



**GOBIERNO DE CHILE**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**DPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS**

**ANÁLISIS DE FITOPLANCTON EN  
MUESTRAS DE AGUA  
INFORME FINAL  
REALIZADO POR:  
CENTRO EULA, UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN**

**ID: 1019-29-LE17**

**SANTIAGO, DICIEMBRE 2017**

# **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

**Ministro de Obras Públicas**

**Sr. Alberto Undurraga Vicuña**

**Director General de Aguas (T.P.)**

**Sr. Carlos Estévez Valencia**

**Jefe de Dpto. de Conservación y Protección de Recursos  
Hídricos**

**Sra. Mónica Musalem Jara**

**Inspector Fiscal**

**Srta. Marysol Azocar Gutierrez**

## **NOMBRE CONSULTORES:**

### **Director del Proyecto**

**Sr. Roberto Urrutia** (Biólogo, Dr. en Ciencias Ambientales)

### **Profesionales:**

**Sra. Viviana Almanza** (Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Ambientales)

**Sra. Silvia Basualto** (Biólogo Marino, Mg. en Ciencias mención  
Botánica)

**Sr. Oscar Parra B.** (Licenciado en Biología, Dr. Recursos Naturales)

SIT N°415 del 2017

## **TABLA DE CONTENIDO**

1.- INTRODUCCIÓN .....	9
2.- OBJETIVOS .....	12
3.- METODOLOGÍA.....	12
3.1. Área de estudio y cuerpos de aguas estudiados .....	12
3.2. Recolección y tratamiento de las muestras .....	15
3.3. Análisis cualitativo e identificación taxonómica .....	16
3.4. Análisis cuantitativo .....	18
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Laguna Petrel .....	27
4.2. Laguna Perro.....	29
4.3. Lago Torca.....	32
4.4. Lago Vichuquén .....	35
4.5. Lago Los Batros.....	42
4.6. Lago Butaco .....	45
4.7. Lago Lloncao .....	49
4.8. Lago Lencan.....	53
4.9. Lago Caburgua .....	58
4.10. Lago Antiquina.....	60
4.11. Lago Lleulleu .....	63
4.12. Lago Colico .....	67

4.13. Lago Villarrica.....	72
4.14. Lago Maihue.....	82
4.15. Lago Ranco .....	86
4.16. Lago Chapo .....	90
4.17. Lago Llanquihue.....	94
4.18. Lago Tepuhueico .....	102
4.19. Lago Tarahuín .....	104
4.20. Lago Natri .....	106
4.21. Lago San Antonio.....	110
4.22. Lago Yaldad .....	112
5. CONCLUSIONES .....	114
6. RECOMENDACIONES .....	118
7. BIBLIOGRAFÍA.....	121
8. ANEXOS .....	126

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Número de muestras analizadas.....	15
Tabla 2. Clasificación utilizada para la identificación taxonómica.....	18
Tabla 3. Listado de especies, Laguna Petrel. ....	28
Tabla 4. Listado de especies, Laguna Perro. ....	31
Tabla 5. Listado de especies, Laguna Torca.....	34
Tabla 6. Número de muestras analizadas en el Lago Vichuquén.....	35
Tabla 7. Listado de especies, Lago Vichuquén. ....	37
Tabla 8. Listado de especies, Esteros del Lago Vichuquén. ....	40
Tabla 9. Listado de especies presentes en la Laguna Los Batros. ....	44
Tabla 10. Listado de especies presentes en el Lago Butaco. ....	48
Tabla 11. Número de muestras analizadas en el Lago Lloncao.....	49
Tabla 12. Listado de especies, Laguna Lloncao. ....	51
Tabla 13. Listado de especies presentes en la laguna Lencan. ....	54
Tabla 14. Listado de especies, ríos de la laguna Lencan.....	56
Tabla 15. Listado de especies, lago Caburgua. ....	59
Tabla 16. Listado de especies, la Laguna Antiquina. ....	62
Tabla 17. Número de muestras analizadas en el lago Lleulleu.....	63
Tabla 18. Listado de especies, lago Lleulleu. ....	65
Tabla 19. Número de muestras analizadas en el Lago Colico. ....	67
Tabla 20. Listado de especies, Lago Colico.....	69
Tabla 21. Listado de especies, ríos del Lago Colico.....	71
Tabla 22. Número de muestras analizadas en el lago Villarrica. ....	72
Tabla 23. Listado de especies, Lago Villarrica. ....	74
Tabla 24. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica.....	80
Tabla 25. Listado de especies, Lago Maihue. ....	83

Tabla 26. Listado de especies, ríos del Lago Maihue. ....	85
Tabla 27. Número de muestras analizadas en el lago Ranco. ....	86
Tabla 28. Listado de especies en el Lago Ranco. ....	89
Tabla 29. Número de muestras analizadas en el lago Ranco. ....	90
Tabla 30. Listado de especies, Lago Chapo. ....	92
Tabla 31. Número de muestras analizadas en el lago Llanquihue. ....	94
Tabla 32. Listado de especies, Lago Llanquihue. ....	96
Tabla 32. Continuación. Listado de especies, Lago Llanquihue. ....	97
Tabla 33. Listado de especies, ríos del Lago Llanquihue. ....	100
Tabla 34. Listado de especies presentes en la Laguna Tepuhueico. ...	103
Tabla 35. Listado de especies, Laguna Tarahuín. ....	105
Tabla 36. Número de muestras analizadas en el lago Natri. ....	106
Tabla 37. Listado de especies, Lago Natri. ....	108
Tabla 38. Listado de especies, Lago San Antonio. ....	111
Tabla 39. Listado de especies, lago Yaldad. ....	113

## LISTA FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados.....	13
Figura 2. a. Microscopio Carl Zeiss Axioplan. b. Microscopio invertido Zeiss Axiovert 35 West Germany.....	16
Figura 3. Cámaras de 10, 25, 50 y 100 ml utilizadas en el método de Utermöhl.....	19
Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.....	27
Figura 5. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Perro.....	29
Figura 6. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Torca.....	32
Figura 7. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.....	36
Figura 8. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén.....	39
Figura 9. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Los Batros.....	42
Figura 10. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Butaco.....	45
Figura 11. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Lloncao.....	50
Figura 12. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la laguna Lencan.....	53
Figura 13. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Caburgua.....	58
Figura 14. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Antiquina.....	60

Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Lleulleu. ....	64
Figura 16. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Colico.....	68
Figura 17. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Colico. ....	70
Figura 18. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.....	73
Figura 19. a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Villarrica. b. Análisis MDS según el mes y año. ....	78
Figura 20. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Maihue. ....	82
Figura 21. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Ranco. ....	87
Figura 22. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Ranco.....	88
Figura 23. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Chapo. ....	91
Figura 24. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Chapo. ....	93
Figura 25. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.....	95
Figura 26. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue.. ....	98
Figura 27. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Tepuhueico.....	102
Figura 28. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Tarahuín. ....	104
Figura 29. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Natri. ....	107
Figura 30. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Natri. ....	109

Figura 31. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago San Antonio..... 110

Figura 32. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Yaldad..... 112

## **ANEXOS**

Anexo 1. Protocolo de análisis de fitoplancton. Laboratorio de fitoplancton y Fitobentos, Centro EULA.....	127
Anexo 2. Tablas de resultados del análisis de las muestras.....	133
Anexo 3. Fotografías de microalgas.....	268

## **1.- INTRODUCCIÓN**

El fitoplancton (microalgas) es considerado como un buen indicador de cambios de los sistemas acuáticos continentales (Medina et al. 2012), ante variaciones en las condiciones ambientales como incremento de nutrientes y sustancias químicas, cambios en condiciones de luz, temperatura, pH, entre otros, responden de manera rápida y previsible variando la composición de especies y la biomasa.

Algunas especies tienen la capacidad de adaptarse cuando su medio cambia, estas son llamadas comúnmente especies oportunistas o generalistas, ya que sobreviven en diferentes tipos de hábitats y pueden rápidamente aumentar la abundancia y dominar el sistema, mientras que especies especialistas, aquellas que ocupan un nicho ecológico muy concreto, tienden a disminuir su abundancia o desaparecer.

En este sentido, aguas contaminadas tenderán a albergar una mayor abundancia de aquellas especies que pueden sobrevivir y adaptarse a condiciones extremas (UNE, 2015), como baja transparencia del agua y alta concentración de nutrientes en el caso de la eutrofización. Bajo este principio, varios países de Europa y en Estados Unidos utilizan las microalgas, especialmente las diatomeas, como herramienta de monitoreo de la calidad del agua de ríos y lagos (UNE, 2015).

La abundancia del fitoplancton (medida en biomasa como clorofila a), se utiliza también para clasificar las características ambientales de un sistema (estado trófico) (Barbosa & Padisák, 2004), esta variable junto

con la concentración de nutrientes y la transparencia del agua permite clasificar los ecosistemas lóticos y lénticos, en cuatro diferentes categorías, denominados estados tróficos: 1. Oligotrófico: baja productividad primaria y biomasa, asociado a bajas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo). 2. Mesotróficos: transición entre las condiciones oligotróficas y eutróficas. 3. Eutróficos: alta concentración de nutrientes asociados a una alta producción de biomasa (alta concentración de clorofila a y número de células), por lo general con una baja transparencia. En estos sistemas la aparición de floraciones microalgales o "blooms" es frecuente, por lo que se consideran como indicadores del proceso de eutrofización. Estos ecosistemas también pueden mostrar muchos efectos sobre las características organolépticas del agua. Las concentraciones de oxígeno pueden ser muy bajas. 4. Hipereutróficos: Lagos muy eutróficos con alta concentración de nutrientes y producción de biomasa asociada.

El estado trófico de un ecosistema se asocia con la calidad del agua del mismo, así un ecosistema oligotrófico presenta una buena calidad del agua y es posible utilizar el recurso hídrico, por ejemplo para consumo directo, acuicultura o para riego, directamente para turismo (p.e. deportes náuticos, pesca deportiva, actividades en la playa). Un ecosistema eutrófico se asocia a mala calidad del agua, por lo que las actividades turísticas son restringidas y no es posible o se dificulta la captación de agua para su consumo, en términos del posterior tratamiento.

En Chile, de acuerdo a las disposiciones establecidas en el art. 129 bis 3 del Código de Aguas, la Dirección General de Aguas (DGA), realiza un monitoreo del fitoplancton de los cuerpos de agua (lóticos y lénticos) de

Chile, en el marco de controlar la calidad, cantidad y niveles de las aguas tanto superficiales como subterráneas. En consecuencia, se hace necesario y es útil determinar el estado actual de fitoplancton de los lagos de Chile y verificar la variación de éste a través del tiempo. Además, la recolección de estos antecedentes pueden ser especialmente relevantes para la proposición de estudios posteriores, teniendo en cuenta también que este parámetro ha sido incorporado a la red de observación de las Norma Secundaria Calidad Ambiental (NSCA) aplicada a ciertos lagos, donde se incluye en la red de observación el monitoreo de parámetros biológicos.

En este trabajo, se identificaron taxones de fitoplancton y sus respectivas abundancias en 22 lagos de la zona centro y sur del país.

## **2.- OBJETIVOS**

Analizar muestras de fitoplancton de 22 lagos y algunos de sus afluentes y efluentes, identificar taxonómicamente las especies presentes y sus respectivas abundancias relativas y totales.

## **3.- METODOLOGÍA**

### 3.1. Área de estudio y cuerpos de aguas estudiados

Los lagos estudiados se encuentran localizados en el área central y sur del país, entre la Región de O'Higgins ( $34^{\circ} 22' 47''$  S;  $72^{\circ} 00' 00''$  O) hasta la Región de los Lagos ( $43^{\circ} 01' 12''$  S;  $73^{\circ} 50' 18''$  W), estos sistemas incluyen lagos de la zona central, los lagos Araucanos o Nord Patagónicos (Thomasson, 1963; Parra, 1995), lagos Nahuelbutanos y lagos de la Isla de Chiloé. Estos ecosistemas acuáticos poseen diversos niveles de trofía e influencia humana y están bajo el control de la Dirección General de Aguas a través de la Red Nacional de Monitoreo de Lagos (Figura 1 a,b).



Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados. a. Cuerpos de agua localizados entre la Región de O'Higgins y la Región de los Lagos.

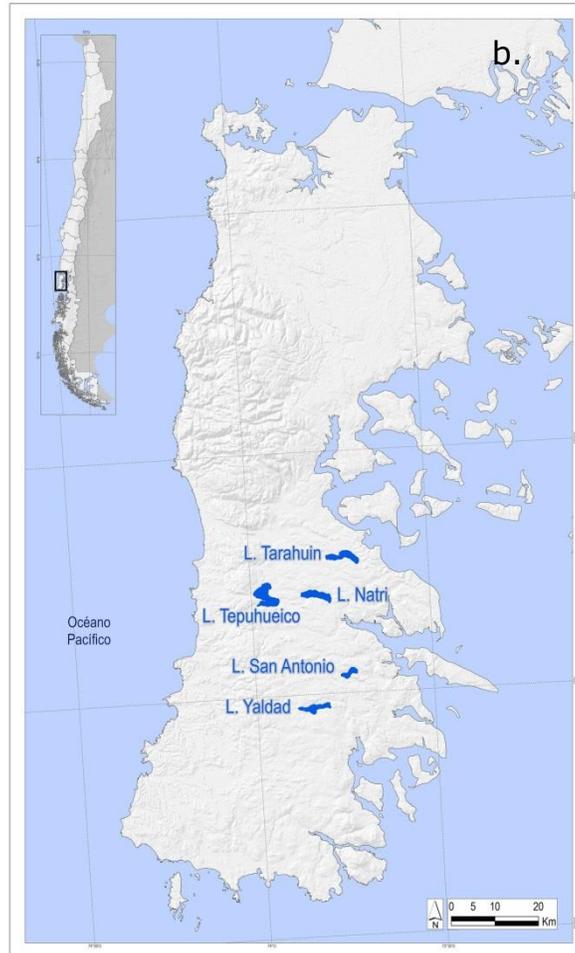


Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados. b. Cuerpos de agua localizados en la Isla de Chiloé, Región de Los Lagos.

### 3.2. Recolección y tratamiento de las muestras

La Dirección General de Aguas procedió a realizar el monitoreo de fitoplancton en terreno, para lo cual se colectaron muestras cuantitativas de fitoplancton en botellas de 500 ml en 22 lagos (Tabla 1) con una botella Van dorn a diferentes profundidades y a nivel superficial en algunos efluentes y afluentes de cada sistema.

Tabla 1. Número de muestras analizadas.

<b>Cuerpo de agua</b>	<b>Número de muestras</b>
Laguna El Petrel	1
Laguna El Perro	1
Laguna Torca	2
Lago Vichuquén	19
Laguna Los Batros	3
Laguna Butaco	2
Laguna Lloncao	4
Laguna Lencan	3
Lago Caburgua	3
Laguna Antiquina	2
Lago Lleu lleu	6
Lago Colico	13
Lago Villarrica	67
Lago Maihue	7
Lago Ranco	6
Lago Chapo	6
Lago Llanquihue	40
Lago Tepuhueico	1
Lago Tarahuin	2
Lago Natri	4
Lago San Antonio	1
Lago Yaldad	1
<b>Total</b>	<b>194</b>

Además, se realizó un muestreo cualitativo, el cual consistió en un arrastre con red de fitoplancton de 50 micras en cada estación de muestreo en cada lago. Cada muestra fue guardada en frascos plásticos de 500 ml debidamente rotulados y conservados en fresco a 4 ° C, posteriormente se preservaron con solución lugol 1 % hasta su observación.

### 3.3. Análisis cualitativo e identificación taxonómica

Para identificar las especies de microalgas presentes en las muestras de agua se realizó un análisis cualitativo, mediante la observación en un microscopio Carl Zeiss Axioplan en el objetivo 40 x (Figura 2), realizando un inventario de todos los taxones presentes.

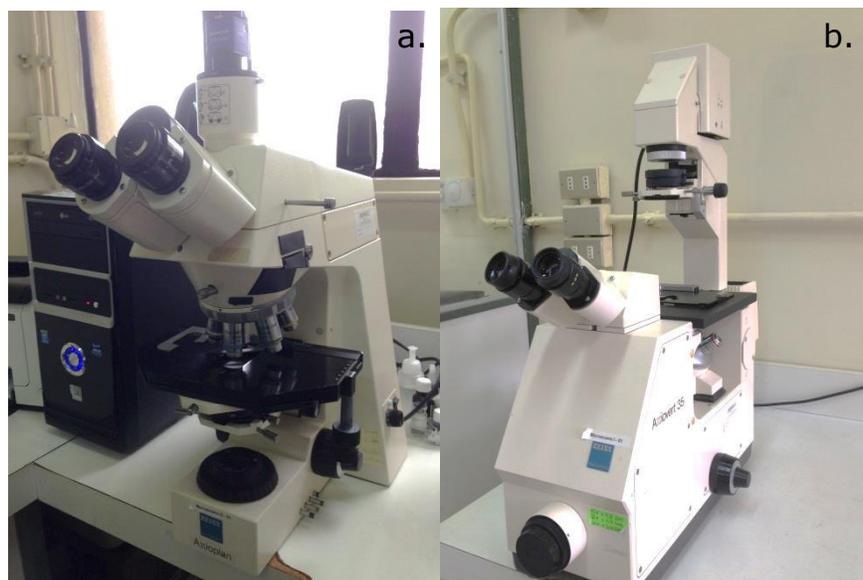


Figura 2. a. Microscopio Carl Zeiss Axioplan. b. Microscopio invertido Zeiss Axiovert 35 West Germany.

Para la clasificación de los diferentes grupos algales se utilizó la clasificación propuesta por Guiry (2005) en la base de datos de algas Algaebase, publicada *on line* (Tabla 2).

La identificación de los organismos se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Para facilitar la identificación taxonómica se utilizaron diferentes técnicas que facilitaron la observación de las células y de estructuras específicas. Para la identificación de diatomeas se realizó la oxidación de materia orgánica y observaron muestras en microscopía electrónica, para observar el mucílago de filamentos y/o colonias en las cianobacterias se realizaron tinciones con tinta china. En los dinoflagelados se utilizó hipoclorito de sodio para separar las placas y realizó una posterior observación en el microscopio.

Se utilizó literatura especializada para identificar los diferentes grupos: para la identificación de las algas verdes se utilizó Bock et al. (2011), Leliaert et al. (2012) y Krienitz & Bock (2012), para Cyanobacteria Komárek & Anagnostidis (2000, 2005), Komárek (2013), Komárek et al. (2014), para las clases Chrysophyceae y Synurophyceae Andersen (2007), Cryptophyceae, Cerino & Zingone (2007) y Choi et al. (2013), Dinophyceae, Moestrup & Daugbjerg (2007), Euglenophyceae Marin et al. (2003) y Triemer & Farmer (2007), para Bacillariaceae se utilizó Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot & Ulrich (2014). Finalmente, para todos los grupos algales se consultó Parra et al. (1982-1983) y Guiry & Guiry (2016). En algunos casos para la confirmación taxonómica se consulto con expertos.

Tabla 2. Clasificación utilizada para la identificación taxonómica.

<b>PHYLUM</b>	<b>CLASE</b>
Bacillariophyta	Bacillariophyceae
	Coscinodiscophyceae
	Mediophyceae
Cryptophyta	Cryptophyceae
Chlorophyta	Chlorophyceae
	Trebouxiophyceae
Charophyta	Conjugatophyceae
	(Zygnematophyceae)
	Klebsormidiophyceae
Miozoa	Dinophyceae
Ochrophyta	Chrysophyceae
	Synurophyceae
	Xanthophyceae
Cyanobacteria	Cyanophyceae
Euglenophyta	Euglenophyceae

### 3.4. Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo de las muestras se realizó con microscopio invertido de marca Zeiss, siguiendo el método de Utermöhl (1958) (Figura 2). Las muestras fueron agitadas vigorosamente para lograr la homogeneización y disgregación de las masas celulares antes de realizar la sedimentación. El volumen de las cámaras utilizadas dependió de la densidad del fitoplancton (concentración de células por ml de muestra) (Alveal, 1995). A mayor concentración de células se ocuparon cámaras de menor volumen para sedimentar las muestras (Figura 3).

