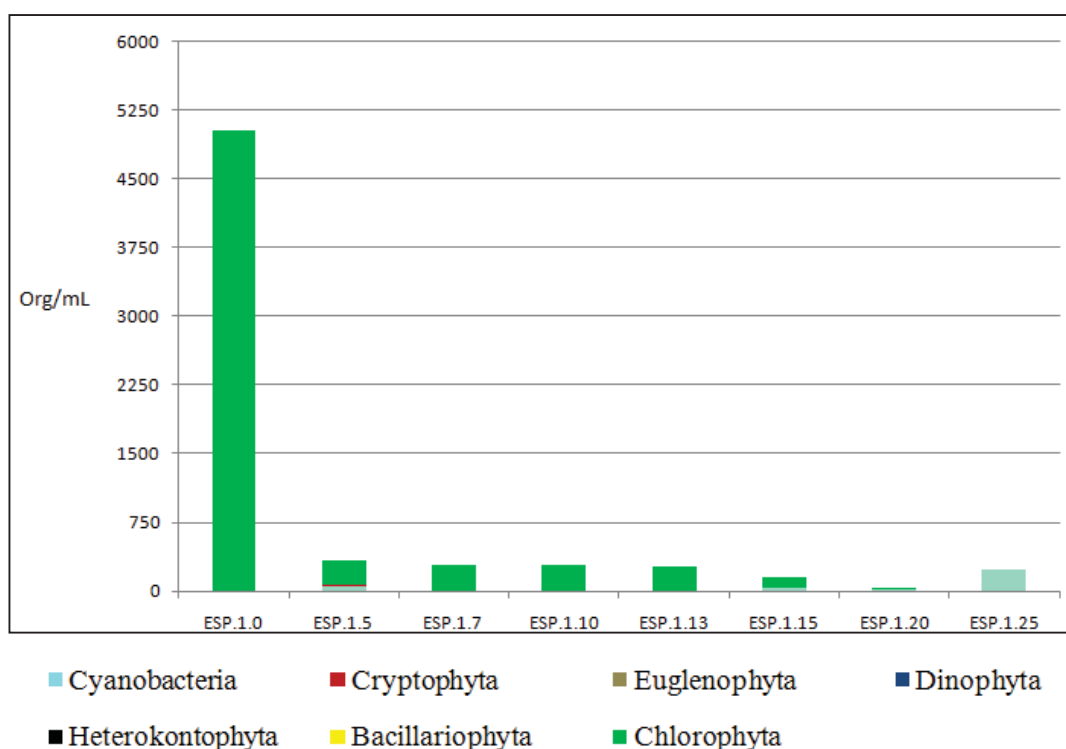


Figura 2.14. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante invierno.

#### 7.2.3.4.12 ABUNDANCIA EN LOS ESPINOS DURANTE PRIMAVERA

En primavera, Los Espinos registró un florecimiento de las Cyanobacteria, grupo que domina la columna de agua desde los 5 metros hasta el fondo, con el máximo a los 13 metros, disminuyendo gradualmente a la superficie y al fondo. *Chroococcus dispersus* es la especie más abundante, así como *Merismopedia marssonii*, la cual ocurre de los 13 metros al fondo, presente en ésta última capa con su mayor concentración (Figura 2.15).

El segundo grupo abundante en el lago fueron las Bacillariophyta con *Nitzschia gracilis* y *Nitzschia palea*, las cuales presentan un mayor número de frústulas a los 13 metros y disminuyen al acercarse el fondo del vaso lacustre (Figura 2.15).

El tercer grupo fueron las Chlorophyta, con organismos de la superficie al fondo, sin tener representantes a los 15 m. En la superficie las especies más recurrentes fueron *Botryococcus terrebilis*, *Oocystis borgei* y *Closteriopsis acicularis*, mientras que en el fondo se presentan *Monoraphidium griffithii*, *Planktosphaeria gelatinosa* y *Staurastrum manfeldtii* (Figura 2.15).

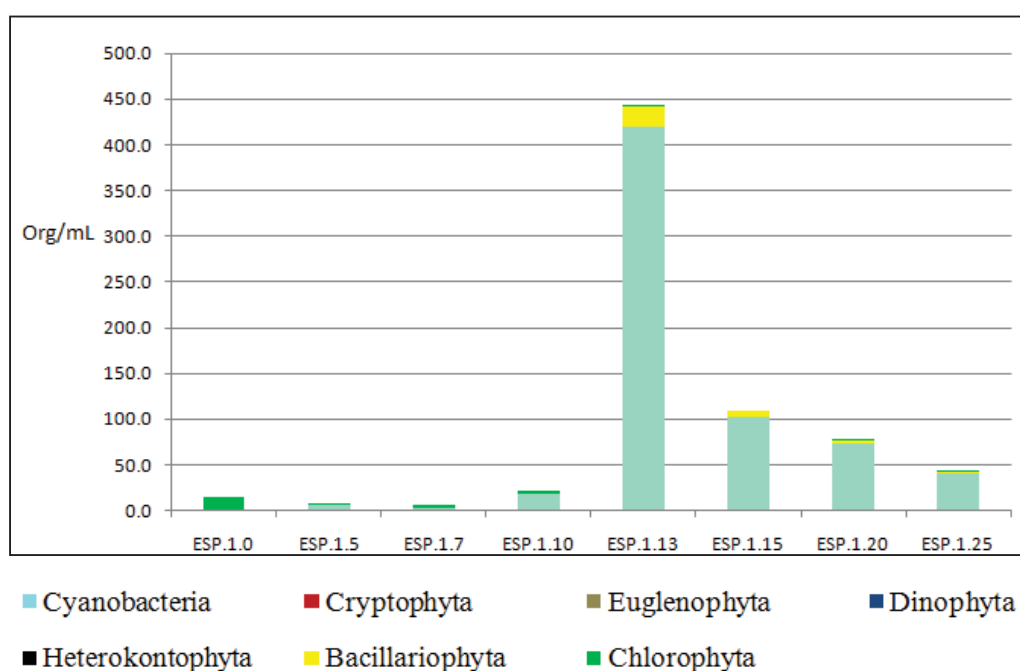


Figura 2.15. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante primavera.

#### 7.2.3.4.13 ABUNDANCIA EN LOS ESPINOS DURANTE VERANO

En verano las Chlorophyta volvieron a dominar la columna de agua con su máxima concentración en la superficie y los siete metros siendo *Ankistrodesmus falcatus* la especie más abundante de la superficie al fondo, seguida de *Ankistrodesmus nannosele* y *Planktosphaeria gelatinosa*, de las cuales las últimas dos ocurren de los 15 metros al fondo y en la superficie respectivamente (Figura 2.16).

Las Cyanobacteria fueron el segundo grupo con ocurrencia en el lago, las cuales se encontraron en la superficie (*Microcystis aeruginosa*) y de los 15 metros al fondo (*Merismopedia marssonii*), manteniéndose ausentes de los cinco a los 10 metros (Figura 2.16).

El tercer grupo fueron las Cryptophyta, presentes a los 15 metros con un taxón (*Cryptomonas ovata*) mismo que en la época anterior no tuvo registros (Figura 2.16).

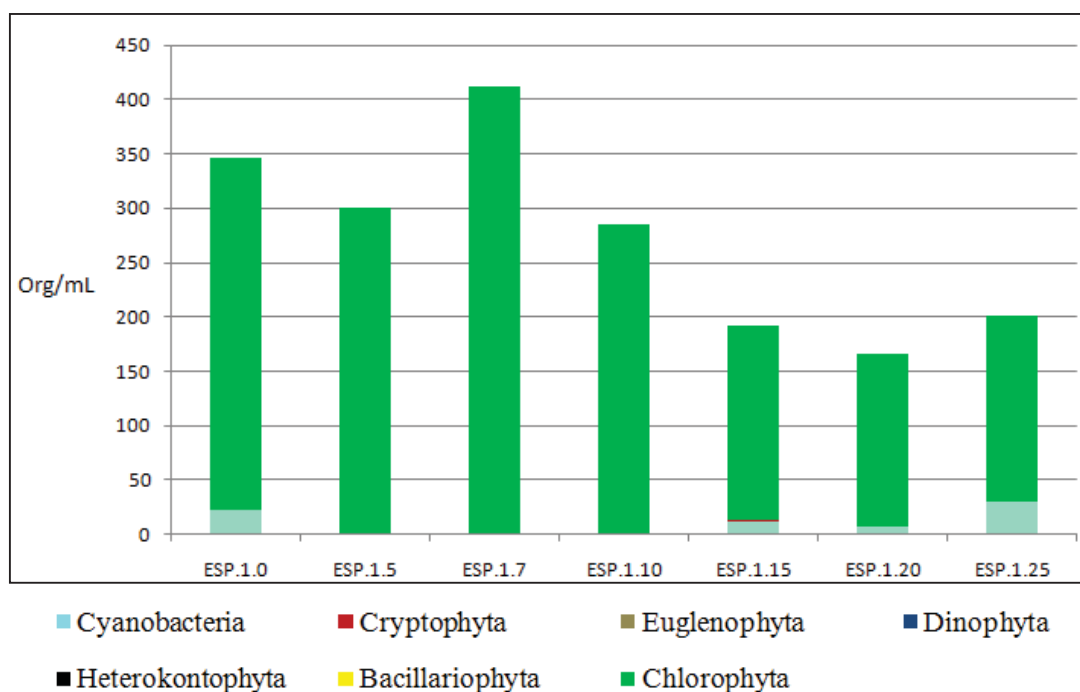


Figura 2.16. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante verano.

#### 7.2.3.4.14 ABUNDANCIA EN LOS ESPINOS DURANTE OTOÑO

Para otoño, las Chlorophyta continuaron dominando la columna de agua, reduciendo las concentraciones del grupo en la superficie incrementándose a los siete metros y disminuyendo hacia el fondo, siendo *Ankistrodesmus falcatus* la especie dominante en la época (Figura 2.17).

El segundo grupo con importancia en la concentración algal fueron las Cyanobacteria, con concentraciones elevadas en el fondo, mientras se ausentaron de siete a

10 metros. Siendo la especie dominante en la superficie *Microcystis aeruginosa* y en el fondo *Merismopedia marssonii* (Figura 2.17).

Las Bacillariophyta fueron el tercer grupo que aportó organismos en la columna de agua, el cual sólo se presentó a los 15 metros con *Tabularia fasciculata* como representante (Figura 2.17).

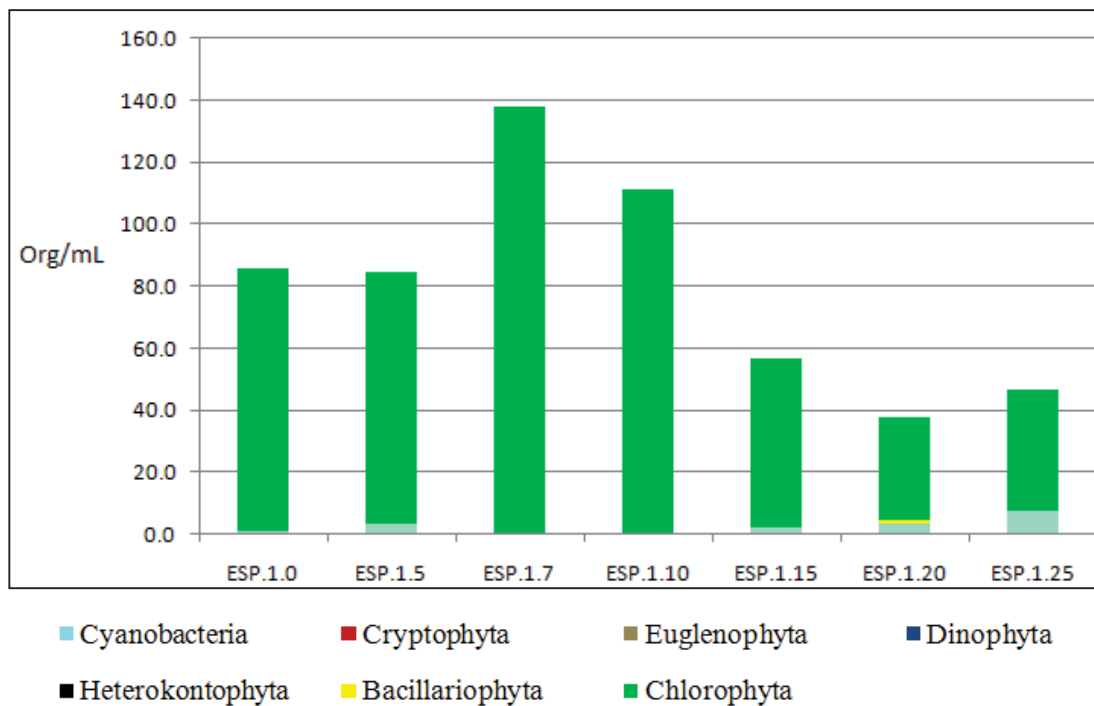


Figura 2.17. Abundancia del Fitoplancton en Los Espinos durante otoño.

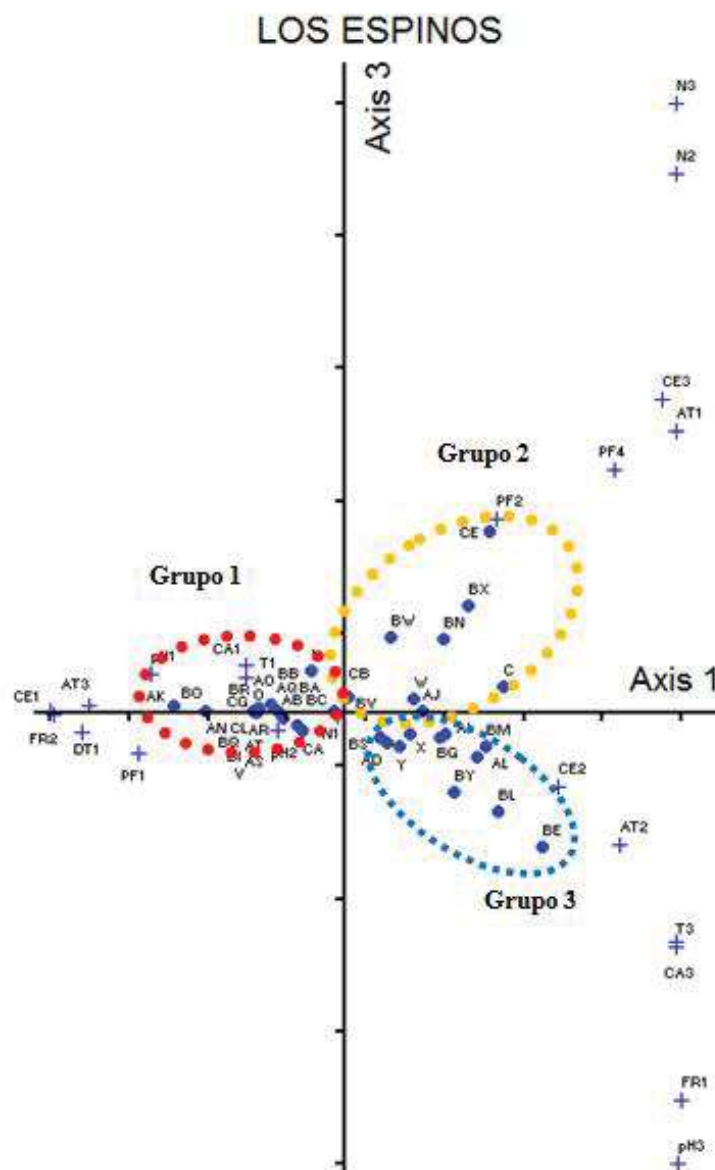
#### **7.2.3.4.15 CORRESPONDENCIA DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS CON EL FITOPLANCTON.**

En el Lago Cráter de Los Espinos, el fitoplancton se encontró ordenado en el espacio multivariado por nueve variables (Cuadro 2.4) de las cuales sobresalen seis (Nitrógeno amoniacal, Fósforo reactivo, alcalinidad total, potencial Hidrógeno, Carbonatos y conductividad eléctrica) en el 2009 (Figura 2.18).

Dicho ordenamiento forma tres conglomerados de especies, de los cuales el grupo 1 es el integrado por el mayor número de taxones, presentes en la superficie de la columna de agua (PF1), con valores elevados de alcalinidad (AT3) y mínimos de conductividad eléctrica (CE1), habitando aguas moderadamente duras (DT1), con el menor registro de temperatura (T1) y concentraciones moderadas de Fósforo reactivo (FR1), así como valores mínimos de Nitrogeno amoniacal (N1), prefiriendo a este último nutrimento, con reducidas cantidades de carbonatos (C1), condiciones propias de la estratificación temprana (Figura 2.18 y Cuadro 2.4).

El segundo agrupamiento con mayor número de especies es el grupo 3, el cual se encuentra ordenado por aguas cálidas (T3), de pH básico (pH3), con bajas concentraciones de Fósforo reactivo (FR1) y elevados valores de carbonatos (CA3), así como moderadas concentraciones de iones (CE2) y alcalinidad total (AT2), condiciones propias de la estratificación tardía (Figura 2.18 y Cuadro 2.4).

Mientras que el grupo 2 se ordena por especies que habitan la parte baja del epilimnio (PF2) y la parte media del hipolimnio (PF4), en valores elevados de conductividad eléctrica (CE3) y baja alcalinidad total (AT1), prefiriendo al Nitrógeno amoniacal como nutrimento base en concentraciones moderadas a elevadas (N2 y N3), condiciones presentes en la estratificación de la columna de agua (Figura 2.18 y Cuadro 2.4).



