



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

**ANÁLISIS DE FITOPLANCTON EN
MUESTRAS DE AGUA**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

**CENTRO EULA, UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN**

ID: 1019-33-LE19

SANTIAGO, NOVIEMBRE 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Director General de Aguas (S.)

Sr. Oscar Cristi

**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, Mg. en Ciencias mención Botánica)

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

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN	6
2.- OBJETIVOS	8
3.- METODOLOGÍA.....	9
3.1. Área de estudio	9
3.2. Recolección y tratamiento de las muestras	11
3.3. Análisis cualitativo e identificación taxonómica	11
3.4. Análisis cuantitativo	14
4.- RESULTADOS	19
4.1. Lago Petrel	20
4.2. Lago Butaco	22
4.3. Lago Vichuquén	25
4.4. Lago Caburga	34
4.5. Lago Villarrica	36
4.6. Lago Calafquen.....	44
4.7. Lago Panguipulli	49
4.8. Lago Llanquihue	55
4.9. Lago Cochrane	63
4.10. Lago Camino	67
5. DISCUSIÓN.....	69
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	79
8. BIBLIOGRAFÍA.....	81
9. ANEXOS	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Microalgas indicadoras de estados tróficos, tomado de González et al. (2019).	7
Tabla 2. Número de muestras analizadas.	12
Tabla 3. Clasificación utilizada a nivel de clase.	13
Tabla 4. Listado de especies, Laguna Petrel.	21
Tabla 5. Listado de especies, Lago Butaco.	23
Tabla 6. Listado de especies, Lago Vichuquén.	28
Tabla 7. Listado de especies, Estero Llico.	31
Tabla 8. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Vichuquén.	33
Tabla 9. Listado de especies, Lago Caburga.	35
Tabla 10. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Villarrica.	36
Tabla 11. Listado de especies, Lago Villarrica.....	38
Tabla 12. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Villarrica.....	43
Tabla 13. Listado de especies, Lago Calafquen.....	45
Tabla 14. Listado de especies, Lago Panguipulli.....	51
Tabla 15. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo en el lago Llanquihue.	55
Tabla 16. Listado de especies, Lago Llanquihue.....	57
Tabla 17. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Llanquihue.....	62
Tabla 18. Listado de especies, Lago Cochrane.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 19. Listado de especies, Río Desagüe.	66
Tabla 20. Listado de especies, Lago Camino.	68
Tabla 21. Clases de microalgas en los lagos estudiados.	72
Tabla 22. Abundancia relativa (%) de las clases de microalgas en los lagos estudiados.	73
Tabla 23. Presencia de cianobacterias en los lagos estudiados.	76

LISTA FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados.	10
Figura 2. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.....	20
Figura 3. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Butaco.	22
Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.	26
Figura 5. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén.....	30
Figura 7. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.....	37
Figura 8. 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%).	42
Figura 9. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Lago Calafquen	45
Figura 12. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Panguipulli.	54
Figura 14. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.....	56
Figura 14. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue.	60
Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Cochrane.....	63
Figura 16. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Camino.	67

1.- INTRODUCCIÓN

Las microalgas, como diatomeas y cianobacterias, se utilizan como indicadores de diferentes tipos de contaminación (Bellinger & Sigee, 2015; UNE, 2015). 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 su abundancia, por lo que son consideradas indicadores de cambios de los sistemas acuáticos continentales y se utilizan comúnmente en monitoreos de calidad de agua (Medina et al. 2012).

Principalmente, se consideran indicadores del proceso de eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Bellinger & Sigee, 2010), debido a que los altos niveles de nutrientes generalmente favorecen a especies de microalgas formadoras de floraciones o "blooms" que pertenecen al grupo de las cianobacterias. El aumento de su abundancia generan cambios en el ecosistema, así como en el color, textura y las características organolépticas, generando una mala calidad del agua (González et al. 2019). Mientras que, algunas especies de diatomeas y algas verdes son indicadores de una condición oligotrófica (baja concentración de nutrientes y buena calidad de agua para uso de consumo y recreativo), como se muestra en la tabla 1. En esta tabla, Bellinger & Sigee en el año 2010, proponen especies indicadoras del estado trófico en lagos templados en condiciones de verano, fue modificada recientemente por González et al. (2019) para los lagos de América.

Tabla 1. Microalgas indicadoras de estados tróficos, tomado de González et al. (2019).

Tipos de lago	Grupo	Indicadores
Oligotrófica	Diatomeas	<i>Cyclotella comensis</i> <i>Rhizosolenia</i> spp.
	Algas verdes	<i>Staurodesmus</i> spp.
Mesotrófico	Crisofitas	<i>Dinobryon divergens</i> <i>Mallomonas caudata</i>
	Algas verdes	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> <i>Dictyosphaerium elegans</i> <i>Cosmarium</i> spp. <i>Staurostrum</i> spp.
	Dinoflagelados	<i>Ceratium hirundinella</i>
	Cianobacterias	<i>Gomphosphaeria</i> spp.
Eutrófico	Diatomeas	<i>Aulacoseira</i> spp. <i>Stephanodiscus rotula</i>
	Algas verdes	<i>Eudorina</i> spp. <i>Pandorina morum</i> <i>Volvox</i> spp.
	Cianobacterias	<i>Dolichospermum</i> spp. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>
Hipereutrofico	Diatomeas	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow
	Algas verdes	<i>Scenedesmus</i> spp. <i>Ankistrodesmus</i> spp. <i>Pediastrum</i> spp.
	Cianobacterias	<i>Aphanocapsa</i> spp. <i>Aphanothece</i> spp. <i>Synechococcus</i> spp.

En la mayoría de los estudios sobre lagos y embalses en las Américas indican que las condiciones eutróficas han generado que las cianobacterias sean el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, principalmente las especies de los géneros *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Planktothrix*, *Oscillatoria* y *Cylindrospermopsis*. El dominio de las cianobacterias en los cuerpos de agua es un problema creciente que afecta la recreación, la integridad del ecosistema y la salud humana y animal, por el deterioro de la calidad del agua (González et al. 2019).

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), en el marco de controlar la calidad, cantidad y niveles de las aguas tanto superficiales como subterráneas. En consecuencia, se evalúa la comunidad fitoplanctónica de los lagos de Chile incluidos en monitoreo y verifica la variación de ésta 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 el presente informe se reporta el resultado del análisis de 122 muestras de fitoplancton de 10 cuerpos de agua monitoreados por la red de control de lagos de la DGA en el centro y sur de Chile.

2.- OBJETIVOS

Identificar y cuantificar las especies de microalgas de la comunidad fitoplanctónica presente en 10 ecosistemas de aguas continentales.

3.- METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

Los lagos estudiados corresponden a ecosistemas acuáticos de diversos niveles de trofía e influencia humana, localizados en el área norte, centro y sur del país (Figura 1), los cuales están bajo el control de la Dirección General de Aguas a través de la Red Nacional de Monitoreo de Lagos.

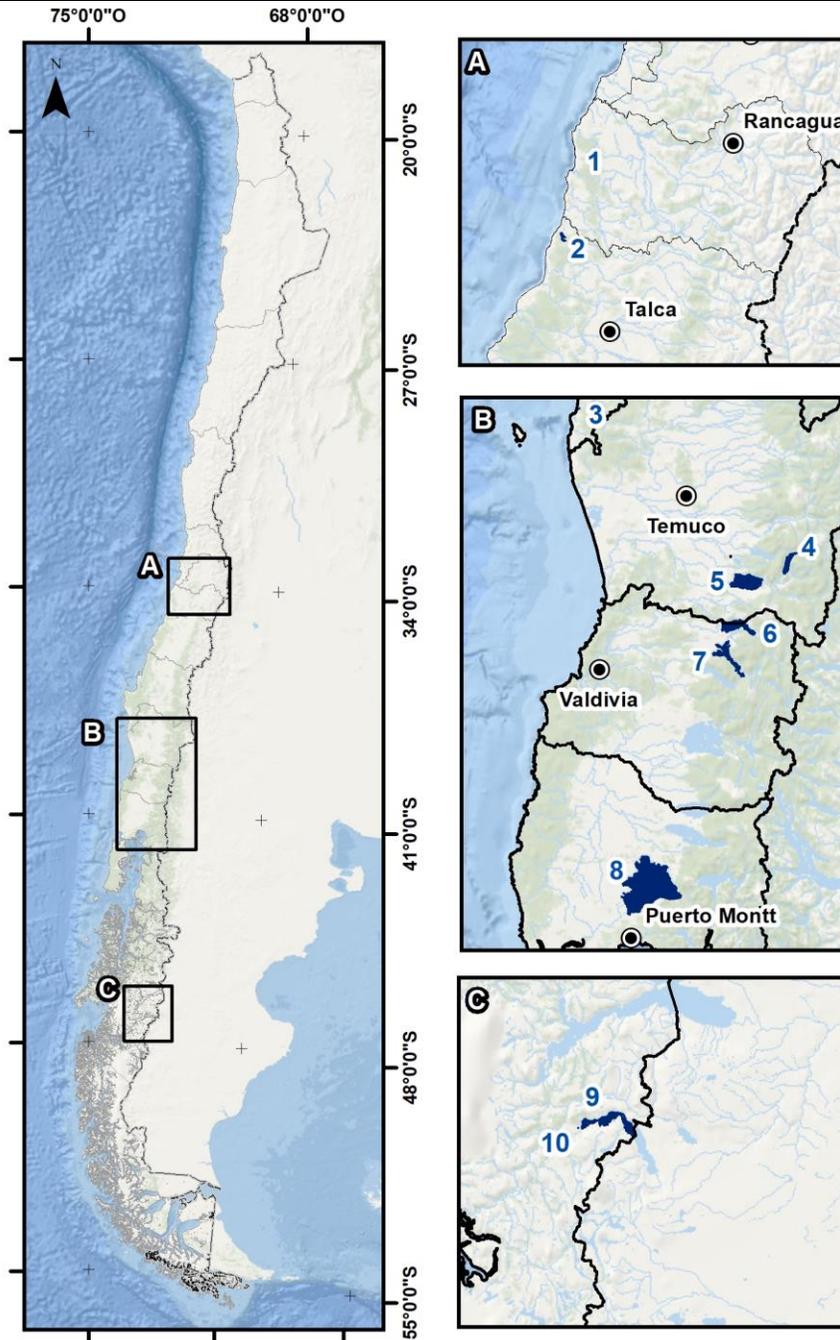


Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados.

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 cada cuerpo de agua con una botella Van Dorn a diferentes profundidades y a nivel superficial en algunos efluentes y afluentes de cada sistema.

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.

En la Tabla 2 se presenta un resumen del número de muestras analizadas por lago.

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 Axioskop en el objetivo 40x, realizando un inventario de todos los taxones presentes. La identificación de los organismos se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible, lo anterior se realizó mediante el uso de literatura especializada.

Tabla 2. Número de muestras analizadas.

Cuerpo de agua	Número de Muestras
Lago Camino	1
Lago Petrel	1
Lago Butaco	1
Lago Vichuquén	11
Lago Caburga	3
Lago Villarrica	40
Lago Calafquen	14
Lago Panguipulli	23
Lago Llanquihue	23
Lago Cochrane	5
Total	122

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). Se utilizó la clasificación taxonómica descrita por Guiry & Guiry (2018) para separar los grupos por phylum, orden, familia, género y especie. En la Tabla 3 se muestra la clasificación a nivel de clase utilizada.

Tabla 3. Clasificación utilizada a nivel de clase.