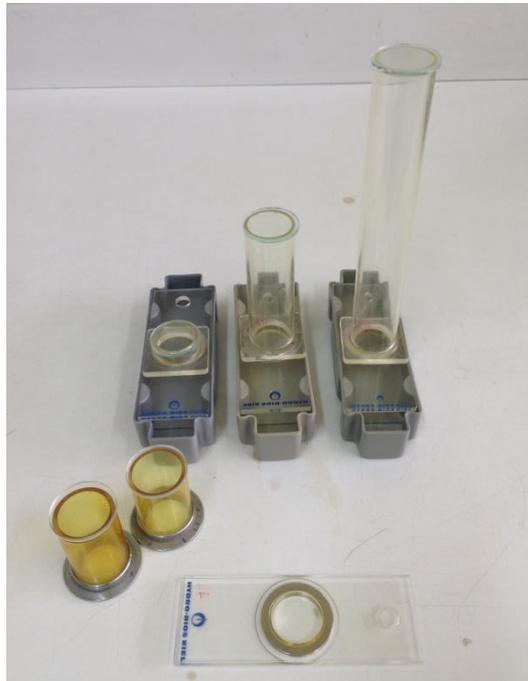


Figura 3. Cámaras de 10, 25, 50 y 100 ml utilizadas en el método de Utermöhl.

La cuantificación de células se realizó por transectas y/o campos dependiendo de la densidad de células. Todas las muestras fueron analizadas según lo establecido en el protocolo de análisis de muestras de fitoplancton para sistemas acuáticos continentales del Laboratorio de Fitoplancton y Fitobentos, Centro EULA (Anexo 1).

Se contabilizó al menos 100 individuos de la especie más frecuente (Elosegi & Sabater, 2009) y/o un mínimo 400 células por muestra. Los resultados fueron reportados a través del número de células por litro (cel/L) (Hötzels & Croome, 1999).

Para estimar el número de células por transectos se utilizó la siguiente fórmula:

$$N^0/ml = C \times At / L \times A \times N \times V$$

Dónde:

C = número de organismos contados

At = área total de la cámara, mm<sup>2</sup>

L = longitud del transecto, mm

A = ancho del transecto, mm

N = número de transectos contados

V = volumen de la muestra asentada (volumen de la cámara) (APHA, 2012)

Para un recuento por campos:

$$N^0/ml = C \times At / Ac \times N \times V$$

Dónde:

C = número de organismos contados

At = área total de la cámara, mm<sup>2</sup>

Ac = área del campo, mm<sup>2</sup>

N = número de campos contados

V = volumen de la muestra asentada (volumen de la cámara) (APHA, 2012)

El área de la cámara utilizada fue de 530,93 mm<sup>2</sup>, diámetro de la cámara 26 mm, área del campo en 40x 0,212 mm<sup>2</sup>, área del transecto en 40x 13,520 mm<sup>2</sup>.

En el caso de microalgas que forman colonias (con tamaños de célula > 5 µm) y/o filamentos, se contó el número de colonias/filamentos observables en cada campo y el número de células observables en cada colonia/filamento (mínimo en 30), posteriormente, se calculó un promedio con el que se determinó el número de células por litro (Cel./L) (Hötzel & Croome, 1999). En filamentos con células muy pequeñas

difíciles de contar, se midió el largo del filamento (en mínimo 30 filamentos) y en una fracción, también conocida, se contó el número de células, luego se determinó el número de células al utilizar este factor (Bellinger & Sigee, 2010).

### **3.5. Análisis de datos**

Todos los datos de los conteos realizados por muestra y agrupadas por lagos y sitios de muestreo se presentan en las tablas del anexo 2. Se realizaron listados de todos los taxones registrados en cada lago, y construyeron tablas por cada lago. Se determinó la riqueza total de taxones en cada lago.

Para saber cuál es la composición de la comunidad fitoplanctónica en cada lago y las especies dominantes, se analizaron los datos tomados en cada muestra. Los datos fueron agrupados por lago, sitio de muestreo, profundidad, época del año y/o mes y analizados con estadística descriptiva (mínimo, máximo, promedio) y multivariada con el programa PRIMER 6.

La abundancia total de las clases de microalgas también fue determinada para cada lago, realizando una suma del número de células presente por clase en todas las muestras, sin agruparlas en el tiempo y el espacio. Se graficó para cada lago el aporte porcentual (abundancia relativa) de cada clase, con el objetivo de tener una visión general de la estructura de la comunidad de fitoplancton, posteriormente, y en lagos con mayor cantidad de muestras, se realizaron análisis para identificar diferencias en la abundancia en cuanto a las épocas del año, los sitios de muestreo y las diferentes profundidades muestreadas. También se determinaron las especies más abundantes en cada lago.

En cada muestra se determinó la riqueza (número de taxones presentes en una unidad de muestreo definida), diversidad (índice de diversidad de Shannon & Weaver), uniformidad (índice de equidad de Pielou, indica la regularidad o uniformidad con que los individuos están distribuidos) y dominancia (Índice de Simpson, probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie) de taxones presentes. Esta información también fue agrupada por lago con el fin de realizar comparaciones entre estos.

La determinación de los índices se realizó en el programa PRIMER 6 de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

*Riqueza (S): Número total de especies*

La Riqueza (S) se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta sus valores de importancia.

*Diversidad de Shannon– Weaver (H'log 10):*

Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, en la mayoría de los ecosistemas varía entre 0,5 y 5, normalmente su valor está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad (p.e. zonas desérticas) y superiores a 3 son altos en diversidad de especies por ejemplo los bosques tropicales y arrecifes de coral.

$$H' = - \sum (P_i * \text{Log} (P_i))$$

Donde,

Pi = abundancia proporcional de la especie *i*, ni/N

ni = Abundancia para la especie *i*

N = Total de todas las especies

*Índice de equidad de Pielou (J')*:

La medida de uniformidad (también llamada equitatividad) de una comunidad se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pielou } J' = H'/\text{Log}(S)$$

Donde,

H' = índice de diversidad de Shannon

S = número de especies (o riqueza).

Al igual que con la diversidad el índice de uniformidad considera que todas las especies de la comunidad están representadas en la muestra. Pielou adopta valores entre 0 y 1, el número 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad.

*Índice de Simpson ( $\lambda$ ):*

$$\lambda = \sum (Pi)^2$$

Donde

$P_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir  $n_i/N$ .

Este índice va entre 0 y 1, cuanto más se acerca el valor a la unidad existe una mayor posibilidad de dominancia de una especie y/o de una población; y cuanto más se acerque el valor a cero mayor es la biodiversidad de un hábitat.

Para determinar diferencias entre las comunidades presentes entre las estaciones de muestreo de cada lago y a nivel temporal, se realizó un análisis de conglomerados. Previamente, los datos de abundancia fueron transformados a  $\text{Log}(n+1)$  y se utilizó el índice de Bray Curtis (Clarke & Warwick, 2001). Diferencias significativas entre los sitios de muestreo del lago, profundidad y las estaciones del año fueron determinadas con el análisis ANOSIM<sup>1</sup>. Para cada prueba se calculó de forma independiente el estadístico Global R, el que utiliza numerosas simulaciones, originando un nivel de significancia para rechazar o no la hipótesis nula; en niveles inferiores al 5 % se rechazan las hipótesis nulas (Clarke & Warwick, 2001).

---

<sup>1</sup> El análisis de similitudes (ANOSIM) proporciona una forma de evaluar estadísticamente si existe una diferencia significativa entre dos o más grupos de unidades de muestreo, opera directamente en una matriz de diferencias. Si dos grupos de unidades de muestreo son realmente diferentes en su composición de especies, las diferencias de composición entre los grupos deberían ser mayores que las de los grupos. El valor de R se basa en la diferencia de rangos medios entre grupos y dentro de grupos.

#### **4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se presentan los resultados del análisis de 194 muestras de fitoplancton, correspondientes a 22 cuerpos de agua lénticos y 15 lóticos de la red de control de lagos de la DGA.

En los lagos estudiados, se reportan 14 diferentes clases de microalgas (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Cryptophyceae, Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Klebsormidiophyceae, Dinophyceae, Chrysophyceae, Synurophyceae, Xanthophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae).

El phylum más abundante fue Bacillariophyta, el que representó más del 50 % de la abundancia relativa de microalgas en 11 de los lagos estudiados (Laguna El Petrel, Laguna Los Batros, Lago Caburgua, Lago Colico, Lago Villarrica, Lago Maihue, Lago Ranco, Lago Llanquihue, Lago Tarahuin, Lago Natri y Lago Yaldad), seguido por las cianobacterias en los lagos Laguna El Perro, Laguna Torca, Laguna Butaco, Laguna Lloncao, Lago Vichuquén Laguna Antiquina y Lago Lleulleu, las algas verdes Chlorophyta en la Laguna Lencan, Miozoa en el Lago Chapo, Ochrophyta en el Lago San Antonio y Cryptophyta en el Lago Tepuhueico.

Las diatomeas dominaron la comunidad de 13 de los ríos estudiados (Afluente lago Lecan, Efluente lago Lecan, Río Trafampulli, Río Curaco, Río Pucón, Río Tolten, Río Blanco, Río Melipue, Río Huanalhue, Río Calarrupe, Río Tepu, Río Maullín, Río Pescado), solo en un río fueron las cianobacterias (Estero Llico) y las Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) (Estero Vichuquén).

Para cada ecosistema acuático se presenta la siguiente información:

1. Listado de especies.
2. Abundancia en número de individuos y abundancia relativa (porcentaje) de cada taxón identificado por muestra (Anexo 2).
3. Riqueza, diversidad y dominancia de microalgas por lago.
4. Descripción de los principales grupos por lago.
5. Para todos los lagos se presenta un registro fotográfico de las especies más abundantes (Anexo 3).

#### 4.1. Laguna Petrel

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizó 1 muestra tomada en la estación más profunda del lago durante enero del presente año.

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Petrel está compuesta por 3 phylum, con 4 clases diferentes, se identificaron 6 taxones de los cuales 3 fueron Diatomeas, 1 Chlorophyta, y 1 Cryptophyta (Tabla 3). Las Diatomeas (47 %) y las criptofíceas (39 %) dominaron la comunidad (Figura 4).

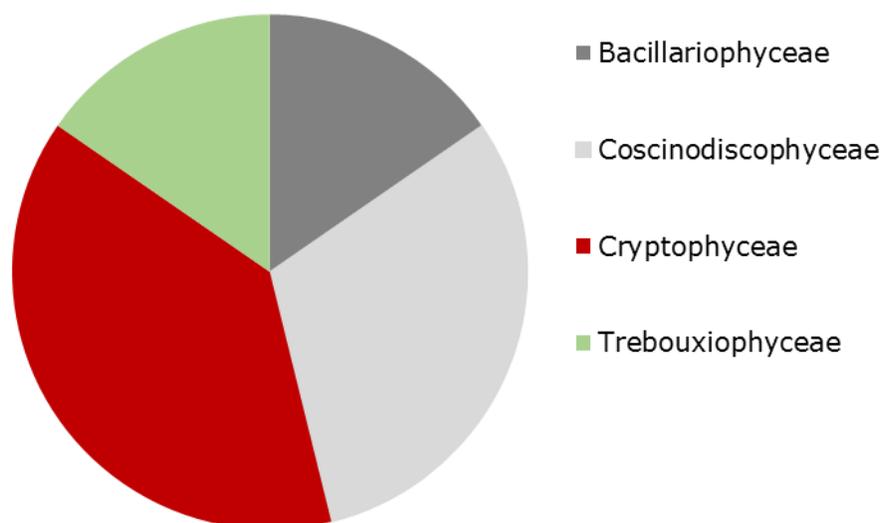


Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 1,6, en donde gran parte de los taxones son igualmente abundantes (equidad de  $J' = 0,8$ ), y una dominancia de  $\lambda = 0,7$  predominando las especies

*Melosira varians* C.Agardh y *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner, las que componen el 62 % de la abundancia de microalgas en el lago (ver Anexo 2.1).

Tabla 3. Listado de especies, Laguna Petrel.

**BACILLARIOPHYTA**

***Bacillariophyceae***

*Fragilaria sp1*

*Navicula sp.*

***Coscinodiscophyceae***

*Melosira varians* C.Agardh

**CHLOROPHYTA**

***Trebouxiophyceae***

*Botryococcus braunii* Kützing

**CRYPTOPHYTA**

***Cryptophyceae***

*Cryptomonas ovata* Erhrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

## 4.2. Laguna Perro

### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizó 1 muestra en este lago, tomada en el mes de noviembre. La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Perro está compuesta por 9 clases diferentes, se identificaron 19 taxones de los cuales 6 fueron algas verdes de las clases Chlorophyceae y Trebouxiophyceae, 3 cianobacterias, 3 dinoflagelados, 2 criptofíceas, 1 Chrysophyceae, 1 Synurophyceae y 2 euglenas (Tabla 4). Las algas verdes de la clase Trebouxiophyceae (28 %) y las cianobacterias (50 %) dominaron la comunidad (Figura 5).

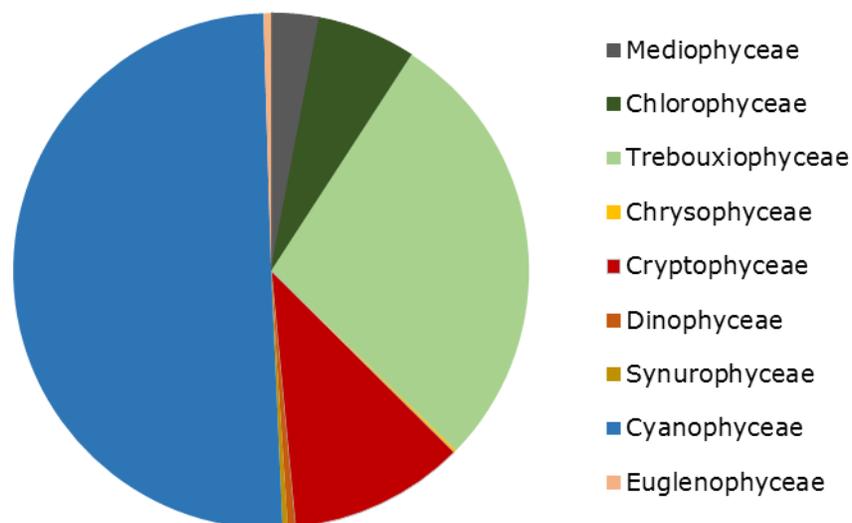


Figura 5. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Perro.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H'$  log10) de 1,9, este fue el valor más alto del índice de diversidad promedio reportado en los lagos estudiados, es decir, el lago presentó una alta diversidad de

taxones, con una equidad de  $J' = 0,7$ , es decir que los taxones reportados no son todos igualmente abundantes y que algunos tienden a dominar ( $\lambda = 0,7$ ) (ver Anexo 2.2).

Las especies más abundantes fueron el alga verde *Tetraedron minimum* y la cianobacteria *Dolichospermum aff. planctonicum* las que componen el 59 % de la abundancia de microalgas en el lago. Es importante indicar la abundancia de esta cianobacteria en este lago y la presencia de otra especie también del género *Dolichospermum* han sido reportadas como formador de floraciones tóxicas (Anexo 2.2).

Otra especie formadora de floraciones como el dinoflagelado *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin presentó una abundancia de 1.389 cel/L. Es importante tener en cuenta la abundancia de este dinoflagelado en los cuerpos de agua, debido a que puede formar floraciones que cambian el color del agua y el olor y a que se considera una especie invasiva.

Tabla 4. Listado de especies, Laguna Perro.

**BACILLARIOPHYTA**

**Mediophyceae**

*Cyclotella aff. ocelata*

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

*Scenedesmus aff. granulatus*

*Crucigeniella apiculata* (Lemmermann) Komárek

**Trebouxiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

*Oocystis lacustris* Chodat

*Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg 1888

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin

*Peridinium aff. inconspicuum*

*Peridinium willei* Huitfeld-Kaas

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Pseudoanabaena aff. catenata*

*Dolichospermum aff. planctonicum*

*Dolichospermum sp1*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**Synurophyceae**

*Mallomonas sp.*

**EUGLENOPHYTA**

**Euglenophyceae**

*Euglena aff. spathirrhyncha*

*Trachelomonas aff. superba*

### 4.3. Lago Torca

#### *Composición específica y abundancia relativa*

En la Laguna Torca se tomaron 2 muestras durante el mes de noviembre en una estación. La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Torca está compuesta por 10 clases, se identificaron 19 taxones de los cuales 1 fueron diatomeas, 3 cianobacterias, 3 algas verdes de la clase Chlorophyceae, 3 Trebouxiophyceae, 1 Klebsormidiophyceae, 1 Zygnematophyceae, 1 Criptofíceas, 2 Synurophyceae, 2 dinoflagelados y 2 euglenas (Tabla 5). Las cianobacterias (52,4 %) dominaron la comunidad (Figura 6).

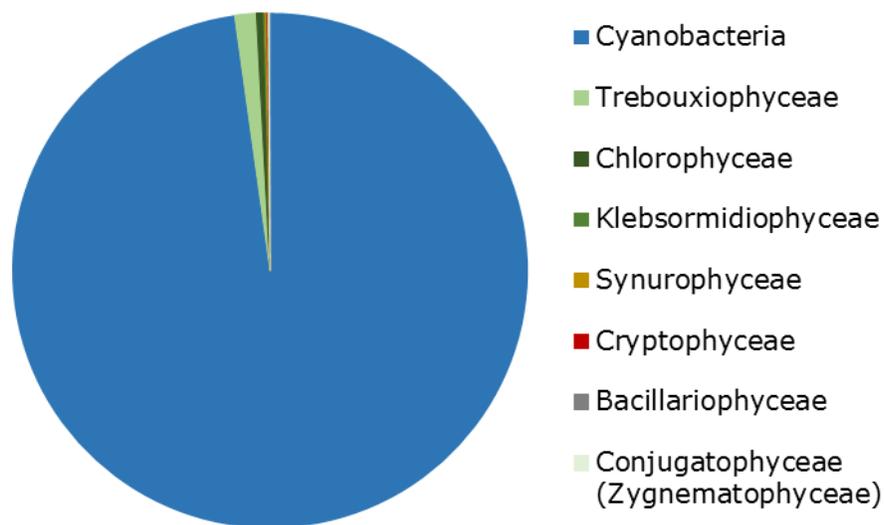


Figura 6. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Torca.

La riqueza varió entre 16 y 14 taxones, entre la superficie y el fondo respectivamente. La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H'$  log10) de 0,9, una equidad de  $J' = 0,4$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$  indicando que el lago presenta una baja diversidad de taxones, en donde dominan solamente algunas especies. La mayor abundancia de células se registró en la superficie, en donde la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing representó el 52% de la abundancia en las muestras (abundancia máxima de 51.875.000 cel/L) (Anexo 2.3). Otras cianobacterias como *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek y *Aphanothece smithii* Komárková-Legnerová & G.Cronberg también fueron abundantes en las muestras (33,9 y 12,0 % respectivamente), las que se encontraban formando una floración en el cuerpo de agua (Anexo 3.3). Estas especies son formadoras de floraciones tóxicas, se presentan generalmente en cuerpos de agua con alta concentración de nutrientes, nitrógeno y fósforo y generan diferentes efectos negativos en la utilización del recurso agua y del ecosistema en general

Tabla 5. Listado de especies, Laguna Torca.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald

*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová

*Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz

*Oocystis lacustris* Chodat

*Tetraedron minutum* (A.Braun) Hansgirg

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurastrum* sp.

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**OCHROPHYTA**

**Synurophyceae**

*Mallomonas* sp.1

*Mallomonas* sp.2

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium* sp. 1

*Peridinium* sp.

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

*Aphanothece smithii* Komárková-Legnerová & G.Cronberg

*Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing

**EUGLENOPHYTA**

**Euglenophyceae**

*Astasia* sp.

*Trachelomonas* sp.