(A) *Achnanthes exigua*, (B) *Achnanthes holsatica*, (C) *Achnantheidium minutissimum*, (D) *Anomooneis* sp., (E) *Anomooneis sphaerophora*, (F) *Aulacoseira granulata*, (G) *Cocconeis placentula* var. *lineata*, (H) *Cyclotella meneghiniana*, (I) *Cyclotella ocellata*, (J) *Cymbella parviformis*, (K) *Cymbella tumida*, (L) *Encyonema silesiacum*, (M) *Epithemia argus*, (N) *Pseudostaurosira brevistriata*, (O) *Staurosira construens*, (P) *Frustulia rhomboides*, (Q) *Gomphonema affine*, (R) *Gomphonema vibrio* var. *intricatum*, (S) *Gomphonema gracile*, (T) *Gomphonema olivaceum*, (U) *Navicula kotschyi*, (V) *Navicula laterostrata*, (W) *Nitzschia amphibia*, (X) *Nitzschia palea*, (Y) *Nitzschia gracilis*, (Z) *Rhoicosphenia abbreviata*, (AA) *Stauroneis anceps*, (AB) *Ulnaria acus*, (AC) *Fragilaria famelicula*, (AD) *Tabularia fasciculata*, (AE) *Thalassiosira weissflogii*, (AF) *Ulnaria delicatissima*, (AG) *Ulnaria ulna*, (AH) *Stephanodiscus minutulus*, (AI) *Ankistrodesmus falcatus*, (AJ) *Ankistrodesmus nanoselene*, (AK) *Ankyra ancora*, (AL) *Botryococcus terribilis*, (AM) *Chlamydomonas globosa*, (AN) *Closteriopsis acicularis*, (AO) *Closteriopsis longissima*, (AP) *Coelastrum*, (AQ) *Crucigeniella rectangularis*, (AR) *Crucigenia tetrapedia*, (AS) *Cryptomonas ovata*, (AT) *Didymocystis fina*, (AU) *Didymogenes anomala*, (AV) *Golenkinia radiata*, (AW) *Keratococcus bicaudatus*, (AX) *Kirchneriella obesa*, (AY) *Kirchneriella lunaris*, (AZ) *Lagerheimia subsalsa*, (BA) *Mallomonas caudata*, (BB) *Monoraphidium contortum*, (BC) *Monoraphidium griffithii*, (BD) *Mougeotia*, (BE) *Oocystis borgei*, (BF) *Oocystis solitaria*, (BG) *Planktosphaeria gelatinosa*, (BH) *Acutodesmus acuminatus*, (BI) *Scenedesmus arthrodesmiformis*, (BJ) *Scenedesmus opoliensis*, (BK) *Schroederia setigera*, (BL) *Staurastrum smithii*, (BM) *Staurastrum manfeldtii*, (BN) *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense*, (BO) *Tetraedron minimum*, (BP) *Aphanocapsa elachista*, (BQ) *Chroococcus limneticus*, (BR) *Chroococcus minor*, (BS) *Chroococcus dispersus*, (BT) *Jaaginema geminatum*, (BU) *Limnithrix brachynema*, (BV) *Merismopedia marssonii*, (BW) *Merismopedia glauca*, (BX) *Merismopedia punctata*, (BY) *Microcystis aeruginosa*, (BZ) *Microcystis smithii*, (CA) *Planktothrix agardhii*, (CB) *Oscillatoria quasiperforata*, (CC) *Pseudanabaena limnetica*, (CD) *Synechocystis diplococca*, (CE) *Synechocystis pevalekii*, (CF) *Euglena*, (CG) *Phacus caudatus*, (CH) *Trachelomonas granulosa*, (CI) *Trachelomonas hispida* var. *coronata*, (CJ) *Trachelomonas hispida* var. *crenulato-collis* f. *patula*, (CK) *Peridiniopsis elpatiewskiyi*, (CL) *Peridinium cinctum*, (CM) *Peridinium inconspicuum*.

Figura 2.18. Análisis de Correspondencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Los Espinos y los parámetros físicoquímicos durante el 2009.

Cuadro 2.4. Variables fisicoquímicas que determinan la presencia del Fitoplancton del Lago Cráter de Los Espinos.

VARIABLE	SIMBOLO	RANGO			
Temperatura (°C)	T1	>	12.3	≤	19.2
	T2	>	19.2	≤	21.8
	T3	>	21.8	≤	24.5
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	N1	>	0.264	≤	1.07
	N2	>	1.07	≤	1.87
	N3	>	1.87	≤	2.67
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	CE1	>	1030	≤	1351.0
	CE2	>	1351.0	≤	1422.0
	CE3	>	1422.0	≤	1493.0
Carbonatos (mg/L)	CA1	>	0.0	≤	30.0
	CA2	>	30.0	≤	60.0
	CA3	>	60.0	≤	90.0
Alcalinidad Total (mg/L)	AT1	>	85	≤	196.7
	AT2	>	196.7	≤	278.3
	AT3	>	278.3	≤	360.0
Potencial Hidrógeno	pH1	>	7.1	≤	8.3
	pH2	>	8.3	≤	8.6
	pH3	>	8.6	≤	9.0
Profundidad (m)	PF1	>	0.0	≤	5.0
	PF2	>	5.0	≤	10.0
	PF3	>	10.0	≤	15.0
	PF4	>	15.0	≤	20.0
	PF5	>	20.0	≤	26.0
Fósforo reactivo (mg/L)	FR1	>	0.062	≤	0.27
	FR2	>	0.27	≤	0.47
	FR3	>	0.47	≤	0.68
Dureza Total (mg/L)	DT1	>	230	≤	281.00
	DT2	>	281.0	≤	332.0
	DT3	>	332.0	≤	383.0

### 7.2.3.5 DISCUSIÓN

La riqueza de taxa y la presencia de florecimientos algales en un lago se encuentran regidos por factores internos y externos al sistema acuático (Estevez 1998). Dichos factores rigen las variaciones de las concentraciones nutrimentales y carga iónica en el sistema, que en conjunto con otros parámetros crean el medio propicio para la presencia algal (Reynolds 1984). En lagos poco mineralizados es común encontrar organismos indicadores de condiciones oligotróficas o bien ligeramente mesotróficas, como las diatomeas centrales, las desmideas y algunas flageladas como las crisofíceas (Wetzel 2001), mientras que en sistemas mineralizados es común encontrar organismos representantes de condiciones eutróficas o hipereutróficas como las cianobacterias, las diatomeas penales, clorococales, euglenofíceas y algunas dinoflageladas como los peridiniales (Wetzel 2001).

En el presente estudio el Lago Cráter de Tacámbaro presenta un componente taxonómico ponderado por organismos de Chlorophyta, seguido de Bacillariophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, Dinophyta, Cryptophyta y Heterokontophyta, el cual lo sugiere como sistema mesotrófico en vías de eutroficación (Wetzel 2001), tal y como lo reporta Hernández (2008) para el 2006, con la diferencia de que no se reportan crisofíceas, evidencia de que el proceso de eutroficación se continua acentuando y no permite el desarrollo de dicho grupo.

El lago Cráter de Los Espinos evidencia que las Chlorophyta aportan un mayor número de taxones, seguida de las Cyanobacteria, las Bacillariophyta y las Heterokontophyta, asociación que sugiere mesotrofia para dicho vaso lacustre (Wetzel 2001), el cual se asemeja a la riqueza específica presentada por el Lago de Catemaco (Tavera 1996), sistema eutrófico, de dominancia específica aportada por cianobacterias, mientras que en los espinos ocurre por algas verdes en tres estaciones del año.

Los lagos con categoría oligotrófica o bien ultraoligotrófica presentan a Chlorophyta como la división que aporta un mayor número de especies a la riqueza de taxa, tal y como se establece para el lago de El Sol (Banderas y Gonzales 1988), Biao (Schabetsberger *et al.* 2004) y Oregon (Urbach *et al.* 2007, Fennel *et al.* 2007 y McIntire *et al.* 2007), resaltando la presencia de flageladas de las divisiones de Chrysophyta,



Dinophyta y Cryptophyta, mientras que los Lagos Cráter de Michoacán se denota la presencia de Cyanobacteria, la cual evidencia importantes concentraciones nutrimentales en la columna de agua, ya que la mayoría de los taxones encontrados (Chroococcales) no fijan nitrógeno en elevadas proporciones (Reynolds 1984).

Otros sistemas oligotróficos presentan a Bacillariophyta como su principal componente taxonómico, seguido de las Cyanobacteria y algunas flageladas, como el caso de Alchichica (Oliva *et al.* 2001) la cual de acuerdo al trabajo de Arredondo (1984) presentaba a Chrysophyta como división ponderante en la riqueza de taxa. Dicha presencia de Cyanobacteria debería proponer al sistema como mesotrófico (Wetzel 2001 y Margalef 1983), mas sin embargo el nivel trófico no es éste ya que la dominancia de las cianobacterias se debe a un enriquecimiento temporal de la carga iónica y nutrimental provista por el evento de circulación, el cual termina, reinstalándose la condición oligotrófica al sistema (Alcocer *et al.* 2000).

El Lago Cráter de Teremendo presenta en su componente taxonómico dominancia de Cyanobacteria, seguida de Chlorophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta, Dinophyta y Heterokontophyta, lo cual lo propone como sistema eutrófico (Wetzel 2001), ya que el número de especies flageladas es mínimo y las correspondientes a Dinophyta indican un enriquecimiento de la columna de agua por fósforo (Margalef 1983). Otros sistemas clasificados como eutróficos son el Lago Cráter de Rincón de Parangueo (Alcocer *et al.* 1996) y la Alberca de Guanajuato (Alcocer *et al.* 1996) los cuales presentan a Cyanobacteria como la división ponderante en la riqueza de taxa, mientras que Chalchoapan (Vázquez *et al.* 2004) y Catemaco (Tavera 1996), presentan a Chlorophyta encabezando la riqueza de taxa con un gran número de cianobacterias, asociación que les proveen su nivel trófico.

Con respecto a las fluctuaciones de la abundancia algal en un ciclo anual, cabe resaltar que no siguen el supuesto propuesto por Lewis (1978 y 1986) en donde menciona que los lagos tropicales profundos presentan una sucesión estacional del fitoplancton, la cual comienza con Bacillariophyta en invierno, seguida de Chlorophyta y Cyanobacteria para terminar con la presencia de Cyanobacteria y Dinophyta al término de la estratificación. Ya que los lagos Cráter de Tacámbaro y Los Espinos comienzan la sucesión fitoplanctónica con Chlorophyta, para continuar con Cyanobacteria a inicios de la

estratificación y Teremendo comienza con Cyanobacteria siendo ésta dominante el resto del año.

Hernández (2008) en el Lago Cráter de Tacámbaro encuentra que el supuesto de Lewis se cumple para el 2006, en donde Bacillariophyta es dominante en la columna en invierno, mientras que en el presente trabajo el incremento de la abundancia de Chlorophyta en la superficie desplaza al florecimiento de Bacillariophyta cerca del fondo, sin llegar a dominar la columna, esta sucesión quizá debida a el incremento en la mineralización del sistema ya que para el 2006 reporta dicho autor valores cercanos a los 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en el presente estudio se alcanzan valores de hasta 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , evidencia clara de mineralización y un proceso acelerado de eutroficación (Margalef 1983) en dicho cráter.

En primavera los tres Lagos Cráter del Estado de Michoacán presentan un florecimiento de Cyanobacteria, asociado a la elevada disposición del fósforo reactivo en la columna, el cual fue provisto del hipolimnio después de la holomixis. Es por ello que Oliver y Ganf (2000), así como Reynolds y Walbsy (1975) y Brock 1973, mencionan que después de la circulación en sistemas profundos ocurre un florecimiento de cianobacterias que llega a dominar la columna y a reducir la riqueza específica de los productores primarios. Este florecimiento trae consigo un incremento del pH en el epilimnio el cual es producto de la alta actividad fotosintética que captura al bióxido de carbono incrementando los carbonatos en esta capa (Margalef 1983), por ello Shapiro (1990) establece que al incrementarse el pH las cianobacterias se incrementan en el medio de tal manera que llegan a desplazar a las algas verdes y se convierten en dominantes.

La dominancia de las cianobacterias en la estratificación de la columna no es un hecho aislado, sino es una ventaja evolutiva que ha adquirido el grupo (Darley 1987), ya que al incrementar la radiación lumínica, la radiación UV llega a sesgar la densidad algal, más sin embargo las cianobacterias presentan protección a dicha radiación, además de activar mecanismos fisiológicos para migrar verticalmente en la columna, para seleccionar áreas con óptima radiación lumínica y nutrientes (Reynolds 1984). Por ello es un grupo altamente dominante en esta temporada y en sistemas eutróficos en donde al alcanzar concentraciones para formar florecimientos limita de la luz a otros grupos algales sin

mencionar la producción de toxinas como herramienta inhibidoras de competencia, factor que las convierte en un grupo tolerante y exitoso (Margalef 1983).

El Lago Cráter de Teremendo presenta dominancia de cianobacterias en toda su columna, algunas de ellas no llegan a producir elevadas concentraciones de toxinas pero si limitan la transmitancia de la irradiación reduciendo el epilimnio a escasos 60 cm. Este sistema es relativamente profundo con un desarrollo de litoral corto, pero mayor a las otras dos albercas, característica que le provee un área mayor para el intercambio de los nutrientes del sedimento a la columna (Wetzel 2001), factor que incrementa la concentración nutrimental sin mencionar las altas tasas de reducción de material orgánico que libera constantemente Nitrógeno amoniacal al sistema, por lo cual no es necesaria la presencia de cianobacterias fijadoras de Nitrógeno (Oliver y Ganf 2000), característica que le permite a las filamentosas sin heterocisto ser las algas dominantes en el sistema, dominancia predicha por Reynolds (1984), Dokulil y Tebner (2000) y Oliver y Ganf (2000) en sistemas con elevadas concentraciones nutrimentales.

Para otoño, la reducción de los nutrientes en las capas fóticas y el incremento en la irradiación lumínica permite la reducción de la biomasa algal en los sistemas profundos (Wetzel 2001), factor que permite el ensanchamiento del epilimnio ya que hay una menor densidad algal en la superficie, haciendo que el metalimnio reduzca al hipolimnio permitiendo que los nutrientes que se encuentran en esta capa estén disponibles para los productores primarios que poseen mecanismos para desplazarse en la columna (Margalef 1983) como es el caso de las flageladas y las algas con un alta reserva lipídica (Reynolds 1984), es por ello que en la época se incrementa la diversidad de grupo, debido a que existe una mayor heterogeneidad en la columna por la estratificación química presente (Hernández 2008).

La ocurrencia algal en los Lagos Cráter de Michoacán a finales del verano y en otoño evidencia el aumento en la abundancia de las flageladas, siendo Dinophyta Cryptophyta y Heterokontophyta las divisiones mejor representadas, así como la presencia de Euglenophyta, la cual aporta un importante número de especies a la columna de agua. Chrysophyta no se reporta durante el periodo, quizá debido al nivel trófico prevalente en cada uno de los lagos que no permite el desarrollo de condiciones ultraoligotróficas o bien

oligotróficas como es el caso de El Sol (Banderas y González 1988), Zirahuén (Alvarado, 2003) y los 21 Lagos Antárticos (Borghini *et al.* 2007).

Las variables que ordenan la distribución del fitoplancton son comunes en los lagos profundos tropicales, ya que en Chalchoapan Vázquez *et al.* (2005), encontraron que la Conductividad eléctrica, la Temperatura, el Nitrógeno amoniacal, el Fósforo reactivo, el Silice, el pH, la Transparencia y el Nitrogeno como Nitratos son las variables determinantes para la presencia, permanencia y dominancia de los grupos algales. Mientras que Hernández (2008) simplifica para el Lago Cráter de Tacámbaro a tres parámetros; la Temperatura, la Conductividad Eléctrica (considerando también a los nutrientes como iones disueltos) y los Sólidos Totales Disueltos.

En el presente trabajo de las 21 variables determinadas, se consideran a nueve como las determinantes de la ordenación de los productores primarios en la columna, de las cuales seis son las que contienen la mayor concurrencia de especies (Temperatura, Conductividad eléctrica, Nitrogeno amoniacal, Fósforo reactivo, pH y Profundiad), variables que evidencian la influencia de la estratificación térmica en los procesos físicos y químicos de la columna que permiten el desarrollo de la sucesión biológica (Wetzel 2001).

Oliva *et al.* (2001) mencionan que en el Lago Cráter de Alchichica la presencia de diatomeas en invierno se debe a la mezcla, por la elevada disposición de Silice en la columna el cual se vuelve limitante para el crecimiento algal, además de contribuir con la productividad primaria en la columna por la gran densidad del grupo, mientras que en los Lagos Cráter de Michoacán dicho florecimiento se observa en otoño en el Lago Cráter de Tacámbaro, donde las diatomeas al presentarse una elevada conductividad eléctrica en el fondo y moderadas concentraciones de Nitrógeno amoniacal y Fósforo reactivo con un pH ligeramente básico llegan a florecer en formás rafiadas y arafiadas, dominando diatomeas cosmopolitas en la columna, rompiendo con el esquema de Lewis (1978 y 1986) para lagos tropicales y el registro un trienio antes (Hernández 2008) en el mismo sistema.

#### 7.2.3.6 CONCLUSIONES

- La riqueza específica y la presencia de florecimientos algales en Los Lagos Cráter de Michoacán depende de su nivel trófico y del evento de estratificación y mezcla.

- La sucesión algal no corresponde a las predicciones hechas por Lewis para sistemas tropicales presentándose dominancia de Cyanobacterias en Teremendo por su carga nutrimental, Algas Verdes en Los Espinos y Tacámbaro, así como un florecimiento de Diatomeas en otoño en Tacámbaro, influencias por dinámicas de la columna y el nivel trófico.
- La dominancia de cianobacterias no fijadoras de nitrógeno en los Lagos Cráter se debe a las elevadas concentraciones de Nitrogeno amoniacal en la columna.
- Las variables que determinan la ocurrencia del fitoplancton en los lagos cráter de Michoacán son: Temperatura, Conductividad eléctrica, Nitrogeno amoniacal, Fósforo reactivo, pH y Profundiad.
- La presencia de algas flageladas en el verano y otoño es debida a la baja concentración de nutrimentos, a la reducción en la productividad primaria y a la heterogeneidad de hábitat desarrollada en la columna de agua.

