



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: 1019-18-LE18

SANTIAGO, DICIEMBRE 2018

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 Marino, Mg. en Ciencias
mención Botánica)

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

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	METODOLOGÍA	3
3.1.	Área de estudio.....	3
3.2.	Recolección y tratamiento de las muestras	4
3.3.	Análisis cualitativo e identificación taxonómica	5
3.4.	Análisis cuantitativo.....	7
4.	RESULTADOS	12
4.1.	Lago Chungará.....	13
4.2.	Laguna El Perro.....	17
4.3.	Laguna El Petrel.....	20
4.4.	Laguna Torca.....	23
4.5.	Lago Vichuquén	26
4.6.	Laguna Grande de San Pedro	34
4.7.	Lago Lanalhue.....	37
4.8.	Lago Colico	41
4.9.	Lago Villarrica	46
4.10.	Lago Llanquihue	56
4.11.	Lago Laja	62
5.	DISCUSIÓN	67
6.	CONCLUSIONES	78
7.	RECOMENDACIONES	80
8.	BIBLIOGRAFÍA	82
9.	ANEXOS	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de muestras analizadas.....	4
Tabla 2. Clasificación utilizada a nivel de clase	6
Tabla 3. Listado de especies, Lago Chungará.	15
Tabla 4. Listado de especies, Río Chungará.....	16
Tabla 5. Listado de especies, Laguna Perro.	19
Tabla 6. Listado de especies, Laguna Petrel.	22
Tabla 7. Listado de especies, Laguna Torca.....	25
Tabla 8. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo en el Lago Vichuquén.	26
Tabla 9. Listado de especies, Lago Vichuquén.	29
Tabla 10. Listado de especies, Estero Llico y Vichuquén.	32
Tabla 11. Listado de especies presentes en la Laguna Grande de San Pedro.	36
Tabla 12. Listado de especies presentes en el Lago Lanalhue.	39
Tabla 13. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el Lago Colico.	41
Tabla 14. Listado de especies, Lago Colico.....	43
Tabla 15. Listado de especies, ríos del Lago Colico.	45
Tabla 16. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Villarrica.	47
Tabla 17. Listado de especies, Lago Villarrica.....	48
Tabla 18. Índices biológicos por estación de muestreo en el lago Villarrica...	51
Tabla 19. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica.....	54
Tabla 20. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el lago Llanquihue.	56
Tabla 21. Listado de especies, Lago Llanquihue.....	58
Tabla 22. Listado de especies, Lago Laja.	65

LISTA DE TABLAS (Continuación)

Tabla 23. Clases de microalgas en los lagos estudiados.	68
Tabla 24. Abundancia relativa (%) de las clases de microalgas en los lagos estudiados.	69
Tabla 25. Eventos de floraciones en los lagos estudiados. Máxima abundancia de células (Cel/L) de cianobacterias.	72
Tabla 26. Presencia de <i>Ceratium</i> en los lagos estudiados. Máxima abundancia de células (Cel/L). *Eventos de floraciones.	74
Tabla 27. Abundancia relativa de grupos funcionales (%) de los taxones de microalgas más abundantes en los lagos estudiados.	77

LISTA FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados.....	3
Figura 2. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Chungará.	14
Figura 3. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Perro.	18
Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.	21
Figura 5. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Torca.	24
Figura 6. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.	27
Figura 7. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén.....	28
Figura 8. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Grande de San Pedro.	35
Figura 9. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Lanalhue.	38
Figura 10. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Colico.	42
Figura 11. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.	50
Figura 12. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Villarrica..	52
Figura 13. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.....	57
Figura 14. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue..	60
Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Laja.	63
Figura 16. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Laja..	64

1. INTRODUCCIÓN

Las microalgas son consideradas indicadoras de cambios de los sistemas acuáticos continentales, 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 y abundancia de especies (Parra & Bicudo, 1995; Reynolds et al. 2002; Medina et al. 2012).

En este sentido, aguas contaminadas tenderán a albergar una mayor abundancia de aquellas especies que pueden sobrevivir y adaptarse a condiciones extremas (UNE, 2015). Varios grupos de microalgas, principalmente, las diatomeas y las cianobacterias son utilizadas como indicadoras de la condición ambiental de los ecosistemas y de diferentes tipos de contaminación, por ejemplo, la presencia de floraciones de microalgas o “blooms” se considera uno de los principales indicadores del proceso de eutrofización de los ecosistemas acuáticos continentales.