#### 4.4. Lago Vichuquén

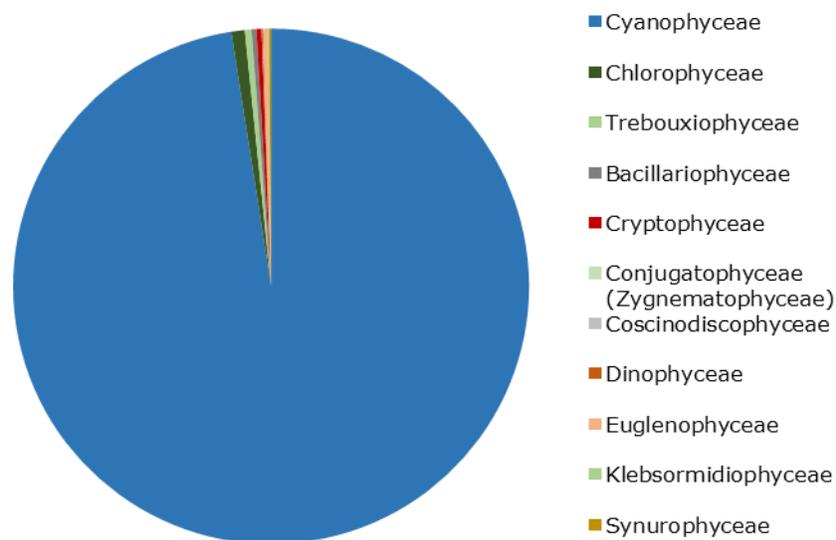
##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizaron 19 muestras de 5 estaciones diferentes de dos muestreos diferentes primavera y verano; tres en el lago (Bahía Vichuquén, Centro y ZMAX) y dos en esteros (Vichuquén y Llico) (Tabla 6).

Tabla 6. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el Lago Vichuquén.

<b>Estaciones de muestreo</b>	<b>2016 Noviembre</b>	<b>2017 Enero</b>	<b>Total</b>
Bahía Vichuquén	2	2	4
Centro	3	3	6
ZMAX	3	3	6
Estero Llico	1	1	2
Estero Vichuquén	1		1
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>19</b>

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Vichuquén está compuesta por 11 clases en las que se registraron 45 taxones de los cuales 12 fueron diatomeas, 10 cianobacterias, 6 algas verdes de la clase Chlorophyceae, 3 Trebouxiophyceae, 1 Klebsormidiophyceae, 1 Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), 6 Dinophyceae, 3 Cryptophyceae, 1 Synurophyceae y 2 Euglenas (Tabla 7). Las cianobacterias dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 97 % de la abundancia relativa total del lago, en este grupo estuvo representado por 10 géneros diferentes, 8 de los cuales son potenciales formadores de floraciones tóxicas. Las diatomeas representaron el 0.3 % constituyendo el grupo más diverso con 12 géneros (Figura 7).



**Figura 7.** Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,4, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,6$ . La mayor diversidad y riqueza se registró en el sector Bahía Vichuquén ( $H' \log_{10} = 1,0$  y  $S = 17$ ) durante el mes de noviembre. La mayor abundancia de células (30.006.944 cel/L) se registró en ZMAX en superficie, durante el mes de enero, el 98 % de esta abundancia fue dada por la cianobacteria *Aphanizomenon favaloroi* S.H.Otaño (Anexo 2.4.).

La estructura de la comunidad no presentó diferencias entre los sitios muestreados (ANOSIM  $R_{\text{global}} = -0,03$ ;  $p > 0,05$ ), pero si varió significativamente entre las dos épocas muestreadas (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,3$ ;  $p < 0,05$ ) (Figura 8).

Tabla 7. Listado de especies, Lago Vichuquén.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Cymbella lanceolata* (C.Agardh) Kirchner  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Diatoma vulgare* Bory  
*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Fragilaria* aff. *schroeteri* (Meister)  
*Fragilaria* sp.  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Navicula* spp.  
*Navicula viridula* (Kützing) Kützing  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Tetradismus acuminatus* (Lagerheim) M.J.Wynne  
*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová  
*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová  
*Scenedesmus spinosus* Chodat  
*Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg  
*Golenkinia radiata* Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Crucigeniella apiculata* (Lemmermann) Komárek  
*Actinastrum hantzschii* Lagerheim  
*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurastrum* sp.

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Cryptomonas erosa* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

Tabla 7. Continuación. Listado de especies, Lago Vichuquén.

**OCHROPHYTA**

**Synurophyceae**

*Mallomonas* sp. 2

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Diplopsalis* sp.

*Durinskia* aff. *baltica*

*Peridinium willei* Huitfeldt-Kaas

*Peridiniopsis* aff. *penardii*

*Peridinium* sp. 2

*Gymnodinium* sp.1

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Anabaenopsis arnoldii* Aptekar

*Aphanizomenon favaloroi* S.H.Otaño

*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

*Aphanothece* aff. *smithii*

*Dolichospermum spiroides* (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

*Oscillatoria* sp.

*Merismospedia* sp.

*Microcystis* aff. *smithii*

*Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault

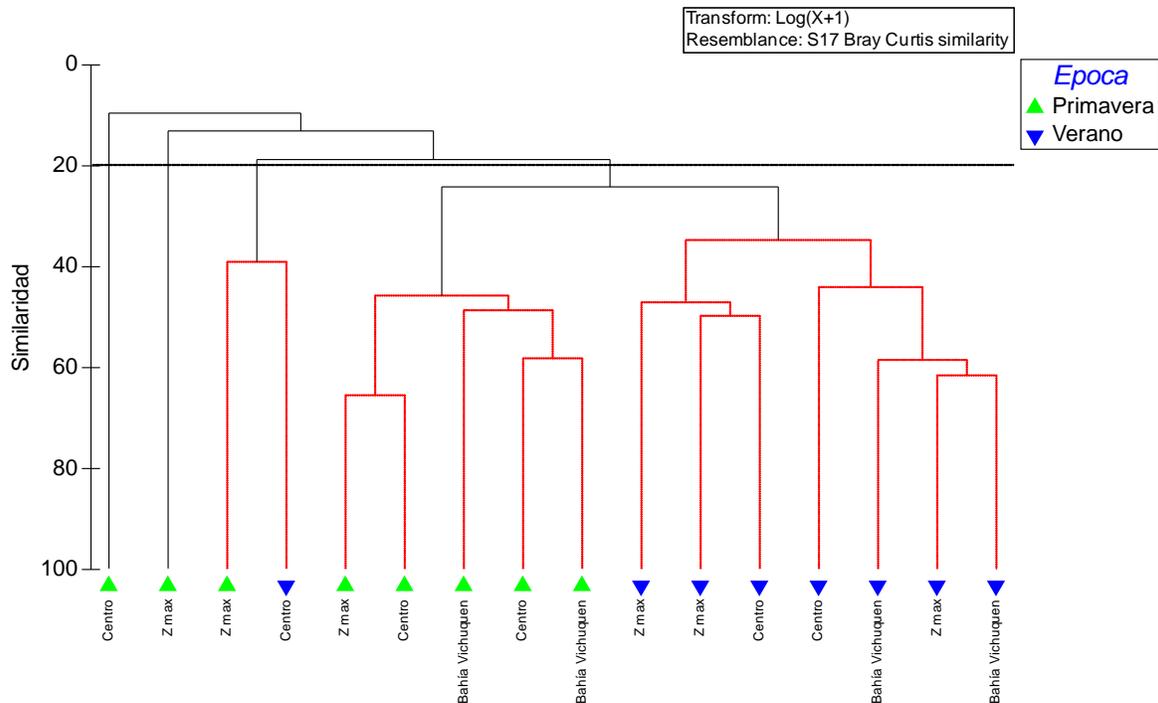
*Pseudoanabaena catenata* Lauterborn

**EUGLENOPHYTA**

**Euglenophyceae**

*Astasia* sp.

*Trachelomonas superba* Svirenko



**Figura 8.** Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

En el Estero Vichuquén se registraron 3 clases y 18 taxones, la clase Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) y las diatomeas dominaron la comunidad (48 % y 45 % respectivamente). Las especies más abundantes fueron *Spirogyra* sp. y *Cocconeis placentula* Ehrenberg, la diversidad de taxones fue de ( $H' \log_{10} = 0,8$ ).

La mayor abundancia de células y riqueza se registró en el Estero Llico, el que presentó 8 clases y 24 taxones (Tabla 8). Las cianobacterias dominaron la comunidad, *Aphanothece aff. smithii* junto con *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek, *Microcystis aff. smithii*, *Chroococcus aff. planctonicus* y *M. aeruginosa*.

Tabla 8. Listado de especies, Esteros del Lago Vichuquén.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Diatoma vulgare* Bory  
*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Fragilaria* aff. *schroeteri*  
*Fragilaria* aff. *capucina*  
*Fragilaria* sp.  
*Gomphoneis* sp.  
*Gomphonema acuminatum* Ehrenberg  
*Navicula* spp.  
*Navicula viridula* (Kützing) Kützing  
*Navicula* aff. *dicephala*  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal  
*Melosira varians* C.Agardh

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs  
*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová  
*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová  
*Scenedesmus spinosus* Chodat  
*Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg

**Trebouxiophyceae**

*Oocystis lacustris* Chodat

**CHAROPHYTA**

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium acutum* Brébisson  
*Spirogyra* sp.  
*Cosmarium* sp.  
*Mougeotia* sp.

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

Tabla 8. Continuación. Listado de especies, Esteros del Lago Vichuquén.

**OCHROPHYTA**

**Synurophyceae**

*Mallomonas* sp.  
*Mallomonas* sp.2

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Azadinium* sp.  
*Durinskia* aff. *baltica*  
*Peridinium willei* Huitfeld-Kaas

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Aphanizomenon favaloroi* S.H.Otaño  
*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek  
*Aphanothece* aff. *smithii*  
*Chroococcus* aff. *planctonicus*  
*Merismospedia* sp.3  
*Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing  
*Microcystis* aff. *smithii*  
*Oscillatoria* sp.

**EUGLENOPHYTA**

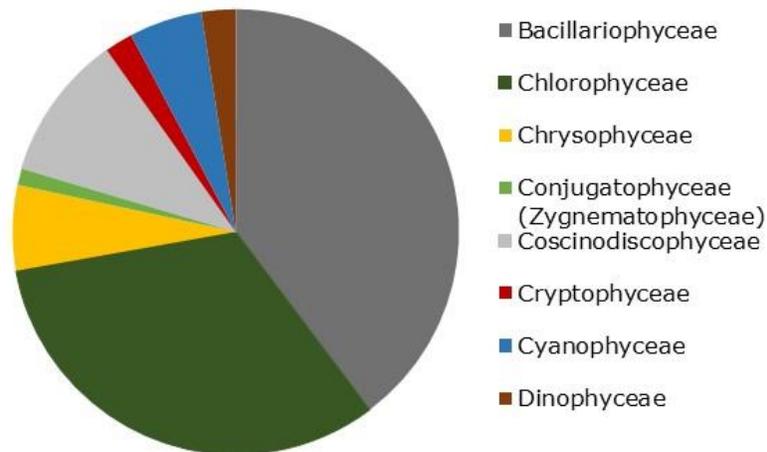
**Euglenophyceae**

*Astasia* sp.  
*Euglena spathirrhyncha* Skuja  
*Trachelomonas superba* Svirenko  
*Phacus* aff. *glomus*

#### 4.5. Lago Los Batros

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizaron 3 muestras en este lago, una de verano y otras dos de invierno. La comunidad fitoplanctónica en la laguna Los Batros está compuesta por 9 clases en las que se registraron 22 taxones de 21 géneros diferentes (Tabla 9). Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 40 % de la abundancia relativa total del lago, este grupo estuvo representado por 5 diferentes taxones (Figura 9). La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,6$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$ , indicando que la diversidad es baja en este lago y que predominan algunas especies (Anexo 2.5.). La máxima diversidad se registró en julio en el fondo ( $H' \log_{10} = 0,8$ ).



**Figura 9.** Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Los Batros.

La diatomea *Asterionella formosa* Hassall presentó la máxima abundancia (1.537.500 cel/L) en la superficie durante el mes de marzo. *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen fue abundante en invierno, tanto en el fondo como en la superficie. El dinoflagelado invasor *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin alcanzó una máxima abundancia de 95.833 cel/L durante el verano.

Tabla 9. Listado de especies presentes en la Laguna Los Batros.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Cymbella lanceolata* (C.Agardh) Kirchner  
*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing  
*Navicula* sp.

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Melosira varians* C.Agardh  
*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Sphaerocystis schroeteri* Chodat  
*Monoraphidium saxatile* Komárková-Legnerová  
*Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs  
*Monoraphidium saxatile* Komárková-Legnerová

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium acutum* Brébisson  
*Scenedesmus* aff. *denticulatus*

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin  
*Gymnodinium* sp.8

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Dolicospermum* aff. *planctonicum*  
*Pseudoanabaena* aff. *catenata*

#### 4.6. Lago Butaco

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se tomaron dos muestras en este lago, a principios de otoño y durante el invierno. La comunidad fitoplanctónica en el lago Butaco está compuesta por 9 clases, se identificaron 18 taxones de los cuales 6 fueron diatomeas, 3 cianobacterias, 3 algas verdes de la clase Chlorophyceae y 1 de la Trebouxiophyceae, 3 criptofíceas, 1 crisofícea y 1 dinoflagelado (Tabla 10). Las cianobacterias (79 %) y las clorofíceas (11 %) dominaron la comunidad (Figura 10).

Las especies más abundantes para este lago, fueron las cianobacterias *Gomphosphaeria lacustris* Chodat, *Aphanocapsa aff. conferta* y el alga verde *Sphaerocystis schroeteri* Chodat (Anexo 2.6).

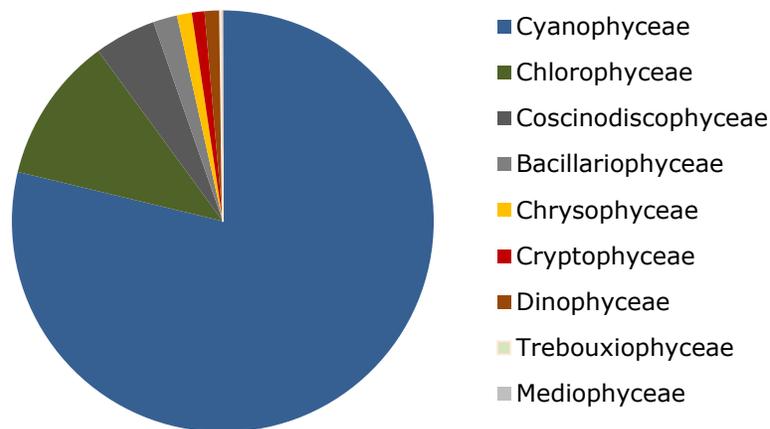


Figura 10. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Butaco.

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,4, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,6$ . La mayor diversidad y riqueza se registró en el mes de julio ( $H' \log_{10} = 0,5$  y  $S = 11$ ).

Sin embargo, la mayor abundancia de células se registró durante el mes de abril, en donde la cianobacteria *Gomphosphaeria lacustris* representó el 75 % de la abundancia en las muestras (abundancia máxima de 565.487 cel/L). Durante el mes de julio, la cianobacteria *Aphanocapsa aff. conferta*, presentó la máxima abundancia.



Tabla 10. Listado de especies presentes en el Lago Butaco.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Fragilaria sp.*  
*Navicula aff. dicephala*  
*Navicula sp.*  
*Ulnaria acus*

**Mediophyceae**

*Ciclotella sp.*

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg  
*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs  
*Golenkinia radiata* Chodat  
*Sphaerocystis Schroeteri* Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium sp.*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E. Imhof

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Lymnococcus aff. lymneticus*  
*Aphanocapsa aff. conferta*  
*Gomphosphaeria lacustris* Chodat

#### 4.7. Lago Lloncao

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se tomaron 4 muestras durante los meses de abril y julio de 2017 en una estación del lago (Z max) (Tabla 11).

Tabla 11. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo y fechas en el Lago Lloncao.

<b>Estaciones de muestreo</b>	<b>2017 Abril</b>	<b>2017 Julio</b>	<b>Total</b>
ZMAX	2	2	4

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Lloncao está compuesta por 12 clases en las que se registraron 45 taxones de 37 géneros diferentes (Tabla 12). Las cianobacterias dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 66 % de la abundancia relativa total, este grupo estuvo representado por 7 taxones de 6 géneros. Las diatomeas representaron el 20 % de la abundancia relativa, constituyendo el grupo más diverso con 18 taxones de 3 clases diferentes (Figura 11).

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,4$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$ . La mayor diversidad se registró en julio ( $H' \log_{10} = 0,8$ ) en el fondo del lago. La mayor abundancia de células se registró durante abril en la superficie, dado al aumento de abundancia de la cianobacteria *Microcystis* sp.. Esta cianobacteria también fue abundante en el fondo de la columna de agua (Anexo 3.7).

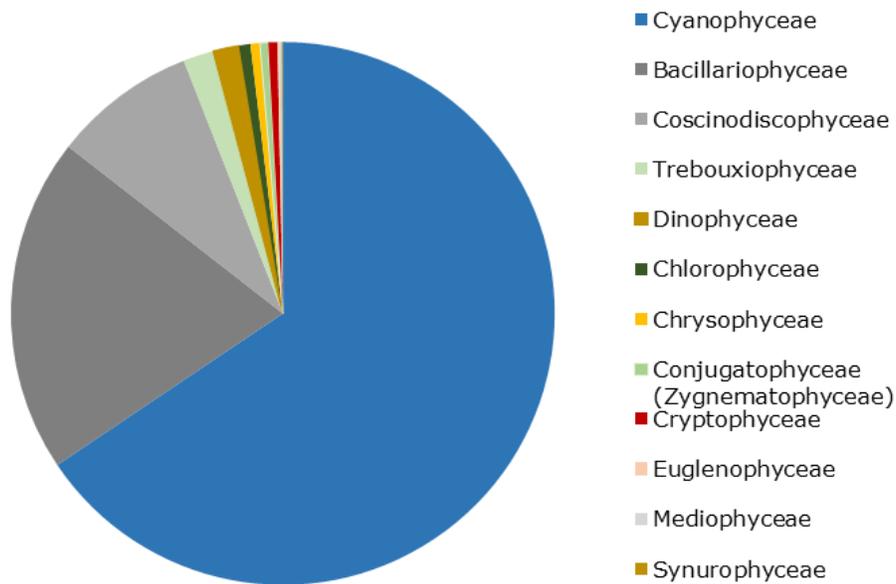


Figura 11. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Lloncao.

Las cianobacterias *Microcystis* sp. y *Aphanocapsa* aff. *delicatissima* y las diatomeas *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen fueron las especies más abundantes, representaron el 80 % de la abundancia total de microalgas en las muestras analizadas (Anexo 2.7). *C. furcoides* fue identificado en todas las muestras con una abundancia que varió entre 2.356 y 23.038 cel/L.

Tabla 12. Listado de especies, Laguna Lloncao.

## **BACILLARIOPHYTA**

### **Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Cymbella lanceolata* (C.Agardh) Kirchner  
*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria* sp.  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Gomphonema* sp.  
*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick  
*Hantzschia* sp.  
*Navicula* spp.  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Ulnaria* aff. *ulna*  
*Ulnaria acus* (Kützing)

### **Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen  
*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith

### **Mediophyceae**

*Ciclotella* sp.

## **CRYPTOPHYTA**

### **Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Cryptomonas erosa* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

## **CHLOROPHYTA**

### **Chlorophyceae**

*Coelastrum* aff. *proboscideum*  
*Coelastrum microporum* Nägeli  
*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald

### **Trebouxiophyceae**

*Actinastrum hantzschii* Lagerheim  
*Botryococcus braunii* Kützing  
*Crucigeniella apiculata* (Lemmermann) Komárek  
*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz  
*Oocystis lacustris* Chodat

Tabla 12. Continuación. Listado de especies, Laguna Lloncao.

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium aff. acutum*

*Mougeotia sp.*

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium furcoides* (Levander) Langhans

*Peridiniopsis aff. penardii*

*Gymnodinium sp. 7*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**Synurophyceae**

*Mallomonas sp.*

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Aphanocapsa aff. delicatissima*

*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

*Chroococcus sp.*

*Dolichospermum planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

*Pseudoanabaena aff. catenata*

*Synechococcus sp.*

*Microcystis sp.*

**EUGLENOPHYTA**

**Euglenophyceae**

*Euglena sp.*

*Trachelomonas sp.*

#### 4.8. Lago Lencan

##### Composición específica y abundancia relativa

Se analizaron 3 muestras, una en la zona más profunda del lago y dos en el afluente y efluente del lago. La comunidad fitoplanctónica está compuesta por 8 clases en las que se registraron 23 taxones de 18 géneros diferentes (Tabla 13). Las diatomeas representaron el 37 % de la abundancia relativa en el lago, con 6 taxones. Las algas verdes de tres clases diferentes (Chlorophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Trebouxiophyceae) representaron el 39 % (Figura 12).