**7.3 CAPITULO III**  
**DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD DEL FITOPLANCTON EN LOS LAGOS**  
**CRÁTER DE MICHOACAN Y EL ESTADO TRÓFICO.**

## **7.3.1 DIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD DEL FITOPLANCTON EN LOS LAGOS CRÁTER DE MICHOACAN Y EL ESTADO TRÓFICO**

### **7.3.1.1 RESUMEN**

En el presente capítulo se aborda a la diversidad en sus diferentes escalas (alfa, beta y gamma) en los Lagos Cráter de Michoacán durante el 2009, cuyos resultados se obtuvieron del análisis de 145 muestras las cuales fueron colectadas en seis sitios a diferentes niveles dependiendo la profundidad del sistema y la presencia de las capas fóticas, con la botella de Van-Dorn con capacidad de 3 L, preservandose con formol neutralizado con bórax a una concentración final del 4%, analizando el material ficológico a nivel específico con literatura especializada, calculando los índices de Shannon-Wiener, Simpson y el Coeficiente de Sorensen. Se determina estacionalidad en cuanto a la variación de la diversidad en el ciclo anual con el máximo de la diversidad alfa en invierno (Tacámbaro y Teremendo) y en primavera (Los Espinos), con el mayor reemplazo de especies en la columna en primavera (Teremendo), verano (Tacámbaro) y otoño (Los Espinos). La diversidad gamma de la comunidad del fitoplancton muestra que Tacámbaro presenta un mayor reemplazo de especies con Teremendo y este con Los Espinos. Con respecto al estado trófico se determina que los tres ecosistemas presentan eutrofia influyendo esta en la diversidad en el ciclo anual.

### **7.3.1.2 INTRODUCCIÓN**

El estudio de la diversidad en las comunidades biológicas es una herramienta para conocer el grado y prioridades de conservación en un ecosistema, siendo una herramienta clave para conocer la estructura biológica de la comunidad (Krebs 1985). En los lagos la diversidad presenta espectros de distribución en vectores horizontales y verticales que dependerán de la heterogeneidad de la columna de agua y de la variación espacial de las condiciones ambientales del sistema (Margalef 1983).

En lagos profundos la diferencia de densidad de la columna de agua permite la permanencia y el establecimiento de especies creando variación a lo largo y ancho de la columna de agua en cuanto a los valores de diversidad (Krebs 1985). El espacio para definir el área de estudio para evaluar la diversidad en sus variantes (alfa, beta y gamma)

es definido por el investigador (Halffter *et al.* 2005), ya que es complicado definir el punto en el cual se obtendrá una muestra representativa de la comunidad o bien si las especies que se consideraron en el evento forman parte de la comunidad en el espacio y tiempo establecidos (Halffter *et al.* 2005), por ello se considera al punto o lugar de análisis al área mínima en términos de espacio y tiempo que contiene una muestra del conjunto del ensamble funcional (comunidad) (Halffter *et al.* 2005).

Los factores que originan gradientes de diversidad en zonas tropicales están influenciados por el tiempo (estación) el cual proporciona una estabilidad climática que genera heterogeneidad espacial, la cual en conjunto con la productividad del sistema favorece las relaciones de competencia y predación para definir en un contexto la diversidad de especies en un espacio y tiempo (Krebs 1985).

En ecosistemas acuáticos los eventos de circulación y mezcla favorecen el florecimiento de productores primarios, evento que causa el decrecimiento de la diversidad en la columna y reconfigura a la estructura de ésta comunidad (Margalef 1983). Relación ligada con el estado trófico ya que en sistemas con una carga nutrimental elevada la dominancia de grupo no permite el incremento en la diversidad del conjunto de ensamble funcional (Margalef 1983), por lo cual su evaluación es determinante para conocer la dinámica trófica del ecosistema.

En el presente trabajo se determina la diversidad del fitoplancton durante el 2009, valorado el recambio de las especies en dos puntos (diversidad beta) y aquellas que integran un paisaje con una historia biogeográfica común (diversidad gamma), así como su relación con el estado trófico en los Lagos Cráter de Michoacán.

### **7.3.1.3 DIVERSIDAD ALFA EN EL LAGO CRÁTER DE TACÁMBARO.**

El lago cráter de Tacámbaro presenta una estacionalidad en cuanto a los valores de diversidad de Shannon Wiener, con valores elevados en invierno y otoño, durante la circulación y la estratificación tardía, siendo el verano la estación con menor valor en el parámetro, debido al florecimiento de un clorococcal en la parte baja del metalimnion y un chroococcal en el fondo. Mientras que el decrecimiento de la diversidad en primavera se



debe a un ligero incremento en la concentración celular de un clorococcal y dos chroococcales (Figura 3.1).

El comportamiento de los valores de diversidad en la columna es variable, ya que en invierno las muestras con mayor diversidad corresponden a la superficie y el fondo, con un incremento en la dominancia de *Closteriopsis longissima* a los cinco metros y de *Merismopedia marssonii* a los 20 metros (Cuadro 3. 1). En primavera el epilimnio es poco diverso por las concentraciones celulares de *Coelastrum* sp., *Chroococcus dispersus* y *Chroococcus minor*, incrementándose la diversidad al aumentar la profundidad (Figura 3.2).

Durante el verano el florecimiento de *Botryococcus terrebilis*, disminuye los valores de diversidad en toda la columna presentando la mayor dominancia a los 10 y 20 metros debido al decrecimiento del número de especies en esta capa (Cuadro 3. 1), mientras que en el fondo el incremento en el número de especies de chroococcales y su baja abundancia incrementan los valores de diversidad en este nivel. Para el otoño la diversidad se incrementa en toda la columna con un ligero aumento en la dominancia del epilimnio ejercida por *Tetraedron minimum* y *Ulnaria acus* (Cuadro 3. 1), siendo el hipolimnio la capa con mayor diversidad en la columna, por la presencia de chroococcales (Figura 3. 2).

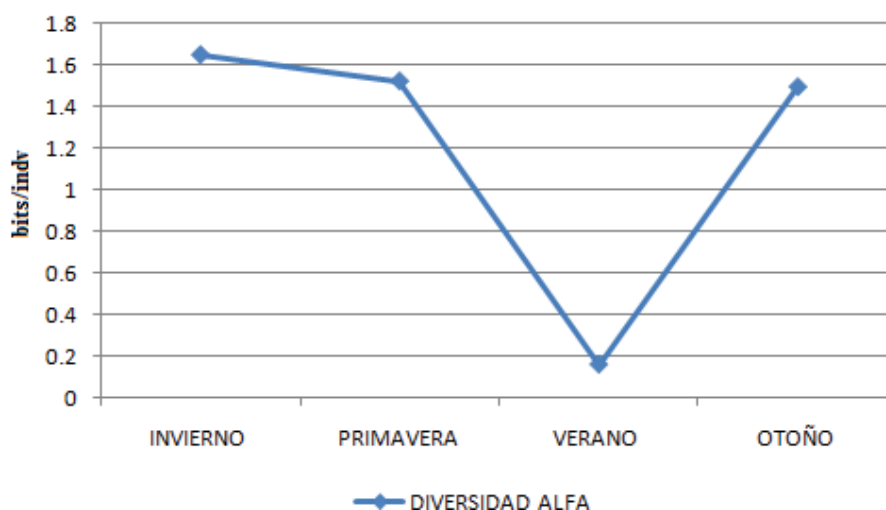


Figura 3. 1. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009.

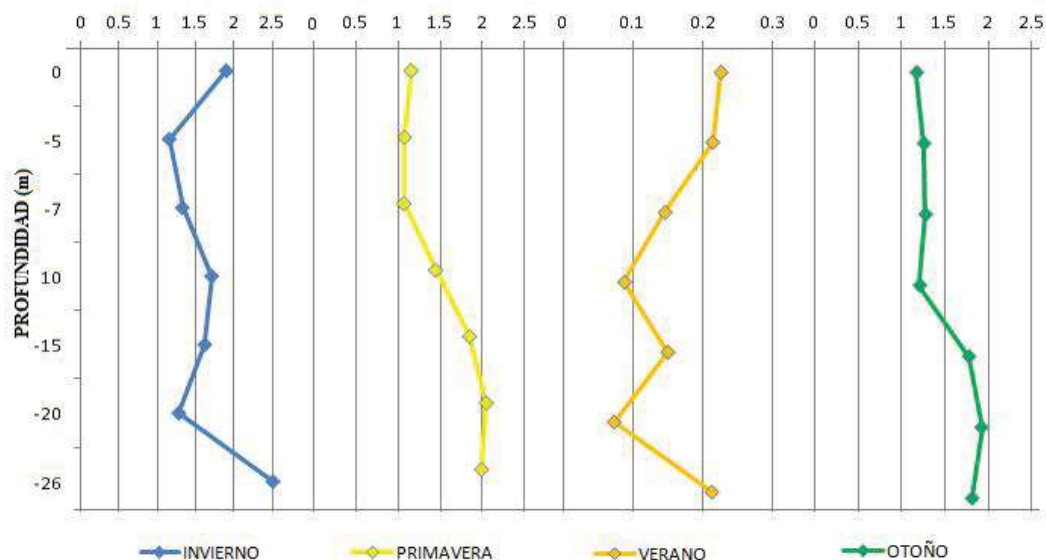


Figura 3. 2. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009.

Cuadro 3.1. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Tacámbaro durante el 2009.

PROFUNDIDAD	DOMINANCIA DE SIMPSON			
	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
0	0.231	0.408	0.907	0.436
-5	0.524	0.405	0.924	0.346
-7	0.279	0.419	0.946	0.384
-10	0.253	0.312	0.966	0.420
-15	0.343	0.173	0.942	0.248
-20	0.463	0.135	0.979	0.206
-26	0.128	0.169	0.92	0.277

### 7.3.1.4 DIVERSIDAD ALFA EN EL LAGO CRÁTER DE TEREMENDO.

En el lago cráter de Teremendo se presenta estacionalidad en los valores de diversidad de Shannon Wiener, evidenciando que invierno es la época con mayor diversidad (Figura 3. 3) y verano la de mayor dominancia (Cuadro 3. 2), hechos que se encuentran influenciados por los eventos de estratificación y mezcla en el vaso lacustre, ya que con el establecimiento de la termoclina y al alcanzar el máximo de la estratificación termal en Teremendo la riqueza específica de algas verdes y diatomeas decrece, dominando las cianobacterias.

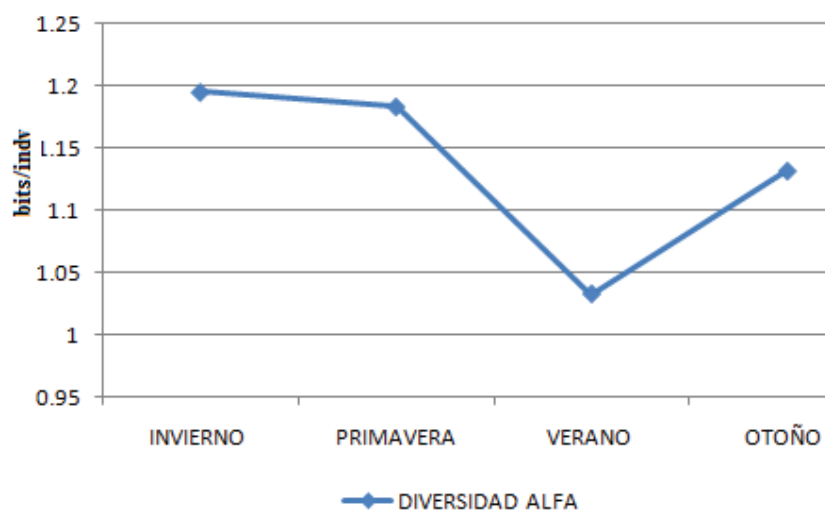


Figura 3. 3. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.

En la distribución vertical de la diversidad de Shannon Wiener (Figura 3.4), se observa que los primeros cinco metros presentan valores elevados, mientras que el hipolimnio presenta dominancia durante el ciclo anual con excepción del fondo en verano.

En invierno la presencia de *Oscillatoria quasiperforata* con valores elevados en el hipolimnio, incrementa los valores de dominancia en esta capa (Cuadro 3.2), mientras que para primavera lo hace la concentración celular de *Limnothrix brachynema*, la cual se incrementa en el fondo, en un hipolimnio con baja riqueza específica (Figura 3.4).

En el verano y el otoño, al ocurrir el máximo de la estratificación y la estratificación tardía en el vaso lacustre, la dominancia se incrementa en el hipolimnio, reduciendo la diversidad en ésta capa, a causa del incremento de *Oscillatoria quasiperforata*, quien incrementa sus concentraciones celulares a los siete metros en una capa con pocas especies, mientras que en el fondo la densidad de este cianoprocarionte disminuye permitiendo la presencia de chroococcales y clorococcales quienes incrementan la diversidad en este nivel (Figura 3. 4).

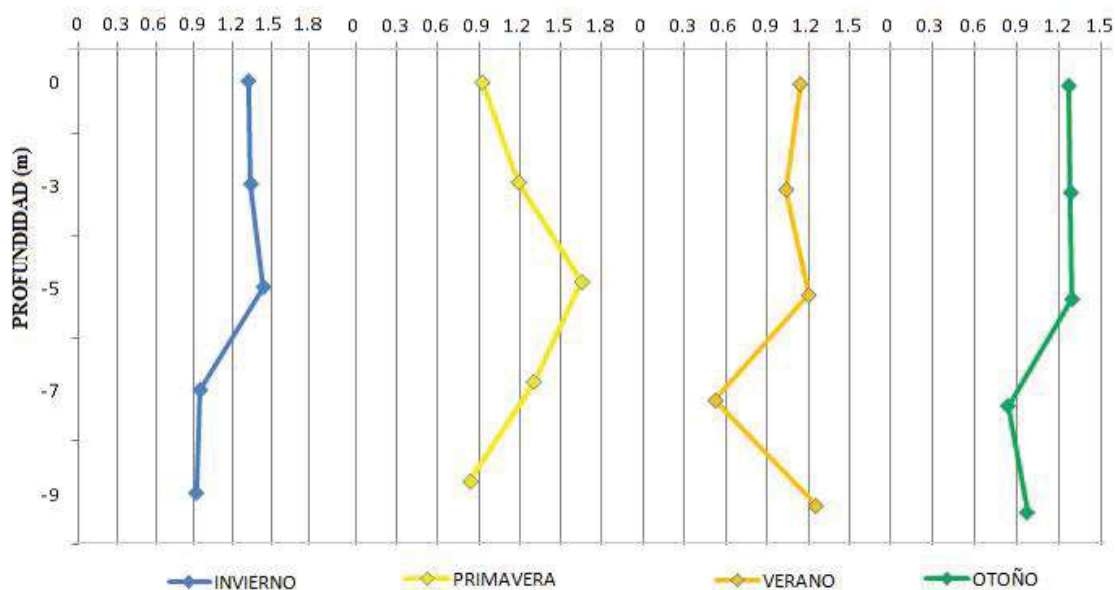


Figura 3. 4. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.

Cuadro 3. 2. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Teremendo durante el 2009.

PROFUNDIDAD	DOMINANCIA DE SIMPSON			
	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
0	0.331	0.463	0.338	0.337
-3	0.388	0.35	0.417	0.32
-5	0.337	0.265	0.368	0.39
-7	0.595	0.337	0.757	0.622
-9	0.632	0.546	0.382	0.514

**7.3.1.5. DIVERSIDAD ALFA EN EL LAGO CRÁTER DE LOS ESPINOS.**

El lago cráter de Los Espinos evidencia estacionalidad en la diversidad de Shannon Wiener, con un valor elevado en primavera y el mínimo en verano, ello debido a la disminución en la concentración celular las especies presentes en primavera tras el incremento de cianobacterias, después del florecimiento de algas verdes en invierno cuando la columna de agua presentó una dominancia elevada (Cuadro 3.3).

La disminución de la diversidad en el verano es causada por el segundo florecimiento de algas verdes, las cuales dominaron a la columna, mientras que en el otoño

este parámetro se incrementa al existir heterogeneidad de hábitat, permitiendo el incremento de la riqueza específica con abundancias moderadas (Figura 3.5).

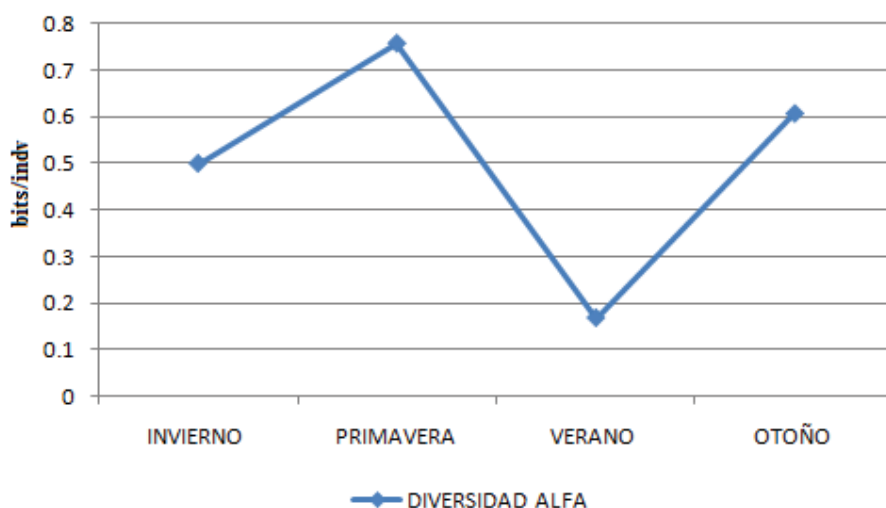


Figura 3. 5. Variación estacional de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009.

En la distribución vertical de la diversidad en la columna de agua durante el ciclo anual se presentó un epilimnio e hipolimnio moderadamente diverso, mientras que el metalimnio mantuvo valores elevados de dominancia en las cuatro estaciones (Figura 3. 6).

Durante invierno la dominancia en la superficie y de siete a trece metros (Cuadro 3. 3) fue debida al florecimiento de *Ankyra ancora*, la cual disminuyó su presencia a los cinco metros y de 15 a 26 metros permitiendo el incremento de la diversidad por la baja concentración celular del fitoplancton en estas capas (Figura 3.6).

En primavera la columna de agua fue diversa a los siete metros, diversidad que disminuye al incrementarse la dominancia por *Chroococcus dispersus* y *Merismopedia marssonii* por debajo de los 10 metros hasta el fondo. Mientras que en verano la diversidad se ve afectada por el florecimiento de *Ankistrodesmus falcatus*, de los cinco a los 15 metros incrementando la dominancia en esta capa (Cuadro 3. 2), al igual que en otoño, donde esta especie se presentó con valores importantes en abundancia de los 10 a los 15 metros (Figura 3. 6).