Antigua clasificación	Clasificación actual	
Clase	Clase	Phylum
Bacillariophyceae	Bacillariophyceae Mediophyceae Coscinodiscophyceae	Bacillariophyta
Cryptophyceae	Cryptophyceae	Cryptophyta
Cyanophyceae	Cyanobacteria	Cyanobacteria
Dinophyceae	Dinophyceae	Miozoa
Xantophyceae	Xantophyceae	Ochrophyta
Chrysophyceae	Chrysophyceae Synurophyceae	
Chlorophyceae	Chlorophyceae	Chlorophyta
	Trebouxiophyceae	
	Ulvophyceae	Charophyta
	Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) Klebsormidiophyceae	
Euglenophyceae	Euglenophyceae	Euglenozoa

El nombre de los taxa, a nivel específico se entrega en los listados de las tablas por cada lago (ver anexos).

Para facilitar la identificación, se realizaron mediciones (largo, ancho, alto), de las células, estructuras y/o caracteres taxonómicos específicos. Dependiendo del grupo se utilizarán diferentes técnicas, como se describe a continuación: 1. Diatomeas, se realizó la oxidación de materia orgánica con peróxido de hidrógeno, calor con baño de maría y lavados con agua

destilada. 2. Cianobacterias, se observó el mucílago de filamentos y/o colonias mediante tinciones con tinta china. 3. Dinoflagelados, las placas fueron observadas mediante separación con hipoclorito de sodio.

3.4. Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo de las muestras se realizó con microscopio invertido de marca Zeiss, siguiendo la técnica de Utermöhl (1958). Antes de realizar la sedimentación, las muestras fueron agitadas vigorosamente para lograr la homogeneización y disgregación de las masas celulares. 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.

La cuantificación de células se realizó por transectas y/o campos dependiendo de la densidad de células. Se contabilizó al menos 100 individuos de la especie más frecuente (Elosegi & Sabater, 2009) y/o un mínimo de 400 células por muestra. El área de la cámara utilizada fue de 530,93 mm², diámetro de la cámara 26 mm, área del campo en 40x 0,212 mm², área del transecto en 40x 13,520 mm².

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:

$$N^{\circ}/ml = \frac{C * At}{L * A * N * V}$$

Dónde:

C = número de organismos contados

At = área total de la cámara, mm²

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:

$$N^{\circ}/ml = \frac{C * At}{L * A * N * V}$$

Dónde:

C = número de organismos contados

At = área total de la cámara, mm²

Ac = área del campo, mm²

N = número de campos contados

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

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) (Hötzl & Croome, 1999). En filamentos con células muy pequeñas difíciles de contar, se midió el largo del filamento (mínimo 30) 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). Con los datos se contruyeron tablas y determinó la abundancia, riqueza y diversidad de taxones en cada muestra.

Abundancia (n): Se determinó el número de células (Cel/L) de cada taxón, al sumar el número de células presente en cada muestra. La abundancia relativa se obtuvo al determinar el porcentaje de individuos de cada especie en relación al total que conformaron la muestra.

Riqueza (Número total de especies): La Riqueza (S) se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta sus valores de abundancia. La riqueza fue calculada para cada muestra.

Diversidad (Variedad de especies): El índice de Shannon– Weaver ($H'_{\log 10}$) 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. lagos oligotróficos, 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:

P_i = abundancia proporcional de la especie *i*, n_i/N

n_i = Abundancia para la especie *i*

N = Total de todas las especies

Mediante este índice se determinará la diversidad alfa de taxones para cada sitio a través del tiempo y comparará entre ellos.

Índice de equidad de Pielou (J'): La medida de uniformidad (también llamada equitatividad) de la comunidad se determinará mediante la siguiente ecuación:

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

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 (λ): Este índice indica la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie, se calculará con la siguiente ecuación:

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

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.

4.- RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estudio de la comunidad fitoplanctónica de 10 lagos y 10 ríos: Estero Llico (Lago Vichuquén), Río Desagüe (Lago Cochrane), Río Llanquihue, Río Huanehue, Río Niltre (Lago Panguipulli); río Coñaripe, Estero Diuco, Estero Nilfe, Estero Comenahue, Canal Hueinica (Lago Calafquen).

Para cada cuerpo de agua se presenta la siguiente información:

- Estructura de la comunidad fitoplanctónica en las muestras analizadas.
- Abundancia en número de individuos y abundancia relativa (porcentaje) de cada taxón identificado por muestra.
- Índices comunitarios (riqueza, diversidad, uniformidad) por muestra.
- Fotografías de especies más abundantes.

4.1. Lago Petrel

Se analizó 1 muestra en la estación Zmax tomada durante el mes de enero en la superficie del lago.

Composición específica y abundancia relativa

Se identificaron 4 clases, 5 géneros y 6 especies. Cryptophyceae fue el grupo más abundante de la comunidad (Tabla 4). *Cryptomonas* sp. dominó la comunidad, con 79% de la abundancia relativa de microalgas en el lago (Figura 2).

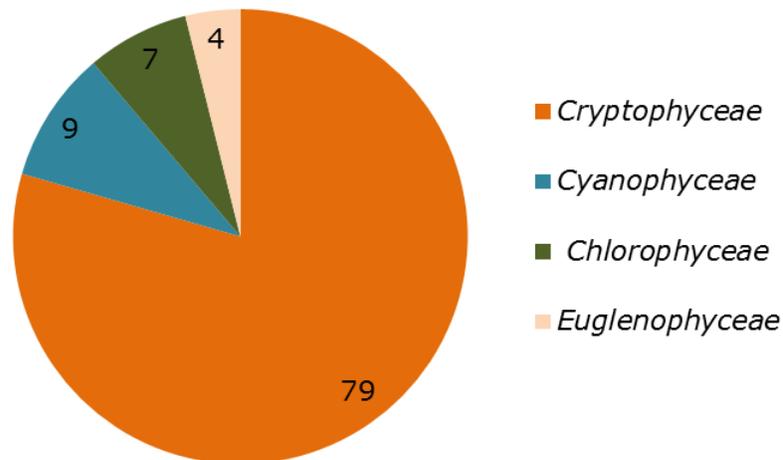


Figura 2. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.

La comunidad presentó una abundancia de 933.371 Cel/L y una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,43, en donde domino una especie (equidad de $J' = 0,4$ y dominancia de $\lambda = 0,3$) (ver Anexo 9.1).

Tabla 4. Listado de especies, Laguna Petrel.

CHLOROPHYTA**Chlorophyceae***Scenedesmus aff. dispar**Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg)*Monoraphidium* sp.**CRYPTOPHYTA****Cryptophyceae***Cryptomonas* sp.**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing**EUGLENOZOA****Euglenophyceae***Euglena* sp.

4.2. Lago Butaco

Se analizó una muestra tomada en la estación Zmax a nivel superficial en el Lago Butaco.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Butaco está compuesta por 6 phylum, con 8 clases y 10 especies diferentes (Tabla 5). Las especies más abundantes fueron la Chrysophyceae *Dinobryon divergens* (65%), la Chlorophyceae *Sphaerocystis schroeteri* (14%) y el dinoflagelado *Peridinium aff. inconspicuum* (8%) (Figura 3).

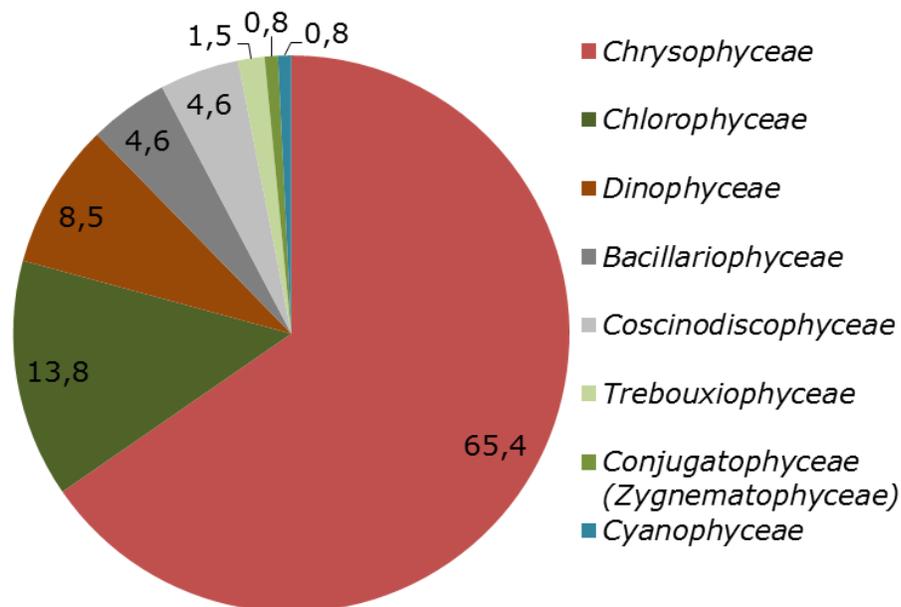


Figura 3. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Butaco.

Tabla 5. Listado de especies, Lago Butaco.

BACILLARIOPHYTA**Bacillariophyceae***Ulnaria aff. acus**Fragilaria sp.***Coscinodiscophyceae***Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen**CHLOROPHYTA****Chlorophyceae***Sphaerocystis Schroeteri* Chodat**Trebouxiophyceae***Elakatothrix gelatinosa* Wille**CHAROPHYTA****Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)***Mougeotia sp.***OCHROPHYTA****Chrysophyceae***Dinobryon divergens* O.E.Imhof**MIOZOA****Dinophyceae***Peridinium aff. Inconspicuum**Gymnodinium sp.***CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Gomphosphaeria lacustris* Chodat

La comunidad presentó una abundancia de 204.203 Cel/L, una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,5, con una equidad de $J' = 0,5$ y una dominancia de $\lambda = 0,5$ (ver Anexo 9.2).

4.3. Lago Vichuquén

Se analizaron 11 muestras, 10 en cinco estaciones del lago y una en el tributario Estero Llico (Tabla 6).

Tabla 6. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo en el Lago Vichuquén.

Estaciones de muestreo	Enero 2019
Bahía Vichuquén	2
Centro	3
S. Vichuquén	1
E. Vichuquén	1
Zmax	3
Estero Llico	1
Total	11

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Vichuquén está compuesta por 6 Phylum y 8 clases en las que se registraron 20 géneros y 24 especies, de los cuales 5 fueron algas verdes de las clases Chlorophyceae (3), Trebouxiophyceae (1), Klebsormidiophyceae (1), 6 diatomeas, 5 cianobacterias, 5 dinoflagelados (Dinophyceae), 2 Cryptophyceae y 1 Euglena (Tabla 8). Las cianobacterias dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 97% de la abundancia relativa total del lago (Fig. 4), en este grupo estuvo representado por 5 géneros diferentes

potenciales formadores de floraciones tóxicas. Las algas verdes representaron el 0,7%. Las especies más abundantes fueron las cianobacterias *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Aphanizomenon favaloroi*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Oscillatoria aff. limosa* y *Nodularia spumigena*.