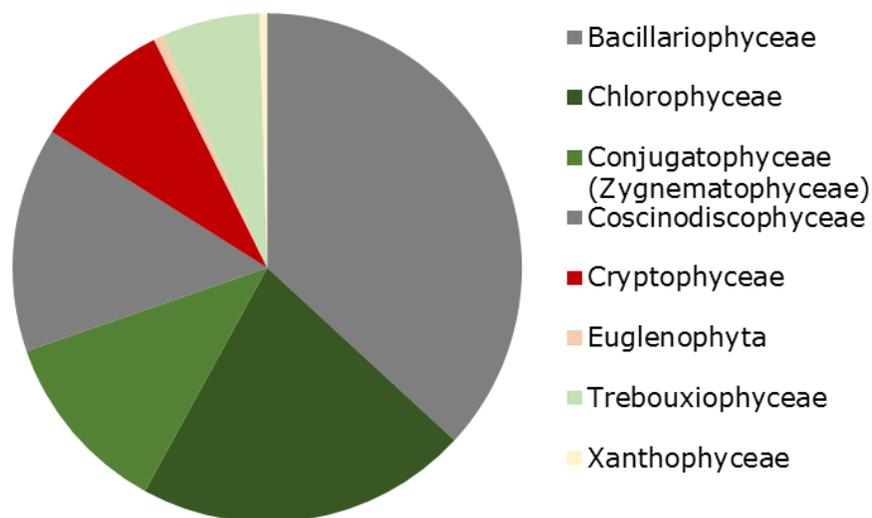


Figura 12. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la laguna Lencan.

Tabla 13. Listado de especies presentes en la laguna Lencan.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Gomphonema* sp.  
*Nitzschia* spp.

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

**CRYPTOPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Oocystis lacustris* Chodat  
*Coelastrum microporum* Nägeli  
*Coelastrum* sp.  
*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald  
*Scenedesmus arcuatus* (Lemmermann) Lemmermann  
*Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat  
*Scenedesmus* aff. *denticulatus*  
*Scenedesmus* aff. *brevispina*  
*Nephrochlamys subsolitaria* (G.S. West) Korshikov

**Trebouxiophyceae**

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurastrum pingüe* Teiling  
*Staurastrum* sp.  
*Closterium acutum* Brébisson

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Erhrensberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**OCHROPHYTA**

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

**EUGLENOPHYCEAE**

**Euglenophyta**

*Trachelomonas* sp.1

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 1,0, una equidad de  $J' = 0,7$  y una dominancia de  $\lambda = 0,2$ . La mayor abundancia de células fue dada por la diatomea *Fragilaria crotonensis* Kitton, (366 cel/L).

En las muestras tomadas en el afluente del lago Lencan se registraron 5 clases y 27 taxones (Tabla 14). Las diatomeas (89 %) y cianobacterias (17 %) dominaron la comunidad. La cianobacteria *Pseudoanabaena sp.* representó el 17 %, en este río la diversidad fue de  $H' \log_{10} = 1,2$ . En el efluente la comunidad estuvo compuesta por 8 clases, en la que dominaron las diatomeas (75 %), la especie dominante fue *A. granulata*, con una diversidad y riqueza de  $H' \log_{10} = 0,7$ ;  $s = 19$  (Anexo 2.8).

Tabla 14. Listado de especies, ríos de la laguna Lencan.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Epithemia sorex* Kützing  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Hantzschia* sp.  
*Navicula* aff. *viridula*  
*Navicula dicephala* Ehrenberg  
*Naviculla* sp.1  
*Naviculla* sp2  
*Naviculla* spp.  
*Navicula* aff. *radiosa*  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Nitzschia* aff. *thermalis*  
*Nitzschia* aff. *vivax*  
*Nitzschia* spp.  
*Pinnularia* aff. *biceps*  
*Pinnularia* aff. *dactyluus*  
*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal  
*Ulnaria delicatissima* (W.Smith) Aboal & P.C.Silva  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère  
*Surirella* aff. *chilensis*

Tabla 14. Continuación. Listado de especies, ríos de la laguna Lencan.

**Coscinodiscophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall

*Melosira varians* C.Agardh

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Coelastrum microporum* Nägeli

*Coelastrum* sp.

*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald

**Trebouxiophyceae**

*Nephrocytium agardhianum* Nägeli

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurostrum pingüe* Teiling

*Mougeotia* sp.

*Closterium acutum* Brébisson

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky

**OCHROPHYTA**

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Dolichospermum* aff. *lemmermanii*

*Pseudoanabaena* sp.

**EUGLENOPHYTA**

**Euglenophyceae**

*Trachelomonas* sp.1

#### 4.9. Lago Caburgua

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En este lago se analizaron tres muestras tomadas durante febrero en la estación centro del lago a tres diferentes profundidades. La comunidad fitoplanctónica en el lago Caburgua está compuesta por 5 clases, se identificaron 7 taxones de los cuales 2 fueron Diatomeas, 1 Cianobacterias, 1 alga verde de la clase Trebouxiophyceae, 1 Dinophyceae y 2 Cryptophyceae (Tabla 15). Las diatomeas (42 %) y cianobacterias (29 %) dominaron la comunidad (Figura 13). Las especies más abundantes fueron la diatomea *Fragilaria crotonensis* y la cianobacteria *Dolichospermum planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek (Anexo 2.9).

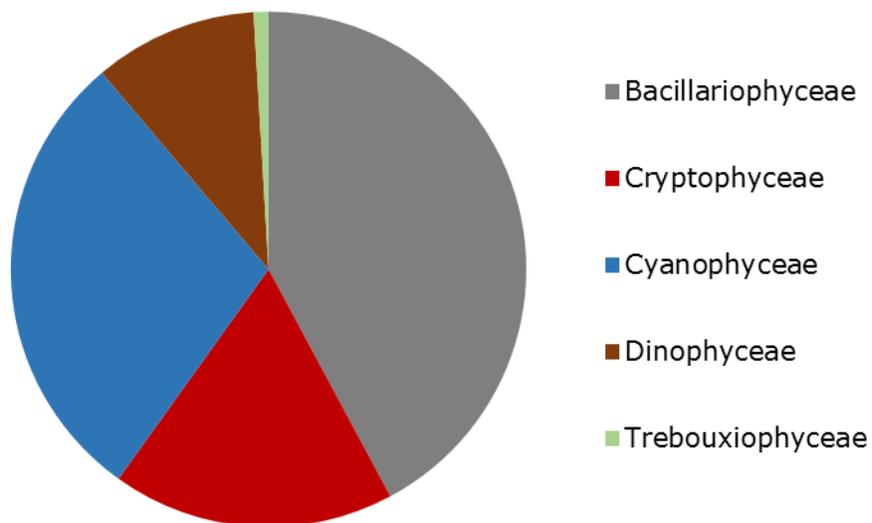


Figura 13. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Caburgua.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,8$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$ . La mayor abundancia se registró en el fondo de la columna de agua, en donde la diatomea *F. crotonensis* presentó una máxima abundancia de 27.489 cel/L.

La cianobacteria formadora de floraciones *D. planctonicum* representó el 45 % de la abundancia en la muestra tomada en la superficie del sistema (ver Anexo 3.9).

Tabla 15. Listado de especies, lago Caburgua.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Fragilaria crotonensis* Kitton

**CHLOROPHYTA**

**Trebouxiophyceae**

*Oocystis lacustris* Chodat

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Dolichospermum planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium* sp.

#### 4.10. Lago Antiquina

##### *Composición específica y abundancia relativa.*

Se analizaron dos muestras de este lago, tomadas en la misma estación pero en dos diferentes épocas del año (meses de abril y julio).

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Antiquina está compuesta por 10 clases, se identificaron 24 taxones de los cuales 10 fueron diatomeas, 4 algas verdes de las clases Chlorophyceae (1), Trebouxiophyceae (1), Ulvophyceae (1) y Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) (1), 3 criptofíceas, 3 dinoflagelados, 1 euglena y 3 cianobacterias (Tabla 16). Las cianobacterias (33 %) y las diatomeas (30 %) dominaron la comunidad (Figura 14).

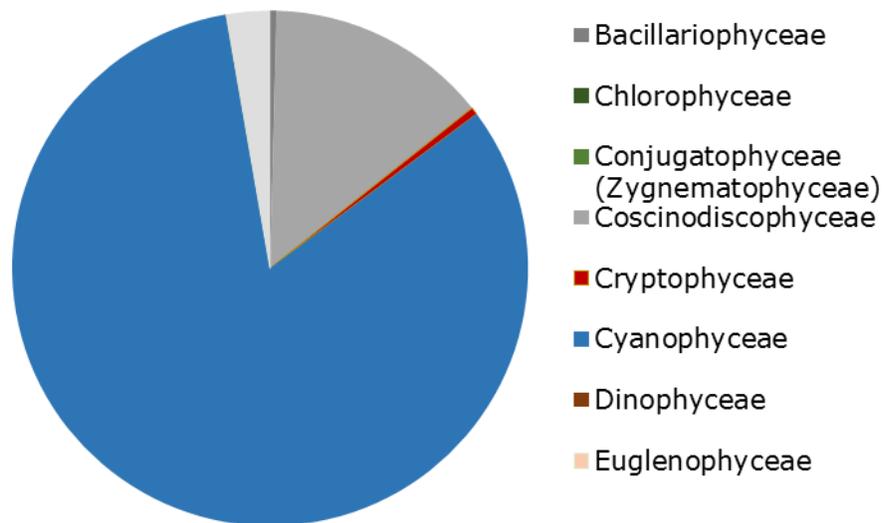


Figura 14. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Antiquina.

Las cianobacterias dominaron la comunidad (82 %), las especies más abundantes durante el mes de abril fueron la cianobacteria

*Dolichospermum aff. lemmermannii* y *Anabaena constricta* (Szafer) Geitler. En julio las diatomeas de la clase Coscinodiscophyceae dominaron la comunidad, principalmente *Aulacoseira aff. calypsi* y *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen las que en conjunto constituyeron un 86 % de la abundancia de células en la muestra.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$ . La mayor riqueza de taxa se registró en el mes de abril ( $S = 16$ ), así como la mayor abundancia de células, por el aumento de abundancia de las cianobacterias *A. constricta* y *Dolichospermum aff. lemmermannii*.

El dinoflagelado *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin alcanzó una abundancia de 1.571 cel/L durante el mes de abril y no fue registrado en julio (Anexo 2.10).

Tabla 16. Listado de especies, la Laguna Antiquina.

**BACILLARIOPHYTA****Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing  
*Fragilaria aff. tenera*  
*Fragilaria sp.*  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen  
*Aulacoseira aff. calypsi*  
*Melosira varians* C.Agardh

**CRYPTOPHYTA****Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg  
*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**CHLOROPHYTA****Chlorophyceae**

*Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

**Ulvophyceae**

*Ulothrix zonata* (F.Weber & Mohr) Kützing

**CHAROPHYTA****Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium aff. acutum*

**MIOZOA****Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin  
*Gymnodinium sp.*  
*Peridinium willei* Huitfeldt-Kaas

**EUGLENOPHYTA****Euglenophyceae**

*Euglena sp.*

**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae**

*Anabaena constricta* (Szafer) Geitler  
*Anabaenopsis elenkinii* V.V.Miller  
*Dolichospermum aff. lemmermannii*

#### 4.11. Lago Lleulleu

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizaron seis muestras (Tabla 17). La comunidad fitoplanctónica en el lago Lleulleu está compuesta por 7 clases, se identificaron 23 taxones de los cuales 9 fueron diatomeas, 5 algas verdes de las clases Klebsormidiophyceae (1), Trebouxiophyceae (1), Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) (1), Chlorophyceae (1), Ulvophyceae (1), 2 Cryptophyceae, 3 Dinophyceae, 3 Cyanobacteria y 1 Chrysophyceae (Tabla 18). Las diatomeas (10 %) y cianobacterias (84 %) dominaron la comunidad (Figura 15). En las seis muestras se encontró una riqueza de 23 taxones.

Tabla 17. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Lleulleu.

<b>Estación</b>	<b>Diciembre 2016</b>	<b>Mayo 2017</b>	<b>Diciembre 2017</b>	<b>Total</b>
Z max	2	2	2	6

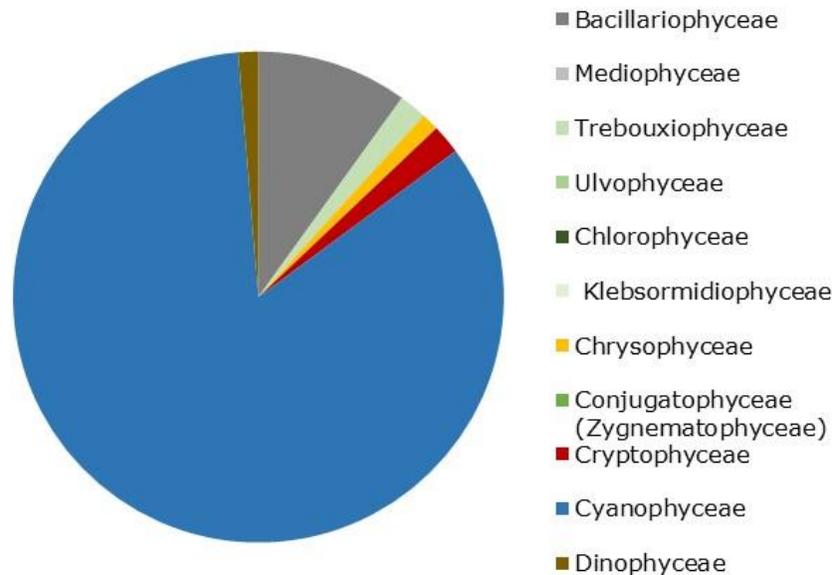


Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Lleulleu.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,7, una equidad de  $J' = 0,7$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$ . La máxima abundancia de células se registró en superficie por la concentración de células de la cianobacteria *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek que alcanzó una abundancia de 867.079 cel/L en diciembre del 2016. Esta misma cianobacteria constituyó el 54 % de la abundancia relativa a 15 m de profundidad. Las diatomeas *A. granulata* y *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen, también fueron abundantes a esta profundidad (ver Anexo 2.11).

Dentro de esta comunidad se presentaron especies formadoras de floraciones, como la cianobacteria (*A. incerta*) y los dinoflagelados del género *Ceratium* sp., estos últimos en baja abundancia (máximo 2.617 cel/L *C. hirundinella*).

Tabla 18. Listado de especies, lago Lleulleu.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

- Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen
- Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
- Cymbella lanceolata* (C. Agardh) Kirchner
- Diploneis subovalis* Cleve
- Fragilaria* sp.
- Navicula* sp.
- Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Otto Mülle
- Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing

**Mediophyceae**

- Cyclotella meneghiniana* Kützing

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

- Staurastrum pingue* Teiling

**CHLOROPHYTA**

**Klebsormidiophyceae**

- Elakatothrix gelatinosa* Wille

**Chlorophyceae**

- Sphaerocystis schroeteri* Chodat

**Trebouxiophyceae**

- Mucidosphaerium pulchellum* (H.C. Wood) C. Bock

**Ulvophyceae**

- Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

- Cryptomonas erosa* Ehrenberg
- Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

- Ceratium furcoides* (Levander) Langan
- Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin
- Gymnodinium* sp.
- Gomphosphaeria lacustris* Chodat
- Microcystis incerta* (Lemmermann) Lemmermann

Tabla 17. Continúa. Listado de especies, lago Lleulleu.

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

*Gomphosphaeria lacustris* Chodat

*Microcystis incerta* (Lemmermann) Lemmermann

#### 4.12. Lago Colico

##### *Composición específica y abundancia relativa*

Se analizaron 13 muestras de 5 estaciones diferentes; tres en el lago (Bahía Trafampulli, Centro, Puerto Colico) y dos en rios (Río Trafampulli y Río Curaco) (Tabla 19).

Tabla 19. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el Lago Colico.

<b>Estaciones de muestreo</b>	<b>Octubre 2016</b>
Bahía Trafampulli	4
Centro	3
Puerto Colico	4
Río Trafampulli	1
Río Curaco	1
<b>Total</b>	<b>13</b>

La comunidad fitoplanctónica en el lago Colico está compuesta por 6 clases (Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae Klebsormidiophyceae y Trebouxiophyceae) en las que se registraron 20 taxones (Tabla 20). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 53 % de la abundancia de taxones en la comunidad seguido por Chrysophyceae (39 %). Las diatomeas fue el grupo más diverso con 13 taxones (Figura 16).

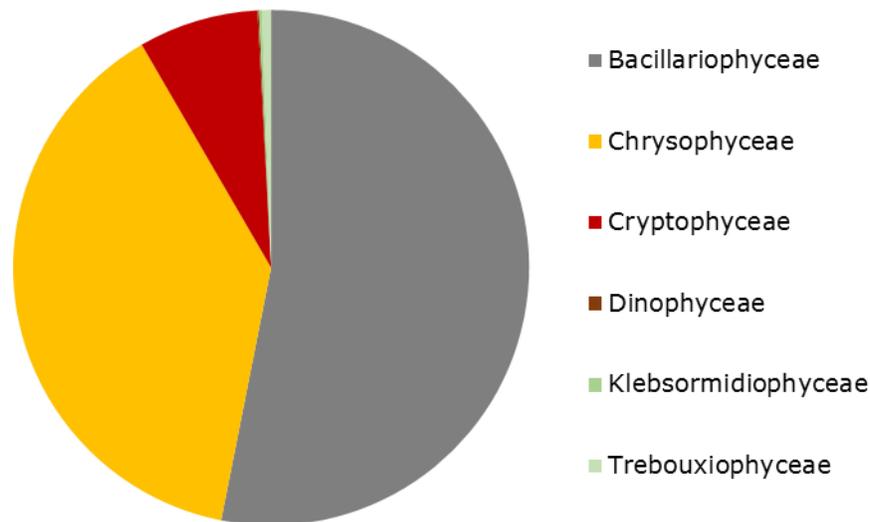


Figura 16. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Colico.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,6$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$ . La mayor diversidad, riqueza y abundancia se registró en Bahía Trafampulli a 15 m de profundidad ( $H' \log_{10} = 0,8$ ;  $s=13$ ; 86.394 cel/L). Las diatomeas *Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith (47 %) y *A. granulata*, junto con *D. divergens* fueron las especies más abundantes, representaron el 75 % de la abundancia total de microalgas en el lago.

La Chrysophyceae *Dinobryon divergens* O.E.Imhof fue abundante los primeros 10 m de profundidad de todas las estaciones de muestreo. La comunidad no presentó diferencias estadísticamente significativas en entre los sitios muestreados (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,34$ ;  $p > 0,05$ ) y las profundidades (ANOSIM  $R_{\text{global}} = -0,33$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 17).