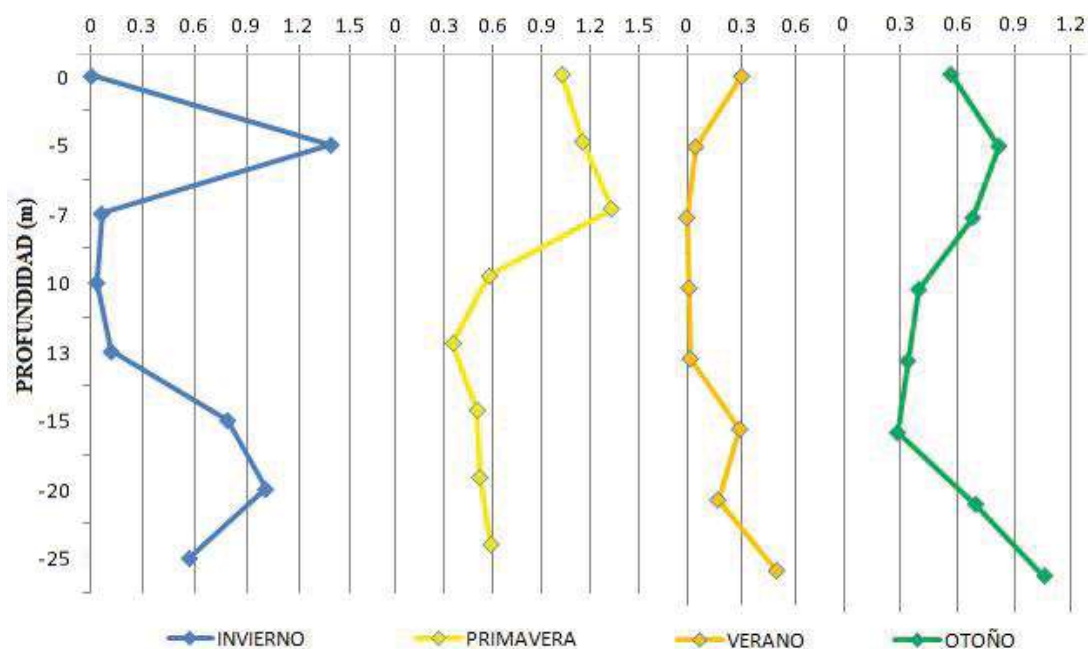


Figura 3.6. Perfiles estacionales de la diversidad de Shannon Wiener en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009.

Cuadro 3.3. Dominancia de Simpson en la columna de agua en el Lago Cráter de Los Espinos durante el 2009.

PROFUNDIDAD	DOMINANCIA DE SIMPSON			
	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
0	0.998	0.446	0.862	0.764
-5	0.437	0.388	0.985	0.636
-7	0.978	0.28	1	0.640
-10	0.989	0.729	0.997	0.801
-13	0.958	0.854	0.996	0.830
-15	0.579	0.779	0.871	0.888
-20	0.392	0.787	0.922	0.689
-26	0.616	0.762	0.733	0.531

### 7.3.1.6 DIVERSIDAD BETA EN EL LAGO CRÁTER DE TACÁMBARO.

#### 7.3.1.6.1. INVIERNO

Durante el invierno el reemplazo de las especies en la columna de agua formó 13 grupos considerando el 0,7 del Coeficiente de Sorensen, en donde dos de dichos grupos se constituyen por un número similar de especies en proporciones celulares semejantes. La superficie del sitio tres (compuerta) y los 5 metros del sitio centro comparten 9 especies, de

las cuales *Chroococcus limneticus*, *Chroococcus minor* y *Crucigenia tetrapedia* presentan valores elevados en abundancia, mientras que los tres y ocho metros del afluente, comparten 10 especies, de las cuales *Chlamydomonas globosa*, *Closteriopsis longissima* y *Cryptomonas ovata* presentan elevadas concentraciones celulares (Figura 3.7).

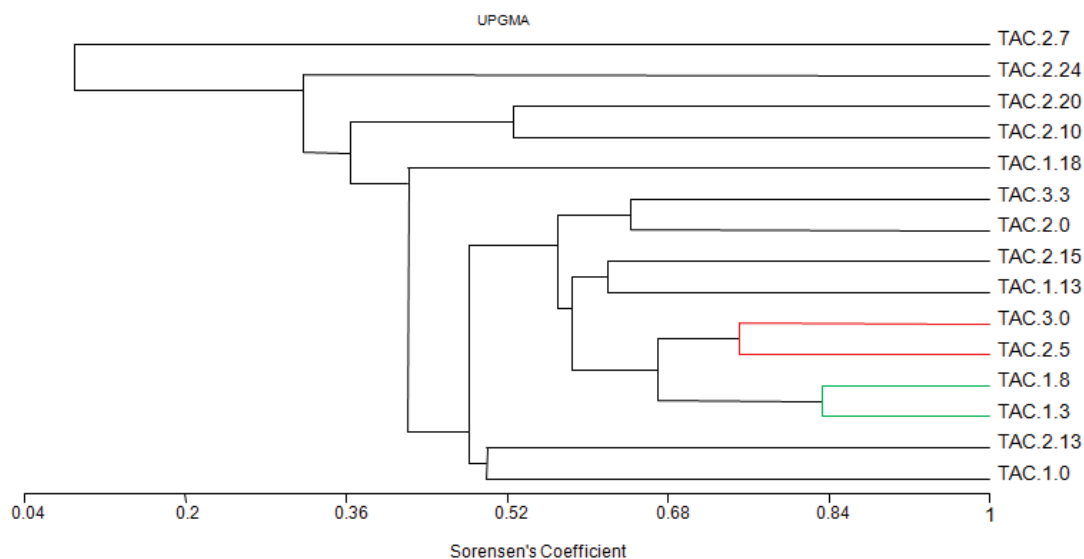


Figura 3.7. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Tacámbaro.

### 7.3.1.6.2. PRIMAVERA

En primavera el reemplazo de especies en la columna de agua permitió el agrupamiento de 10 grupos, considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen. De los grupos con mayor similitud en cuanto a su composición específica se encuentra la superficie y tres metros de la compuerta, los cuales comparten siete especies de las cuales *Chroococcus minor* y *Chroococcus dispersus* presentan la mayor concentración celular (Figura 3.8).

El segundo grupo se conforma por los cinco y siete metros del sitio centro, los cuales comparten siete especies con *Coelastrum* sp. y *Chroococcus dispersus* como dominantes.

Los 20 y 24 metros del sitio centro es el tercer grupo con mayor valor en el Coeficiente de Sorensen, integrado por seis especies de las cuales *Coelastrum* sp.,

*Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella ocellata* y *Merismopedia marssonii* son las más abundantes (Figura 3.8).

Y por último la superficie del sitio centro y el afluente forman el cuarto grupo con mayor reemplazo de especies, compartiendo siete especies de las cuales *Coelastrum* sp., *Didymocystis fina* y *Monoraphidium griffithii* se presentan con mayor abundancia (Figura 3.8).

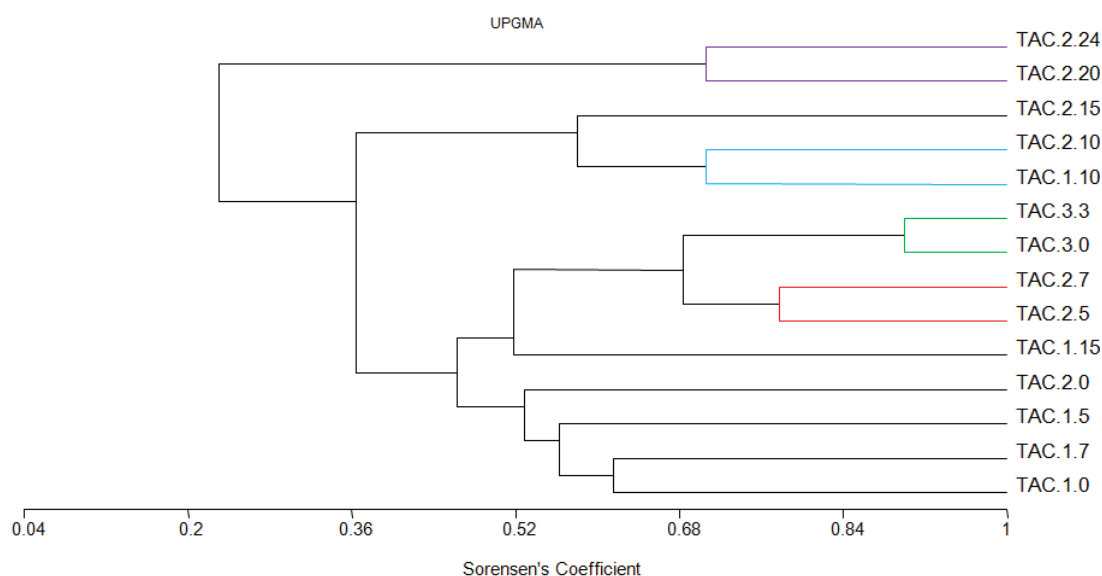


Figura 3.8. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Tacámbaro.

### 7.3.1.6.3. VERANO

Durante el verano se presentan ocho grupos con el 0.7 del Coeficiente de Sorensen. El de mayor similitud en cuanto a la composición específica es el grupo formado por los 15 metros del afluente y los 20 metros del sitio centro, el cual comparte cuatro especies con *Botryococcus terribilis* como mejor representante (Figura 3.9).

El agregado formado por la superficie del afluente, los cinco metros del sitio centro y los tres metros de la compuerta, es el segundo grupo con mayor reemplazo de especies, compartiendo cuatro de ellas con *Botryococcus terribilis* y *Cyclotella meneghiniana* como codominantes (Figura 3.9).



El tercer grupo con mayor reemplazo de especies es el formado por los siete y 10 metros del sitio centro, así como los siete y 10 metros del afluente, el cual incluye a dos especies en común; *Botryococcus terrebilis* y *Cyclotella meneghiniana* (Figura 3.9).

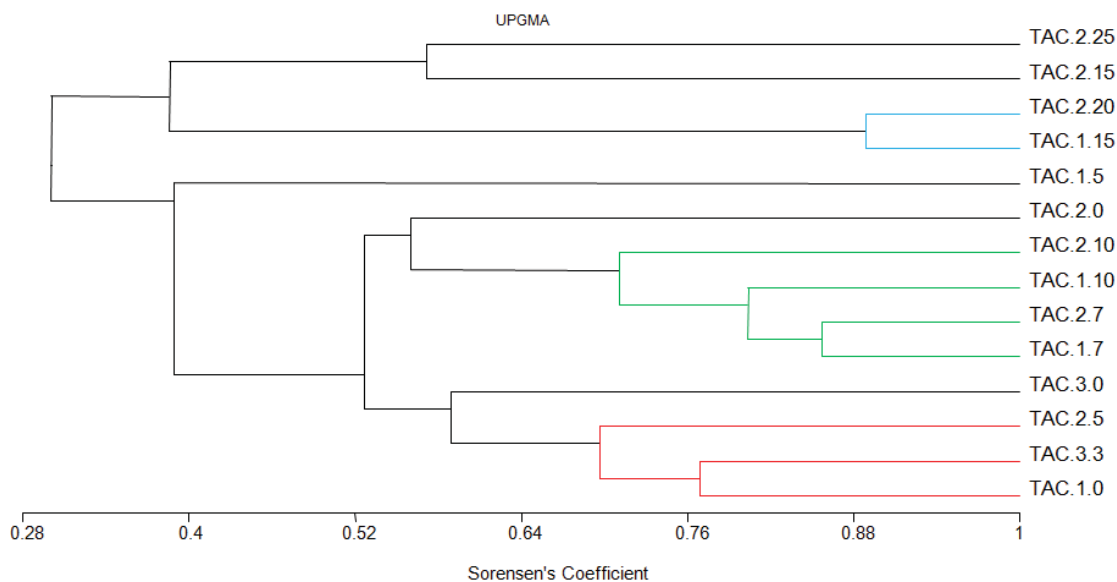


Figura 3.9. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Tacámbaro

#### 7.3.1.6.4. OTOÑO

En este periodo se forman doce grupos considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, de los cuales el formado por los 15 y 25 metros del sitio centro es el que presenta el mayor reemplazo específico, integrado por 9 especies, siendo *Ulnaria acus* y *Cyclotella meneghiniana* las más abundantes (Figura 3.10).

El segundo grupo con mayor reemplazo de especies es el integrado por los siete y 10 metros del sitio centro, los cuales comparten 5 especies, siendo también *Ulnaria acus* y *Cyclotella meneghiniana* las que presentan mayor concentración celular en dichos niveles (Figura 3.10).

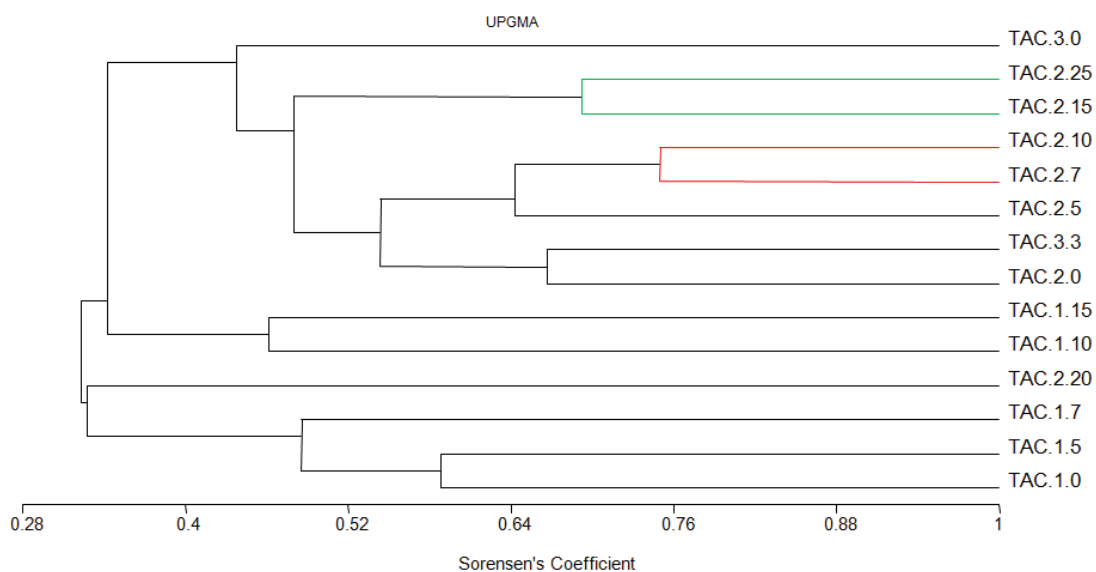


Figura 3.10. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Tacámbaro

### 7.3.1.7 DIVERSIDAD BETA EN EL LAGO CRÁTER DE TEREMENDO.

#### 7.3.1.7.1 INVIERNO

En el lago de Teremendo durante la época fría se forman seis grupos con el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, de los cuales el que presenta el mayor reemplazo específico es el formado por los cinco y ocho metros del sitio cercano al litoral, compartiendo 12 especies, de las cuales *Oscillatoria quasiperforata* y *Limnothrix brachynema* son codominantes (Figura 3.11).

El segundo grupo con mayor reemplazo de especies es el formado por la superficie y fondo del sitio centro y la superficie del sitio cercano al litoral, el cual se integra por nueve especies presentes en los tres niveles, de las cuales *Oscillatoria quasiperforata* y *Limnothrix brachynema* encabezan la abundancia algal (Figura 3.11).

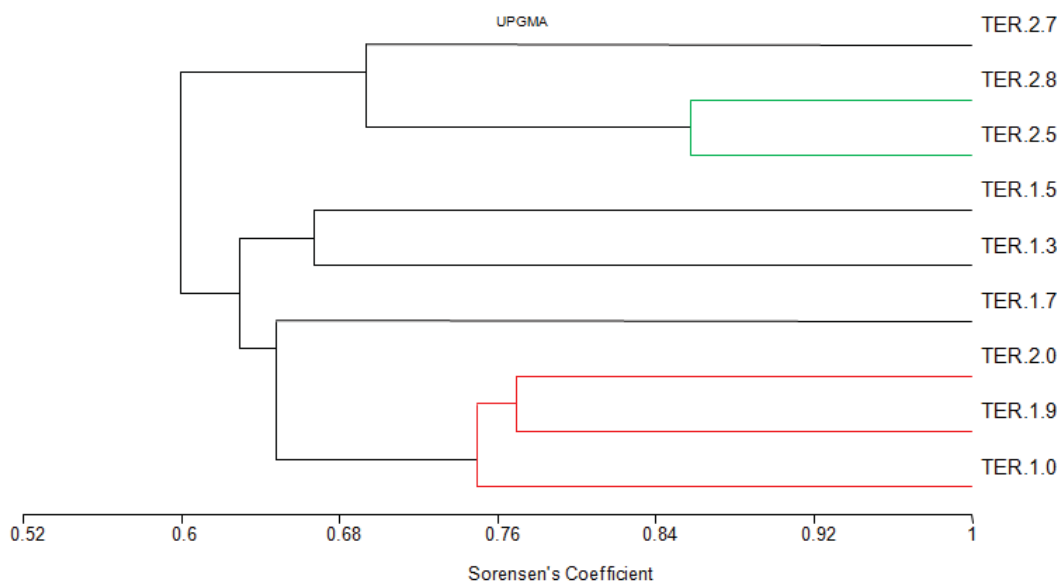


Figura 3.11. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Teremendo

#### 7.3.1.7.2 PRIMAVERA

Durante la primavera se forman tres grupos considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, de los cuales el de mayor reemplazo es el integrado por la superficie y los cinco metros del sitio cercano al litoral, los cuales comparten siete especies de las cuales *Oscillatoria quasiperforata* y *Jaaginema geminatum* presentan elevadas concentraciones (Figura 3.12).

Mientras que el segundo grupo con mayor reemplazo de especies es el formado por la superficie, tres, cinco y siete metros del sitio centro, así como los siete y ocho metros del sitio cercano al litoral, compartiendo cinco especies de las cuales *Jaaginema geminatum* es la más abundante (Figura 3.12).