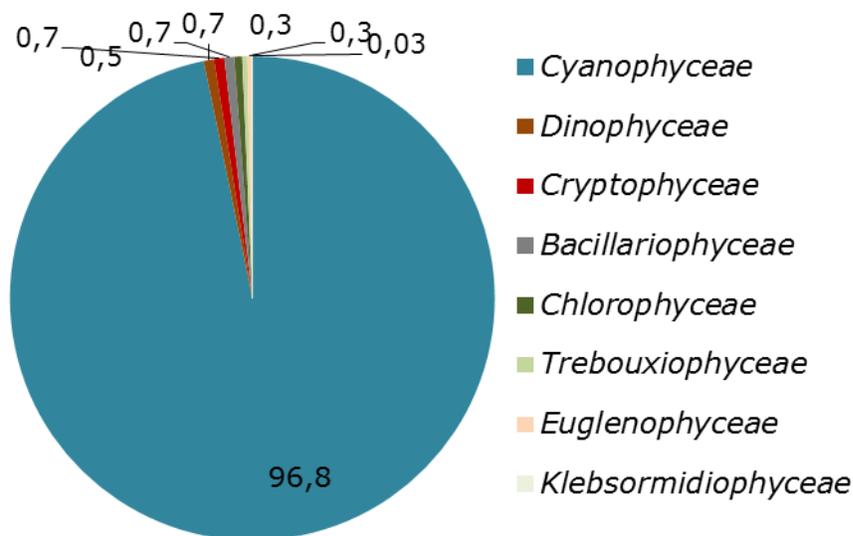


Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.

La máxima abundancia de células (1.709.159 Cel/L) se registró a 5 m de la estación E. Vich donde el 94% de esta abundancia fue dada por la cianobacteria *Cylindrospermopsis raciborskii* (*Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera, Berrendero Gómez, Kastovsky, Echenique & Salerno). No se registró abundancia de microalgas en las estaciones Zmax 30 m y Centro 17 m, estas muestras presentaron una alta concentración de materia orgánica. La comunidad presentó una baja diversidad promedio (H' log10) de 0,3 (Anexo 9.3).

La estructura de la comunidad no presentó diferencias entre los sitios muestreados (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,24$; $p > 0,05$) (Figura 5). Estuvo dominada por cianobacterias fijadoras de nitrógeno como *Cylindrospermopsis raciborskii*, la que se registró en 4 de las muestras analizadas. Esta cianobacteria presentó una abundancia entre 18.910 fil/L en la estación Zmax a 10 m de profundidad y 1.709.160 fil/L como se mencionó anteriormente.

Esta especie había sido registrada en el Chile por Nimptsch et al. (2015) en el Lago Ranco. Sin embargo, no se había reportado para el país formando floraciones. En los últimos años *C. raciborskii* ha sido ampliamente estudiada por su toxicidad, formación de floraciones y potencial invasivo, inicialmente se reportó su distribución en la zona tropical, sin embargo, en menos de 10 años, se expandió a la zona templada, probablemente beneficiada por las nuevas condiciones ambientales generadas por el cambio climático. Otros factores, como la alelopatía, también han sido reportados como importantes para la expansión de la distribución geográfica, afectando fuertemente la diversidad de especies a diferentes niveles tróficos (Antunes et al. 2015). Actualmente se considera una especie cosmopolita, por tolerar amplios regímenes de temperatura y luz y presentar diversas estrategias nutricionales.

Tabla 6. Listado de especies, Lago Vichuquén.

BACILLARIOPHYTA**Bacillariophyceae**

- Diatoma vulgare* Bory
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson
Fragilaria aff. schroeteri
Fragilaria sp.
Navicula spp.
Ulnaria acus (Kützing) Aboal

CHLOROPHYTA**Chlorophyceae**

- Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová
Monoraphidium saxatile Komárkova-Legnerová
Scenedesmus spinosus Chodat

Klebsormidiophyceae

- Elakatothrix gelatinosa* Wille

Trebouxiophyceae

- Oocystis lacustris* Chodat

CRYPTOPHYTA**Cryptophyceae**

- Cryptomonas erosa* Ehrenberg
Cryptomonas ovata Ehrenberg

CYANOBACTERIA**Cyanophyceae**

- Anabaenopsis arnoldii* Aptekar
Aphanizomenon favaloroi S.H.Otaño
Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju
Nodularia spumigena Mertens ex Bornet & Flahault
Oscillatoria aff. limosa
-

Tabla 6. Continúa. Listado de especies, Lago Vichuquén.

MIOZOA**Dinophyceae***Gymnodinium aff. fusus**Gymnodinium sp.**Peridinium sp.**Peridinium sp. 2**Peridinium willei* Huitfeld-Kaas**EUGLENOZOA****Euglenophyceae***Astasia sp.*

La cianobacteria *Aphanizomenon favaloroi* también fue abundante a nivel superficial en las estaciones Centro, Zmax y S. Bahía Vichuquén en donde generó una floración alcanzando una abundancia de 250.192 Cel/L.

"Análisis de Fitoplancton en muestras de Aguas"

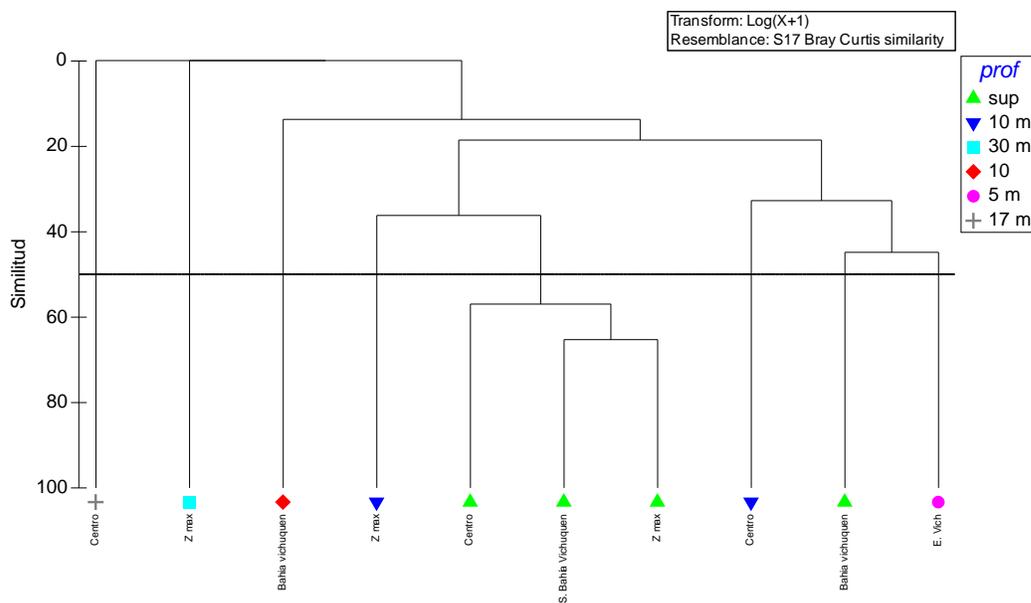


Figura 5. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén.

En el Estero Llico las cianobacterias y las algas verdes (de las clases Chlorophyceae y Trebouxiophyceae) dominaron la comunidad (64% y 8,3% respectivamente) (Tabla 7). Se registró una abundancia de células de 893.127 Cel/L. La diversidad de especies fue de $H' \log_{10} = 0,5$, con la dominancia de dos especies de cianobacterias, *Chroococcus sp.* (63%) y *Dolichospermum spiroides* (8,8%), las que componen el 72% de la abundancia relativa de las microalgas en el río.

Tabla 7. Listado de especies, Estero Llico.

CHLOROPHYTA***Chlorophyceae****Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat*Scenedesmus spinosus* Chodat*Monoraphidium saxatile* Komárkova-Legnerová*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová*Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg***Trebouxiophyceae****Oocystis lacustris* Chodat**CYANOBACTERIA*****Cyanophyceae****Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing*Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju*Dolichospermum spiroides* (Klebhan) Wacklin, L.Hoffmann*Aphanizomenon favaloroi* S.H.Otaño*Chroococcus* sp.

Con respecto a los años 2016-2018 la comunidad fitoplanctónica del Lago Vichuquén, presentó una disminución en el número de clases y de taxones. Esta comunidad ha estado dominada por cianobacterias los últimos 4 años, las que han representado más del 60% de la abundancia relativa de la comunidad. A partir del 2017 se generó un cambio en la dominancia de las especies de cianobacterias del orden Chroococcales a las fijadoras de nitrógeno atmosférico Nostocales. Estas últimas contribuye al aporte de nitrógeno al lago.

Cabe destacar que se informa por primera vez para los sistemas acuáticos de Chile una floración de *Cylindrospermopsis raciborskii*. Es importante

mantener la continuidad en el monitoreo de este lago, el número de muestras tomadas para el mismo ha disminuido con el tiempo (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Vichuquén.

Año	N. de muestras	N. de clases	N. de taxones	Especies más abundantes	Abundancia de cianobacterias	Máx. abundancia de <i>Ceratium</i> sp.
2016	31	10 Cyanophyceae (69%)	64	Cianobacterias: <i>Microcystis</i> aff. <i>smithii</i> . <i>Aphanocapsa incerta</i> <i>Aphanothece minutissima</i> <i>Aphanothece</i> aff. <i>smithii</i> . Alga verde: <i>Nephrochlamys subsolitaria</i> .	432.411 cel/L <i>Microcystis</i> aff. <i>smithii</i>	787 cel/L
2017	19	11 Cyanophyceae (97%)	45	Cianobacterias: <i>Aphanizomenon favaloroi</i> , <i>Anabaenopsis arnoldii</i> , <i>Aphanocapsa incerta</i> , <i>Aphanothece</i> aff. <i>smithii</i> , <i>Dolichospermum spiroides</i> .	30.006.944 cel/L <i>A. favaloroi</i>	--
2018	12	11 Cyanophyceae (98%)	42	Cianobacterias: <i>A. favaloroi</i> , <i>Nodularia spumigena</i> y <i>Pseudoanabaena catenata</i> .	30.006.944 Cel/L <i>A. favaloroi</i>	--
2019	11	8 Cyanophyceae (97%)	24	Cianobacterias: <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>A. favaloroi</i> , <i>Anabaenopsis arnoldii</i> , <i>Oscillatoria</i> aff. <i>limosa</i> y <i>Nodularia spumigena</i> .	1.709.159 Cel/L <i>C. raciborskii</i>	--

4.4. Lago Caburgua

Se analizaron tres muestras tomadas en la estación Centro a nivel tres diferentes profundidades en el Lago Caburgua.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Caburgua está compuesta por 6 phylum, con 8 clases y 14 especies diferentes (Tabla 9). Las especies más abundantes fueron la diatomea *Fragilaria crotonensis* (36%) y Chrysophyceae *Dinobryon divergens* (31%) (Figura 6). La comunidad presentó una abundancia de 290.556 Cel/L, una diversidad promedio (H' log10) de 0,5, con una equidad de $J' = 0,6$ y una dominancia de $\lambda = 0,6$ (ver Anexo 9.4).

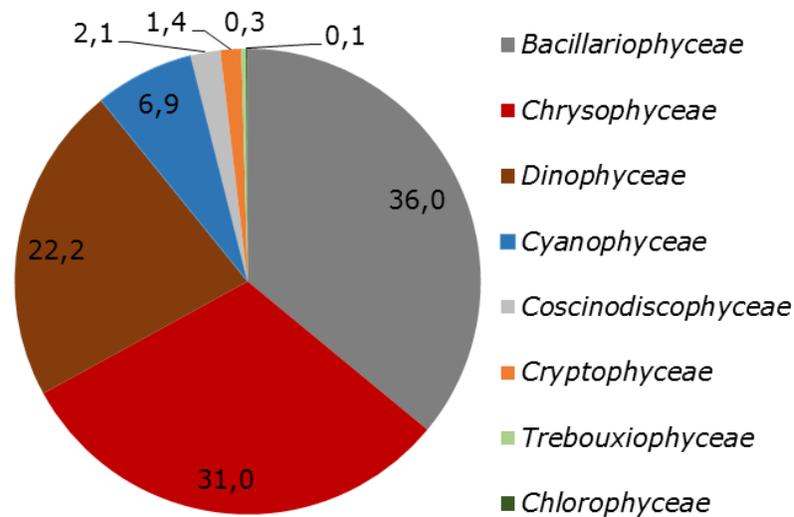


Figura 6. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Caburgua.