Por todo lo anterior, en los últimos años las microalgas han sido incluidas en el monitoreo de la calidad de agua y del uso del recurso hídrico de varios lagos y ríos (Bellinger & Sigee, 2015; UNE, 2015). En Chile, de acuerdo a las disposiciones establecidas en el art. 129 bis 3 del Código de Aguas, la Dirección General de Aguas (DGA), se realiza un monitoreo del fitoplancton de los cuerpos de agua (lóticos y lénticos) del país, con el objeto 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, 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 y ríos, donde se incluye en la red de observación el monitoreo de parámetros biológicos.

En el presente informe se reporta el resultado del análisis de 102 muestras de fitoplancton provenientes de 11 cuerpos de agua monitoreados por la red de control de lagos de la DGA en el norte, centro y sur de Chile.

2. OBJETIVOS

Identificar y cuantificar las especies de microalgas de la comunidad fitoplanctónica presente en 11 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, los cuales están bajo el control de la Dirección General de Aguas a través de la Red Nacional de Monitoreo de Lagos (Figura 1).

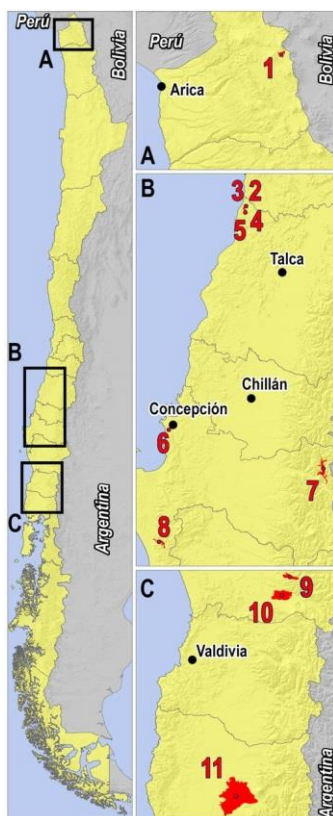


Figura 1. Ubicación de los lagos monitoreados. 1 Lago Chungará, 2 Laguna Petrel, 3 Laguna El Perro, 4 Laguna Torca, 5 Lago Vichuquén, 6 Laguna Grande San Pedro, 7 Lago Laja, 8 Lago Llanquihue, 9 Lago Collico, 10 Lago Villarrica, 11 Lago Llanquihue.

3.2. Recolección y tratamiento de las muestras

La Dirección General de Aguas realizó el monitoreo de fitoplancton en terreno, para lo cual se recolectaron muestras cuantitativas de fitoplancton con una botella Van Dorn, a diferentes profundidades y a nivel superficial en algunos efluentes y afluentes de cada sistema. El muestreo cualitativo 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 1 se presenta un resumen del número de muestras analizadas por lago.

Tabla 1. Número de muestras analizadas.

Cuerpo de agua	Número de muestras
Lago Chungará	6
El Perro	1
Petrel	1
Torca	2
Vichuquen	12
Laguna Grande de San Pedro (LGSP)	2
Lago Laja	8
Lanahue	5
Colico	8
Villarrica	32
Llanquihue	25
Total	102

3.3. Análisis cualitativo e identificación taxonómica

Para identificar las especies de microalgas presentes en los lagos y ríos de la red de monitoreo, se realizó un análisis cualitativo de las muestras tomadas con red de fitoplancton. El análisis consistió en la observación al microscopio (Carl Zeiss Axioskop en el objetivo 40x) y la elaboración de un inventario de todos los taxones presentes.

Se utilizó la clasificación taxonómica descrita por Guiry & Guiry (2018) para separar los grupos por phylum, orden, familia, género y especie. En la Tabla 2 se muestra la clasificación a nivel de clase utilizada. Para cada lago se tomaron fotografías de las especies más abundantes utilizando una cámara adozada al microscopio y posteriormente procesadas con el programa Carl Zeiss/ZEN 2012.

La identificación de los organismos se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible, mediante el uso de literatura especializada, a saber: algas verdes, Bock et al. (2011), Leliaert et al. (2012) y Krienitz & Bock (2012); Cyanobacteria, Komárek & Anagnostidis (2000, 2005), Komárek (2013) y Komárek et al. (2014); 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). Finalmente, para Bacillariaceae se utilizó a Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot & Ulrich (2014). Para todos los grupos algales se consultó Parra et al. (1982-1983) y Guiry & Guiry (2016).