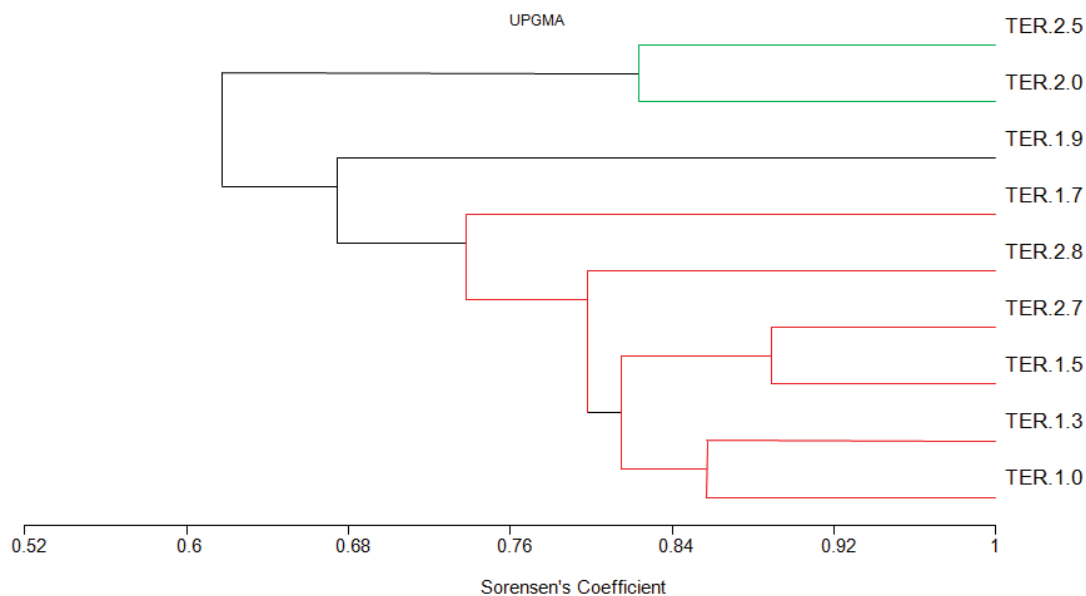


Figura 3.12. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Teremendo

#### 7.3.1.7.3 VERANO

Durante la máxima estratificación se forman seis grupos considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen. El grupo con mayor reemplazo de especies es el conformado por los cinco y siete metros del sitio cercano al litoral, los cuales comparten seis especies, con *Oscillatoria quasiperforata* y *Limnothrix brachynema* como codominantes (Figura 3.13).

Mientras que el segundo grupo con mayor reemplazo específico es el integrado por los cinco y siete metros del sitio centro, el cual se conforma por cinco especies en común de las cuales *Oscillatoria quasiperforata* y *Limnothrix brachynema* son también las más abundantes (Figura 3.13).

#### 7.3.1.7.4 OTOÑO

En la estratificación tardía se forman cuatro grupos considerando un 0.7 del Coeficiente de Sorensen, de los cuales el integrado por la superficie y ocho metros del sitio cercano al litoral, así como los cinco metros del sitio centro, es el que presenta mayor reemplazo específico, compartiendo seis especies de las cuales *Merismopedia glauca* y *Jaaginema geminatum* son las más abundantes (Figura 3.14)

El segundo grupo con mayor reemplazo específico es el conformado por los cinco y siete metros del sitio cercano al litoral y la superficie del sitio centro, con cinco especies en común, de las cuales *Oscillatoria quasiperforata* y *Merismopedia glauca* son codominantes (Figura 3.14)

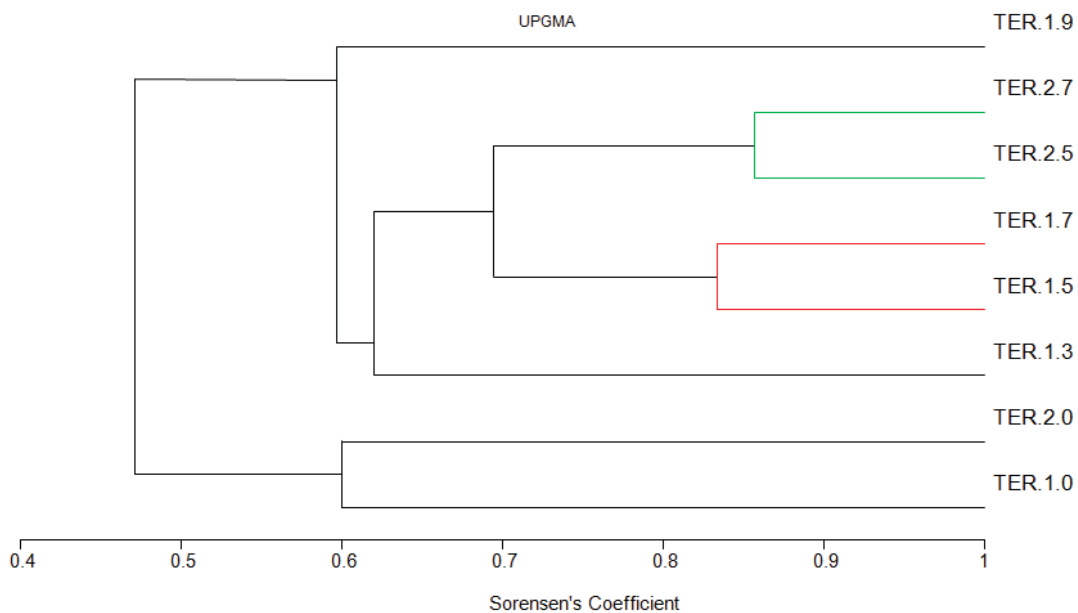


Figura 3.13. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Teremendo

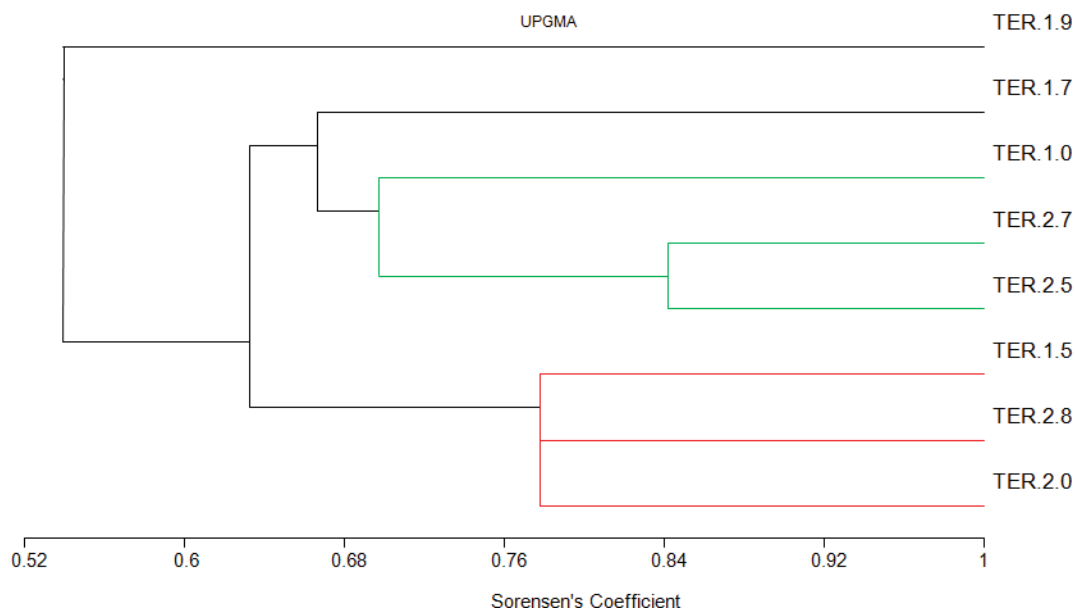


Figura 3.14. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Teremendo

### 7.3.1.8 DIVERSIDAD BETA EN EL LAGO CRÁTER DE LOS ESPINOS.

#### 7.3.1.8.1 INVIERNO

Durante la época fría se forman siete grupos considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, donde el conglomerado con mayor reemplazo específico corresponde al conformado por los siete y diez metros del sitio centro, los cuales comparten dos especies, con *Ankyra ancora* como especie dominante (Figura 3.15).

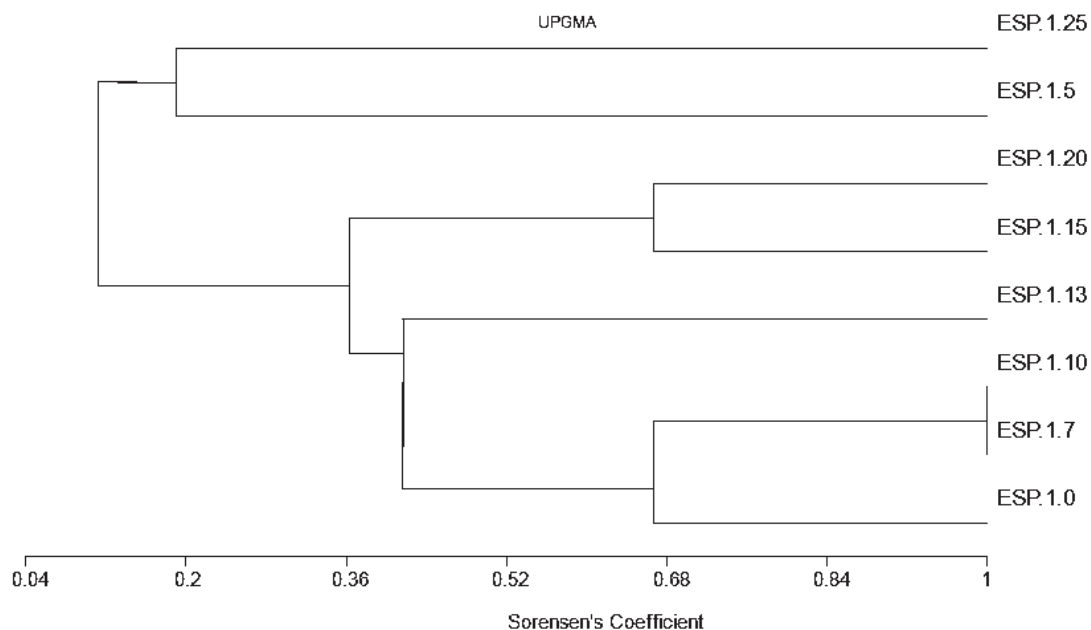


Figura 3.15. Diversidad beta en invierno en el Lago Cráter de Los Espinos

#### 7.3.1.8.2 PRIMAVERA

En primavera, considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, se forman siete grupos, de los cuales el de mayor reemplazo específico es el integrado por los 13 y 15 metros del sitio centro, los cuales comparten cuatro especies de las cuales *Chroococcus dispersus* es la más abundante (Figura 3.16).

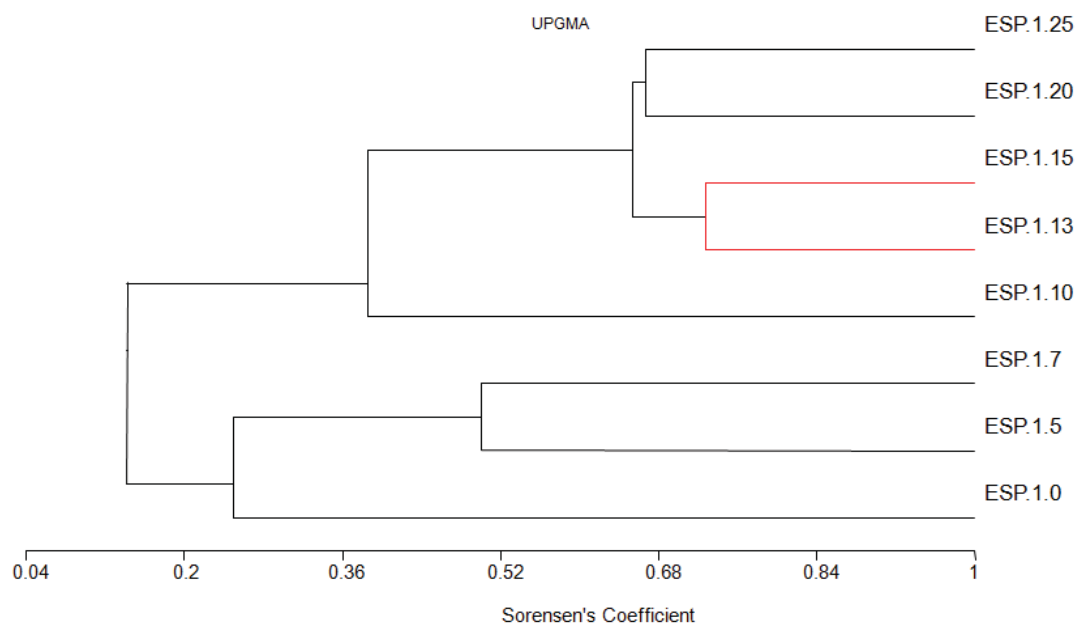


Figura 3.16. Diversidad beta en primavera en el Lago Cráter de Los Espinos

### 7.3.1.8.3 VERANO

Durante el verano, se forman siete grupos entre los diferentes niveles de la columna de agua, debido a que independientemente de la especie dominante (*Ankistrodesmus falcatus*) cada nivel posee a otra especie con diferentes valores de abundancia, sin constatar reemplazo de especies diferentes a la dominante en la columna de agua (Figura 3.17).

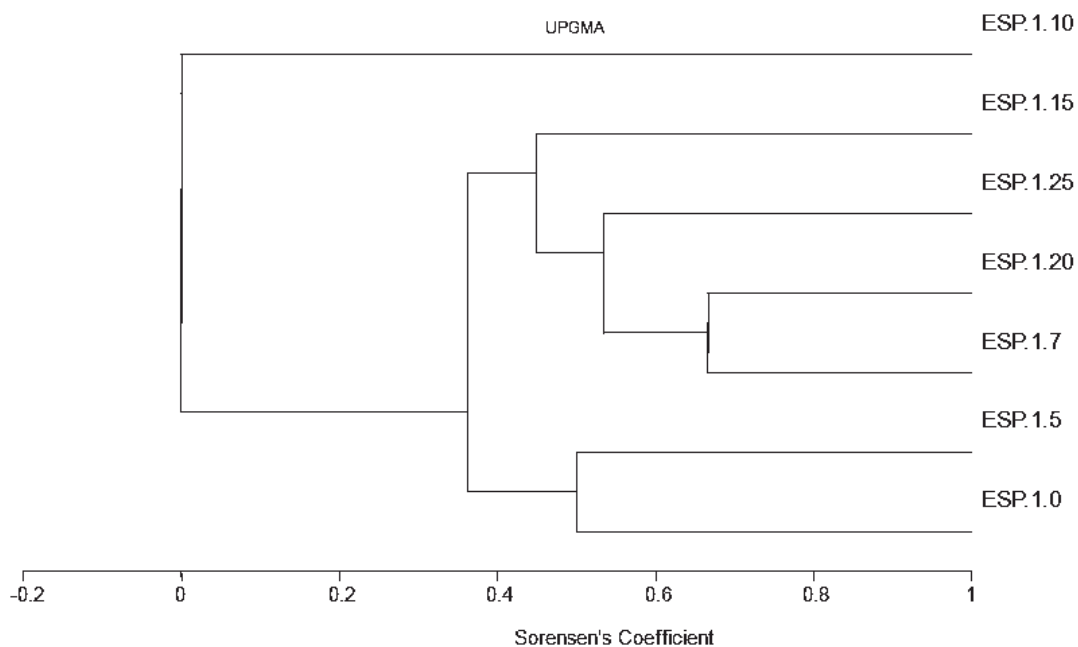


Figura 3.17. Diversidad beta en verano en el Lago Cráter de Los Espinos

### 7.3.1.8.4 OTOÑO

Durante la estratificación tardía, el Lago Cráter de Los Espinos presenta la formación de cuatro grupos, considerando el 0.7 del Coeficiente de Sorensen, de los cuales el conformado por la superficie, cinco, siete y diez metros es el que presenta el mayor reemplazo específico, compartiendo cuatro especies, de las cuales *Ankistrodesmus falcatus* y *Staurastrum manfeldtii* var. *fluminense* encabezan la abundancia (Figura 3.18).

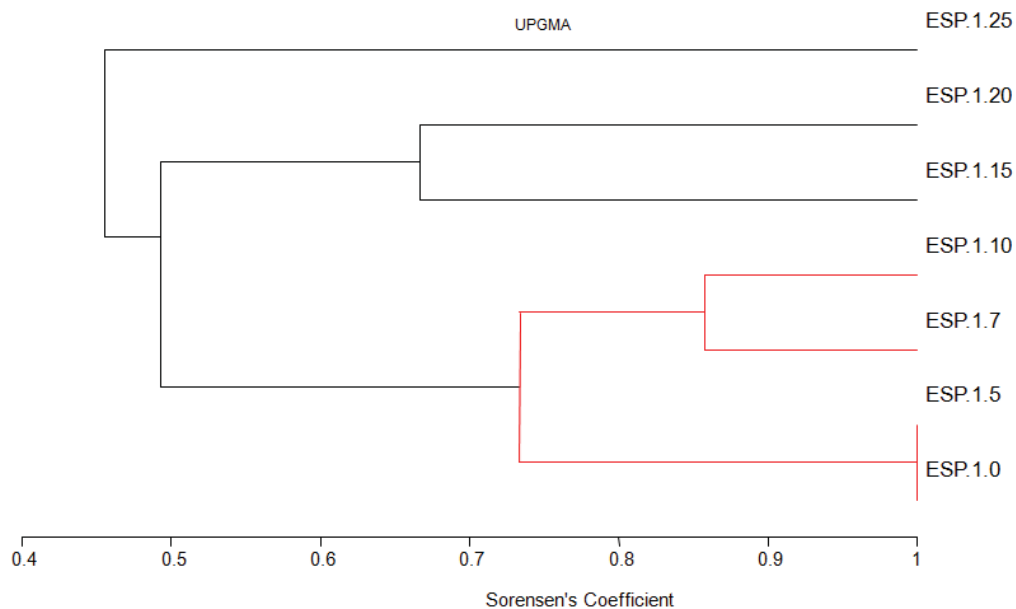


Figura 3.18. Diversidad beta en otoño en el Lago Cráter de Los Espinos

### 7.3.1.9 DIVERSIDAD GAMMA DE LOS LAGOS CRÁTER DE MICHOACÁN.

#### 7.3.1.9.1 INVIERNO

En la época fría la composición específica del complejo lacustre formado por los tres lagos cratéricos del centro del Estado de Michoacán, evidencia que el lago cráter de Tacámbaro presenta mayor reemplazo específico con el lago cráter de Teremendo, presentando estos dos últimos especies presentes en el lago cráter de Los Espinos, lo cual sugiere que el mayor reemplazo de especies en invierno es provisto por la alberca de Tacámbaro (Figura 3.19).