Tabla 9. Listado de especies, Lago Caburgua.

BACILLARIOPHYTA**Bacillariophyceae**

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen

Fragilaria crotonensis Kitton

Fragilaria sp.

Navicula sp.

Coccinodiscophyceae

Rhizosolenia longiseta O.Zacharias

CHLOROPHYTA**Chlorophyceae**

Tetraëdron minimum (A.Braun) Hansgirg

Trebouxiophyceae

Elakatothrix gelatinosa Wille

CRYPTOPHYTA**Cryptophyceae**

Cryptomonas erosa Ehrenberg

Rhodomonas lacustris Pascher & Ruttne

OCHROPHYTA**Chrysophyceae**

Dinobryon divergens O.E.Imhof

MIOZOA**Dinophyceae**

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

Gymnodinium sp.

Peridiniopsis aff. *epatiowskyi*

CYANOBACTERIA**Cyanophyceae**

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

4.5. Lago Villarrica

En el lago Villarrica se tomaron 40 muestras durante el mes de enero y febrero de 2019 en siete diferentes estaciones (Tabla 10).

Tabla 10. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Villarrica.

Estación	Enero 2019	Febrero 2019	Total
Bahía La Poza	3	3	6
Centro	2	3	5
Litoral Norte	2	3	5
Litoral Pucon	2	3	5
Litoral Sur	2	3	5
Litoral Villarrica	3	3	6
Pelagial	5	3	8
Total	19	21	40

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Villarrica está compuesta por 7 Phylum, 10 clases, 40 géneros y 54 especies, de los cuales 29 fueron diatomeas, 9 algas verdes (Chlorophyceae, Conjugatophyceae, Trebouxiophyceae), 5 cianobacterias, 6 dinoflagelados, 4 Cryptophyceae y 1 Chrysophyceae (Tabla 11). Las cianobacterias constituyeron el 70%

de la abundancia, seguidas por las diatomeas de la clase Bacillariophyceae con el 27% (Figura 7).

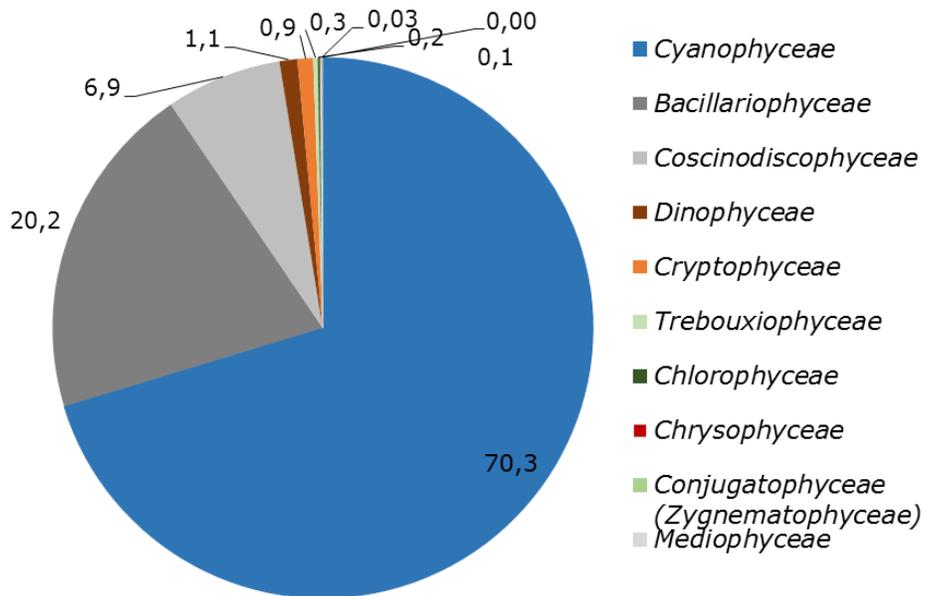


Figura 7. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.

Tabla 11. Listado de especies, Lago Villarrica.**BACILLARIOPHYTA****Coscinodiscophyceae**

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

Bacillariophyceae

- Cocconeis placentula* Ehrenberg
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing
Diatoma vulgare Bory
Encyonema sp.
Epithemia sorex Kützing
Fragilaria aff. construens
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria spp.
Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
Frustulia sp.
Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Gomphonema sp. 2
Gomphonema sp. 3
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst
Hantzschia sp.
Navicula spp.
Navicula viridula (Kützing) Kützing
Nitzschia sigmoidea (Nitzsch) W.Smith
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot

Tabla 11. Continúa. Listado de especies, Lago Villarrica.**Bacillariophyceae***Ulnaria acus* (Kützing)*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère**Mediophyceae***Cyclotella meneghiniana* Kützing**CHAROPHYTA****Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)***Closterium acutum* Brébisson*Cosmarium* sp.*Sphaerososma* sp.*Staurastrum rotula* Nordstedt*Staurastrum* sp.**CHLOROPHYTA****Chlorophyceae***Scenedesmus ecornis* (Ehrenberg) Chodat*Sphaerocystis schroeteri* Chodat**Trebouxiophyceae***Elakatothrix gelatinosa* Wille*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C.Wood) C.Bock, Proschold & Krienitz**CRYPTOPHYTA****Cryptophyceae***Cryptomonas erosa* Ehrenberg*Cryptomonas ovata* Ehrenberg*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky*Rhodomonas* sp.

Tabla 11. Continúa. Listado de especies, Lago Villarrica**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Aphanocapsa aff. incerta**Dolichospermum planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek*Dolicospermum aff. lemmermanii**Merismopedia* sp.*Pseudanabaena* sp.**MIOZOA****Dinophyceae***Peridinium willei* Huitfeldt-Kaas*Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin*Gymnodinium aff. fuscum**Gymnodinium* sp.*Gymnodinium* sp.4*Peridiniopsis aff. Epatiewskyi***OCHROPHYTA****Chrysophyceae***Dinobryon divergens* O.E.Imhof

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,5, con la dominancia de pocas especies ($J' = 0,5$ y $\lambda = 0,5$). La mayor diversidad y riqueza promedio de especies se registró en Litoral Villarrica en febrero a 10 m de profundidad ($H' \log_{10} = 0,5$, $S = 13$) (Anexo 9.5).

Las especies más abundantes fueron las cianobacterias fijadoras de nitrógeno *Dolichospermum planctonicum* (54%) y *Dolicospermum aff.*

lemmermanii (12%). La diatomea *Fragilaria crotonensis* (20%) también fue abundante.

D. planctonicum se registró en 32 de las muestras analizadas, presentó una abundancia que varió entre 14.244 Ce/L durante el mes de febrero en la Estación la Poza a 10 m y 6.880.076 Ce/L en Pelagial a 20 m en el mes de enero. Esta concentración de células de cianobacterias se considera como una floración (>2.000 Ce/mL) según Aguilera et al. (2018). De igual forma, 2.163.863 Ce/L fueron registradas en la superficie de la estación Centro. *Dolicospermum aff. lemmermanii* no alcanzó una abundancia mayor a 2.000 Ce/mL en ninguna de las muestras analizadas.

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, se registró en 30 de las muestras analizadas, presentó una abundancia entre 647 Ce/L litoral Sur y 29.784 Ce/L en la superficie del sector litoral Pucon en febrero.

La abundancia no presentó diferencias significativas entre los sitios muestreados (ANOSIM $R_{\text{global}}=0,08$; $p > 0,05$) y las profundidades (ANOSIM $R_{\text{global}}=-0,06$; $p > 0,05$). En la Figura 8, se observa que se diferencian seis grupos, uno formado por las muestras de verano y otros dos con las muestras de primavera.

"Análisis de Fitoplancton en muestras de Aguas"

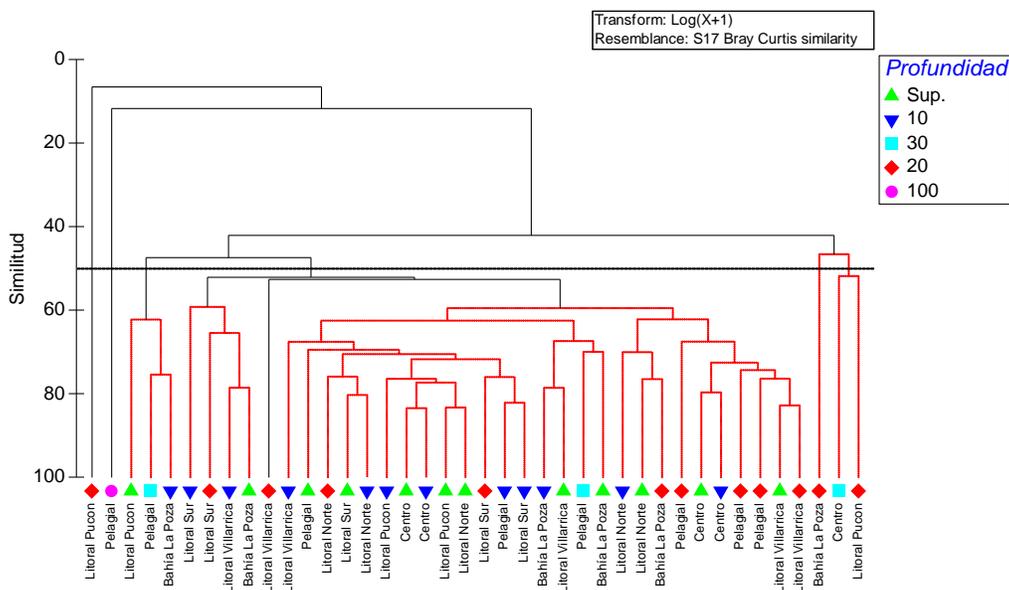


Figura 8. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Villarrica. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

La estructura de la comunidad de fitoplancton en el lago Villarrica cambio durante el último año analizado, desde 2016 al 2018 estaba dominada por diatomeas, las que constituían más del 50% de la abundancia relativa de la comunidad, mientras que en el último año se presentó un recambio en la dominancia, a cianobacterias fijadoras de nitrógeno del orden de Nostocales. De igual forma la riqueza de clases y taxones disminuyó durante el 2019 y aumento la abundancia del dinoflagelado invasor *Ceratium* (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Villarrica.

Año	N. de muestras	N. de clases	N. de taxones	Especies más abundantes	Abundancia de cianobacterias	Máx. abundancia de <i>Ceratium</i> sp.
2016	51	13 diatomeas Coscinodiscomphyceae (54%)	81	Diatomeas: <i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>A. granulata</i> , <i>F. crotonensis</i> y <i>Melosira varians</i> . Cianobacterias: <i>Dolichospermum</i> aff. <i>lemmermanii</i> .	475.870 cel/L <i>Dolichospermum</i> aff. <i>lemmermanii</i>	35.395 cel/L
2017	61	13 diatomeas Coscinodiscomphyceae (68%)	79	Diatomeas: <i>A. granulata</i> , <i>A. distans</i> , <i>Epithemia sorex</i> . Chrysophyceae: <i>D. divergens</i> .	---	5.236 cel/L
2018	32	12 diatomeas Bacillariophyceae (72%)	65	Diatomea: <i>Fragilaria crotonensis</i> . Alga verde: <i>Mucidosphaerium pulchellum</i> .	91.891 Cel/L. <i>Pseudoanabaena</i> aff. <i>catenata</i> con	161 Ce/L
2019	40	10 Cyanophyceae (70%)	54	Cianobacterias: <i>Dolichospermum planctonicu</i> , <i>Dolicospermum</i> aff. <i>lemmermanii</i> , Diatomea. <i>Fragilaria crotonensis</i> .	6.880.076 Ce/L <i>D. planctonicum</i>	29.784 Ce/L

4.6. Lago Calafquen

El 5 de diciembre de 2018 se obtuvieron muestras en tres estaciones a tres diferentes profundidades en el Lago Calafquen (superficial, 10 m y 30 m de profundidad). En la misma fecha también, se obtuvieron muestras del Río Coñaripe, Estero Diuco, estero Nilfe, Estero Comenahue y Canal Hueinica.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Calafquen está compuesta por 6 phylum, con 9 clases y 35 especies diferentes (Tabla 13).