Tabla 2. 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	
Chrysophyceae	Chrysophyceae Synurophyceae	Ochrophyta
Chlorophyceae	Chlorophyceae Trebouxiophyceae Ulvothyxales	Chlorophyta
	Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) Klebsormidiophyceae	Charophyta
Euglenophyceae	Euglenophyceae	Euglenozoa

Para facilitar la identificación a nivel de especie, se realizaron mediciones (largo, ancho, alto) de las células y se analizaron estructuras y/o caracteres taxonómicos específicos. Dependiendo del grupo se utilizaron 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 (Alveal et al., 1995).
2. Cianobacterias, se observó el mucílago de filamentos y/o colonias mediante tinciones con tinta china (Alveal et al., 1995; APHA, 2012).
3. Dinoflagelados, las placas fueron observadas mediante separación con hipoclorito de sodio (Alveal et al., 1995).

3.4. Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo de las muestras se realizó siguiendo el método de Utermöhl (1958). Esta metodología consiste en trasladar un volumen conocido de muestra a cámaras de sedimentación durante un periodo de tiempo determinado, con lo que se genera la sedimentación de las células en el fondo de la cámara que posteriormente son contabilizadas en un microscopio invertido. Antes de realizar la sedimentación, las muestras deben ser agitadas vigorosamente para lograr la homogeneización y disgregación de las masas celulares. El volumen de las cámaras utilizadas depende de la densidad del fitoplancton (concentración de células por ml de muestra), a mayor concentración de células se deben utilizar cámaras de menor volumen (Alveal et al., 1995). Posteriormente, se realiza la cuantificación de las células al microscopio por transectos y/o campos, dependiendo de la densidad celular.

La contabilización de las células se realizó con un microscopio invertido marca Zeiss, modelo Axiovert 35. Se contabilizó hasta alcanzar al menos 100 individuos de la especie más frecuente y/o un mínimo de 400 células por muestra (Elosegi & Sabater, 2009). El área de la cámara utilizada fue de 530,93 mm², con un área de campo en 40x de 0,212 mm² y el área del transecto en 40x de 13,520 mm². Los resultados fueron reportados a través del número de células por litro (cel/L) (Hötzel & 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 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

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 filamentos y/o colonias (con tamaños de célula > 5 µm), se contó el número de colonias/filamentos observables en cada campo, posteriormente se calculó el número de células en un mínimo de 30 colonias/filamentos con el que se obtuvo el número de células por colonia/filamento (Hötzel & 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 & Sigeo, 2010). Con los datos se construyeron tablas y se 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 refiere al 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.

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

Dónde:

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

n_i = 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 la comunidad se determinó mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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):

Indica la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie, se calculará con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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.

Grupos funcionales:

Las especies más abundantes de microalgas fueron clasificadas por las características funcionales de las especies y no desde la taxonomía. La clasificación por grupos funcionales ha sido cada vez más aplicada en los últimos años para explicar y predecir la respuesta de las especies de fitoplancton a las condiciones ambientales (Kruk & Segura, 2012). Debido a que permite relacionar la presencia y el comportamiento de las comunidades algales con determinadas condiciones tanto físicas como químicas de los cuerpos de agua sin necesariamente hacer mediciones en el ambiente y/o donde el conocimiento de estos parámetros es escaso (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009; Kruk et al., 2010). Para la clasificación, se utilizó la clasificación propuesta por Reynolds et al. (2002), modificada por Kruk et al. (2010).

Frecuencia e intensidad de floraciones:

La presencia de floraciones de cianobacterias en las muestras fue determinada siguiendo el Marco de Niveles de Alerta y los Niveles de Orientación para aguas de baño y bebida, propuestos por Chorus & Bartram (1999) y WHO (2003) los que clasifican en categorías las floraciones que representen un nivel de riesgo para la salud humana. Los valores cuantitativos correspondientes al nivel de alerta 1, es decir, 2.000 Cel/mL, o 0,2 mm³/L biovolumen o 1 µg/L de clorofila a en el cuerpo de agua, se consideraron como una floración cianobacteriana.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estudio de la comunidad fitoplanctónica de 11 lagos (ver Tabla 1) y 7 ríos (Chungará, estero Llico, Vichuquén, Curaco, Trafampulli, Pucón y Tolten).