En la época destacan tres niveles en la columna de agua de los lagos de Tacámbaro y Los Espinos, los cuales presentan especies en común y a nivel biogeográfico sugieren un reemplazo específico de taxones residentes (Figura 3.19).



El grupo que presenta mayor reemplazo específico en los lagos cráter de Michoacán es formado por el nivel ESP 1.5 (cinco metros de profundidad del sitio centro) en la columna de agua de Los Espinos, con el nivel TAC 3.3 (tres metros de profundidad en la compuerta) en la columna de agua de Tacámbaro los cuales comparten 13 especies, de las cuales *Closteriopsis longissima* y *Chroococcus limneticus* son las más abundantes así como *Closteriopsis acicularis*, *Mallomonas caudata*, *Chroococcus dispersus* y *Merismopedia marssonii* son las menos concurrentes (Figura 3.19).

El segundo grupo con mayor reemplazo específico en el complejo cratérico es el formado por ESP 1.25 (25 metros de profundidad del sitio centro) de la columna de agua de Los Espinos y el TAC 2.10 (diez metros de profundidad del sitio centro) de la columna de agua de Tacámbaro compartiendo dos especies *Merismopedia marssonii* y *Chroococcus dispersus*, siendo la primera la más abundante en ambos sistemas (Figura 3.19).

El nivel de siete metros en el sitio centro del lago cráter de Tacámbaro (TAC 2.7) se aísla de los niveles muestreados en los tres sistemas cratéricos, conteniendo esta porción de la columna el menor número de especies (cuatro), especies presentes en los tres vasos lacustres, por ello se ubica en un grupo externo y con relación con la flora de los tres sistemas acuáticos (Figura 3.19).

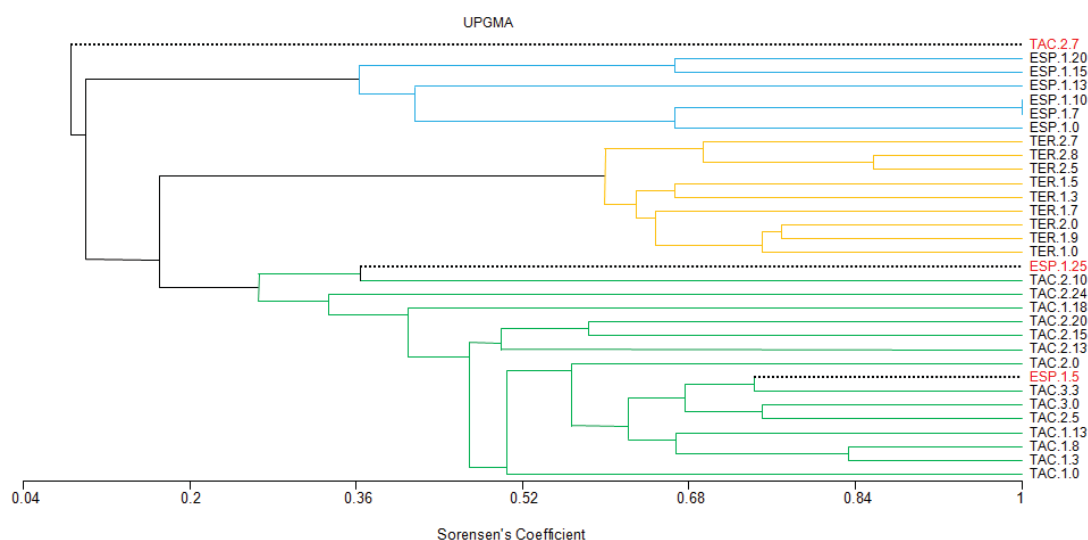


Figura 3.19. Diversidad gamma en invierno en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán.

### 7.3.1.9.2 PRIMAVERA

En esta época el agrupamiento de los niveles muestreados en la columna del agua evidencian que el lago cráter de Tacámbaro y el de Los Espinos comparten especies por los florecimientos de cianobacterias del orden Chroococcales en la columna, los cuales los separan del lago cráter de Teremendo por la dominancia de cianobacterias del orden Pseudoanabaenales (Figura 3.20).

Dicha agrupación muestra que el nivel de 15 metros del sitio afluente en Tacámbaro (TAC 1.15) y el nivel de 10 metros del sitio centro de Los Espinos (ESP 1.10), comparten una especie en común (*Chroococcus dispersus*) con abundancia elevada en ambos sistemas (Figura 3.20).

Mientras que en la superficie del sitio centro del lago cráter de Los Espinos se encuentra *Microcystis aeruginosa* con valores bajos en abundancia, presente en la columna de agua de Teremendo en concentraciones elevadas, agrupando a dicho nivel con el lago cráter de Teremendo en la época (Figura 3.20).

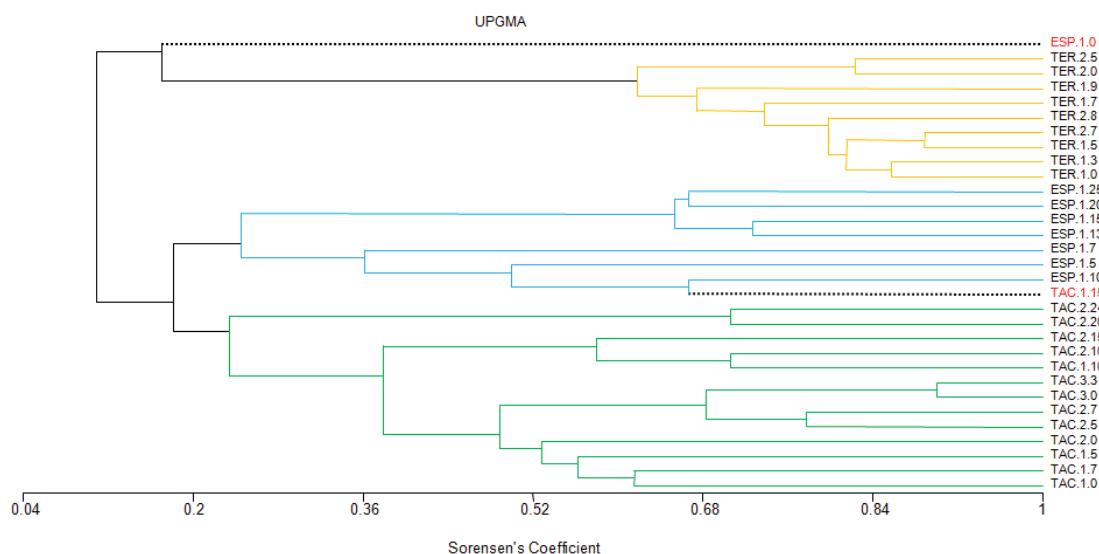


Figura 3.20. Diversidad gamma en primavera en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán.

### 7.3.1.9.3 VERANO

En el periodo de máxima estratificación el agrupamiento de los niveles colectados muestran que el lago cráter de Tacámbaro exhibe especies ocurrentes en el lago cráter de Teremendo, debido a que en esta época se presenta *Botryococcus terribilis* y *Mallomonas caudata*, junto a un florecimiento de cianobacterias en la columna, relacionando a la composición de la comunidad fitoplanctónica en ambos sistemas.

El agrupamiento del Lago Cráter de Los Espinos manifiesta que la columna presenta poca similitud con especies existentes en Tacámbaro y Teremendo aislándose de esta agrupación (Figura 3.21).

A los 25 metros de profundidad en el sitio centro en Los Espinos ocurren especies presentes en Tacámbaro (*Merismopedia marssonii* y *Merismopedia glauca*) a los 15 metros en el sitio afluente, formando una agrupación con un valor de 0.57 en el Coeficiente de Sorensen (Figura 3.21).

Mientras que a los 10 metros del sitio centro en Los Espinos (ESP 1.10) ocurren dos especies, de las cuales una se encuentra en Tacámbaro en bajas concentraciones (*Ankistrodesmus nannoselene*) y otra (*Mallomonas caudata*) en Teremendo en concentraciones celulares mayores que en Los Espinos (Figura 3.21).

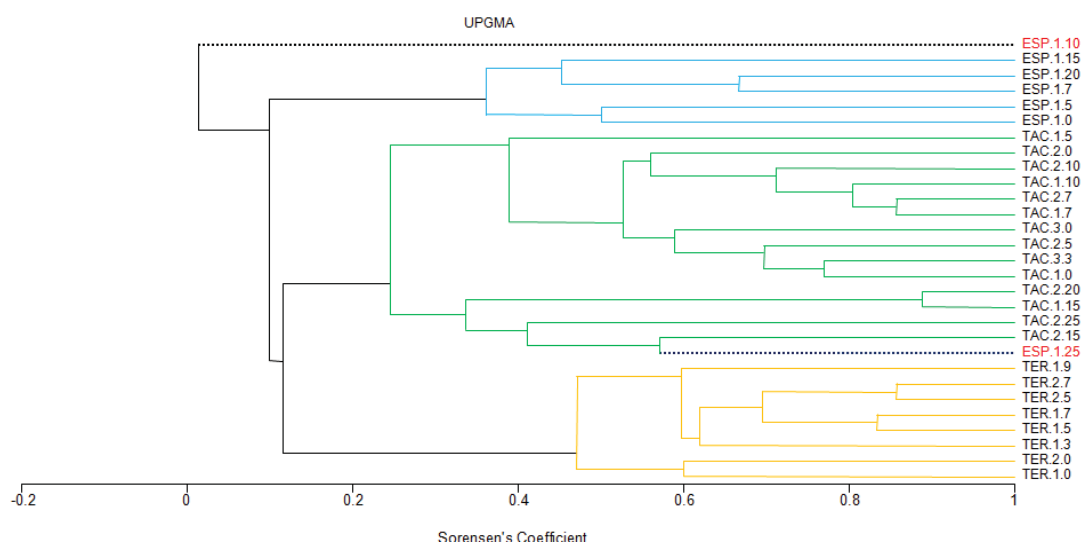


Figura 3.21. Diversidad gamma en verano en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán.

### 7.3.1.9.4 OTOÑO

Durante la estratificación tardía, la composición de la comunidad del fitoplancton en los lagos cráter de Michoacán muestra que las especies presentes en Tacámbaro se comparten con las encontradas en Teremendo. Mientras que las especies que aparecen en Los Espinos tienen poca similitud con el agrupamiento anteriormente citado (Figura 3.22).

Los niveles 10 y 15 metros del sitio del afluente en el Lago Cráter de Tacámbaro manifiestan presentar mayor similitud con la flora de Teremendo que con la de su sistema acuático, ya que de las dos especies que comparten entre sí, *Botryococcus terribilis* se encuentra en concentraciones similares en cuatro niveles de Teremendo, separándose así de la columna de Tacámbaro (Figura 3.22).

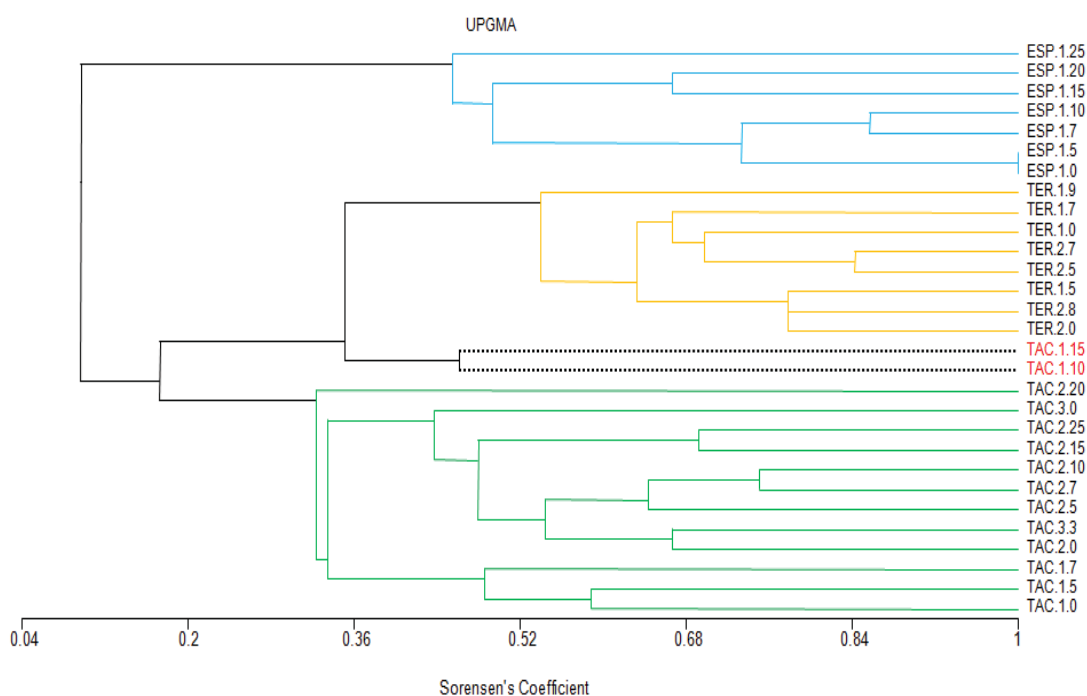


Figura 3. 22. Diversidad gamma en otoño en los Lagos Cráter del Estado de Michoacán.

### 7.3.1.11 ESTADO TRÓFICO

La evaluación del estado trófico en los lagos cráter de Michoacán bajo índices de asociación algal, productividad primaria, transparencia y concentraciones nutrimentales (Fósforo total), evidencian que existe eutrofia en los tres sistemas acuáticos (Cuadro 3.4, 3.5 y 3.6).

Cuadro 3.4. Estado Trófico en base a las Asociaciones Algales (Nygaard 1949).

<b>LAGO CRÁTER</b>	<b>INDICE COMPUESTO</b>	<b>INDICE DE MYXOPHYCEAE</b>
TACAMBARO	12	5
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
TEREMENDO	9	7
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
ESPINOS	4.6	3.3
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

El resultado obtenido al utilizar los índices de asociación algal, exhiben dichos valores por la gran cantidad de cianobacterias, algas verdes clorococales, euglénidos y diatomeas arrafiadas, aunados a la baja riqueza específica de algas verdes desmídeas (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.5. Estado Trófico en base a la Productividad Primaria de la Columna de Agua.

		<b>INTERPRETACIÓN</b>		
		<b>TACAMBARO</b>	<b>TEREMENDO</b>	<b>ESPINOS</b>
<b>INDICE</b>	<b>PROMEDIO ANUAL DE CLOROFILA "a"</b>	9.09 µg/L	19.38 µg/L	27.13 µg/L
	SAKAMOTO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	ACADEMY	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	DOBSON	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	RAST y LEE	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Cuadro 3.6. Estado Trófico en base a las relaciones de productividad primaria entre el Fósforo, la Clorofila “a” y la Transparencia.

<b>LAGO CRÁTER</b>	<b>INDICE DE CARLSON</b>	<b>INDICE DE WALKER</b>	<b>INDICE OCDE</b>
TACAMBARO	68.41	88.79	88.79
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO	EUTROFICO
TEREMENDO	79.56	104.15	104.15
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO	EUTROFICO
ESPINOS	69.64	90.95	90.95
INTERPRETACIÓN	EUTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO	EUTROFICO

La valoración del estado trófico considerando los nutrimentos la productividad primaria y la transparencia en el índice de Walker cataloga a los tres lagos Cráter como hipereutróficos, por la sensibilidad de dicho estimador, mientras que el resultado obtenido por el índice de Carlson y la OCDE coinciden en que dichos sistemas presentan eutrofia.

### 7.3.1.12 DISCUSIÓN

Los Lagos cráter de Michoacán presentan patrones estacionales en cuanto a la variación de la diversidad alfa y beta, los cuales están influenciados por la variabilidad climática y el evento de holomixis y estratificación, como lo evidencian otros lagos tropicales cálidos monomícticos en el país (Oliva *et al.* 2001, Alvarado 2003, Vázquez *et al.* 2005 y Hernández 2008).

El lago Cráter de Tacámbaro y Teremendo exhiben el mismo patrón en la fluctuación estacional de la diversidad alfa, presentando el máximo en invierno y el mínimo en verano, atribuyendo el incremento en la diversidad en invierno al evento de mezcla, ya que proporciona nutrimentos a la columna y turbulencia que permite el establecimiento de diatomeas, algas verdes y cianobacterias (Margalef 1983 y Wetzel 2001), incrementando la riqueza específica de grupo con baja biomasa.

En Tacámbaro el incremento de la diversidad en invierno es causado por la diversificación de Chlorophyta, mientras que en Teremendo se da por Cyanobacteria. Una dominancia relativa de cianobacterias en Tacámbaro y de algas verdes asociadas a cianobacterias en Teremendo causan un decrecimiento en la diversidad en la columna en la estratificación temprana desarrollando un hipolimnio diverso en Tacámbaro y un hipolimnio no diverso en Teremendo, mientras que en Los Espinos durante esta época la diversidad se incrementa por el declive de la dominancia de Chlorophyta en invierno desarrollando un epilimnio e hipolimnio diverso.

Los tres lagos exhiben una elevada dominancia de la columna en la máxima estratificación, causando disminución en la diversidad alfa, la cual en los tres ecosistemas es causada por un florecimiento de Cyanobacteria. En Zirahuén (Alvarado 2003) y Alchichica (Oliva *et al.* 2001), este evento ocurre en primavera tras el florecimiento de Cyanobacteria mientras que en Tacámbaro (Hernández 2008) se da por el florecimiento de Chlorophyta, decreciendo la diversidad al incrementarse la dominancia del grupo, mientras que en Chalchoapan ocurre en verano (Vázquez *et al.* 2005) por el florecimiento de Cyanobacteria y Chlorophyta.

Reynolds y Walbsy (1975), mencionan que al incrementarse la temperatura al inicio de la estratificación, los lagos tropicales están sujetos a florecimientos algales, por consiguiente a incrementar la dominancia de grupo y disminuir su diversidad (Halffter *et al.* 2005), siendo comunes la dominancia de la columna de agua por Cyanobacteria y Chlorophyta en verano y otoño (Oliver y Ganf 2000).