Las Bacillariophyceae constituyeron el 51% y las Coscinodiscophyceae el 40% de la abundancia (Figura 9), donde las especies más abundantes fueron las diatomeas *Fragilaria crotonensis* (36%) y *Aulacoseira granulata* (35%).

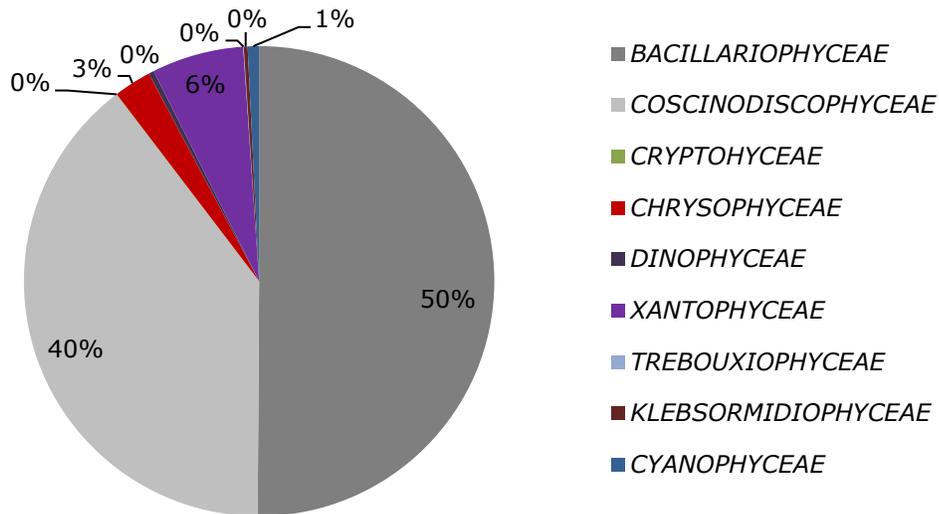


Figura 9. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Lago Calafquen

La comunidad presentó una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,8, con la dominancia de pocas especies ($J' = 0,7$ y $\lambda = 0,7$). La mayor diversidad y riqueza promedio de especies se registró en la Estación Licanray en diciembre de 2018 a 10 m de profundidad ($H' \log_{10} = 0,5$, $S = 17$).

En las estaciones correspondientes a los sistemas fluviales, el Estero Diuco presentó en promedio la mayor diversidad y riqueza de especies ($H' \log_{10} = 2,03$, $S = 12$) durante el muestreo de diciembre de 2018 (Anexo 9.6).

Tabla 13. Listado de especies, Lago Calafquen.

BACILLARIOPHYTA**Bacillariophyceae**

Achnantes sp.
Asterionella formosa Hassall
Cocconeis placentula Ehrenberg
Cymbella spp.
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria aff. *tenera*
Fragilaria spp.
Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni
Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Gomphonema spp.
Hannaea arcus (Ehrenb.) Patrick
Nitzschia sp.
Navicula spp.
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen
Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen
Melosira varians C.Agardh

Tabla 13. Continuación. Listado de especies, Lago Calafquen.

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas erosa Ehrenberg

Cryptomonas ovata Ehrenberg

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

XANTOPHYCEAE

Tribonema sp.

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

Peridinium willei Huitfeldt-Kaas

CHLOROPHYTA

Trebouxiophyceae

Botryococcus braunii Kützing

Conjugatophyceae

Closterium acutum Brébisso

Staurastrum leptocladum Nordstedt

Klebsormidiophyceae

Elakatothrix gelatinosa Wille

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Dolichospermum sp.

Dolichospermum spiroides (Klebhan) Wacklin

"Análisis de Fitoplancton en muestras de Aguas"

En la figura 11 es posible observar dos grupos: uno que corresponde a las estaciones del Lago y el otro a las estaciones de los tributarios, porque la comunidad de microalgas es diferente. Por otro lado, no se observan diferencias significativas entre las estaciones del lago y también respecto de la profundidad, es decir se presenta una comunidad homogénea desde la superficie hasta los 30 m de profundidad.

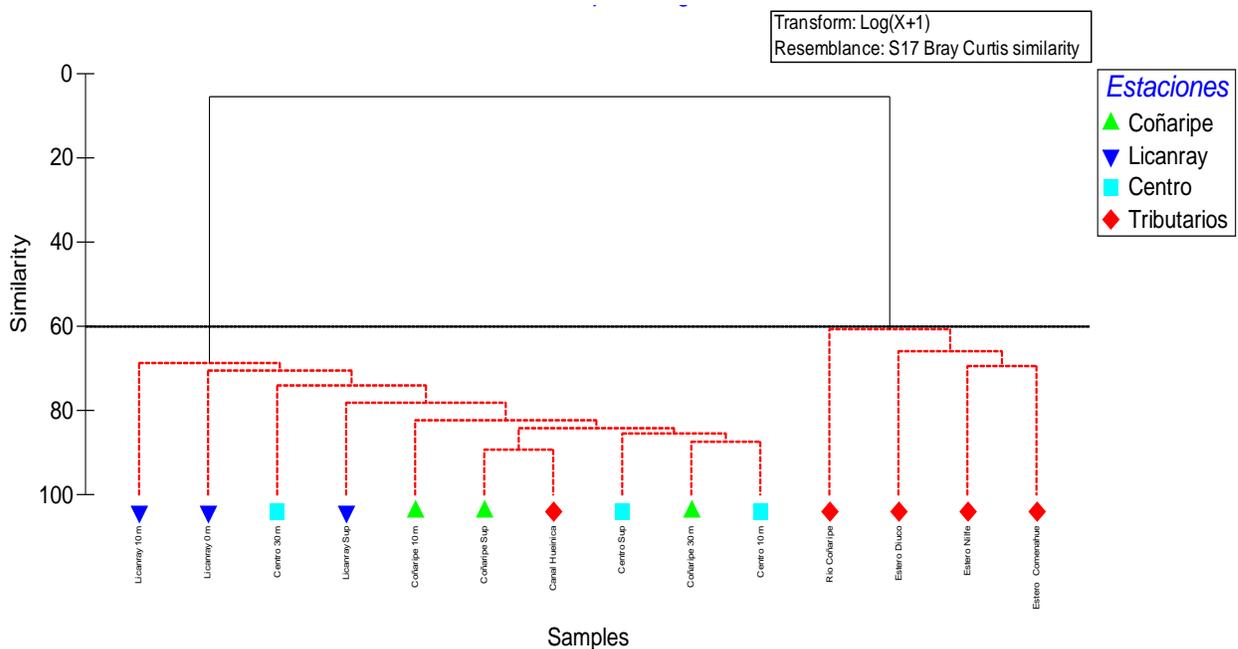


Figura 10. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Calafquen.

4.7. Lago Panguipulli

El 3 de diciembre de 2018 y el 3 de enero de 2019 se obtuvieron muestras en nueve estaciones a diferentes profundidades en el Lago Panguipulli (superficial, 10 m y 30 m de profundidad). En la misma fecha también, se obtuvieron muestras del Río Llanquihue, Río Huanehue y Río Niltre.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Panguipulli está compuesta por 7 phylum, con 10 clases y 54 especies diferentes (Tabla 14). Las Bacillariophyceae constituyeron el 73%, las Coccinodiscophyceae 12% y las Mediophyceae el 10% de la abundancia (Figura 11), donde las especies más abundantes fueron las diatomeas *Tabellaria fenestrata* (40%), *Fragilaria crotonensis* (18%) y *Aulacoseira granulata* (13%).

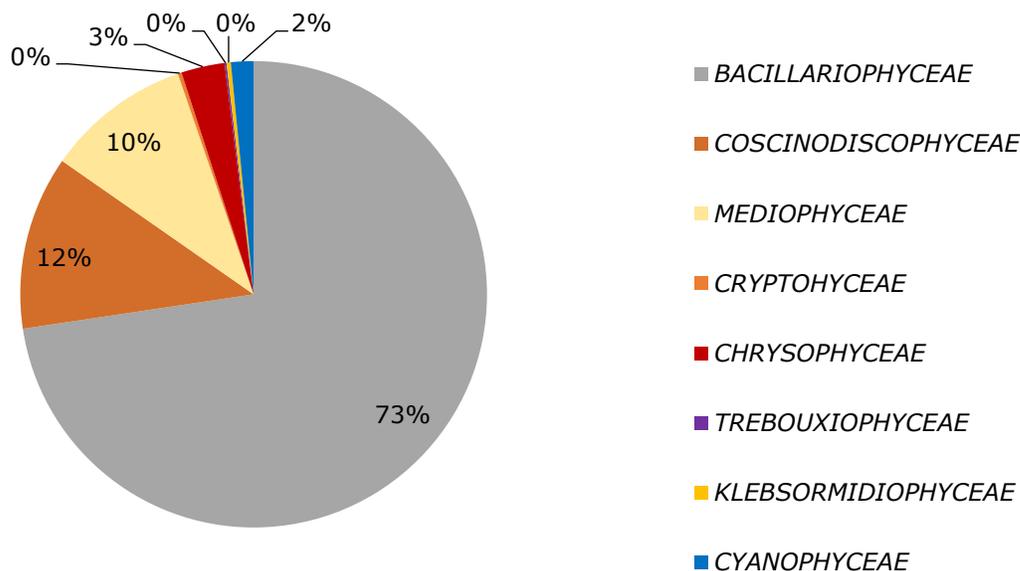


Figura 11. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Lago Panguipulli.

La comunidad presentó una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 1,6 con la dominancia de pocas especies ($J' = 0,6$ y $\lambda = 0,6$). La mayor diversidad y riqueza promedio de especies se registró en la Estación Choshuenco en el muestreo de enero de 2019 a 30 m de profundidad ($H' \log_{10} = 2,3$ y $S = 17$) (Anexo 9.7).

Tabla 14. Listado de especies, Lago Panguipulli**BACILLARIOPHYTA****Bacillariophyceae***Achnantes* sp.*Asterionella formosa* Hassall*Cocconeis placentula* Ehrenberg*Cymbella affinis* Kützing*Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck*Cymbella* spp.*Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing*Diatoma vulgare* Bory*Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson*Epithemia sorex* Kützing*Fragilaria crotonensis* Kitton*Fragilaria aff. tenera**Fragilaria* spp.*Frustulia vulgare* (Thwaites) De Toni*Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer*Gomphonema acuminatum* Ehrenberg*Gomphonema* spp.*Hannaea arcus* (Ehrenb.) Patrick*Nitzschia amphioxys* (Ehrenberg) W.Smith*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith*Nitzschia* sp.*Navicula* spp.*Pinnularia major* (Kützing) Rabenhorst*Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot*Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot

Tabla 14. Continuación. Listado de especies, Lago Panguipulli**Bacillariophyceae**

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller

Surirella tenera W.Gregory

Surirella sp.

Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Mediophyceae

Cyclotella ocellata Pantocsek

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen

Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen

Melosira varians C.Agardh

Rhizosolenia eriensis H.L.Smith

CRYPTOPHYTA**Cryptophyceae**

Cryptomonas erosa Ehrenberg

Cryptomonas ovata Ehrenberg

Rhodomonas lacustris Pascher & Ruttner

OCHROPHYTA**Chrysophyceae**

Dinobryon divergens O.E.Imhof

MIOZOA**Dinophyceae**

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

Peridinium willei Huitfeldt-Kaas

Protoperidinium sp.

CHLOROPHYTA**Trebouxiophyceae**

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

Tabla 14. Continúa. Listado de especies, Lago Panguipulli

CHAROPHYTA**Conjugatophyceae***Cosmarium depressum* (Nägeli) P.Lundell*Closterium acutum* Brébisso*Staurastrum leptocladum* Nordstedt*Staurastrum pilosum* Brébisson*Sphaerososma aubertianum* West**Klebsormidiophyceae***Elakatothrix gelatinosa* Wille**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Dolichospermum* sp.*Dolichospermum spiroides* (Klebhahn) Wacklin*Oscillatoria* sp.

En las estaciones correspondientes a los sistemas fluviales, el Río Huanehue y Río Llanquihue presentaron en promedio la mayor diversidad y riqueza de especies durante el muestreo de enero de 2019, Río Huanehue $H' \log_{10} = 2,7$ y $S=23$ y Río Llanquihue $H' \log_{10} = 2,6$ y $S=25$ (Anexo 9.7).

El análisis de conglomerado se realizó separando los muestreos del mes de diciembre de 2018 y de enero de 2019. Los dos grupos que se aprecian con diferencias significativas corresponden por un lado a las estaciones del Lago y por otro a las estaciones de los ríos tributarios. Las líneas de color rojo en la figura 12 indican que existen diferencias no significativas entre las diferentes estaciones y profundidades del Lago Panguipulli.

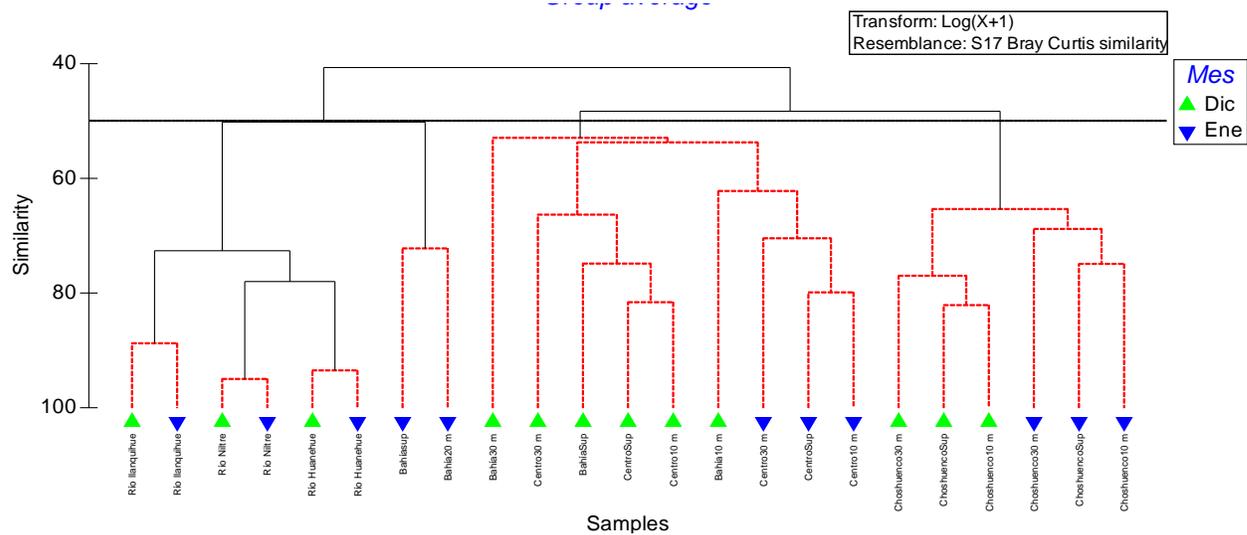


Figura 12. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Panguipulli.

4.8. Lago Llanquihue

Se analizaron 23 muestras tomadas en el mes de marzo, en cinco estaciones diferentes y tres tributarios (Tabla 15).

Tabla 15. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo en el lago Llanquihue.

Estación	Marzo
Puerto Octay2	4
Ensenada	4
Frutillar2	4
Puerto Varas	4
Zmax	4
Río Pescado	1
Río Maullín	1
Río Tepu	1
Total	23

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Llanquihue está compuesta por 11 clases, 22 géneros y 30 especies, de los cuales 14 son diatomeas (10 Bacillariophyceae, 3 Coscinodiscophyceae y 1 Mediophyceae), 4 algas verdes (2 Chlorophyceae, 1 Klebsormidiophyceae, 1 Trebouxiophyceae), 7 dinoflagelados (Dinophyceae), 1 cianobacterias, 2 criptofíceas (Cryptophyceae), 1 euglena y 1 crisofíceas (Chrysophyceae) (Tabla 16).

Las diatomeas céntricas de la clase Mediophyceae, constituyeron el 86% de la abundancia la comunidad, la que fue aportada por *Cyclotella ocellata* (Figura 13). La Chrysophyceae *Dinobryon divergens* fue la segunda especie más abundante en el lago (ver Anexo 9.8).

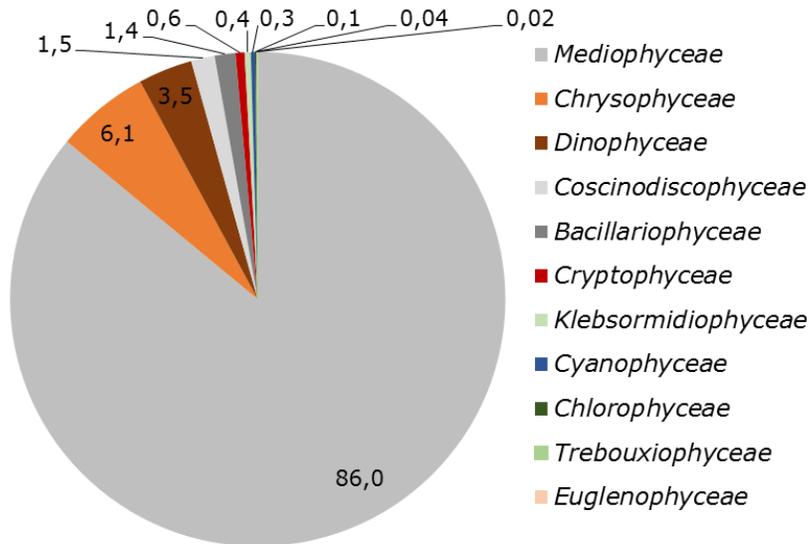


Figura 14. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.

Tabla 16. Listado de especies, Lago Llanquihue.**BACILLARIOPHYTA****Bacillariophyceae**

Achnanthes sp.
Asterionella formosa Hassall
Diatoma vulgare Bory
Epithemia sorex Kützing
Fragilaria aff. *Tenera*
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria sp. 5
Fragilaria spp.
Gomphonema sp.
Navicula spp.

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira ambigua (Grunow) Simonsen
Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen

Mediophyceae

Cyclotella ocellata Pantocsek

CHAROPHYTA**Klebsormidiophyceae**

Elakatothrix gelatinosa Wille

CHLOROPHYTA**Chlorophyceae**

Crucigeniella apiculata (Lemmermann) Komárek
Tetraëdron minimum (A. Braun) Hansgirg

Trebouxiophyceae

Oocystis lacustris Chodat

Tabla 16. Continúa. Listado de especies, Lago Llanquihue

CRYPTOPHYTA**Cryptophyceae***Cryptomonas ovata* Ehrenberg*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Dolichospermum* sp.**EUGLENOZOA****Euglenophyceae***Trachelomonas* sp.**MIOZOA****Dinophyceae***Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin*Gymnodinium aff. fuscum**Gymnodinium* sp.1*Gymnodinium* sp.2*Gymnodinium* sp.4*Peridinium aff. inconspicuum**Peridinium willei* Huitfeld-Kaas**OCHROPHYTA****Chrysophyceae***Dinobryon divergens* O.E.Imhof

La diatomea céntrica *Cyclotella ocellata* (*Lindavia ocellata* (Pantocsek) T. Nakov et al.) se registró en 20 de las muestras analizadas, generó una abundancia entre 8.000 (superficie de la estación Ensenada) a 127.278

cél. L⁻¹ a 50 m de profundidad de la misma estación. Este taxón a pesar de tener una amplia distribución geográfica en ambientes dulceacuícolas, ha sido poco registrado en las aguas chilenas. Rivera et al. (2003) registró su presencia por primera vez en un embalse eutrófico del centro del país. El género *Cyclotella* a menudo tiene requerimientos muy bajos de nutrientes (Arnett et al. 2012), pero pueden ser oportunistas como muchos taxones de fitoplancton pequeños y responder fuertemente a las adiciones de nutrientes (Saros & Anderson, 2015).

En los últimos años se ha señalado un aumento de la abundancia relativa de los taxones de *Cyclotella sensu lato* en los lagos del hemisferio norte respondiendo positivamente al aumento de los nutrientes (Köster & Pienitz, 2006; Arnett et al. 2012; Saros et al. 2012; Malik & Saros, 2016). Experimentos en laboratorio mostraron que *C. ocellata* es más abundante en condiciones de baja luz y ambientes eutróficos. Las respuestas de estos taxones de diatomeas a la temperatura, la luz y los nutrientes son complejas y específicas de cada especie (Malik & Saros, 2016).

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10} = 0,3$). Los resultados del análisis de conglomerados y ANOSIM a dos vías (sitio de muestreo y profundidad) indican que entre los sitios muestreados no existen diferencias en cuanto a la estructura de la comunidad (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,02$; $p > 0,05$), pero si entre las diferentes profundidades (ANOSIM $R_{\text{global}} = -0,08$; $p < 0,01$) (Figura 14).

"Análisis de Fitoplancton en muestras de Aguas"

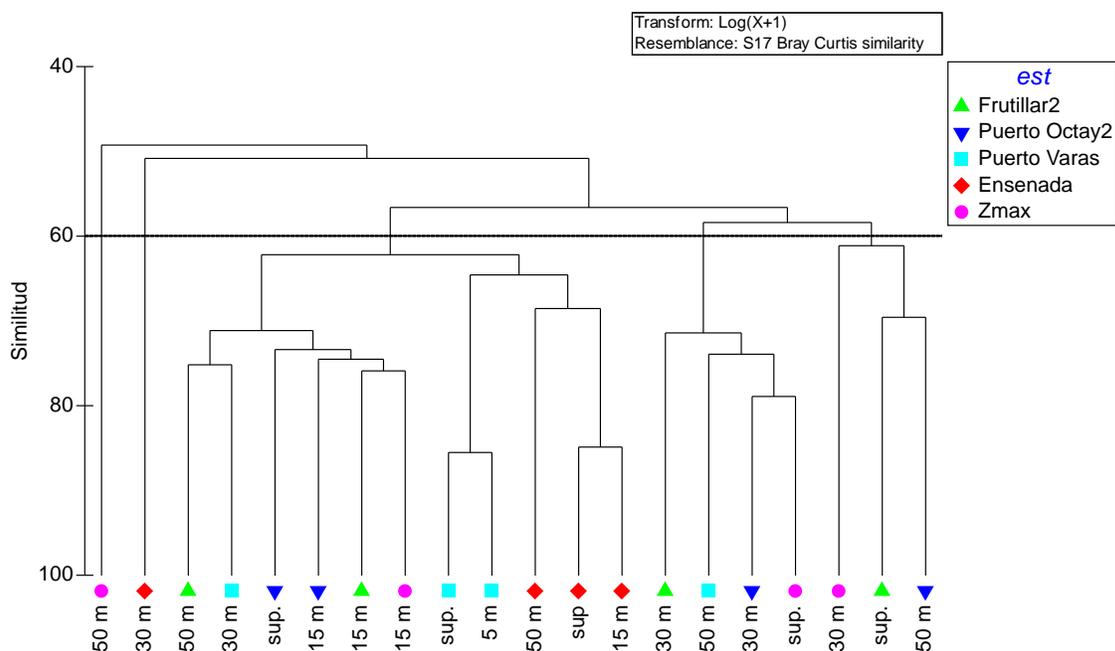


Figura 14. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue.