Tabla 20. Listado de especies, Lago Colico.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

- Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
- Diatoma vulgare* Bory
- Fragilaria* sp.
- Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer
- Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing
- Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick
- Melosira varians* C.Agardh
- Navicula* sp.
- Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith
- Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith
- Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot
- Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing
- Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing

**CHAROPHYTA**

**Klebsormidiophyceae**

- Elakatothrix gelatinosa* Wille

**CHLOROPHYTA**

**Trebouxiophyceae**

- Botryococcus braunii* Kützing
- Oocystis lacustris* Chodat

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

- Cryptomonas erosa* Ehrenberg
- Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**DINOPHYTA**

**Dinophyceae**

- Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

- Dinobryon divergens* O.E.Imhof

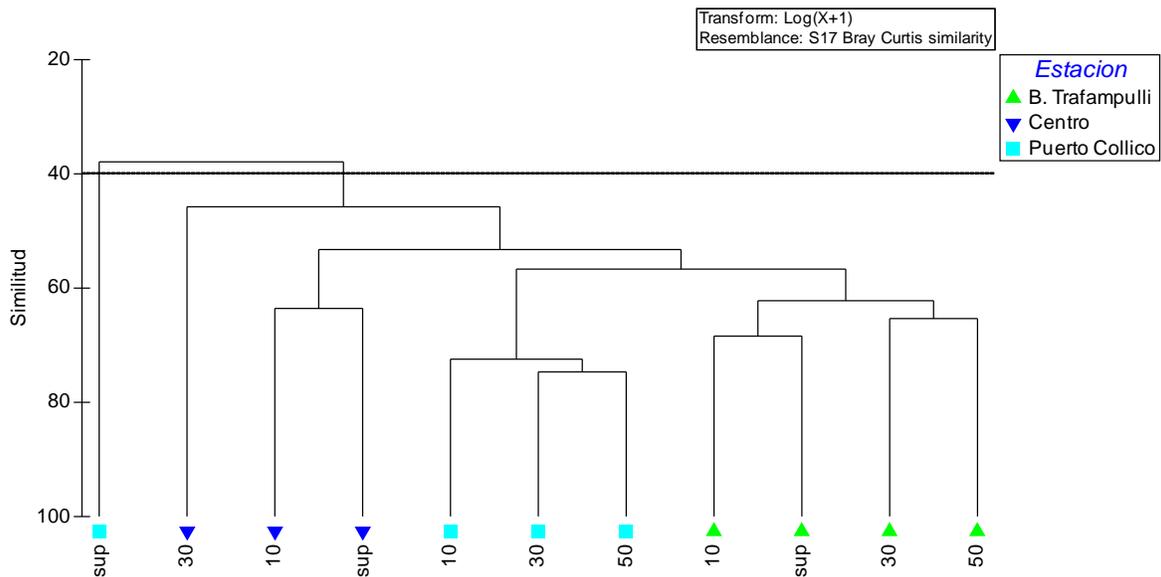


Figura 17. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Colico.

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, estuvo presente en dos muestras del Bahía Trafampulli, en donde presentó una abundancia de 262 cel/L (ver Anexo 2.8).

En el Río Trafampulli se registraron solo diatomeas (Tabla 21), 9 taxones diferentes, con una diversidad  $H' \log_{10} = 0,6$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$ , la especie más abundante fue *Melosira varians* C.Agardh. La comunidad fitoplanctónica del Río Curaco estuvo compuesta por 4 taxones; 3 diatomeas (25 %) y 1 Chrysophyceae (75 %). La comunidad estuvo dominada por *D. divergens*.

Tabla 21. Listado de especies, ríos del Lago Colico.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Cymbella affinis* Kützing

*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson

*Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni

*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick

*Navicula* sp.

*Nitzschia* sp.

*Melosira varians* C.Agardh

*Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing

*Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot

*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

#### 4.13. Lago Villarrica

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En el lago Villarrica se tomaron 67 muestras durante el mes de marzo y octubre) en siete diferentes estaciones y en dos ríos (Tabla 21).

Tabla 22. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Villarrica.

Estación	2016		2017		Total
	Octubre	Diciembre	Marzo	Octubre	
B. La Poza		3	2	3	8
Centro	1	3	3	5	12
Lit Norte	3		3	3	9
Lit Pucon	3		3	3	9
Lit Sur		3	3	3	9
Lit Vilarrica	3	3		4	10
Pelagial			3	3	6
Rio Pucon	1			1	2
Río Tolten	1			1	2
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>26</b>	<b>67</b>

La comunidad fitoplanctónica en el lago Villarrica está compuesta por 13 clases en las que se registraron 79 taxones, de los cuales 54 fueron diatomeas, 10 algas verdes, 4 dinoflagelados, 4 cianobacterias, 3 Cryptophyceae, 1 Chrysophyceae, 1 Xanthophyceae y 2 Synurophyceae (Tabla 23). Las diatomeas constituyeron el 68 % de la abundancia, seguidas por las algas verdes de la clase Chlorophyceae con el 18 % (Figura 18).

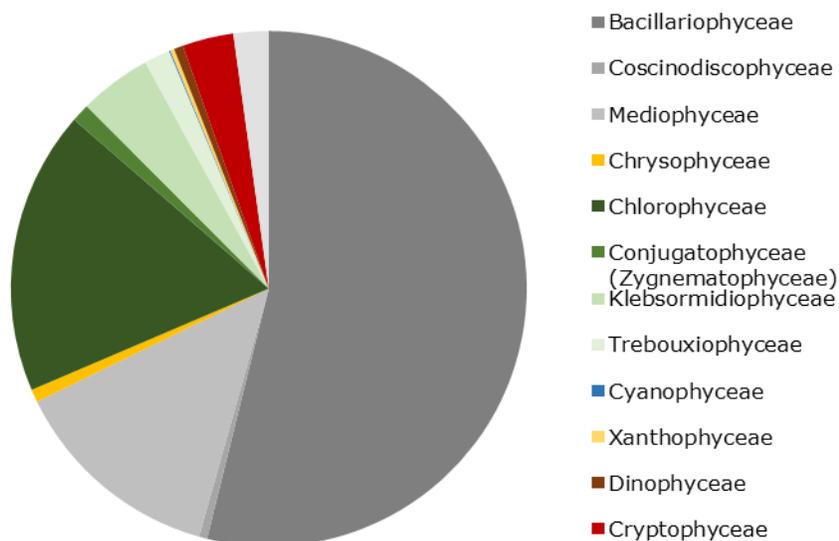


Figura 18. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,8 una equidad de  $J' = 0,6$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$ . La mayor diversidad se registró en Litoral Pucón a 20 metros de profundidad ( $H' \log_{10} = 1,4$ ) y la mayor riqueza en Litoral Villarrica, en donde se reportaron 40 taxones durante el mes de enero del 2016 (Anexo 2.13).

Las diatomeas *A. granulata*, *A. distans* y *Epithemia sorex* Kützing junto con la Chrysophyceae *D. divergens* fueron las especies más abundantes, ellas representaron el 71 % de la abundancia total. *A. granulata* alcanzó una máxima abundancia de 66.235 cel/L Villarrica Pelagial, durante el mes de octubre del 2017, correspondiendo a la máxima abundancia de células reportada para este lago durante el periodo estudiado.

Tabla 23. Listado de especies, Lago Villarrica.

## **BACILLARIOPHYTA**

### **Bacillariophyceae**

*Achnanthes* sp.

*Asterionella formosa* Hassall

*Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kützing

*Cocconeis placentula* Ehrenberg

*Cymbella lanceolata* (C.Agardh) Kirchner

*Diatoma aff. hymnalis*

*Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing

*Diatoma vulgare* Bory

*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart.Schmidt

*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann

*Epithemia sorex* Kützing

*Fragilaria aff. capuccina*

*Fragilaria crotonensis* Kitton

*Fragilaria* sp.

*Fragilaria* sp. 1

*Fragilaria* spp.

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

*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni

*Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer

*Gomphoneis* sp.

*Gomphonema* sp.

*Gomphonema* sp. 1

*Gomphonema* sp. 2

*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick

*Hantzshia* spp.

*Navicula aff. anglica*

*Navicula aff. cryptocephala*

*Navicula aff. radiosa*

*Navicula aff. viridula*

*Navicula dicephala* Ehrenberg

*Navicula* sp.

*Navicula* sp.2

*Navicula* spp.

*Navicula viridula* (Kützing) Kützing

*Nitzschia aff. sublinearis*

*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith

*Nitzschia* spp.

Tabla 23. Continúa. Listado de especies, Lago Villarrica.

**Bacillariophyceae**

*Pinnularia aff. dactylous*  
*Planotidium sp.*  
*Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh)  
*Lange-Bertalot*  
*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Otto  
*Müller*  
*Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz.  
*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing  
*Ulnaria acus* (Kützing)  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira aff. calypsi*  
*Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen  
*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Melosira hustedtii* Krasske  
*Melosira varians* C. Agardh

**Mediophyceae**

*Cyclostephanos sp.*  
*Cyclotella aff. ocelata*  
*Cyclotella meneghiniana* Kützing

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae**

**(Zygnematophyceae)**

*Closterium acutum* Brébisson  
*Closterium aff. actum var variable*  
*Closterium parvulum* Nägeli  
*Cosmarium depressum* (Nägeli) P. Lundel

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

Tabla 23. Continúa. Listado de especies, Lago Villarrica.

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Golenkinia radiata* Chodat

*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová

*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Erhrenberg

*Cryptomonas ovata* Erhrenberg

*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

*Dolicospermum aff. lemmermanii*

*Microcystis smithii* Komárek & Anagnostidis

*Pseudoanabaena aff. catenata*

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin

*Gymnodinium aff. fuscum*

*Gymnodinium sp.1*

*Peridinium willei* Huitfeld-Kaas

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**Synurophyceae**

*Mallomonas elongata* Reverdin

*Mallomonas sp.*

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

Dentro de esta comunidad el grupo de las cianobacterias fue abundante y diverso, con 4 géneros diferentes, tres de los cuales potenciales formadores de floraciones tóxicas. El dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, alcanzó una abundancia de 5.236 cel/L en el sector de Bahía La Poza durante el mes de octubre.

La abundancia no fue significativamente diferente entre los sitios muestreados (ANOSIM  $R_{\text{global}}=0,19$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 19a) y entre las profundidades (ANOSIM  $R_{\text{global}}=0,10$ ;  $p > 0,05$ ). La estructura de la comunidad en el Lago Villarrica varió dependiendo el mes (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,73$ ;  $p < 0,05$ ) y del año (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,29$ ;  $p < 0,05$ ), probablemente, la causa de estas diferencias fue la variación en la abundancia de la diatomea *E. sorex*, la que alcanzó una máxima abundancia durante los meses de diciembre 2016 y marzo del 2017 y fue escasa o ausente en octubre de 2017. Esta misma variación se observó para *D. divergens*. Por el contrario, *A. granulata* y *Mallomonas elongata* Reverdin presentaron una mayor abundancia durante octubre de 2017. En la Figura 19b, se observa que se diferencian tres grupos, uno formado mayoritariamente por las muestras de marzo del año 2017 y otros dos con las muestras de octubre 2016 y octubre 2017 respectivamente.

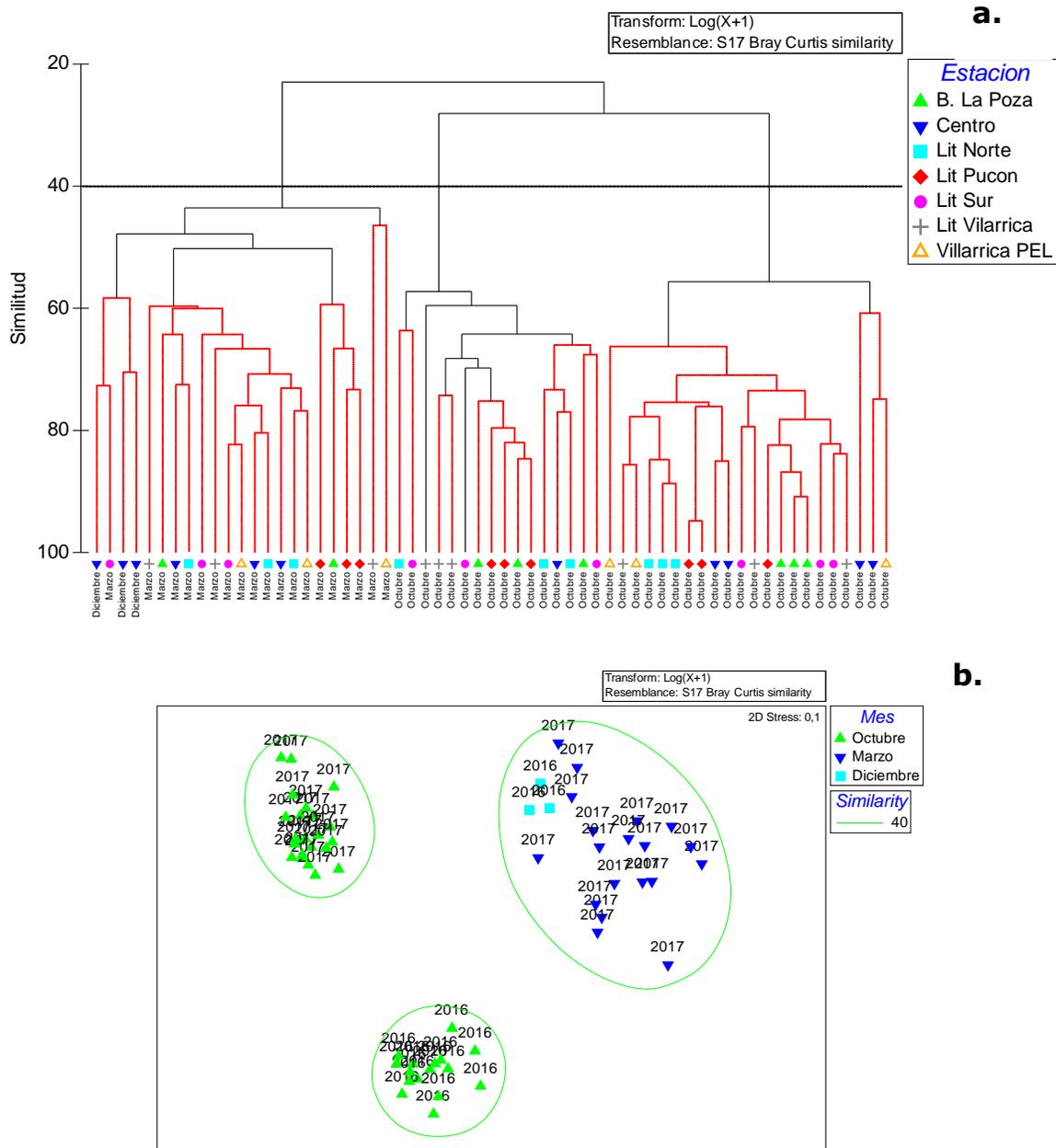


Figura 19. a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Villarrica. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). b. Análisis MDS según el mes y año.

En las muestras tomadas en los ríos Río Pucón y Río Toltén se registraron 12 clases y 58 taxones (Tabla 24). Las diatomeas dominaron la comunidad de estos ríos, en el Río Pucón principalmente de la clase Bacillariophyceae (93 %) y en el Río Toltén Coscinodiscophyceae (56 %). La mayor abundancia se registró en el Río Pucón en la muestra de octubre del 2016. La mayor riqueza en el Río Toltén (S=34).

Las diatomeas *A. granulata* y *A. distans* fueron las más abundantes en el río Toltén. *C. hirundinella*, presentó una baja abundancia (524 cel/L) y solo registró durante el 2017.

La diatomea *Diatoma vulgare* Bory fue la más abundante en el río Pucón, la que alcanzó una abundancia de 49.088 cel/L durante el mes de octubre de 2016, otras diatomeas como *A. formosa*, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing y *Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot también fueron abundantes.

En este río se registró la presencia de *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart.Schmidt con baja abundancia (785 cel/L) en octubre de 2017. Esta especie produce pedúnculos mucilaginosos para adherirse a los sustratos rocosos de los sistemas acuáticos continentales, principalmente ríos, forma masas mucilaginosas que ocasionan la alteración de los ecosistemas acuáticos y afectan su estructura y función (Basualto et al., 2016). Se considera una especie invasiva en el Hemisferio Sur, caracterizada por ocasionar un gran impacto ecológico y económico, y por expandirse rápidamente (Jaramillo et al. 2015).

Tabla 24. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica.

## **BACILLARIOPHYTA**

### **Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kützing  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Cymbella lanceolata* (C.Agardh) Kirchner  
*Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing  
*Diatoma vulgare* Bory  
*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart.Schmidt  
*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann  
*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Epithemia sorex* Kützing  
*Fragilaria aff capuccina*  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria sp. 1*  
*Fragilaria spp.*  
*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni  
*Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer  
*Gomphoneis sp.*  
*Gomphonema sp.*  
*Gomphonema sp. 1*  
*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick  
*Hantzshia spp.*  
*Navicula aff. anglica*  
*Navicula aff. radiosa*  
*Navicula sp.*  
*Navicula sp.1*  
*Navicula spp.*  
*Navicula viridula* (Kützing) Kützing  
*Nitzschia aff. sublinearis*  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Nitzschia spp.*  
*Pinnularia aff. dactyluus*  
*Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot  
*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Otto Müller  
*Surirella aff. ovalis*  
*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing  
*Ulnaria acus* (Kützing)  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère

Tabla 24. Continuación. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica.

**BACILLARIOPHYTA**

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira aff. calypsi*

*Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen

*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Melosira hustedtii* Krasske

*Melosira varians* C. Agardh

**Mediophyceae**

*Cyclostephanos sp.*

*Cyclotella meneghiniana* Kützing

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Cosmarium depressum* (Nägeli) P. Lundel

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová

**Trebouxiophyceae**

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C. Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Pseudoanabaena aff. catenata*

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin

*Gymnodinium aff. fuscum*

*Gymnodinium sp. 1*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E. Imhof

**Synurophyceae**

*Mallomonas elongata* Reverdin

*Mallomonas sp.*

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

#### 4.14. Lago Maihue

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En el lago Maihue se tomaron 7 muestras en una sola estación (Centro) a tres diferentes profundidades y en cuatro ríos (Río Blanco, Río Melipue, Río Hueinahue y Río Calarrupe).

La comunidad fitoplanctónica en el lago Maihue está compuesta por 6 clases (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Cryptophyceae, Cyanophyceae y Dinophyceae) en las que se registraron 9 taxones (Tabla 25). Las diatomeas (Bacillariophyceae y Coscinodiscophyceae) constituyeron el 86 % de la abundancia de taxones en la comunidad seguido por las algas verdes Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) (9 %). Las diatomeas fue el grupo más diverso con 4 taxones (Figura 20) (ver Anexo 2.14). Las especies más abundantes fueron las diatomeas *Aulacoseira granulata* y *Asterionella formosa*.

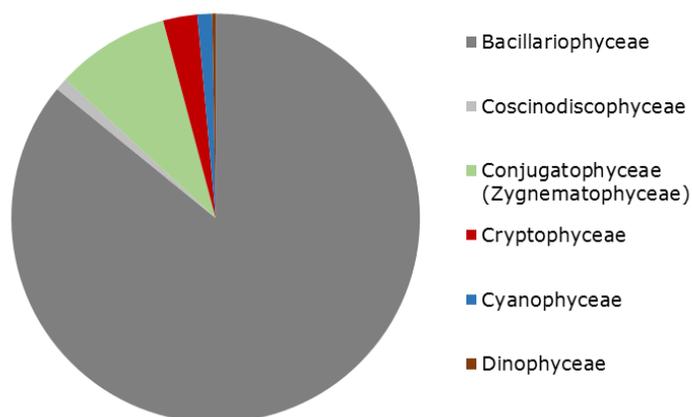


Figura 20. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Maihue.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,4, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,5$ . La mayor diversidad ( $H' \log_{10} = 0,5$ ) y riqueza (8) de taxones, se presentó durante el mes de octubre a 30 m de profundidad.

Las microalgas formadoras de floraciones como la cianobacteria *Dolichospermum spiroides* (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek y el dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, se encontraron presentes pero en baja abundancia (hasta 2.618 cel/L y 1.571 cel/L respectivamente).

Tabla 25. Listado de especies, Lago Maihue.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Diatoma vulgare* Bory

**Coscinodiscophyceae**

*Rhizosolenia eriensis* H.L. Smith

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Sphaeroszoma aubertianum* West

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Dolichospermum spiroides* (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

En las muestras tomadas en los ríos Río Calarrupe, Río Melipue, Río Hueinahue y Río Blanco, se registraron 4 clases y 17 taxones (Tabla 26). En los ríos Melipue y Hueinahue solo se reportaron diatomeas, la clase Coscinodiscophyceae constituyó el 61 % de la abundancia relativa en Melipue, mientras que en Hueinahue el 63 % de la abundancia de células correspondió a organismos de la clase Bacillariophyceae. *Melosira varians* C.Agardh 1827 y *Fragilaria sp.* fueron las especies más abundantes en estos dos ríos.

La mayor abundancia se registró en el Río Calarrupe (242.426 cel/L), la comunidad estuvo dominada por la diatomea *A. formosa* que constituyó el 79 % de la abundancia relativa de la muestra, en este río también se registró la menor diversidad de taxa. La mayor riqueza (11) en el Río Blanco, *Diatoma hyemalis* (Roth) Heiberg fue la especie más abundante. *C. hirundinella*, solo fue registrado en el Río Calarrupe en baja abundancia (1.047 cel/L).