Para cada cuerpo de agua se presenta la siguiente información:

- 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 Chungará

El lago Chungará es un lago de altura ubicado a 4.520 m de altitud en el altiplano chileno (18°14'S, 69°09'O), es un sistema polimíctico frío de origen tectónico-volcánico, presenta alto contenido salino, con profundidades máximas que han variado históricamente entre 32 y 34 m (Dorador et al., 2003).

Por la falta de intervención humana y las condiciones de lago tropical de altura, se considera un sistema importante de estudio de los procesos que relacionan el clima, la geología y la calidad del agua con las comunidades fitoplanctónicas (Dorador et al., 2003). Este lago presenta una condición oligotrófica en primavera (Montecinos et al. 2017).

Durante este estudio se analizaron 6 muestras de la comunidad fitoplanctónica recolectadas durante el mes de noviembre de 2017, en dos estaciones del lago (n=5) y en el río Chungará(n=1).

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Chungará está compuesta por 7 phylum, 9 clases y 14 especies diferentes (Tabla 3). Las especies más abundantes fueron la Chrysophyceae *Lagynion sp.* (82%) y la Chlorophyceae *Ankira sp.* (7%) (Figura2).

La comunidad presentó una mayor abundancia en la estación del Centro a nivel superficial (185.354 Cel/L) y la menor abundancia en la estación Ajata a 10 m de profundidad (75.398Cel/L).

La diversidad promedio (H' log10) fue de 0,4, en donde se presentó una equidad de $J'= 0,4$ y una dominancia de $\lambda= 0,4$ (ver Anexo 2.1).

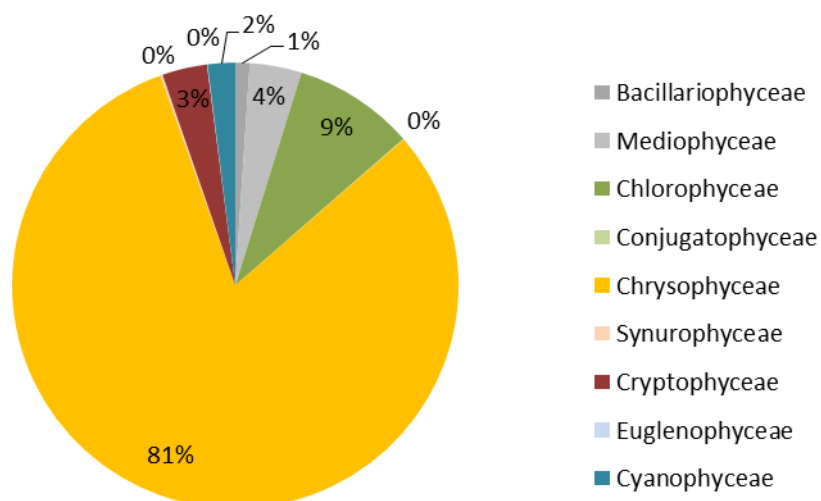


Figura 2. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Lago Chungará.

Según Dorador et al. (2003) la comunidad fitoplanctónica en el periodo abril de 1980 y septiembre de 1999, presentó una riqueza de 39 especies diferentes con un promedio de 20 especies por muestreo y 8 clases (Bacillariophyceae, Mediophyceae, Coscinodiscophyceae, Trebouxiophyceae, Chlorophyceae, Conjugatophyceae, Chrysophyceae y Cyanophyceae), en donde las especies que presentaron mayor abundancia fueron las algas verdes *Botryococcus braunii*, *Coelastrum microporum*, *Oocystis sp.*, *Closterium acutum* y las diatomeas *Stephanodiscus astraea*, *Cyclotella stelligera*. Con relación a este trabajo se informa un menor número de especies en el lago y la presencia de la *Trachelomonas sp.* anteriormente no reportada.

Tabla 3. Listado de especies, Lago Chungará.