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, se registró en 10 muestras con una máxima abundancia de 1.091 Cel/L en la superficie de la estación Puerto Varas. La cianobacteria *Dolichospermum* sp. presentó una abundancia de 4.727 Cel/L a 50 m de la estación Zmax (ver anexo 9.8).

La comunidad de fitoplancton en el lago Llanquihue se ha mantenido con el mismo número de clases, dominado principalmente por diatomeas, se observa un recambio de diatomeas pennadas de la clase Bacillariophyceae durante el 2016 a diatomeas céntricas durante los años 2017 al 2019, y una disminución en el número de taxas identificados a través de los años. Se registraron dos aumentos de abundancia importantes de la diatomea céntrica *Cyclotella ocellata*, en el 2016 presentó una máxima abundancia de 97.534 cél. L-1, mientras que durante este año presentó una abundancia máxima de 127.278 cél. L-1 dominando en casi todas las

estaciones del lago. La abundancia del dinoflagelado *Ceratium* parece no tener cambios significativos a través del tiempo (Tabla 17).

Tabla 17. Comparación de la comunidad fitoplanctónica en el Lago Llanquihue.

Año	N. de muestras	N. de clases	N. de taxones	Especies más abundantes	Abundancia de cianobacterias	Máx. abundancia de <i>Ceratium</i> sp.
2016	28	11 diatomeas, Bacillariophyceae (75%)	57	Diatomeas: <i>Cyclotella ocellata</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> . Chrysophyceae: <i>Dinobryon cylindricum</i> , Dinophyceae: <i>Peridinium aff. inconspicuum</i> .	14.551 cel/L <i>Dolichospermum aff. planctonicum</i>	393 cel/L
2017	41	11 diatomeas, Coscinodiscophyceae (51%)	49	Diatomeas: <i>A. granulata</i> y <i>A. distans</i> Chrysophyceae: <i>Dinobryon divergen</i> . Xanthophyceae: <i>Tribonema elongatum</i>	---	1.571 cel/L
2018	25	12 diatomeas, Coscinodiscophyceae (72%)	52	Diatomeas: <i>A. granulata</i> , <i>A. distans</i> y <i>Fragilaria crotonensis</i> Alga verde: <i>Westella botryoides</i> .	--	1.570 Cel/L
2019	23	11 diatomeas, Mediophyceae (86%)	30	Diatomea: <i>C. ocellata</i> . Chrysophyceae: <i>D. divergens</i> .	--	1.091 Cel/L

4.9. Lago Cochrane

Se analizaron 5 muestras, 4 en la estación del lago Bahía Vidal y una en el tributario Río Desagüe.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Cochrane está compuesta por 7 phylum, con 8 clases y 20 especies diferentes (Tabla 18). Las especies más abundantes fueron la diatomea *Fragilaria crotonensis* (57%) y *Cyclotella ocellata* (18%) y la Chrysophyceae *Dinobryon divergens* (15%) (Figura 15).

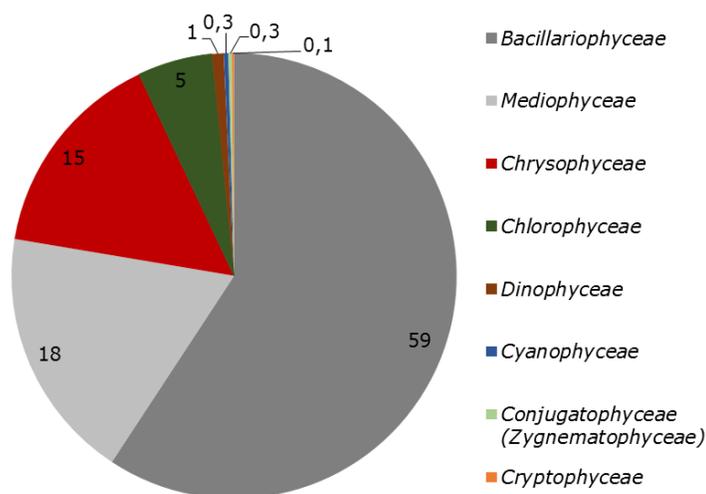


Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Cochrane.

Tabla 18. Listado de especies, Lago Cochrane.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Asterionella formosa Hassall

Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner

Fragilaria crotonensis Kitton

Fragilaria aff. tenera

Navicula spp.

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Mediophyceae

Cyclotella ocellata Pantocsek

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Monoraphidium sp.

Crucigeniella apiculata (Lemmermann) Komárek

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Mougeotia sp.

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

Tabla 18. Continúa. Listado de especies, Lago Cochrane.

MIOZOA**Dinophyceae***Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin*Gymnodinium* sp.1*Gymnodinium* sp.2*Peridinium* aff. *inconspicuum**Peridinium willei* Huitfeld-Kaas**CRYPTOPHYTA****Cryptophyceae***Cryptomonas* sp.*Rhodomonas* sp.**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Chroococcus* sp.

La comunidad presentó una abundancia entre 7.091 Cel/L y 192.008 Cel/L, una diversidad promedio (H' log10) de 0,5, con una equidad de $J' = 0,5$ y una dominancia de $\lambda = 0,5$ (ver Anexo 9.9).

En el Río Desagüe la comunidad fitoplanctónica está compuesta por 4 phylum, 4 clases y 9 especies diferentes. Las especies más abundantes fueron los dinoflagelados *Peridinium* aff. *inconspicuum* (69%) y *Gymnodinium* sp.1 (19%). La diversidad promedio (H' log10) fue de 0,5.

Tabla 19. Listado de especies, Río Desagüe.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium hirundinella (Müller) Dujardin

Gymnodinium sp.1

Gymnodinium sp.2

Peridinium aff. *inconspicuum*

Peridinium willei Huitfeld-Kaas

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas sp.

Rhodomonas sp.

4.10. Lago Camino

Se analizó una muestra tomada en la estación Centro a nivel superficial en el Lago Camino.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Camino está compuesta por 5 phylum, con 7 clases y 12 especies diferentes (Tabla 20). Las especies más abundantes fueron la Cyanobacteria *Chroococcus* sp. (37%), la diatomea *Fragilaria crotonensis* (30%) y Chrysophyceae *Dinobryon divergens* (15%) (Figura 16).

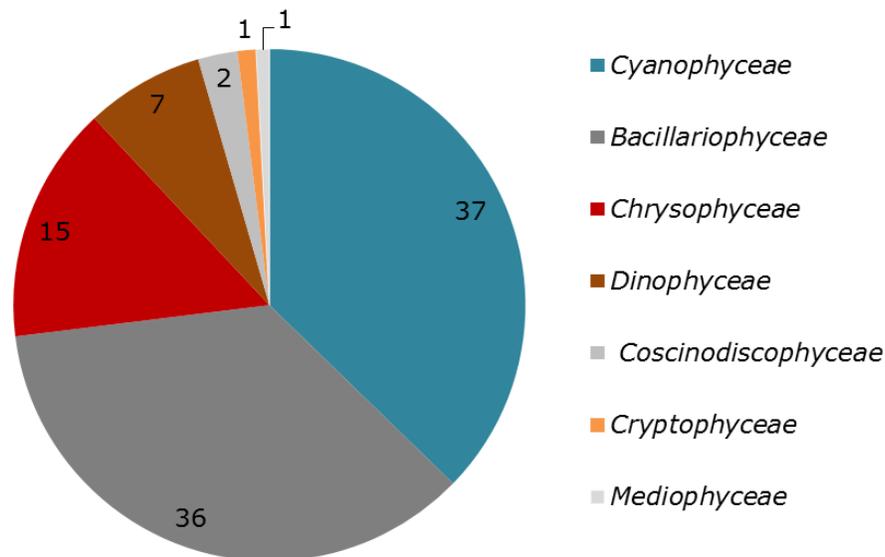


Figura 16. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Camino.

Tabla 20. Listado de especies, Lago Camino.

BACILLARIOPHYTA**Bacillariophyceae***Asterionella formosa* Hassall*Fragilaria crotonensis* Kitton*Navicula* spp.**Coscinodiscophyceae***Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen**Mediophyceae***Cyclotella ocellata* Pantocsek**MIOZOA****Dinophyceae***Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin*Peridinium willei* Huitfeldt-Kaas*Gymnodinium* sp.**OCHROPHYTA****Chrysophyceae***Dinobryon divergens* O.E.Imhof**CRYPTOPHYTA****Cryptophyceae***Cryptomonas ovata* Ehrenberg*Rhodomonas lacustris* (Pascher & Ruttner) Javornicky**CYANOBACTERIA****Cyanophyceae***Chroococcus* sp.

La comunidad presentó una abundancia de 778.266 Cel/L, una diversidad promedio (H' log10) de 0,7, con una equidad de $J' = 0,7$ y una dominancia de $\lambda = 0,7$ (ver Anexo 9.10).

5. DISCUSIÓN

En los 10 cuerpos de agua analizados se reportan 8 Phylum (Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa, Ochrophyta) y 13 clases de microalgas (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Chlorophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Trebouxiophyceae, Klebsormidiophyceae, Chrysophyceae, Synurophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae. La mayor cantidad de clases se presentó en los lagos Villarrica y Calafquen y la menor en el Lago Petrel (Tabla 21).

Las clases más abundantes correspondieron a las diatomeas de la clase Bacillariophyceae y las algas verde-azules de la clase Cyanophyceae que representó más del 70% en los Lagos Vichuquén y Villarrica, lo que indica que dichos lagos tienen un estado eutrófico. Por otro lado, las diatomeas representaron más del 50% de la abundancia relativa de microalgas en 3 de los lagos estudiados (Lago Calafquen, Lago Panguipulli y Lago Cochrane) y estuvo presente en todos lagos analizados, excepto en el Lago Petrel, en este último Lago, predominaron las microalgas de la clase Cryptophyceae (79,5%). En un estudio donde se analizan los patrones sucesionales de fitoplancton en lagos, indican que los aumentos en la abundancia de criptofitos y otros microflagelados coinciden con los períodos de descomposición que siguen a la disminución de la población de especies de algas que dominaban anteriormente (Stewart & Wetzel, 1986). Parece que muchos criptofitos son más competitivos en condiciones de nutrientes no limitantes (por ejemplo, Sommer, 1989; Willen, 1987).

En aquellos lagos donde fueron muestreados los tributarios, el análisis estadístico demuestra que las comunidades de algas son diferentes en el lago y en el tributario y esto se explica principalmente porque el sustrato y las condiciones ambientales son diferentes. En general los aportes hídricos, energía y materiales provenientes de los tributarios tienen mucha importancia, ya que regulan frecuentemente el funcionamiento del Lago.