Tabla 26. Listado de especies, ríos del Lago Maihue.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Achnanthes* sp.  
*Diatoma hyemalis* (Roth) Heiberg  
*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick  
*Fragilaria* sp.  
*Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot  
*Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer  
*Gomphonema acuminatum* Ehrenberg  
*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère

**Coscinodiscophyceae**

*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith  
*Melosira varians* C.Agardh

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin

#### 4.15. Lago Ranco

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En este lago se analizaron 6 muestras (Tabla 27). La comunidad fitoplanctónica en el Lago Ranco está compuesta por 7 clases en las que se registraron 20 taxones, de los cuales 6 fueron diatomeas, 9 algas verdes de la clase Zygnematophyceae (3), Chlorophyceae (5), Klebsormidiophyceae (1), 2 Dinophyceae, 2 Cryptophyceae y 1 Xanthophyceae (Tabla 28). Las diatomeas dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 90 % de la abundancia relativa total del lago (Figura 21).

Tabla 27. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Ranco.

<b>Estación</b>	<b>Octubre 2016</b>
Riñahue	3
Bahía Futrono	3
<b>Total</b>	<b>6</b>

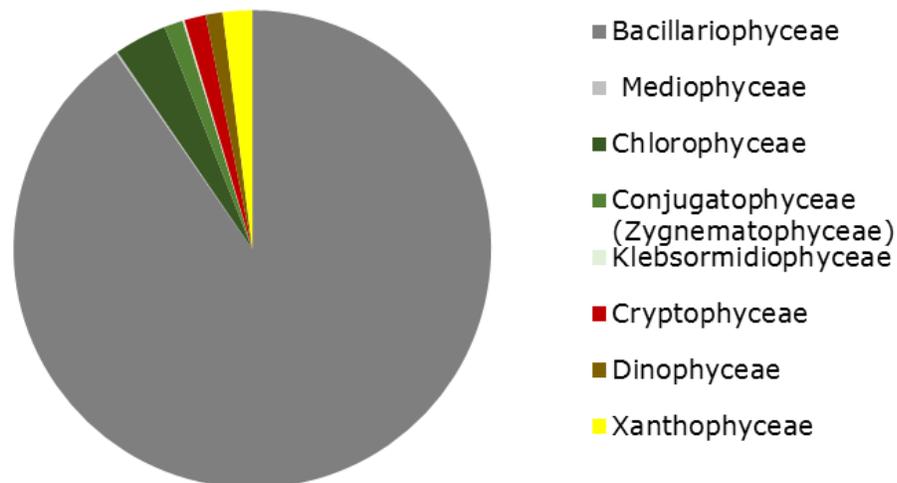


Figura 21. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Ranco.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$ . La mayor riqueza y abundancia de células se registró en el sector Riñinahue a 15 m de profundidad ( $S = 11$ ; 374.373 cel/L).

El análisis de cluster muestra dos grupos formados por la estación superficie de Riñinahue y el otro por el resto de las estaciones. La presencia de *Tribonema elongatum* Thomasson en esta estación generó estas diferencias, sin embargo, el análisis ANOSIM indicó que la estructura de la comunidad no presentó diferencias entre los sitios muestreados ( $R_{\text{global}} = 0,25$ ;  $p > 0,05$ ), ni entre las profundidades (ANOSIM  $R_{\text{global}} = -0,85$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 22).

Las especies más abundantes fueron las diatomeas *F. crotonensis* y *A. granulata*. Estas especies constituyeron el 90 % de la abundancia total de las microalgas encontradas en el lago. El dinoflagelado *C. hirundinella* se registró en todas las muestras, alcanzó una abundancia máxima de 6.807 cel/L en el sector de Bahía Futrono.

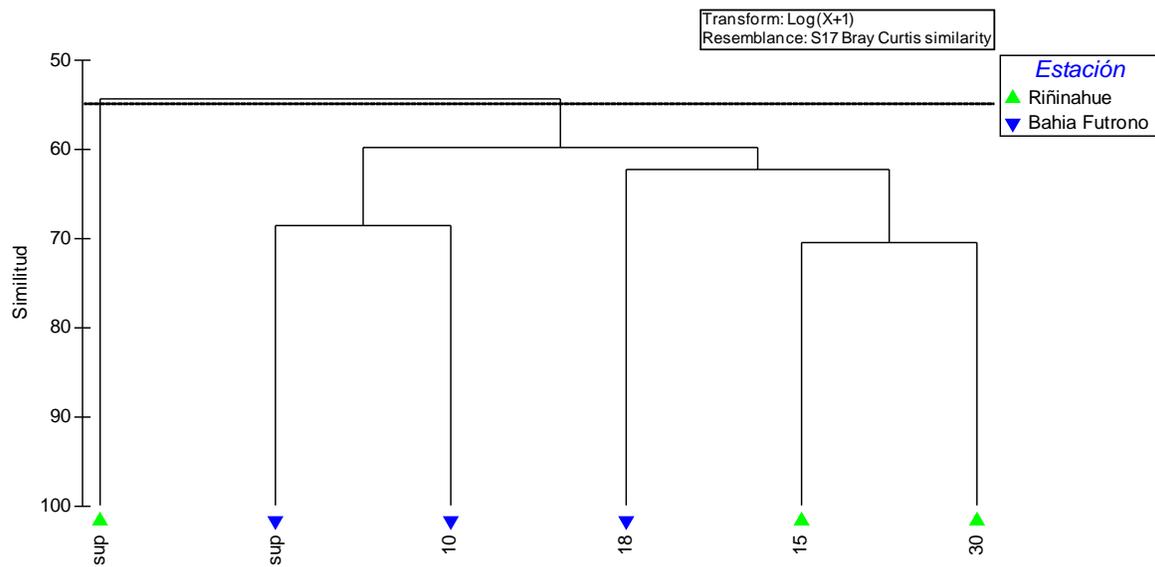


Figura 22. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Ranco.

Tabla 28. Listado de especies en el Lago Ranco.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Fragilaria crotonensis* Kitton

*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal

**Mediophyceae**

*Cyclotella meneghiniana* Kützing

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová

*Quadrigula closterioides* (Bohlin) Printz

*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson

*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

*Staurastrum leptocladum* Nordsted

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium acutum* var. *variabile* (Lemmermann) Willi Kreiger

*Staurastrum leptocladum* Nordsted

*Staurastrum pingue* Teiling

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**DINOPHYTA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin

*Gymnodinium* sp.

**OCHROPHYTA**

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

#### 4.16. Lago Chapo

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En el lago Chapo se tomaron 6 muestras en dos estaciones, a tres diferentes profundidades (Tabla 29).

Tabla 29. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Ranco.

<b>Estación</b>	<b>Marzo 2017</b>
Centro	3
Sur oriente	3
<b>Total</b>	<b>6</b>

La comunidad fitoplanctónica en el lago Chapo está compuesta por 11 clases, se identificaron 27 taxones de los cuales 9 fueron Diatomeas, 3 Cianobacterias, 4 Chlorophyceae, 3 Trebouxiophyceae, 1 Klebsormidiophyceae, 3 Dinophyceae, 1 Chrysophyceae, 1 Synurophyceae y 2 Cryptophyceae (Tabla 30). Los dinoflagelados (36 %), las criptomonas (33 %) y Synurophyceae (8 %) dominaron la comunidad (Figura 23).

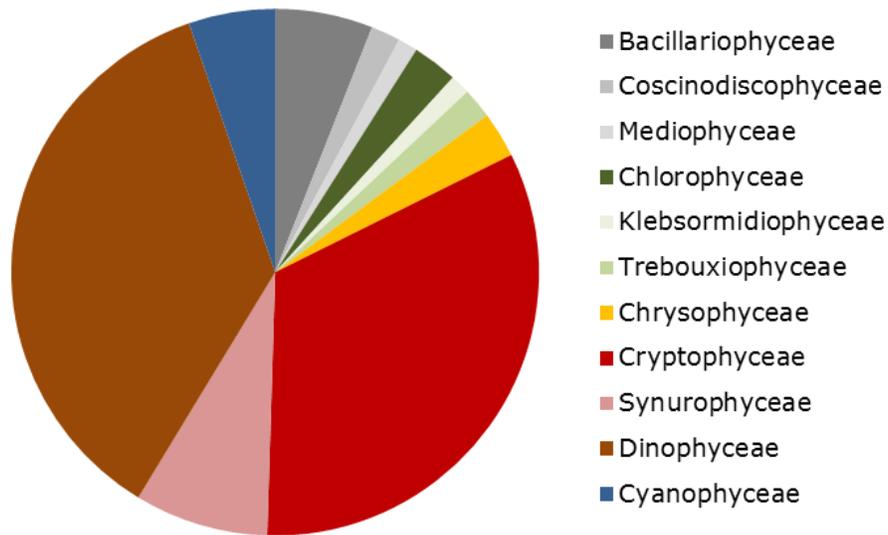


Figura 23. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Chapo.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,8, una equidad de  $J' = 0,7$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$ , es decir que no hay una sola especie que domine la comunidad y que la diversidad es alta en este lago. La mayor abundancia (235.030 cel/L) se registró a 15 m de profundidad en la columna de agua, en la estación Sur oriente, donde la *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne presentó una máxima abundancia de 159.239 cel/L. Esta criptofícea junto con el dinoflagelado *Peridinopsis aff. pernaldii* y *Synura uvella* Ehrenberg componen el 67 % de la abundancia de microalgas en el lago (ver Anexo 2.16).

Tabla 30. Listado de especies, Lago Chapo.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Diatoma moniliformis* Kutzing  
*Fragilaria* sp.1  
*Fragilaria* spp.  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer  
*Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen

**Mediophyceae**

*Cyclotella* sp.

**CHAROPHYTA**

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Acutodesmus acuminatus* (Lagerheim) Tsarenko  
Aff. *Chlamydocapsa*  
*Golenkinia radiata* Chodat  
*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing  
*Crucigeniella apiculata* (Lemmermann) Komárek  
*Oocystis lacustris* Chodat

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**Cyanobacteria**

**Cyanophyceae**

*Anabaenopsis* aff. *arnoldii*  
*Aphanocapsa* sp.  
*Sphaerospermopsis* aff. *aphanizomenoides*

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium* aff. *palustre*  
*Gymnodinium* sp. 5  
*Peridinopsis* aff. *pernaldii*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon cylindricum* O.E.Imhof

**Synurophyceae**

*Synura uvella* Ehrenberg

La comunidad no presentó diferencias entre las estaciones de muestreo, (ANOSIM  $R_{\text{global}} = -0,44$ ;  $p > 0,05$ ), ni entre las profundidades (ANOSIM  $R_{\text{global}} = -0,01$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 24).

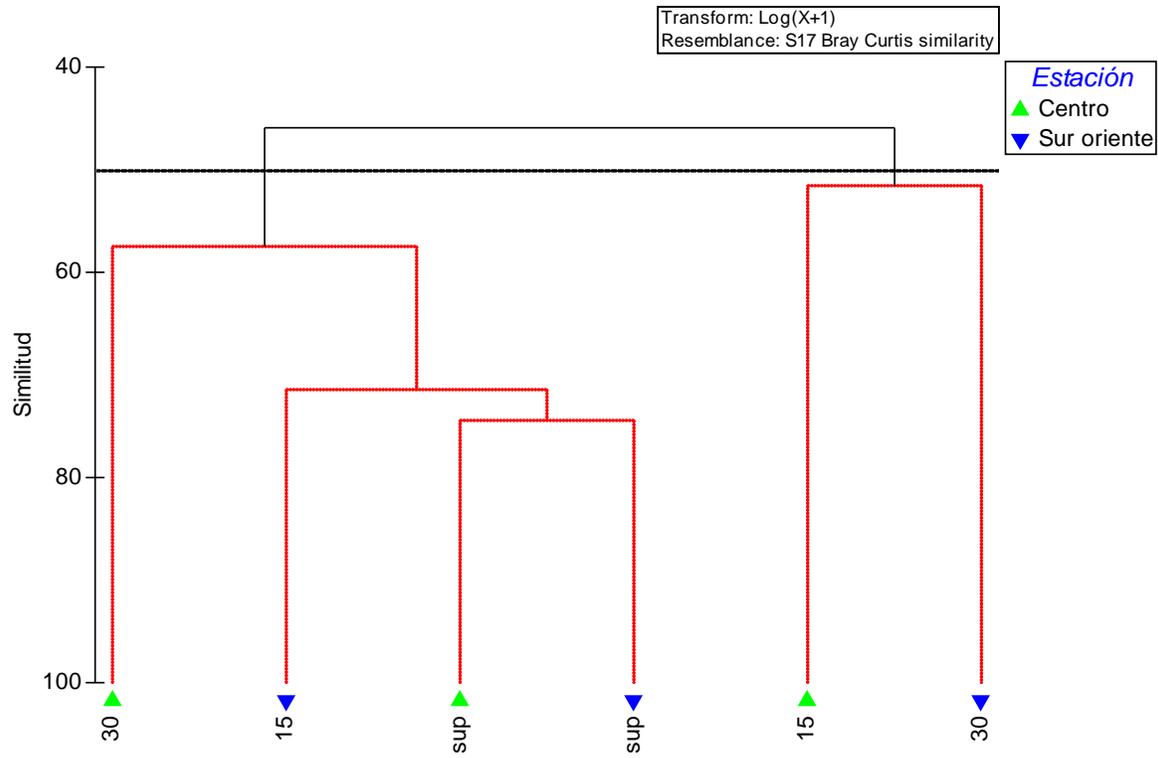


Figura 24. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Chapo.

#### 4.17. Lago Llanquihue

##### *Composición específica y abundancia relativa*

En el lago se tomaron 41 muestras en los meses de marzo y agosto, en cuatro estaciones diferentes (Puerto Octay, Puerto Varas, Frutillar, Zmax y Ensenada) y tres ríos (Río Tepu, Río Maullín y Río Pescado) (Tabla 31).

Tabla 31. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el lago Llanquihue.

<b>Estación</b>	<b>Agosto 2016</b>	<b>Marzo</b>	<b>Julio 2017</b>	<b>Agosto</b>	<b>Total</b>
Pto Octay	2	3		2	<b>7</b>
Ensenada	2	3		1	<b>6</b>
Frutillar	2	3		2	<b>7</b>
Puerto Varas	2	3		2	<b>7</b>
Zmax	2	3		2	<b>7</b>
Rio Maullín	1		1		<b>2</b>
Rio Pescado	1		1		<b>2</b>
Rio Tepu	1		1		<b>2</b>
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>40</b>

La comunidad fitoplanctónica en el lago Llanquihue está compuesta por 11 clases en las que se registraron 49 taxones, de los cuales 24 son diatomeas (19 Bacillariophyceae y 5 Coscinodiscophyceae), 12 algas verdes (3 Conjugatophyceae, 1 Klebsormidiophyceae, 6 Chlorophyceae y 2 Trebouxiophyceae), 1 crisofíceas (Chrysophyceae), 4 criptofíceas (Cryptophyceae), 6 dinoflagelados (Dinophyceae), 1 Synurophyceae y 1 Xanthophyceae (Tabla 32). Las diatomeas constituyeron el 51 % de la abundancia de taxones en la comunidad (Figura 25), principalmente de

la clase Coscinodiscophyceae. Las clases Cryptophyceae (10 %) y Chrysophyceae (9 %) también fueron abundantes (ver Anexo 2.17).

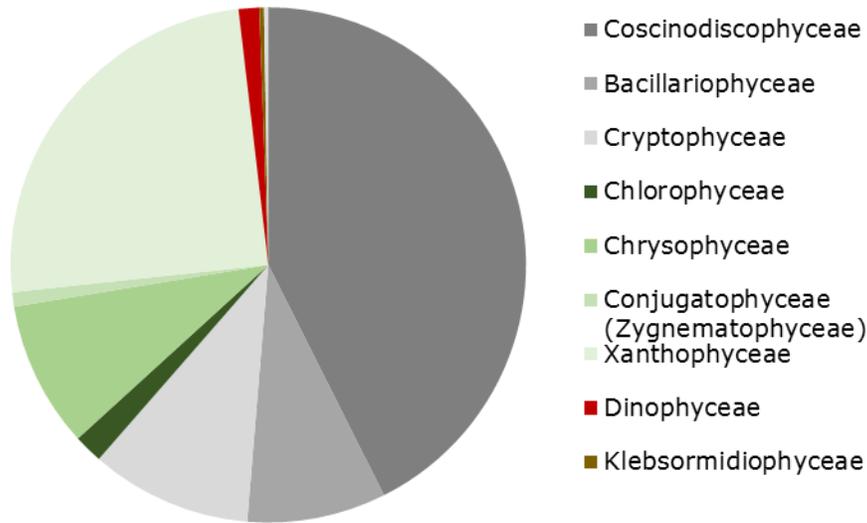


Figura 25. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.

Las especies más abundantes fueron las diatomeas *A. granulata* y *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen, la crisofícea *Dinobryon divergens* O.E.Imhof y la Xanthophyceae *Tribonema elongatum* Thomasson. Estas especies constituyeron el 76 % de la abundancia del fitoplancton en el lago.

Tabla 32. Listado de especies, Lago Llanquihue.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Cymbella affinis* Kützing  
*Diatoma vulgare* Bory  
*Diploneis subovalis* Cleve  
*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann  
*Fragilaria aff. construens*  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria larga*  
*Fragilaria sp.*  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Gomphoneis sp.1*  
*Gomphonema sp.*  
*Navicula aff. dicephala*  
*Navicula aff. viridula*  
*Nitzschia aff. sublinearis*  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith  
*Pinnularia sp.*  
*Ulnaria aff. delicatissima*  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen  
*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
*Melosira varians* C.Agardh  
*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium aff. actum var variable*  
*Sphaerosoma aubertianum* West  
*Staurastrum leptocladum* Nordstedt

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

Tabla 32. Continuación. Listado de especies, Lago Llanquihue.

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald

*Golenkinia radiata* Chodat

*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová

*Oocystis lacustris* Chodat

*Quadrigula closterioides* (Bohlin) Printz

*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

*Oocystis lacustris* Chodat

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Erhrenberg

*Cryptomonas ovata* Erhrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

*Aff. Cryptomonas*

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)

*Gymnodinium aff. fuscum*

*Gymnodinium sp. 1*

*Gymnodinium sp. 2*

*Gymnodinium sp. 7*

*Peridiniopsis aff. penardii*

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

**Synurophyceae**

*Mallomonas sp.*

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

La comunidad presentó una diversidad ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,6$  y una dominancia promedio de  $\lambda = 0,45$ . Los resultados del análisis de conglomerados y ANOSIM a dos vías (estación de muestreo y época del año) indican que entre los sitios muestreados no existen diferencias en cuanto a la estructura de la comunidad (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,09$ ;  $p > 0,05$ ), pero si existen diferencias estadísticamente significativas entre los meses del año (ANOSIM  $R_{\text{global}} = 0,57$ ;  $p < 0,05$ ), determinadas principalmente por la abundancia de *D. divergens* en todas las estaciones durante el mes de marzo y su baja abundancia en agosto, en este mes *T. elongatum* y las diatomeas del género *Aulacoseira* fueron dominantes (Figura 26).