El reemplazo de especies en la columna de agua en los Lagos Cráter de Michoacán es alto en verano (Tacámbaro), primavera (Teremendo) y otoño (Los Espinos) regido por el número de especies presentes en la columna y por los aportes que en biomasa aportan a las diversas capas fóticas (Margalef 1983). La diversidad beta se encuentra sujeta a la dominancia de grupo, disminuyendo al presentarse florecimientos algales. En Tacámbaro (Hernández 2008) durante el 2006 el máximo reemplazo de especies ocurre en primavera al incrementarse la dominancia de Chlorophyta, mientras en Zirahuén (Alvarado 2003) tiene lugar en la misma época por el incremento de Cyanobacteria en la columna.

En otoño al presentarse la estratificación tardía y especies representantes de Chlorophyta, Cyanobacteria, Dinophyta, Crysophyta y Heterokontophyta, la diversidad alfa se

incrementa en la columna en los tres lagos cráter, tal y como ocurre en Zirahuén (Alvarado 2003), Tacámbaro (Hernández 2008) y Chalchoapan (Vázquez *et al.* 2005), debido a que en esta época los sistemas tropicales presentan una elevada sucesión de la comunidad fitoplanctónica y se incrementa la riqueza específica en la columna de agua (Lewis 1978 y Oliver y Ganf 2000), por el incremento en la irradianza, que permite el ensanchamiento de la zona fótica para disponer de la carga nutrimental del fondo la cual es provista por un lento transporte de nutrientes del hipolimnio a la columna de agua (Margalef 1983).

No solo el clima y la heterogeneidad de la columna influyen en la diversidad en un sistema acuático. El grado de mineralización y la concentración de nutrientes son determinantes para el establecimiento de florecimientos algales y la dominancia de grupo (Margalef 1983) y por lo tanto de los valores en diversidad dentro del complejo del ensamble funcional. En sistemas oligotróficos la riqueza específica es ejercida por Bacillariophyta, Chlorophyta, Dinophyta y Chrysophyta (Romo 1989, Banderas Tarabay 1997, Banderas y González 1998, Oliva *et al.* 2001, Chu *et al.* 2005, McIntire *et al.* 2007 y Urbach *et al.* 2007), en donde la diversidad es alta por la baja biomasa mensual que aportan cada uno de sus productores primarios en un ciclo anual. En mesotróficos la riqueza específica es encabezada por Chlorophyta, Bacillariophyta y Cyanobacteria (Alvarado 2003 y Vázquez *et al.* 2004) con una diversidad mayor o igual a los 2 bits/indv, mientras que para ecosistemas eutróficos la riqueza de especies es aportada por Cyanobacteria, Chlorophyta y Bacillariophyta (Alcocer *et al.* 1996, Patiño 2000, Vázquez *et al.* 2004 y 2005, Escolero y Alcocer 2005 y Hernández 2008), con una diversidad alfa igual o menor a 2 bits/indv.

Los lagos cráter de Michoacán son eutróficos con valores bajos en diversidad oscilando entre 0.5 y 1.6 bits/indv, con dominancia de Chlorophyta en Tacámbaro y Los Espinos así como de Cyanobacteria en Teremendo. Tacámbaro para el 2006 (Hernández 2008) presentaba una diversidad cercana a 2.6 bits/indv y un estado trófico de ligeramente eutrófico a eutrófico, el cual se ha modificado incrementando el grado de mineralización y la carga nutrimental en la columna de agua para ser eutrófico a moderadamente eutrófico con un decrecimiento de la diversidad de la comunidad fitoplanctónica cercano a 1 bit/indv, variable que indica la pérdida de riqueza específica y el incremento en la biomasa algal por dominancia de grupo ejercida por Chlorophyta y Cyanobacteria.



La composición específica del paisaje integrada por los tres conos volcánicos separados entre sí por cerca de 40 Km lineales, muestra que Tacámbaro es el posible centro de dispersión de especies, ya que presenta la mayor riqueza específica, la cual es seguida por la riqueza de especies de Teremendo y Los Espinos.

Los mecanismos de dispersión del plancton entre sistemas aislados geográficamente se da por el transporte de esporas o células latentes en animales migratorios, como las aves (Margalef 1983), y para definir el centro de dispersión de las especies se considera a aquel con mayor riqueza específica y diversidad en su conjunto de estructura funcional (MacArthur y Wilson 1967), esperando encontrar menor riqueza de especies al alejarse de este, evento que ocurre en los Lagos Cráter de Michoacán, en donde Tacámbaro y Teremendo presentan mayor similitud en la conformación de su flora y son los vasos lacustres mas cercanos, mientras que Los Espinos presenta mayor similitud en tres de las cuatro estaciones con Teremendo y sólo en una estación con Tacámbaro directamente, el cual se encuentra cercano a Teremendo y distante a Tacámbaro.

#### 7.3.1.13 CONCLUSIONES

- El evento de estratificación y mezcla influye en la diversidad estacional de la comunidad fitoplanctónica al crear florecimientos de grupo que incrementan la dominancia en primavera y verano en Tacámbaro y Teremendo mientras que en Los Espinos la dominancia se incrementa en invierno y verano.
- La diversidad alfa en la columna es elevada en invierno en Tacámbaro y Teremendo a causa de la surgencia nutrimental de la época y la turbulencia de la columna que incrementa la riqueza específica, mientras que en Los Espinos es elevada en primavera ya que en invierno ocurre un florecimiento de *Ankyra ancora* en la columna.
- El máximo reemplazo de especies es definido por la dominancia vertical y estacional de grupo en la columna de agua, siendo elevado en primavera en Teremendo, en verano en Tacámbaro y en otoño en Los Espinos.

- La diversidad gamma evidencia que Tacámbaro y Teremendo presentan un mayor reemplazo en cuanto a la composición de su flora, mientras que Los Espinos presenta especies de ambos ecosistemas manteniéndose como un grupo aislado en la mayor parte del año.
- El estado trófico de los lagos Cráter de Michoacán es eutrófico, el cual influye en la diversidad de la comunidad fitoplanctónica, la cual presenta una diversidad de 0.5 a 1.6 bits/indv.

## 8. CONCLUSIONES GENERALES

Se determinó que las Albercas de Tacámbaro, Los Espinos y Teremendo son sistemas cálidos monomícticos con circulación en invierno, influyendo la estratificación térmica en la composición química espacial y temporal en los tres vasos lacustres, generando en la estratificación un epilimnio cálido, oxigenado, básico, de aguas moderadamente blandas y productivas, así como un hipolimnio anóxico, ligeramente ácido a ligeramente básico, poco productivo, con elevadas concentraciones de nutrimentos derivados de la mineralización de la materia orgánica y la reducción del Nitrógeno como nitratos, mientras que en la circulación se desarrolla una columna homogénea químicamente, poco productiva con alta reserva alcalina, variaciones influenciadas por la morfometría de los vasos lacustres y la presencia de los productores primarios.

Se determinaron 139 taxa pertenecientes a siete divisiones, de las cuales en Tacámbaro ocurren 126, siendo Bacillariophyta quien encabeza la riqueza seguida de Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, Dinophyta, Cryptophyta y Heterokontophyta, mientras que en Teremendo se identificaron 55 organismos, siendo Chlorophyta quien encabeza la diversidad taxonómica, seguida de Bacillariophyta, Cyanobacteria, Cryptophyta, Dinophyta y Heterokontophyta, así como 32 taxa para Los Espinos en donde Chlorophyta encabeza la variable, seguida de Cyanobacteria, Bacillariophyta, Cryptophyta y Heterokontophyta.

Chlorophyta encabezó la abundancia en Tacámbaro y Los Espinos mientras que Cyanobacteria lo hizo en Teremendo. Las especies con mayor concentración celular son *Botryococcus terrestris*, *Ankyra ancora* y *Limnothrix brachynema*. Con respecto a la correspondencia con las variables fisicoquímicas se establece que la Temperatura, la Conductividad Eléctrica la profundidad, pH y los nutrimentos (Nitrogeno Amoniacal y Fósforo reactivo) determinaron la ocurrencia del fitoplancton influenciados por los eventos de estratificación y holomixis en los ecosistemas cratéricos.

Se determinó estacionalidad en cuanto a la variación de la diversidad en el ciclo anual con el máximo de la diversidad alfa en invierno (Tacámbaro y Teremendo) y en primavera (Los Espinos). El máximo reemplazo de especies fue definido por la dominancia vertical y

estacional de grupo en la columna de agua, siendo elevado en primavera en Teremendo, en verano en Tacámbaro y en otoño en Los Espinos.

La diversidad gamma evidenció que Tacámbaro y Teremendo presentan un mayor reemplazo específico, en cuanto a la composición de su flora, mientras que Los Espinos presentó especies de ambos ecosistemas manteniéndose como un grupo aislado en la mayor parte del año.

La evaluación del estado trófico en los Lagos Cráter de Michoacán bajo índices de asociación algal, productividad primaria, transparencia y concentraciones nutrimentales (Fósforo total), evidencian que existe eutrofia en los tres sistemas acuáticos la cual influyó en la diversidad de la comunidad fitoplanctónica, alcanzando un rango de 0.5 a 1.6 bits/indv.

## 9. LITERATURA CITADA

- Aizaki, M., Iwakuma, T. y Takamura, N. 1981. **Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese lakes and its relationship to other parameters related to trophic state.** Research Report on National Institute of Environmental Studies. 23: 13 a 31 pp.
- Alcocer, J., A. Lugo y M. G. Oliva M. 1996. **Los lagos cráter del valle de Santiago, Guanajuato.** En De la Lanza, E. G. y J. L. García C. 2002. **Lagos y Presas de México.** AGT Editor. México. 193 a 211 pp.
- Alcocer, J., E. Escobar, A. Lugo y L. Peralta. 1998. **Littoral benthos of the saline crater lakes of the basin of Oriental, Mexico.** International Journal of Salt Lake Research. 7: 87 a 108 pp.
- Alcocer, J., A. Lugo, M. R. Sánchez y E. Escobar. 1998. **Isabela Cratera Lake: a Mexican insular saline lake.** Hydrobiologia 381: 1 a 7 pp.
- Alcocer, J., A. Lugo., E. Escobar. M. R. Sánchez y G. Vilaclara. 2000. **Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic Lake Alchichica, Puebla, México.** Verh. Internat. Verein. Limnol. 27: 3166 a 3169 pp.
- Alcocer, J. y F. Bernal Brooks. 2010. **Limnology in México.** Hidrobiologia. 644: 15 a 68 pp.
- Alcocer, J., L. A. Oseguera, E. Escobar, L. Peralta y A. Lugo 2004. **Phytoplankton biomass and Water Chemistry in two High Mountain Tropical Lakes in Central Mexico.** Artic, Antarctic, and Alpine Research. 36 (3): 342 a 346 pp.
- Alcocer, J., D. P. LópezAnaya y L. A. Oseguera. 2007. **Dinámica del Carbono Orgánico Particulado en un lago tropical profundo.** En: Hernández, T. B. y G. Gaxiola Castro. 2007. Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. 1a. Ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. México. 508 pp.
- Alcocer, J. y A. E. Filonov. 2007. **A note on the effects of an individual large rainfall event on saline Lake Alchichica, México.** Environ Geol. 53: 777 a 783 pp.
- Alcocer, J. y A. Lugo. 2003. **Effects of El Niño on the dynamics of Lake Alchichica, central México.** Geofísica Internacional Vol 42, 3: 523 a 528 pp.

- Alvarado, V. R. 2003. **Dinámica Estacional y Circadiana del Fitoplancton en el Lago de Zirahuén, Michoacán, México**. Tesis de Maestría. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 124 pp.
- APHA AWWA WPCF. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19<sup>TH</sup> edition. American Public Health Association (APHA), American Methods Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) USA.
- Arredondo, F. J. L. 1984. **Los Axalapascos de la cuenca oriental, Puebla**. en De la Lanza, E. G. y J. L. García C. 2002. **Lagos y Presas de México**. AGT Editor. México. 81 a 107 pp.
- Arredondo-Figueroa, J. L., L. E. Borrego-Enríquez, R. M. Castillo-Domínguez y M. A. Valladolid-Laredo, 1983. **Batimetría y morfometría de los lagos “maars” de la Cuenca de Oriental, Puebla, México**. *Biótica* 8: 37 a 47 pp.
- Arriaga Cabrera, L., V. Aguilar S., J. Alcocera Durand, R. Jiménez R., E. Muñoz L. y E. Vázquez D. 1998. **Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1: 4, 000, 000)**. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1 a 142 pp.
- Banderas, T. A., R. González V. y G. De la lanza E. 1991. **Limnological aspects of a highmountain lake México**. *Hydrobiologia* 224: 1 a 10 pp.
- Banderas-Tarabay, A.G. 1997. **Phycoflora of the tropical highmountain lake El Sol, Central México, and some biogeographical relationships**. *Hydrobiologia*. 354: 17 a 40 pp.
- Banderas, T. A. y R. González V. 1988. **Limnología de El Sol, un Lago Alpino Tropical**, En De la Lanza, E. G. y J. L. García C. 2002. **Lagos y Presas de México**. AGT Editor. México. 63 a 79 pp.
- Bernal-Brooks, F. W., 1998. **The lakes of Michoacán (México): a brief history and alternative point of view**. *Freshwater Forum* 10: 20 a 34 pp
- Borghini, F., A. Colacevich y R. Bargagli. 2007. **Water Geochemistry and Sedimentary Pigments in Northern Victoria Land Lakes, Antarctica**. *Polar Biol* 30 : 1173 a 1182 pp.
- Brock, T.D. 1973. **Lower pH limit for the existence of blue-green algae. Evolutionary and ecological implications**. *Science*. 179: 480 a 482 pp.
- Bourrelly, P. 1966. **Les Lagues d'eau douce I**. Editions N. Boubée y Cie. París. 512 pp.
- Bourrelly, P. 1968. **Les Lagues d'eau douce II**. Editions N. Boubée y Cie. París. 512 pp.

- Bourrelly, P. 1970. **Les Lagues d'eau douce III**. Editions N. Boubée y Cie. París. 500 pp.
- BraunaBlanquet, F.W. 1979. **Fitosociología. Bases para el estudio de las Comunidades Vegetales**. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 820 pp.
- Carlson, R. E. 1977. **A trophic state index for lakes**. Limnology y Oceanography. 22: 361 a 369 pp.
- Chu, G., J. Liu, G. Schettler, J. Li, Q. Sun, Z. Gu, H. Lu, Q. Liu y T. Liu. 2005 **Sediment Fluxes and Varve Formation in Sihailongwan, a Mar Lake from Northeastern China**. Journal of Paleolimnology. 34: 311 a 324 pp.
- Cole, G. A., 1994. **Textbook of Limnology**. Waveland Press. Illinois USA. 412 pp.
- Comas, A. G. 1996. **Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba**. J. Cramer. Stuttgart Berlin. 100 pp.
- Conforti, V. 1986. **Euglenophyta**. Strauss Offsetdruck. Hirschberg, Germany. 301 pp.
- Crawford, G. B. y R. W. Collier. 1997. **Observations of a deepmixing event in Crater Lake, Oregon**. Limnol. Oceanogr. 42 (2): 299 a 306 pp.
- Darley, W. M. 1987. **Biología de las Algas, Enfoque Fisiológico**. Ed Limusa. México. 236 pp.
- Dillard, G. E. 1990. **Freshwater Algae of the Southeastern United Status Part 3. Chlorophyceae: Zygnematales: Zygnemataceae, mesotaenaceae and desmidiaceae (Section 1)**. J. Cramer. Germany. 172 pp.
- Dobson, H. F. H., M. Gilbertson y P. G. Sly. 1974. **A summary and comparison of nutrients and related water quality in Lake Erie, Ontario, Huron and Superior**. J. Fish Res Board Can. 31: 731 a 738 pp.
- Dokulil, M.T. y K. Teubner. 2000. **Cyanobacterial dominance in Lakes**. Hidrobiologia. 438: 1 a 12 pp.
- Duan, H., Y. Zhang, B. Zhang, K. Song y Z. Wang. 2007. **Assessment of Chlorophyll a Concentration and Trophic State for Lake Chagan Using Landsat TM and Field Spectral Data**. Environ Moint Assess. 129: 295 a 308 pp.
- Escobar, B. E., J. Alcocer, E. Cienfuegos y P. Morales. 1998. **Carbon stable isotopes ratios of pelagic and littoral communities in Alchicica crateralake, México**. International Journal of Salt Lake Research. 7: 345 a 355 pp.
- Escolero, O. A. y J. Alcocer. 2005. **Desecación de los Lagos Cráter del Valle de Santiago, Guanajuato**. En: Jiménez B. y L. Marín. 2005. **El agua en**

- México vista desde la Academia.** Academia Mexicana de Ciencias. 99 a 117 pp.
- Estévez, F. A. 1998. **Fundamentos de Limnología.** Interciencia /FINEP. Rio de Janeiro. 575 pp.
- Falcón, L. I., E. EscobaraBriones y D. Romero. 2002. **Nitrogen fixation patterns displayed by cyanobacterial consortia in Alchichica crateralake, México.** *Hidrobiologia* 467: 71a78 pp.
- Fennel, K., R. Collier, G. Larson, G. Crawford y E. Boss. 2007. **Seasonal nutrient and plankton dynamics in a physicalbiological model of Crater Lake.** *Hydrobiologia* 574: 265 a 280 pp.
- García, E. 1988. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen para Adaptarlo a las Condiciones de la Republica Mexicana.** 4ª. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Garduño Monroy, V. H., P. Corona Chávez, I. IsrradeaAlcantara, L. Mennella, E. Arreygue, B. Bigioggero, y S. Chiesa. 1999. **Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250 000.** Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 111 pp.
- Goldman, C.R. y A. J. Horne. 1982. **Limnology.** Mc GrawHill Boock Co., New York. 464 pp.
- Groeger, A. W. 2007. **Nutrient limitation in Crater Lake, Oregon.** *Hydrobiologia* 574: 205 a 216 pp.
- Häkanson, L. 1981. **A manual of lake morphometry.** Springer Verlag. Berlin Germany. 78 pp.
- Halffter, G., J. Soberon, P. Koleff y A. Melic. 2005. **Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma.** Monografías Tercer Milenio. México 242 pp.
- Hanks, J. 1998. **Biological ToolBox.** Versión 0.10. Nacogdoches, TX
- Hernández, M. R. 2008. **Fitoplancton del Lago Cráter La Alberca, Tacámbaro, Michoacán, México.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. 126 pp.
- Hoek, C. van Den, D.G. Mann y H.M. Jahns (eds.). 1995. **Algae: an introduction to phycology.** Cambridge University, Cambridge, Inglaterra. 623 pp.



- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1977. **Carta Geológica**. 1:50,000. E14a A12. Coeneo de La libertad
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1978. **Carta Geológica**. **1:50000**. E14aA42. Tacámbaro.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1979 **Carta Edafológica**. 1:50,000. E14aA12. Coeneo de la Libertad
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1983. **Carta Edafológica** **1:50000**. E14aA42. Tacámbaro
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1985 **Síntesis geográfica del Estado de Michoacán**
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1995. **Carta Topográfica** **1:50000**. E14aA11. Zacapu.
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. 1996. Anuario **Estadístico del Estado de Michoacán**, Aguascalientes, México, 434 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía, e Informática. 1999. **Carta Hidrológica de aguas superficiales**. 1:100,000; Michoacán.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000. **Carta Topográfica** **1:50000**. E14aA42. Tacámbaro
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. 2006. **Anuario Estadístico del Estado de Michoacán**.
- John, D. M., B. A. Whitton y A. J. Brook. 2002. **The Freshwater Algal Flora of the British Isles**. Cambridge University Press. United Kingdom. 702 pp.
- Komárek J. y K. Anagnostidis. 1999. **Cyanoprokaryota 1 Teil: Chroococcales**. Gustav Fischer. Germany. 548 pp.
- Komárek J. y K. Anagnostidis 2005. **Cyanoprokaryota 2 Teil: Oscillatoriales**. Elsevier. Italy. 759 pp.
- Komárková, J. y R. Tavera. 2003. **Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical Lake Catemaco (Mexico)**. Hydrobiologia. 502: 187 a 196 pp.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1986. **Bacillariophyceae**. Teil 1: Naviculaceae. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning y D. Mollenhauer (eds.) Die SüBwasserflora von Mitteleuropa Band 2/1: 876 pp. Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1988. **Bacillariophyceae**. Teil 2: Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning y D.

- Mollenhauer (eds.) Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/2: 596 pp.  
Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991. **Bacillariophyceae**. Teil 3: Centrales, Fragillariaceae, Eunotiaceae. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning y D. Mollenhauer (eds.) Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/3: 576 pp.  
Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991. **Bacillariophyceae**. Teil 4: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1/4. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning y D. Mollenhauer (eds.) Die Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 2/4: 438 pp.  
Gustav. Fischer Verlag: Stuttgart.
- Krammer, K. (2000). **Diatoms of Europe**. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Volume 1. The genus Pinnularia. H. Lange-Bertalot (Ed.). ARG Gantner Verlag K.G. 703 pp. y 217 Plates
- Krammer, K. 2002. **Diatoms of Europe**. Cymbella. Volume 3. H. Lange-Bertalot (Ed.). ARG Gantner Verlag K.G. Germany. 584 pp.
- Krebs, Ch. 1985. **Ecología. Estudio de la distribución y abundancia**. 2ª ed. Ed. Harla. México. 753 pp.
- Larson. 1972. **Temperature, transparency and phytoplankton productivity in Crater Lake, Oregon**. Limnology and Oceanography 17 (3): 410 a 417 pp.
- Larson, L. G., Hoffman R. L., McIntire D. C., M. W. Buktenica y S. F. Girdner. 2007. **Thermal, chemical and optical properties of Crater Lake, Oregon**. Hydrobiologia 574: 69 a 84 pp.
- Lewis, W. M., Jr. 1978. **Dynamics and succession of the phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao, Philippines**. Journal of Ecology. 66: 849 a 880 pp.
- Lewis, W M., Jr. 1978. **Analysis of succession in a tropical phytoplankton community and a new measure of succession rate**. American Naturalist. 112: 401 a 414 pp.
- Lewis, W. M. Jr. 1986. **Phytoplankton succession in Lake Valencia Venezuela**. Hidrobiologia. 138: 139 a 203 pp.
- Lewis, E. M. 2000. **Basis for the protection and management of tropical lakes**. Lakes y Reservoirs: Research and Management 5:35 a 48 pp.
- Lind, O. T. 1987. **Spatial and temporal variation in hypolimnetic oxygen deficits of a multidepression lake**. Limnology and Oceanography 32 (3): 740 a 744 pp.

- Lugo, A., M. E. González, M. R. Sánchez y J. Alcocer. 1999. **Distribution of *Leptodiaptomus novamexicanus* (Copepoda: Calanoida) in a Mexican hyposaline lake.** Rev. Biol. Trop., 47 (Supl. 1) 141 a 148 pp.
- Macek, M., G. Vilaclara y A. Lugo. 1994: **Changes in protozoan assemblage structure and activity in a stratified tropical lake.**-Mat: Microb. Food Webs 8: 235 a 249 pp.
- Macek, M., J. Alcocer, A. Lugo V., M.E. Martínez Pérez, L. Peralta S. y G. Vilaclara F. 2009. **Long term picoplankton dynamics in a warm monomictic tropical high altitude lake.** J. Limnol. 68(2): 1 a 10 pp.
- MacIntyre, S. y J. M. Melack. 1982. **Meromixis in an equatorial African soda lake.** Limnology and Oceanography. 27 (4): 595 a 609 pp.
- Magurran, A. E. 2004. **Measuring Biological Diversity.** Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 256 pp.
- Margalef, R. 1983. **Limnología.** Ediciones Omega. S. A. Barcelona, España. 1010 pp.
- Margaritora, F.G., B. Fumanti, S. Alfinito, G. Tartari, D. Vagaggini, M. Seminara, P. Cavacini, E. Vuillermoz y M. Rosati. 2005. **Trophic condition of the volcanic Lake Nemi (Central Italy): environmental factors and planktonic communities in a changing environment.** J. Limnol. 64 (2): 119a128 pp.
- MacArthur, R.H. y Wilson E.O. 1967. **The theory of island biogeography.** Princeton University Press.
- McManus J., R. W. Collier, C. Chen y J. Dymond. 1992. **Physical properties of Crater Lake, Oregon: A method for the determination of a conductivity and temperature dependent expression for salinity.** Limnol. Oceanogr. 37 (1): 41 a 53 pp.
- McManus, J., R. Collier, J. Dymond, C. G. Wheat y G. L. Larson. 1996. **Spatial and temporal distribution of dissolved oxygen in Crater Lake, Oregon.** Limnol. Oceanogr. 41 (4): 722 a 731 pp.
- McIntire, C. D., G. L. Larson y R. E. Truitt. 2007. **Seasonal and inter annual variability in the taxonomic composition and production dynamics of phytoplankton assemblages in Crater Lake, Oregon.** Hydrobiologia 574: 179 a 204 pp.

- Medrano, Z. F. 2007. **Estado Trófico del Lago Cráter la Alberca de Tacámbaro, Michoacán, México.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 100 pp.
- Melack, J., 1979. **Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes.** *Oecologia*. 44: 1 a 7 pp.
- Moreno, C. E., 2001. **Métodos para medir la biodiversidad.** MyTaManuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España. 84 pp.
- Nygaard, G. 1949. **Hydrobiological Studies on some Danish Ponds and Lakes. Part II quotient Hypothesis and some New or Little Known Phytoplankton Organisms.** Printed in Denmark. 293 pp.
- OCDE. 1982. **Eutrophication: monitoring assessment and control.** Organization for Economic Cooperation and Development. Paris 154 pp.
- Oliva, M. M. G. 2001. **Estudio de la Variación Vertical y Temporal de las Comunidades Fitoplanctónicas Durante el Florecimiento de Cianofíceas en el Lago Cráter Alchichica, Puebla.** Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 134 pp.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer, L. Peralta y M. R. Sánchez. 2001. **Phytoplankton Dynamics in a Deep, Tropical, Hyposaline Lake.** *Hydrobiologia* 466: 299 a 306 pp.
- Oliver, R. L. y G. G. Ganf. 2000. **Freshwater blooms** en: Whitton B. A. y M. Potts (eds). **The ecology of cyanobacteria: Their diversity in time and space.** Kluwer Academic Publisher Dordrecht. 149 a 194 pp.
- Ordoñez, E., 1946. **Provincias Geográficas y Geológicas de la República Mexicana.** Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ortega, M. M. 1984. **Catalogo de Algas Continentales Recientes de México.** Universidad Nacional Autónoma de México. México. 565 pp.
- Patiño A. J. M. 2000, **Las siete luminarias valle de santiago**, Escuela Rafael Barba Pérez. En:[http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi\\_volcanes/norteamerica/las7luminarias.htm](http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_volcanes/norteamerica/las7luminarias.htm) Fecha de acceso 25 de Enero del 2007.
- Patrick, R. y Reimer W. C. 1966. **The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii.** Monograph of the Academy of natural Sci. of Philadelphia. I (13); XI 688 pp.

- Patrick, R. y Reimer W. C. 1975. **The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii**. Monograph of the Academy of natural Sci. of Philadelphia. II (13); XI 688 pp.
- Pedrozo, F., L. Kelly, M. Diaz, P. Temporetti, G. Baffico, R. Kringel, K. Friese, M. Mages, W. Geller y Woelfl. 2001. **First Results on the Water Chemistry, Algae and Trophic Status of an Andean Acid Lake System of Volcanic Origin in Patagonia (Lake Caviahue)**. Hydrobiologia. 452: 129 a 137 pp.
- Prescott, W. G. y Vinyard C. W. 1982. **A synopsis of North American desmids**. University of Nebraska Press. United States of America. 685 pp.
- Quiroz, C. H., O. Mondragon E., I. Molina A., J. García R. y M. Díaz V. 2008. **Dinámica espacio-temporal del oxígeno-temperatura en los Lagos de Zempoala y Tonatiahua**. Acta Universitaria. Universidad de Guanajuato. 57 a 65 pp.
- Ramírez García, P. y F. VázquezGutiérrez. 1989. Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología 16 (1): 1 a 16
- Ramos Higuera, E., J. Alcocer, E. OrtegaaMayagoitia y A. Camacho. 2008. **Nitrógeno: elemento limitante para el crecimiento fitoplanctónico en un lago oligotrófico tropical**. Hidrobiológica 18 (1 Suplemento), 105 a 113 pp.
- Rast, W. and G.F. Lee. 1978. **Summary analysis of the North American (U.S. portion) OECD Eutrophication Project: Nutrient loadingalake response relationships and trophic state indices**. Ecological Research Series, No. EPAa600/3a78a008, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon. 454 pp.
- Reynolds, C.S. 1984. The Ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press. 384 pp.
- Reynolds C. S. y Walsby A. E. 1975. **Water-blooms**. Biol. Rev. 1975; 50:437 a 481pp.
- Roldan, P.G. y J. Ramírez J. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical, Universidad de Medellin. 2ª edición. 440 pp.
- Romo, P. S. G. 1989. **Estudio del fitoplancton de un lago somero y oligotrófico: Loch Rusky (Escocia)**. Anales Jard. Bot. Madrid. 46(1): 127 a 138 pp.
- Round, F. E. 1981. **The Ecology of Algae**. Cambridge, Cambridge University Press. 243 a 356 pp.

- Round, F. E., R.M. Crawford y D.G Mann. 1990. **The Diatoms Biology y Morphology of the Genera.** Press Syndicate of the University of Cambridge. United Kingdom. 747 pp.
- Ryder, R. A. y R. Torres-Orozco B. 1992. **Geomorfología y batimetría del Lago de Catemaco, Veracruz, México.** An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 19 (1): 17 a 22.
- Sakamoto, M. 1966. **Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth.** Arch. Hydrobiol. 62: 1 a 28 pp.
- Schabetsberger, R., G. Drozdowski, I. Drozdowski, C. D. Jersabek y E. Rott. 2004. **Limnological aspects of two tropical crater lakes (Lago Biao and Lago Loreto) on the island of Bioko (Equatorial Guinea).** Hydrobiologia 524: 79 a 90 pp.
- Schwoerbel, J. 1975. **Metoden der Hydrobiologie.** H. Blume Ediciones. España. 261 pp.
- Shapiro, J. 1990. **Bio-manipulation: the next phase making it stable.** Hydrobiologia, 200/201: 13 a 27 pp.
- Shikano, S., E. Kikuchi, S. Takagi y H. Doi. 2004. **Volcanic heat flux and short-term holomixis Turing the summer period in a crater lake.** Limnol Oceanogr. 49 (6): 2287 a 2292 pp.
- Smolders, A. J. P., L. P. P. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. Van der velde y J. G. M. Roelofs. 2006. **Internal eutrophication: How it Works and what to do about it a review.** Chemistry and Ecology 22: 93 a 111 pp.
- Smith, M. G. 1920. **Phytoplankton of the Inland Lakes of Wisconsin,** Published by the State. Madison. Wis. 227 pp.
- Smith, M. G. 1924. **Phytoplankton of the Inland lakes of Wisconsin Part II.** Wisconsin Geological Natural History Survey. Bulletin 57 General series No. 1048. 716 pp.
- Tavera, R. 1996. **Phytoplankton of the Tropical Lake Catemaco.** Ph D Thesis. Faculty of Biological Sciences. Univ. Of South Bohemia. Czech Republic 63 pp. 15 fig. y 14 tabs.
- Tavera, R. y V. Martínez-Almeida. 2005. **Atelomixis as a Possible Driving Force in the Phytoplankton Composition of Zirahuén, A Warm Monomictic Tropical Lake.** Hydrobiologia 533: 199 a 208 pp.

- Torres-Orozco, R., C. Jiménez-Sierra y A. Pérez-Rojas. 1996: **Some limnological features of three lakes from Mexican neotropics**. *Hydrobiologia* 341: 91 a 99 pp.
- Torres-Orozco, R., C. Jiménez-Sierra y J. L. Buen Abad, 1994. **Caracterización limnológica de dos cuerpos de agua tropicales de Veracruz, México**. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 21: 107 a 117 pp.
- Telfer, T. 1998. **Multivariate Statistical Package**. Version 3.01. Kovach Computing Services. Isle of Anglesey, Wales, U.K.
- Urbach, E., K.L. Vergin, G.L. Larson y S.J. Giovannoni, 2007. **Bacterioplankton Communities of Crater Lake, OR: Dynamic Changes with Eufotic Zone Food Web Structure and Sensible Deep Water Populations**. *Hydrobiologia*. 574: 161 a 177 pp.
- Utermöhl, H., 1958. **Zur Vervollkomung der quantitativen PhytoplanktonaMethodik**. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9: 1 a 38 pp.
- Vázquez, G., M. E. Favila, R. Madrigal, C. Montes del Olmo, A. Baltanás y M. A. Bravo. 2004. **Limnology of Crater Lakes in Los Tuxtlas, México**. *Hydrobiologia* 523: 59 a 70 pp.
- Vázquez, G., S. Jiménez, M. E. Favila y A. Martínez. 2005. **Seasonal dynamics of the phytoplankton community and cyanobacterial dominate in a eutrophic crater lake in Los Tuxtlas, México**. *Ecoscience* 12 (4): 485 a 493 pp.
- Walker, W. W. 1979. **Use of Hypolimnetic Oxygen Depletion Rate as a Trophic State Index for Lakes**. *Water Resources Research*. 15 (6): 1463 a 1470 pp.
- Wetzel, R. G. 1981. **Limnología**. Ed. Omega S. A. Barcelona, España. 679 pp.
- Wetzel, R. G. 2001. **Limnology**. Third edition. Academic Press. San Diego California USA. 1006 pp.
- Whitford, A. L. y J. G. Schumacher. 1973. **A Manual of Freshwater algae**. Published by Sparks Press Raleigh N. C. 324 pp.
- Whittaker, R. H. 1960. **Vegetation of the Sishiyu Mountains**. *Ecol, Monogr.* 26: 1 a 80 pp.
- Whittaker, R. J., K. J. Willis y R. Field. 2001. **Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity**. *Journal of Biogeography*. 28: 453 a 470 pp.

Zubieta, R. T. y Criollo, A. C. 2006. **Plan de Manejo del Área Natural Protegida "Cerro Hueco a La Alberca"**. Facultad de Biología UMSNH. Morelia, Michoacán, México.



## ANEXO

Cuadro 3.7. Variables fisicoquímicas y biológicas de los Lagos Cráter de Michoacán durante el 2009.

VARIABLE	ESPINOS		TACAMBARO		TEREMENDO	
	Promedio	Desvest	Promedio	Desvest	Promedio	Desvest
Temperatura del aire (°C)	26.29	3.11	25.34	2.35	21.50	4.19
Temperatura del agua (°C)	19.06	2.46	19.75	2.50	17.80	2.34
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2.58	2.65	2.51	3.33	2.41	2.98
Transparencia (m)	4.17	1.91	1.79	0.64	0.34	0.46
Zona Fótica (m)	10.42	4.79	4.49	1.59	0.86	1.15
Profundidad (m)	26.04	0.18	25.88	0.12	8.82	0.13
Nitrogeno amoniacal (mg/L)	0.979	0.710	0.468	0.539	0.963	1.159
Nitrogeno-nitratos (mg/L)	0.0003	0.0005	0.0029	0.0030	0.0014	0.0014
Nitrogeno-nitritos (mg/L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fósforo Total (mg/L)	1.21	0.55	0.85	0.20	0.99	0.55
Fósforo Reactivo (mg/L)	0.43	0.23	0.23	0.10	0.19	0.16
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	1390.35	98.02	267.63	85.85	471.64	77.17
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	689.80	47.01	132.27	52.23	227.66	39.10
Salinidad (0/00)	0.70	0.05	0.10	0.01	0.20	0.04
Dureza Total (mg/L)	343.70	49.13	120.00	12.30	153.71	19.78
Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	229.09	70.56	116.64	61.54	157.30	81.88
Alcalinidad Parcial (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	14.58	14.37	1.24	6.61	4.23	10.19
Hidroxilos OH (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonatos CO <sub>3</sub> (mg/L Ca CO <sub>3</sub> )	29.16	28.74	2.48	13.23	8.46	20.38
Bicarbonatos HCO <sub>3</sub> (mg/L Ca CO <sub>3</sub> )	199.93	90.31	114.15	63.42	153.07	85.42
Potencial Hidrógeno ( u pH)	8.36	0.44	7.63	0.55	8.15	0.53
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	5.02	4.49	6.05	6.70	11.63	8.68
Clorofila a (µg/L)	27.13	95.71	9.09	7.52	19.38	22.56