- BACILLARIOPHYTA**
Bacillariophyceae
Cocconeis placentula Ehrenberg
Navicula sp.
Mediophyceae
Cyclotella meneghiniana Kützing
Stephanodiscus sp.
- CHLOROPHYTA**
Chlorophyceae
Coelastrum sp.
Ankira sp.
- CHAROPHYTA**
Conjugatophyceae
Closterium acutum Brébisson
- OCHROPHYTA**
Chrysophyceae
Lagynion sp.
Dinobryon divergens O.E.Imhof
Synurophyceae
Mallomonas sp.
- CRYPTOPHYTA**
Cryptophyceae
Cryptomonas sp.
- EUGLENOPHYTA**
Euglenophyceae
Trachelomonas sp.
- CYANOBACTERIA**
Cyanophyceae
Oscillatoria sp.

En el río Chungará la comunidad está conformada principalmente por 3 clases, 17 géneros y 32 especies. Las diatomeas dominaron la comunidad; *Fragilaria aff. pinnata* y *Diatoma vulgaris* fueron las especies más abundantes (Tabla 4).

Tabla 4. Listado de especies, río Chungará.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cocconeis placentula Ehrenberg
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Diatoma vulgare Bory
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann
Fragilaria capucina Desmazières
Fragilaria sp.
Fragilaria aff. *pinnata*
Gomphonema acuminatum Ehrenberg
Hannea sp.
Navicula aff. *viridula*
Navicula aff. *papula*
Navicula aff. *mutica*
Navicula spp.
Nitzschia sp.
Nitzschia aff. *thermalis*
Pinnularia spp.
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot
Surirella sp.
Ulnaria delicatissima (W.Smith) Aboal & P.C.Silva
Ulnaria acus (Kützing) Aboal
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coscinodiscophyceae

Melosira sp.

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Dolichospermum sp.
Pseudoanabaena sp.
Oscillatoria sp.

4.2. Laguna El Perro

La laguna el Perro está localizada al sur de la ciudad de Pichilemu, tiene una superficie de aproximadamente 28 has. y una profundidad máxima de 11,1 m (Leiva et al. 2015), presenta una condición oligotrófica durante el verano y mesotrófica en la primavera (Montecinos et al. 2017).

En este lago, se analizó una muestra superficial, tomada en el mes de noviembre del 2017.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Perro está compuesta por 7 clases diferentes de microalgas, se identificaron 15 especies de los cuales 6 fueron diatomeas de las clases Bacillariophyceae y Mediophyceae, 5 algas verdes de las clases Chlorophyceae y Trebouxiophyceae, 2 Cryptophyceae, 1 Dinophyceae, y 1 Euglenophyceae (Tabla 5). Las algas verdes de la clase Chlorophyceae (73%) y los dinoflagelados (12%) dominaron la comunidad (Figura 3).

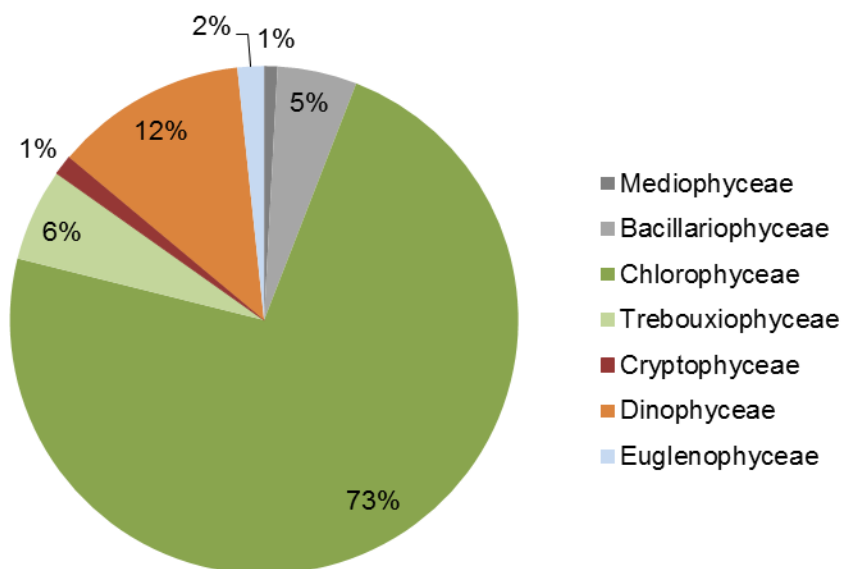


Figura 3. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Perro.