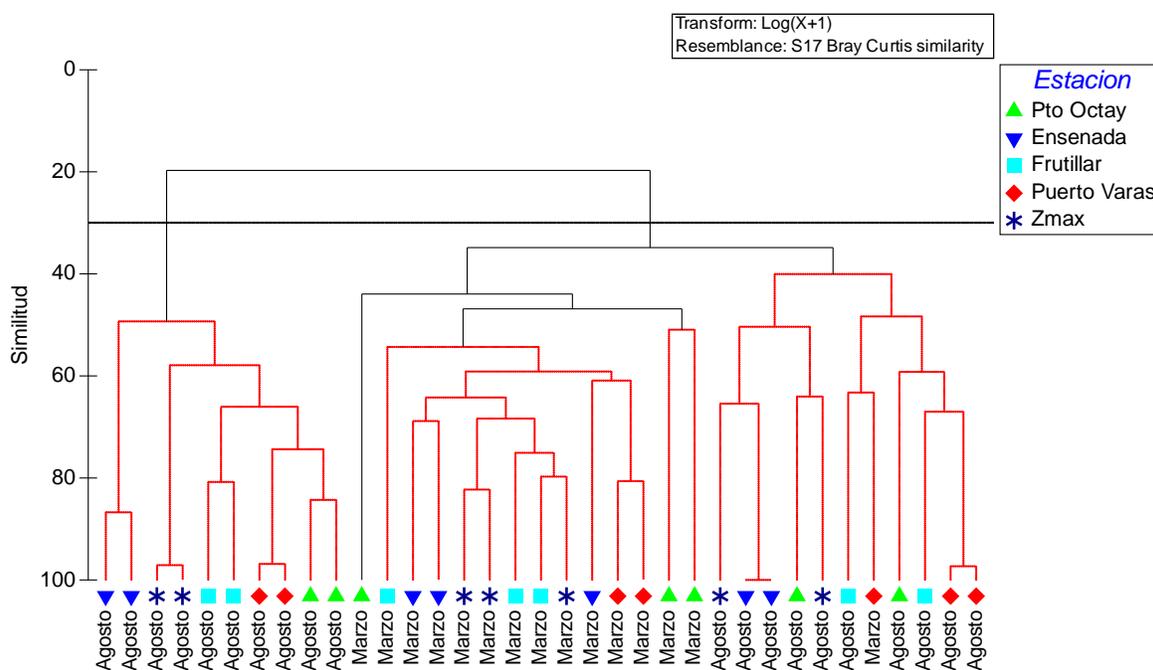


Figura 26. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, se registró en 23 muestras con una máxima abundancia de 1.571 cel/L a 20 m de profundidad en la estación Zmax. Otra taxa especialmente abundante en los dos meses muestreados y en todas las estaciones fue *Aff. Cryptomonas*, no fue posible identificar a nivel de especie esta microalga. Se necesita realizar mayores estudios para su identificación (ver anexo 2.17).

En las muestras tomadas en los ríos Río Tepu, Río Maullín y Río Pescado se registraron 10 clases (Tabla 33). Las diatomeas fueron el grupo más abundante, representaron el 56 % en el Río Maullín, 61 % en el Río Pescado y el 81 % en el río Tepu. Las diatomeas *A. granulata* y *Asterionella formosa* Hassall, la xantofícea *T. elongatum* y la criptofícea *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner fueron las especies más abundantes en el río Maullín. En el Río Pescado, las diatomeas *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot y *Gomphoneis* sp.1 y la criptofícea *R. lacustris*. En el Río Tepu, la diatomea *Navicula aff. dicephala* y la cianobacteria *Pseudoanabaena aff. catenata* fueron las especies más abundantes.

La mayor abundancia de células y riqueza se presentó en el Río Maullín (máxima abundancia 46.208; S=20). El Río Pescado mostró la mayor diversidad de taxa ( $H_{log10}=1,1$ ).

Tabla 33. Listado de especies, ríos del Lago Llanquihue.

## **BACILLARIOPHYTA**

### **Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Cymbella naviculiformis* Auerswald ex Heiberg  
*Diatoma vulgare* Bory  
*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria sp.1*  
*Fragilaria sp.2*  
*Fragilaria sp.3*  
*Fragilaria sp.4*  
*Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot  
*Frustulia vulgare* (Thwaites) De Toni  
*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick  
*Navicula sp.*  
*Gomphoneis sp.1*  
*Gomphoneis sp.2*  
*Navicula aff. dicephala*  
*Navicula aff. pupula*  
*Navicula aff. viridula*  
*Nitzschia aff. sublinearis*  
*Pinnularia sp.*  
*Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère

### **Coccinodiscophyceae**

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

### **Mediophyceae**

*Cyclotella sp.*  
*Cyclostephanos sp.*

Tabla 33. Continúa. Listado de especies, ríos del Lago Llanquihue.

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Closterium aff. actum var variable*

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová

*Quadrigula closterioides* (Bohlin) Printz

**Trebouxiophyceae**

*Crucigeniella apiculata* (Lemmermann) Komárek

*Oocystis lacustris* Chodat

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas erosa* Erhrenberg

*Cryptomonas ovata* Erhrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium sp. 1*

**OCHROPHYTA**

**Xanthophyceae**

*Tribonema elongatum* Thomasson

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Pseudoanabaena aff. catenata*

*Oscillatoria sp.*

#### 4.18. Lago Tepuhueico

La comunidad fitoplanctónica de una muestra analizada en este lago, está compuesta por 6 clases en las que se registraron 17 taxones de 7 taxones diferentes (Tabla 34). Las criptofíceas dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 73 % de la abundancia relativa total del lago. Este grupo estuvo representado por dos especies *Cryptomonas ovata* Erhrenberg, la más abundante con 96.604 cel/L seguida por *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne con 21.991 cel/L (Figura 27). El alga verde *Sphaerocystis schroeteri* Chodat representó el 10 % de la abundancia de microalgas en la muestra. La comunidad presentó una diversidad ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,7$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$  (Anexo 2.18).

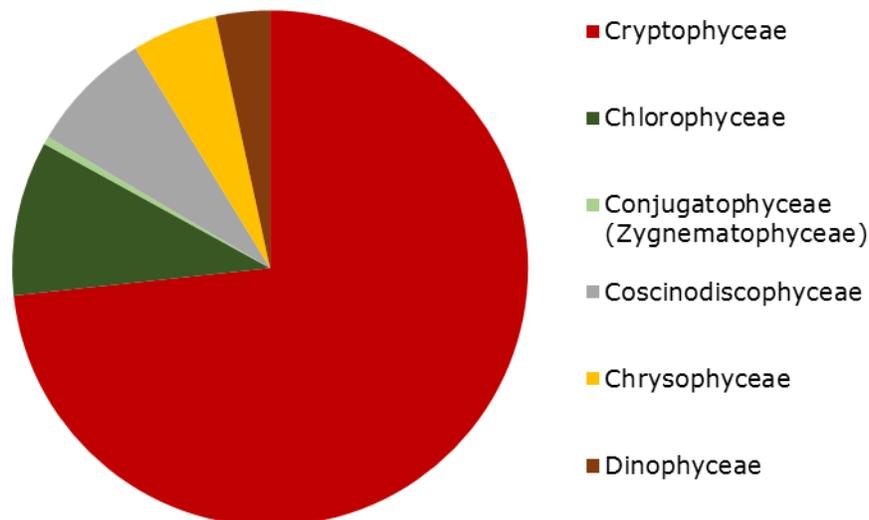


Figura 27. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Tepuhueico.

Tabla 34. Listado de especies presentes en la Laguna Tepuhueico.

**BACILLARIOPHYTA**

**Coscinodiscophyceae**

*Rhizosolenia eriensis* H.L.Smith

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Sphaerocystis Schroeteri* Chodat

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurodesmus dejectus* (Brébisson) Teiling

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Gymnodinium* sp.

**OCHROPHYTA**

**Chrysophyceae**

*Dinobryon divergens* O.E.Imhof

#### 4.19. Lago Tarahuín

La comunidad fitoplanctónica en la laguna Tarahuín está compuesta por 7 clases en las que se registraron 9 taxones de 8 géneros diferentes (Tabla 35). Las diatomeas de la clase Coscinodiscophyceae dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 55 % de la abundancia relativa total del lago, principalmente *Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen y *A. granulata* (Figura 28). La cianobacteria formadora de floraciones *Dolichospermum aff. spiroides* compuso el 34 %, alcanzó una abundancia de 507.367 cel/L a 20 m de profundidad. La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,6$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$  (Anexo 2.19).

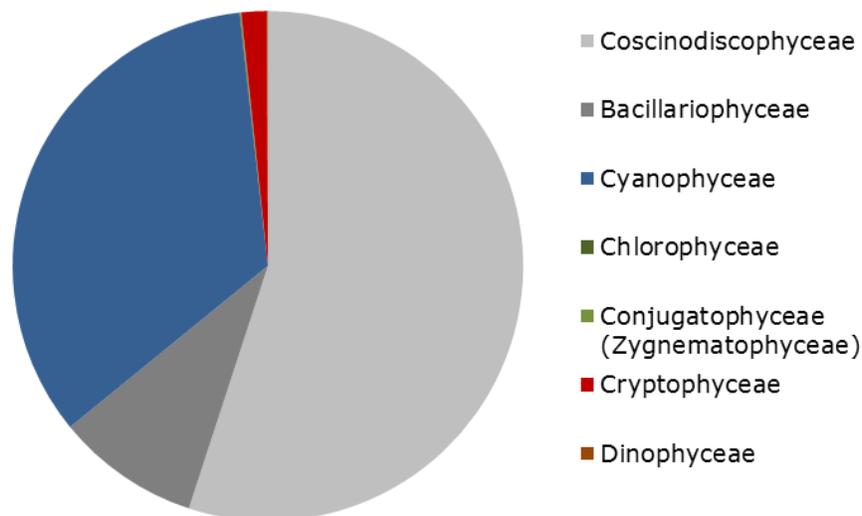


Figura 28. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Tarahuín.

Tabla 35. Listado de especies, Laguna Tarahuín.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall

*Fragilaria crotonensis* Kitton

**Coscinodiscophyceae**

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

*Aulacoseira distans* (Ehrenberg) Simonsen

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Volvox aureus* Ehrenberg

**CHAROPHYTA**

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurastrum pingue* Teiling

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)

**CYANOBACTERIA**

**Cyanophyceae**

*Dolichospermum aff. spiroides*

#### 4.20. Lago Natri

Se tomaron 4 muestras en una estación de muestreo (Tabla 36).

Tabla 36. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Natri.

<b>Estación</b>	<b>Febrero 2017</b>	<b>Octubre 2017</b>	<b>Total</b>
Z max	2	2	2

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Natri está compuesta por 9 clases en las que se registraron 20 taxones (Tabla 37). Las algas diatomeas de la clase Bacillariophyceae dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 78 % de la abundancia relativa total del lago. Este grupo estuvo representado por 7 especies, la más abundante fue *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing que alcanzó una abundancia de 1.919.048 cel/L durante el mes de febrero en superficie (Figura 29). Los dinoflagelados representaron el 10 %, con 3 especies, el más abundante fue *Peridinium aff. inconspicuum*. El dinoflagelado invasor *C. hirundinella* estuvo presente en tres de las 4 muestras analizadas, alcanzó una abundancia máxima de 9.524 cel/L. La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,5$  y una dominancia de  $\lambda = 0,5$ , según estos índices la comunidad presentó una diversidad media y no está dominada por una especie en particular (Anexo 2.20).

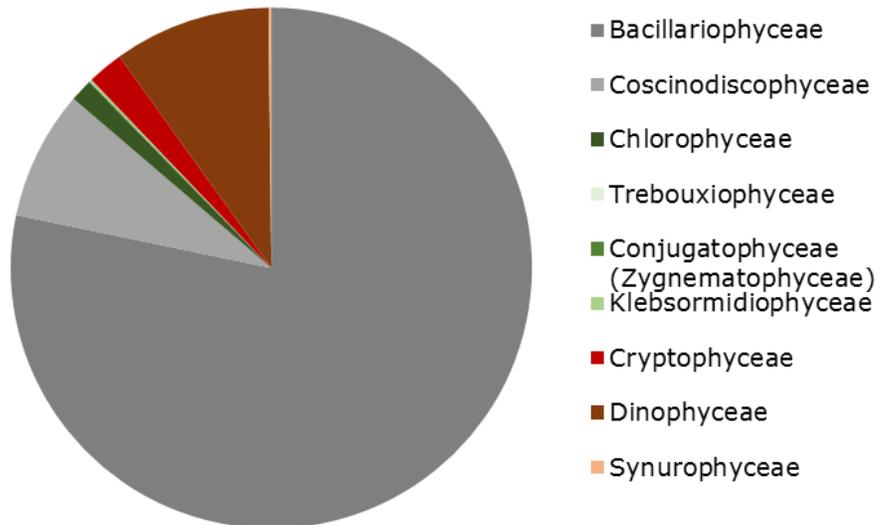


Figura 29. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Natri.

Tabla 37. Listado de especies, Lago Natri.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Asterionella formosa* Hassall  
*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Navicula* aff. *radiosa*  
*Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing  
*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing

**Coscinodiscophyceae**

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

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg  
*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttne

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs  
*Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald  
*Kirchneriella contorta* (Schmidle) Bohlin  
*Sphaerocystis schroeteri* Chodat

**CHAROPHYTA**

**Trebouxiophyceae**

*Botryococcus braunii* Kützing

**Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)**

*Staurastrum* sp.

**CHAROPHYTA**

**Klebsormidiophyceae**

*Elakatothrix gelatinosa* Wille

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)  
*Gymnodinium* sp.  
*Peridinium* aff. *inconspicuum*

**OCHROPHYTA**

**Synurophyceae**

*Mallomonas* sp.

El análisis de cluster mostró que al 50 % de similitud se generan dos grupos correspondientes a los meses muestreados (Figura 30).

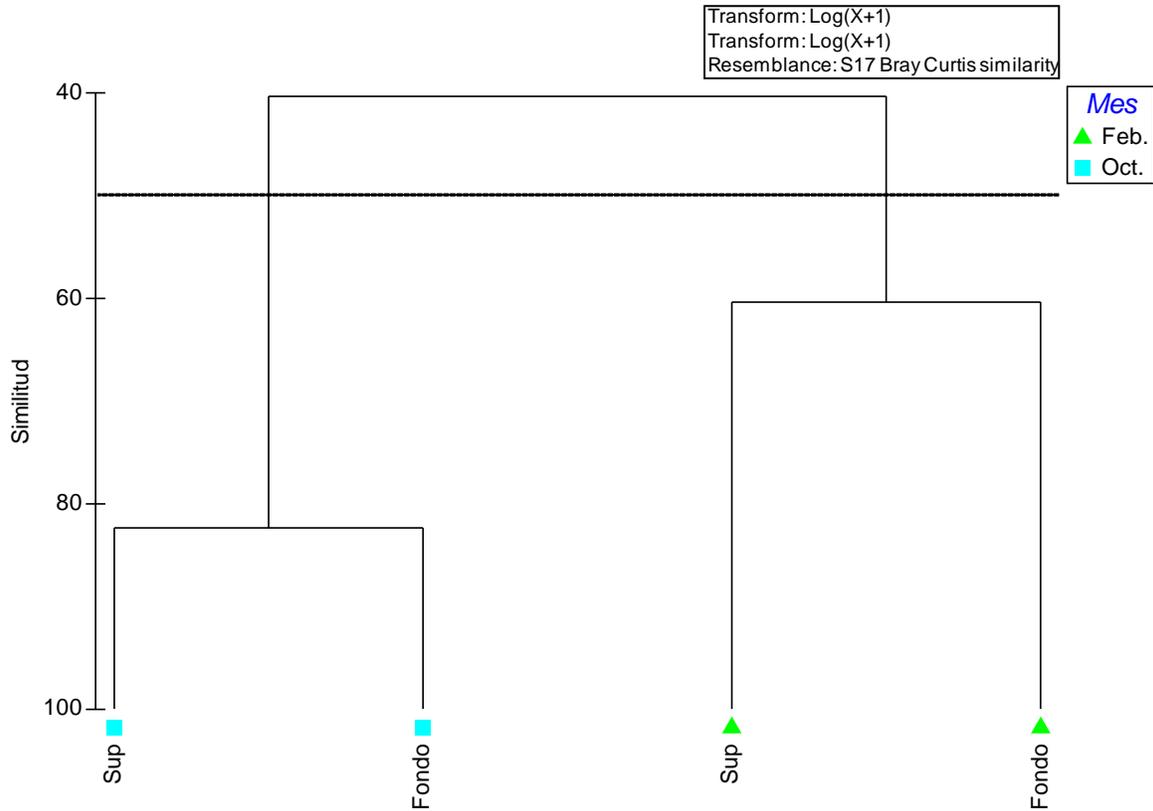


Figura 30. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Natri.

#### 4.21. Lago San Antonio

La comunidad fitoplanctónica en el Lago San Antonio está compuesta por 5 clases en las que se registraron 7 taxones de 7 géneros diferentes (Tabla 38). Synurophyceae y Cryptophyceae dominaron la comunidad con el 43 % y 35 % de la abundancia relativa total del lago, respectivamente (Figura 31). Las especies más abundantes fueron *Mallomonas* sp. (43 % de la abundancia relativa) y *C. ovata* (24 %). La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,6, una equidad de  $J' = 0,8$  y una dominancia de  $\lambda = 0,3$  (Anexo 2.21). El dinoflagelado *C. hirundinella* estuvo presente en baja abundancia.

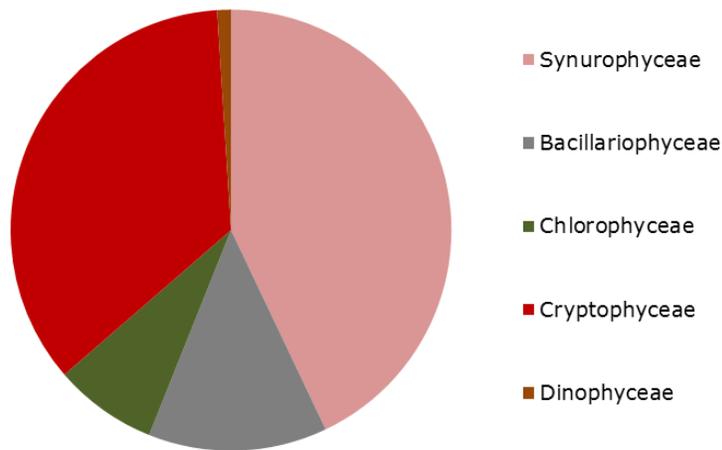


Figura 31. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago San Antonio.

Tabla 38. Listado de especies, Lago San Antonio.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing

**CRYPTOPHYTA**

**Cryptophyceae**

*Cryptomonas ovata* Ehrenberg

*Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

**CHLOROPHYTA**

**Chlorophyceae**

*Eudorina elegans* Ehrenberg

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)

*Gymnodinium* sp.

**OCHROPHYTA**

**Synurophyceae**

*Mallomonas* sp.

#### 4.22. Lago Yaldad

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Yaldad está compuesta por 2 clases en las que se registraron 4 taxones de 4 géneros diferentes (Tabla 39). Las diatomeas dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 88 % de la abundancia relativa total del lago, este grupo estuvo representado por tres especies, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing fue la especie mas abundante en la comunidad (Figura 32). El dinoflagelado *C. hirundinella* estuvo presente en baja abundancia.

La comunidad presentó una diversidad promedio ( $H' \log_{10}$ ) de 0,5, una equidad de  $J' = 0,8$  y una dominancia de  $\lambda = 0,4$  (Anexo 2.22).

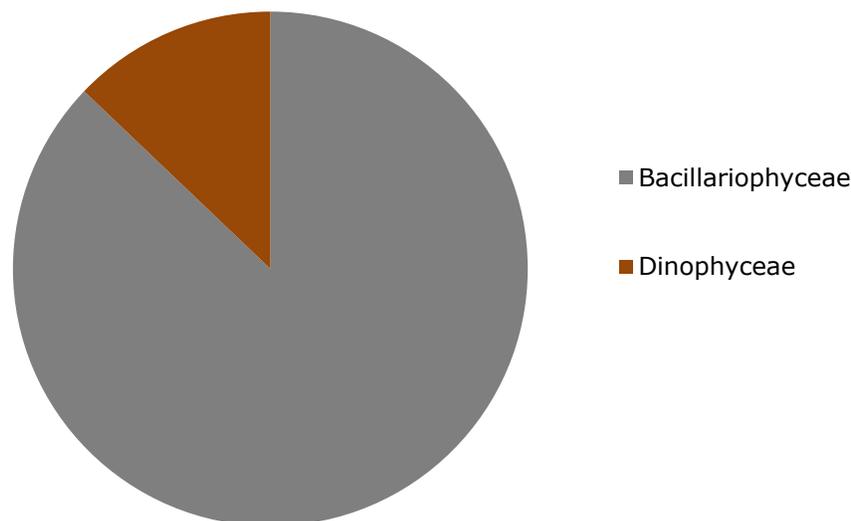


Figura 32. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Yaldad.

Tabla 39. Listado de especies, lago Yaldad.

**BACILLARIOPHYTA**

**Bacillariophyceae**

*Gomphonema sp.*

*Surirella aff. chilensis*

*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing

**MIOZOA**

**Dinophyceae**

*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller)

## 5. CONCLUSIONES

En los 22 cuerpos de agua analizados se reportan 14 diferentes clases de microalgas; Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Cryptophyceae, Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Klebsormidiophyceae, Dinophyceae, Chrysophyceae, Synurophyceae, Xanthophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae.