En relación a las cianobacterias, los géneros más abundantes fueron *Dolichospermum*, *Cylindrospermopsis*, *Aphanocapsa*, para las diatomeas los generos con mayor abundancia correspondieron a *Fragilaria*, *Aulacoseira* y *Cyclotella* y las criptoficéas *Cryptomonas*.

La mayor abundancia se registró en El Lago Villarrica. La mayor riqueza en el Lago Villarrica (S=54) y la menor en el Lago Petrel (S=6). Cabe resaltar que en el Lago Villarrica se analizaron la mayor cantidad de muestras (n=40).

Se identificaron 11 géneros de cianobacterias y 16 especies diferentes. En la Tabla 22 se muestran las especies de cianobacterias identificadas en los lagos. Sin embargo, solo se registraron eventos de floraciones en los lagos Vichuquén y Villarrica. Las floraciones fueron identificadas mediante la cuantificación de las abundancias celulares, que según Chorus & Bartram (1999), WHO (2003), Aguilera et al. (2017) se produce cuando

la cantidad de células es mayor a 2.000 Cel/ml. Este valor es considerado como una floración de cianobacterias nivel de alerta 1 para las aguas de bebida y de recreación.

El aumento de abundancia de estas especies está asociado a diferentes características físicas y químicas del agua, principalmente a los aportes (puntuales y difusos) de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, 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.

Otras especies igualmente abundantes en los lagos estudiados fueron la diatomea *F. crotonensis* en los lagos Calafquen, Camino, Villarrica, Panguipulli, Caburga, y Cochrane. La diatomea céntrica *Aulacoseira granulata* en los lagos Camino, Calafquen, Panguipulli y Villarrica.

Según Bellinger & Sigee (2010), *Fragilaria crotonensis* puede ser encontrada en ecosistemas meso a eutróficos, en donde las concentraciones de fósforo son especialmente abundantes, formando floraciones. Esta especie puede generar mal olor al agua y la obstrucción de filtros en zonas de captación de agua.

Tabla 21. Clases de microalgas en los lagos estudiados.

Taxon	Petrel	Butaco	Vichuquén	Lago Villarrica	Caburgua	Lago Llanquihue	Lago Calafquen	Lago Panguipulli	Lago Cochrane	Lago Camino
Bacillariophyta										
Bacillariophyceae		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Coscinodiscophyceae		+		+	+	+	+	+		+
Mediophyceae				+		+		+	+	+
Charophyta										
Conjugatophyceae							+			
(Zygnematophyceae)		+		+					+	
Klebsormidiophyceae			+		+	+	+			
Chlorophyta										
Chlorophyceae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Trebouxiophyceae		+	+	+		+	+	+		
Cryptophyta										
Cryptophyceae	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Miozoa										
Dinophyceae		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ochrophyta										
Chrysophyceae		+		+	+	+	+	+	+	+
Xantophyceae							+			
Cyanobacteria										
Cyanophyceae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Euglenozoa										
Euglenophyceae	+		+			+				
Total	4	8	8	10	8	11	11	9	8	7

Tabla 22. Abundancia relativa (%) de las clases de microalgas en los lagos estudiados.

Taxon	Petrel	Butaco	Vichuquén	Lago Villarrica	Caburgua	Lago Llanquihue	Lago Calafquen	Lago Panguipulli	Lago Cochrane	Lago Camino
Bacillariophyceae	0,0	4,6	0,7	20,2	36,0	1,4	51	72,3	57,0	35,8
Coscinodiscophyceae	0,0	4,6	0,0	6,9	2,1	1,5	40	12	0,0	2,5
Mediophyceae	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,0	0	10	17,7	0,8
Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3	0,2	0,0
Klebsormidiophyceae	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,2	0,0	0,0
Chlorophyceae	7,3	13,8	0,5	0,2	0,1	0,1	0	0,2	5,2	0,0
Trebouxioephyceae	0,0	1,5	0,3	0,3	0,3	0,0	0,05	0,1	0,0	0,0
Cryptophyceae	79,5	0,0	0,7	0,9	1,4	0,6	0,05	0,3	0,3	1,2
Dinophyceae	0,0	8,5	0,7	1,1	22,2	3,5	0,6	0,4	4,3	7,5
Chrysophyceae	0,0	65,4	0,0	0,1	31,0	6,1	5,2	3	15,0	15,0
Cyanophyceae	9,4	0,8	96,8	70,3	6,9	0,3	1	1,2	0,3	37,3
Euglenophyceae	3,9	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0

En cuanto a especies invasoras, se registro el dinoflagelado del género *Ceratium* en 7 de los lagos analizados (Lago Camino, Calafquen, Panguipulli, Villarrica, Caburga, Llanquihue y Cochrane). El dinoflagelado generó floraciones en el Lago Villarrica (máxima abundancia 69.623 Cel/L) y Lago Camino (5.180 Cel/L).

Este género es considerado invasor en los 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), puede 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). Además de lo anterior, 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.

Por otro lado, se reportó por primera vez en el programa de monitoreo de lagos la presencia de la cianobacteria toxica invasora, *C. raciborskii*, en el lago Vichuquén. Esta especie trópicale se ha expandido rápidamente a las zonas templadas beneficiada probablemente por las nuevas condiciones ambientales generadas por el cambio climático (Antunes et al. 2015).

Tabla 23. Presencia de cianobacterias en los lagos estudiados.

Especie	Petrel	Butaco	Vichuquén	Lago Villarrica	Caburgua	Lago Calafquen	Lago Panguipulli	Lago Llanquihue	Lago Cochrane	Lago Camino
<i>Anabaenopsis arnoldii</i>			+							
<i>Aphanizomenon favaloroi</i>			+							
<i>Aphanocapsa aff. incerta</i>				+						
<i>Chroococcus sp.</i>									+	
<i>Chroococcus sp.</i>										+
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>			+							
<i>Dolichospermum planctonicum</i>				+	+					
<i>Dolichospermum sp.</i>						+	+	+		
<i>Dolichospermum spiroides</i>						+	+			
<i>Dolichospermum aff. lemmermanii</i>				+						
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>		+								
<i>Merismopedia glauca</i>	+									
<i>Merismopedia sp.</i>				+						
<i>Nodularia spumigena</i>			+							
<i>Oscillatoria aff. Limosa</i>			+				+			
<i>Pseudanabaena sp.</i>				+						

Se estudiaron 10 ríos asociados a las cuencas de los lagos monitoreados, (Estero Llico, Río Llanquihue, Río Huanehue, Río Niltre; Ro Coñaripe, Estero Diuco, Estero Nilfe, Estero Comenahue, Canal Hueinica).

Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae, fue el grupo dominante en los ríos analizados, con excepción del Estero Llico, donde dominó el alga verde *Oocystis lacustris* y la cianobacteria *Microcystis aff. smithii*, la que se encontró generando una floración. En ese río se registro la mayor abundancia de células.

6. CONCLUSIONES

Los grupos más abundantes tanto en los lagos como en los ríos evaluados fueron las diatomeas (*Aulacoseira* y *Fragilaria*) y las cianobacterias (*Dolichospermum*). *Dolichospermum* genera floraciones que afectan el uso del recurso hídrico (generación de malos olores y cambios en la coloración del agua), la estructura la comunidad fitoplanctónica y la salud humana y animal por la producción de cianotoxinas (microcistinas).

Los ecosistemas como Lago Vichuquén y Villarrica, 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.

Se registraron dos especies invasoras: el dinoflagelado del género *Ceratium* estuvo presente en 7 de los lagos analizados generando floraciones en el Lago Villarrica (máxima abundancia 69.623 Cel/L) y la cianobacteria neurotóxica *Cylindrospermopsis raciborskii* para los sistemas acuáticos de Chile. Esta cianobacteria generó una floración en el lago Vichuquen durante el verano del 2019, constituyendo el primer registro de floración de esta cianobacteria en Chile.

7. RECOMENDACIONES

Se deben tomar muestras cualitativas con malla de 20 μm , las tomadas hasta el momento con una malla de 50 μm 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 μm) y guardar estos filtros en frío ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$), esto con el fin de poder realizar análisis moleculares de las muestras.

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.

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 (microcistinas) 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 necesita verificar la presencia de *Cylindrospermopsis raciborskii* en lagos cercanos, así como realizar un seguimiento de su invasión y medir toxinas en este lago (saxitoxinas).

8. BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, A., HAAKONSSON, S., MARTIN, M.V., SALERNO, G.L., & ECHENIQUE, R.O. 2018. Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern. *Limnologica*. 69: 103-114.

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.

ANTUNES, J.T., LEÃO, P.N., & VASCONCELOS, V.M. 2015. *Cylindrospermopsis raciborskii*: review of the distribution, phylogeography, and ecophysiology of a global invasive species. *Frontiers in Microbiology*. 6: 473.

ARNETT, H.A., SAROS, J.E., & MAST, M.A. 2012. A caveat regarding diatom-inferred nitrogen concentrations in oligotrophic lakes. *Journal of Paleolimnology*. 47(2): 277-291.

BARBOSA, F. & J. PADISÁK. 2004. Algumas considerações sobre o desenho amostral de longa duração. In Bicudo, C. & D. Bicudo (Eds.) *Amostragem em Limnologia RiMa*, Sao Carlos. 343-351.

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.

CHORUS, I. & J. BARTRAM. 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E & FN Spon, London.

CLARKE, K.R. & 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.

GONZÁLEZ, E.J. & G. ROLDÁN. 2019. Eutrophication and Phytoplankton: Some Generalities from Lakes and Reservoirs of the Americas. In *Phytoplankton Ecology and Dynamics*. IntechOpen.

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. LWRDC Occasional Paper 22/99. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Australia.

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

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

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

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.

KÖSTER, D. & R. PIENITZ. 2006. Seasonal diatom variability and paleolimnological inferences—a case study. Journal of Paleolimnology, 35(2): 395-416.

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.

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

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

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 Río Grande do Sul.

MALIK, H. I. & J.E. SAROS. 2016. Effects of temperature, light and nutrients on five *Cyclotella* sensu lato taxa assessed with in situ experiments in arctic lakes. *Journal of plankton research*. 38(3): 431-442.

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.

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.

NIMPTSCH, J., WOELFL, S., OSORIO, S., VALENZUELA, J., MOREIRA, C., RAMOS, CASTELO-BRANCO R., LEÃO P.N. & V. VASCONCELOS. 2016. First record of toxins associated with cyanobacterial blooms in oligotrophic North Patagonian lakes of Chile—a genomic approach. *International Review of Hydrobiology*. 101(1-2): 57-68.

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.

RIVERA, P., CRUCES, F. & I. VILA. 2003. *Cyclotella ocellata* Pantocsek (Bacillariophyceae): primera cita en Chile y comentarios sobre su variabilidad morfológica. *Gayana. Botánica*. 60(2): 123-131.

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.

SAROS, J. E. & N. J. ANDERSON. 2015. The ecology of the planktonic diatom *Cyclotella* and its implications for global environmental change studies. *Biological Reviews*. 90(2): 522-541.

SOMMER, U. 1989. The role of competition for resources in phytoplankton succession. In *Plankton ecology*, U. Sommer, ed. Berlin: Springer-Verlag, 57-106.

STEWART, A.J., AND R.G. WETZEL. 1986. Cryptophytes and other microflagellates as couplers in planktonic community dynamics. *Arch. Hydrobiol.* 106:1-19

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

TRIERMER, 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.

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.

WILLEN, E. 1987. Phytoplankton and reversed eutrophication in Lake Miilaren, Central Sweden, 1965-1983. *Br. Phycol. J.* 22:193-208

WHO, 2003. World Health Organization. *Guidelines for Safe Recreational Water Environments*, vol. 1 Coastal and fresh waters, Geneva, Switzerland.

9. ANEXOS