La comunidad presentó una abundancia total de 41.428 Cel/L, la diversidad promedio (H' log10) fue de 0,7 y una equidad de $J' = 0,6$, con la dominancia de las algas verdes *Ankira* sp. y *Sphaerocystis schroeteri* ($\lambda = 0,7$) (ver Anexo 2.2).

La riqueza de especies de esta comunidad ha variado entre $S=13$ durante el 2015 y $S=19$ en el 2017 (Leiva et al. 2015; Urrutia et al. 2017). En relación al año anterior, no se registró la presencia *Dolichospermum* aff. *Planctonicum* que generó una floración en el mes de noviembre de 2017. El dinoflagelado *Ceratium hirundinella* se registró también presente en los estudios del 2015 y 2017. Durante el otoño y el invierno del 2015, generó una floración donde alcanzó hasta un 97% de la abundancia relativa de la comunidad fitoplanctónica.

Tabla 5. Listado de especies, Laguna Perro.

BACILLARIOPHYTA

Mediophyceae

Cyclotella aff. ocelata

Cocconeis sp.

Bacillariophyceae

Encyonema minutum (Hilse) D.G.Man

Fragilaria sp.

Gomphonema sp.

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Ankira sp.

Monoraphidium saxatile Komárková-Legnerová

Sphaerocystis schroeteri Chodat

Trebouxiophyceae

Botryococcus braunii Kützing

Elakatothrix gelatinosa Wille

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas ovata Ehrenberg

Rhodomonas lacustris Pascher & Ruttner

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Trachelomonas aff. superba

4.3. Laguna El Petrel

La Laguna costera El Petrel, se localiza en el borde costero de la Región de O'Higgins, forma parte de un ensanchamiento de la desembocadura del estero El Petrel. Tiene una superficie de aproximadamente 25 ha y presenta una baja profundidad (1,1 m en promedio). La condición trófica determinada a nivel superficial para esta laguna es hipertrófica durante el verano y eutrófica para primavera (Leiva et al., 2017).

En este estudio se analizó 1 muestra tomada durante el mes de noviembre en la superficie del lago.

Composición específica y abundancia relativa

Se identificaron 5 clases, 11 géneros y 16 especies componiendo la comunidad fitoplanctónica. Las diatomeas, de las clases Bacillariophyceae y Melosirophycidae, fueron el grupo más diverso con 10 taxones diferentes, las que componen solo el 3% de la abundancia relativa de la comunidad (Tabla 6). Dos especies de dinoflagelados, *Gymnodinium sp.* y *Diplopsalis sp.* dominaron la comunidad, con 93% de la abundancia relativa de microalgas en el lago (Figura 4).

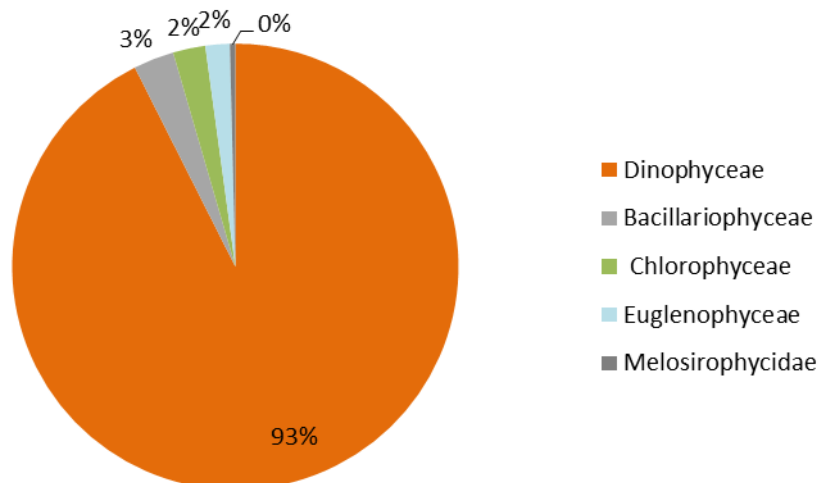


Figura 4. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Petrel.

La comunidad presentó una abundancia total de 401.339 Cel/L y una diversidad promedio (H' log10) de 0,4, en donde dominan unas pocas especies (equidad de J' = 0,3 y dominancia de λ = 0,5) (ver Anexo 2.3).