El phylum más abundante fue Bacillariophyta, el que representó más del 50% de la abundancia relativa de microalgas en 11 de los lagos estudiados (Laguna El Petrel, Laguna Los Batros, Lago Caburgua, Lago Colico, Lago Villarrica, Lago Maihue, Lago Ranco, Lago Llanquihue, Lago Tarahuin, Lago Natri y Lago Yaldad), seguido por las cianobacterias, en 7 lagos (Laguna El Perro, Laguna Torca, Laguna Butaco, Laguna Lloncao, Lago Vichuquén, Laguna Antiquina y Lago Lleulleu) y por Chlorophyta (Laguna Lencan), Miozoa (Lago Chapo), Ochrophyta (Lago San Antonio), Cryptophyta (Lago Tepuhueico) en un solo lago, respectivamente. Los géneros más abundantes fueron *Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria* (clase Bacillariophyceae), *Aulacoseira*, *Melosira*, *Rhizosolenia* (Coscinodiscophyceae) y las cianobacterias de los géneros *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Aphanocapsa*, *Aphanothece* y *Gomphosphaeria* (Cyanophyceae).

En general los lagos de características oligotróficas y ubicados en la zona sur del área de estudio, presentaron mayor dominancia de diatomeas, mientras que los lagos dominados por cianobacterias se

ubicaron al norte en zonas con mayor intervención humana y con características eutróficas.

La mayor abundancia se registró en la Laguna Torca. La mayor riqueza en el Lago Villarrica ( $S=79$ ) y la menor en el Lago Yaldad ( $S=4$ ). Cabe resaltar que en el Lago Villarrica se analizaron la mayor cantidad de muestras ( $n=67$ ). El lago con mayor diversidad fue Lago Perro ( $H_{log10}=1,9$ ) y la menor se registró en los lagos Vichuquén y Butaco ( $H_{log10}=0,4$ ).

Se identificaron 16 géneros de cianobacterias, aproximadamente con 33 taxa diferentes. Se registraron aumentos de abundancia de 8 especies (*A. favaloroi*, *Aphanocapsa aff. delicatissima*, *Aphanothece aff. smithii*, *D. planctonicum*, *Dolichospermum aff. lemmermanii*, *A. constricta*, *Microcystis sp.* y *M. aeruginosa*) en 7 de los lagos estudiados (Laguna El Perro, Laguna Torca, Laguna Butaco, Laguna Lloncao, Lago Vichuquén y Laguna Antiquina). El aumento de abundancia de estas especies está asociado a diferentes características físicas y químicas del agua, principalmente a los aportes de nutrientes (puntuales y difusos), el aumento de la temperatura ambiente y a estabilidad de la columna del agua. Estas condiciones varían entre cada cuerpo de agua, por lo que se hace necesario estudiar cada caso de forma puntual e identificar su efecto en la calidad del agua, así como el posible riesgo sanitario de su presencia.

En general los ecosistemas como Laguna El Perro, Laguna Torca, Laguna Butaco, Laguna Lloncao, Lago Vichuquén y Laguna Antiquina, tiene las siguientes características con respecto a la comunidad de microalgas:

- 1.- Mayor biomasa de microalgas.
- 2.- Predominio de cianobacterias.
- 3.-

Dominancia de una o pocas especies y baja diversidad, por lo que podría indicar que son eutróficos. 4.- Mayor influencia antrópica.

El dinoflagelado del género *Ceratium* fue reportado en 14 de los lagos analizados (Lago Perro, Batros, Lonca, Antiquina, Lleulleu, Colico, Villarrica, Maihue, Ranco, Llanquihue, Tarahuín, Natri, San Antonio, Yaldad). Se identificaron las dos especies, tanto *C. furcoides* como *C. hirundinella*. En el Lago Lleulleu se evidenció la presencia de ambas especies. La abundancia del dinoflagelado varió entre 262 y 95.833 cel/L, este último valor registrado por *C. hirundinella* en Lago Los Batros. Este género es considerado invasor en varios cuerpos de agua de sur América, en pocos años se ha expandido de manera rápida, aumentando su distribución geográfica (Meichtry de Zaburlín et al. 2016). Las especies de este género pueden desarrollar floraciones en ecosistemas acuáticos continentales con características meso a hipertróficos. Sus floraciones se caracterizan por modificar el color y sabor del agua, obstruir los filtros de los sistemas de potabilización y generar la muerte de peces por el agotamiento del oxígeno disuelto cuando la población disminuye (Nicholls et al. 1980; Meichtry de Zaburlín et al. 2016). Las especies invasoras pueden favorecer la pérdida de la biodiversidad, la extinción de especies nativas y generar cambios en la comunidad (Lebret et al. 2013). Hasta el momento se tiene poco conocimiento sobre la presencia de estas floraciones en los cuerpos de agua chilenos, solamente un antecedente en el lago urbano de Lo Méndez (Almanza et al. 2016) en donde se describe la presencia de floraciones de *C. furcoides*, durante dos años consecutivos y las condiciones ambientales bajo las cuales se producen, sin embargo, no se indican las repercusiones de las floraciones en el ecosistema y en los usos del recurso hídrico, como han sido descritos en otros países. Por lo

anterior, es importante monitorear la distribución y abundancia de este género en los cuerpos de agua del país.

Se evidenciaron diferencias temporales en la estructura de la comunidad, en la mayoría de los lagos estudiados, espacialmente la comunidad fue similar en todos los sistemas estudiados.

Se analizaron 15 ríos asociados a 6 lagos, las diatomeas dominaron la comunidad de 13 de los ríos estudiados (Afluente lago Lecan, Efluente lago Lecan, Río Trafampulli, Río Curaco, Río Pucon, Río Tolten, Río Blanco, Río Melipue, Río Huanalhue, Río Calarrupe, Río Tepu, Río Maullín, Río Pescado), 1 por cianobacterias y 1 por Conjugatophyceae (Zygnematophyceae). La riqueza varió entre 4 taxa en el río Curaco y 27 en el afluente de Lecan. La mayor abundancia de células fue el Estero Llico en el lago Vichuquén en donde se evidenciaron floraciones de cianobacterias, la menor abundancia se registró en Río Tepu (Lago Llanquihue). La máxima diversidad se registró en el afluente del lago Lecan ( $H_{log10} = 1,2$ ) y la menor en los Ríos Curaco (Lago Colico) y Calcorrupe (Lago Maihue) ( $H_{log10} = 0,3$ ).

En los ríos Toltén, Calarrupe se identificó la presencia de *C. hirundinella* en una abundancia que vario entre 524 y 1.047 respectivamente).

En el Río Pucón se reportó la presencia de la diatomea formadora de floraciones bentónicas *Didymosphenia geminata*. Esta especie se encontró por primera vez en Chile formando una floración en el río Espolón (alrededor de 44° S) en el año 2010, expandiéndose hacia el norte hasta la región del Biobío (Basualto et al. 2016). Se han realizado múltiples esfuerzos para controlar su expansión, sin embargo, cada vez es mayor la cantidad de cuerpos de agua que contienen su presencia.

## 6. RECOMENDACIONES

Se deben tomar muestras cualitativas con malla de 20  $\mu\text{m}$ , las tomadas hasta el momento con una malla de 50  $\mu\text{m}$  lo que no aportan información relevante, debido a que se capturan individuos mayores al tamaño de las especies de fitoplancton que habitan estos lagos. De ser posible conservar en fresco parte de la muestra y utilizar más de un fijador, es decir lugol, formol, y/o alcohol, lo anterior para facilitar la identificación taxonómica de las muestras. La utilización de fijadores en muchos casos cambia la morfología de las células y/o la pérdida de algunas estructuras así como del color, lo que no permite o dificulta la correcta identificación de las mismas. Se recomienda realizar lo mismo con muestras integradas cuantitativas.

Se debe realizar estudios taxonómicos para actualizar la información de todos los grupos de fitoplancton presentes en el país, principalmente con las cianobacterias, sobre las que hay muy poca información disponible y las que son cada vez más frecuentes en las muestras. Además de la toma de muestras en fresco y con diferentes fijadores, se recomienda filtrar en terreno aproximadamente 250 ml de agua, en filtros de fibra de vidrio (45  $\mu\text{m}$ ) y guardar estos filtros en frío ( $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), esto con el fin de poder realizar análisis moleculares de las muestras.

En la medida de lo posible mantener el monitoreo de los mismos cuerpos de agua, y aumentar la frecuencia de monitoreo a estacional, debido a que los resultados de este estudio mostraron que las comunidades varían temporalmente. En este sentido, los vacíos de información y/o muestreos en diferentes épocas del año es complejo

detectar variaciones de la comunidad entre años que indiquen cambios en el estado trófico de los lagos. Debido a que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes profundidades de los lagos profundos, se recomienda reducir el monitoreo tomando muestras integradas de la columna de agua y priorizar el monitoreo para mantener una frecuencia temporal.

Se deben tomar medidas parámetros físicos y químicos en los cuerpos de agua, como nutrientes, fósforo y nitrógeno total, y analizar esta información en conjunto con la biológica, esto permitiría poder generar un mejor entendimiento del estado actual de los cuerpos de agua.

De igual forma, se recomienda analizar la información existente con respecto a las especies más abundantes y/o comunes en los cuerpos de agua, principalmente su tolerancia ante diferentes condiciones ambientales. Esto con el fin de identificar especies que provean información de las características físicas y químicas de ambientes en particular (p.e. ecosistemas oligotróficos, eutróficos) y que a largo plazo sea posible realizar un monitoreo de las condiciones de los lagos a partir de estas especies indicadoras.

En los lagos con alta presencia de cianobacterias y/o con floraciones, anotar observaciones sobre el color y la textura de agua, esto con el fin de llevar un seguimiento de la frecuencia de las floraciones en los sistemas, de ser posible tomar muestras para analizar la concentración de cianotoxinas en el agua y determinar si son tóxicas, en ese sentido tomar decisiones respecto al uso del cuerpo de agua. Las muestras para el análisis de cianotoxinas se deben tomar en frascos de vidrio color ámbar (aprox. 1 L), guardar en frío y trasladar al laboratorio para el posterior análisis.

Se recomienda realizar un monitoreo en el Río Pucón con el fin de constatar la presencia de *D. geminata* (Didymo) en el sistema bentónico y la presencia de floraciones. Esto con el fin de tomar las respectivas medidas para evitar su mayor dispersión en los cuerpos de agua de la región.

Debido a que se están prospectando diferentes lugares sobre los cuales se desconoce la presencia de *D. geminata*, se debe mantener controles de limpieza y desinfección entre cada actividad de muestreo y entre cada lago monitoreado. Para lo anterior, se consideran las recomendaciones del plan de bioseguridad de Nueva Zelanda<sup>2</sup> que recomienda entre otras las siguientes medidas:

- Solución de cloro al 2%: 200 ml de cloro 10 L de agua.
- Solución salina al 5%, 500 gr de sal en 10 L de agua.

Así como el procedimiento de desinfección recomendado por SERNAPESCA<sup>3</sup> que se basa en las acciones de Remover, Lavar y Secar.

- Remover: corresponde a la remoción de toda la presencia visible de algas de aquello que haya estado en contacto con el agua.
- Limpieza: corresponde a la etapa de desinfección propiamente tal y considera la utilización de solución de cloro al 2% o de solución salina al 5% según el tipo de material o equipo que se quiera desinfectar.
- Secado: todo el material desinfectado debe estar seco al tacto (exterior e interiormente). Se dejará secar 48 horas al menos antes de usarlos nuevamente.

---

<sup>2</sup> <http://www.biosecurity.govt.nz/pests/didymo/cleaning>

<sup>3</sup> [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ALMANZA, V., BICUDO, C. E. D. M., PARRA, O. & R. URRUTIA. 2016. Características morfológicas y limnológicas de las floraciones de *Ceratium furcoides* (Dinophyta) en un lago somero de Chile Central. *Limnetica*. 35(1): 253-268.

American Public Health Association (APHA). 2012. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington. 541 pp. 22nd ed. New York.

ANDERSEN, R.A. 2007. Molecular systematics of the Chrysophyceae and Synurophyceae. En: J. Brodie & J. Lewis (Eds.) *Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics*. The Systematic Association, Special Volume Ser. 285-314.

BARBOSA, F. & J. PADISÁK. 2004. Algunas consideraciones sobre el diseño amostral de larga duración. In Bicudo, C. & D. Bicudo (Eds.) *Amostragem em Limnologia RiMa*, Sao Carlos. 343-351.

BASUALTO, S. RIVERA, P., CRUCES, F., ECTOR, L. & ASCENCIO, E. 2016. *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt y *Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer (Bacillariophyta), especies presentes en ríos de la VIII Región. *Gayana. Botánica* 73(2): 457-461.

BELLINGER, D. & C. SIGEE. 2010. *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK. Boney 1974.

BOCK, C., T. PRÖSCHOLD & L. KRIENITZ. 2011. Updating the genus *Dictyosphaerium* and description of *Mucidosphaerium* gen. nov. (Trebouxiophyceae) based on morphological and molecular data. *Journal of Phycology*. 47: 638-652.

BUCHHEIM, M.A., J. BUCHHEIM, T. CARLSON, A. BRABAND, D. HEPPELLE, L. KRIENITZ, M. WOLF & E. HEGEWALD. 2005. Phylogeny of the Hydrodictyaceae (Chlorophyceae): inferences from rDNA data. *Journal of Phycology*. 41:1039-1054.

CERINO, F. & A. ZINGONE. 2007. Decrypting cryptomonads: a challenge for molecular taxonomy. En: J. Brodie & J. Lewis (eds.), *Unraveling the*

algae: the past, present, and future of algal systematics. The Systematic Association, Special Volume Ser. 197-214.

CHOI, B., M. SON, J.I. KIM & W. SHIN. 2013. Taxonomy and phylogeny of genus *Cryptomonas* (Cryptophyceae, Cryptophyta) from Korea. *Algae*. 28(4): 307-330.

CLARKE, K.R. Y R.M. WARWICK. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Segunda edición. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, Reino Unido.

ELOSEGI, A. & S. SABATER. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. La biota de los ríos: los microorganismos autótrofos. En: A. Elosegui. & S. Sabater (Eds.) Conceptos y técnicas en ecología. Fundación BBVA, Bilbao.

GUIRY, M.D. & G.M. GUIRY. 2016. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>

HEGEWALD, E. & M. WOLF. 2003. Phylogenetic relationships of *Scenedesmus* and *Acutodesmus* (Chlorophyta, Chlorophyceae) as inferred from 18S rDNA and ITS-2 sequence comparisons. *Plant Systematics and Evolution*. 241:185–191.

HEGEWALD, E., M. WOLF, A. KELLER, T. FRIEDL & L. KRIENITZ. 2010. ITS2 sequence-structure phylogeny in the Scenedesmaceae with special reference to *Coelastrum* (Chlorophyta, Chlorophyceae), including the new genera *Comasiella* and *Pectinodesmus*. *Phycologia*. 49: 325–335.

HÖTZEL, G. & R. CROOME. 1999. A phytoplankton methods manual for Australian freshwaters. LWRRDC Occasional Paper 22/99. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Australia.

JARAMILLO, A., D. OSMAN, L. CAPUTO & L. CARDENAS. 2015. Molecular evidence of a *Didymosphenia geminate* (Bacillariophyceae) invasion in Chilean freshwater systems. *Harmful Algae* 49: 117-123.

KESSLER, E., M. SCHAFFER, C. HUMMER, A. KLOBOUCEK & V.A.R. HUSS. 1997. Physiological, biochemical, and molecular characters for the taxonomy of the subgenera of *Scenedesmus* (Chlorococcales, Chlorophyta). *Botanica Acta*. 110: 244-250.

KOLKWITZ, R. & M. MARSSON. 1908. Oekologie der pflanzlichen Saprobien Berichte der Deutschen. Botanischen Gesellschaft. 26: 505-519.

KOMÁREK J., J. KAŠTOVSKÝ, J. JAN MAREŠ & J.R. JOHANSEN. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. Preslia. 86: 295-335.

KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 2000. Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales. En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.) Süßwassereflora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.

KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 2005. Cyanoprokaryota - 2. Teil/ 2<sup>nd</sup> Part: Oscillatoriales. En: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner & M. Schagerl (Eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Elsevier/Spektrum, Heidelberg, Berlin.

KOMÁREK, J. 2013. Cyanoprokaryota - 3. Teil/ 3<sup>rd</sup> Part: Heterocystous Genera. En: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner, L. Krienitz & M. Schagerl (Eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/3. Springer Spektrum, Heidelberg, Berlin.

KRIENITZ, L. & C. BOCK. 2012. Present state of the systematics of planktonic coccoid green algae of inland waters. Hydrobiologia. 698: 295-326.

KRIENITZ, L., C. BOCK, P. K. DADHEECH & T. PROSCHOLD. 2011. Taxonomic reassessment of the genus *Mychonastes* (Chlorophyceae, Chlorophyta) including the description of eight new species. Phycologia. 50: 89-106.

LANGE-BERTALOT, H. & S. ULRICH. 2014. Contributions to the taxonomy of needle-shaped *Fragilaria* and *Ulnaria* species. Lauterbornia. 78: 1-73.

LEBRET, K., KRITZBERG, E.S. & K. RENGEFORS. 2013. Population genetic structure of a microalgal species under expansion. PLOS ONE no. 8 (12):e82510.

LELIAERT, F., D.R. SMITH, H. MOREAU, M.D. HERRON, H. VERBRUGGEN, C.F. DELWICHE & O. DE CLERCK. 2012. Phylogeny and

molecular evolution of the green algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 31: 1-46.

LOBO, E. & V. CALLEGARO. 2000. Avaliação da qualidade de águas doces continentais con base em algas diatomáceas enfoque metodológico avaliação e controle da drenagem urbano editora da Universidade Federal do Ríó Grande do Sul.

MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. España.

MARIN, B., A. PALM, M. KLINGBERG & M. MELKONIAN. 2003. Phylogeny and taxonomic revision of plastid-containing Euglenophytes based on SSU rDNA sequence comparisons and synapomorphic signatures in the SSU rRNA secondary structure. *Protist*. 154: 99-145.

MEDINA J., V. PIÑA, S. NIEVES, G. ARZOLA & I. GUERRERO. 2012. La importancia de las microalgas. *CONABIO. Biodiversitas*. 103: 1-5.

MEICHTRY DE ZABURLÍN, N., VOGLER, R.E., MOLINA, M., & LLANO, M. 2016. "Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America." *Phycological Society of America* no. 52:200–208.

MOESTRUP, O. & N. DAUGBJERG. 2007. On dinoflagellate phylogeny and classification. En: J. Brodie & J. Lewis (Eds.) *Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics*. The Systematic Association, Special Volume Ser. 75 pp. 215-230. CRC Press.

NICHOLLS, K.H., KENNEDY, W. & C. HAMMETT. 1980. A fish-kill in Heart Lake, Ontario, associated with the collapse of a massive population of *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae). *Freshwater Biology* no. 10:553-561.

PARRA, O., M. GONZÁLEZ, V. DELLAROSSA, P. RIVERA & M. ORELLANA. 1982-1983. *Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile*. Editorial de la Universidad de Concepción, Concepción. Vol. 1 al Vol. 5.

RUMRICH, U., H. LANGE-BERTALOT & M. RUMRICH. 2000. Diatomeen der Anden: Von Venezuela bis Patagonien/Feuerland und zwei weitere Beiträge. *Iconographia Diatomológica*. Volume 9. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany.

THOMASSON, K., 1963. Araucanian Lakes. Acta Phytogeogr. Sueca. 47: 1-139.

TRIERER, R.E. & M.A. FARMER. 2007. A decade of euglenoid molecular phylogenetics. En: J. Brodie & J. Lewis (Eds.) Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics. The Systematic Association, Special Volume Ser. 75.

UNE-EN-14407. 2015. Guía para la identificación y recuento de muestras de diatomeas bentónicas de ríos y lagos

UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. 9: 1-38.

WELCH, E.B. 1992. Ecological effects of wastewater Applied Limnology and pollutant effects. Chapman & Hall Eds.

## **8. ANEXOS**