Durante este año se registró la mayor riqueza de especies $S=16$ reportada para esta laguna en relación a estudios anteriores; $S=9$ en el 2015 a $S=6$ en el 2017, periodos en los que la comunidad estuvo dominada por diatomeas principalmente (*Cyclotella sp.*, *Navicula spp.* y *Melosira varians* respectivamente) (Leiva et al., 2015; Urrutia et al., 2017). En este año, se observó un cambio respecto al grupo dominante, pasando de diatomeas a dinoflagelados.

Tabla 6. Listado de especies, Laguna Petrel.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cocconeis placentula Ehrenberg

Fragilaria sp.

Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst

Navicula spp.

Navicula viridula (Kützing) Ehrenberg

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Melosirophycidae

Melosira varians C.Agardh

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Scenedesmus sp.

Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová

MIOZOA

Dinophyceae

Diplopsalis sp.

Gymnodinium sp.

EUGLENOZOA

Euglenophyceae

Euglena sp.

4.4. Laguna Torca

Laguna Torca está localizada en el área costera de la región del Maule, en la subcuenca del Lago Vichuquén. Se ha determinado un estado hipereutrófico durante el verano y otoño (Martínez et al. 2014).

En Laguna Torca se tomaron 2 muestras durante el mes de enero de 2017 en un solo sitio del lago a dos diferentes profundidades (superficial y 5 m).

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Torca está compuesta por 8 clases, 21 géneros y 25 especies, de las cuales 9 fueron algas verdes de la clase Chlorophyceae (5), Trebouxiophyceae (3), y Conjugatophyceae (Zygnematophyceae) (1), 6 Cyanobacteria, 3 Cryptophyceae, 2 Synurophyceae, 3 Dinophyceae y 2 Euglenophyceae (Tabla 7). Las cianobacterias (97%) dominaron la comunidad (Figura 5). La riqueza varió entre 19 y 17 taxa, entre la superficie y el fondo respectivamente. La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,2, con la dominancia de dos especies de cianobacterias (equidad promedio $J' = 0,2$ y dominancia $\lambda = 0,2$).

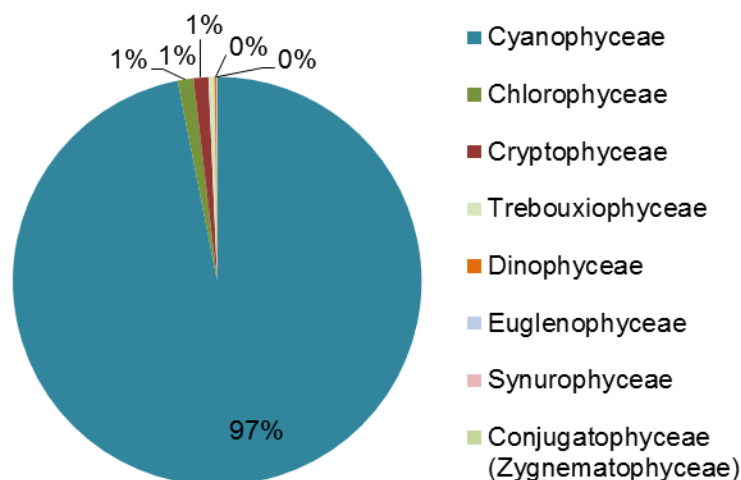


Figura 5. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Torca.

La mayor abundancia de células se registró en la superficie, en donde se registró una floración compuesta por varias especies de cianobacterias, donde *A. incerta* representó el 80% (abundancia máxima de 275.000.000 Cel/L) y *M. wesenbergii* el 16% del total de la abundancia registrada en la muestra. *A. smithii*, *D. spiroides* y *Merismopedia* sp. se encontraron acompañando la floración en el cuerpo de agua (Anexo 2.4). Estas cianobacterias son potenciales productoras de toxinas, 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.

El registro de floraciones de cianobacterias es común en este cuerpo de agua, durante noviembre del 2016 se registró una floración de *Microcystis aeruginosa*, *A. incerta* y *A. smithii*, donde *M. aeruginosa* fue la especie dominante de la floración, con una abundancia máxima de 51.875.000 cel/L representó el 52% de la abundancia total (Urrutia et al., 2017).

Tabla 7. Listado de especies, Laguna Torca.

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Coelastrum aff. microporum

Desmodesmus communis (E. Hegewald) E. Hegewald

Monoraphidium aff. griffithii

Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini

Scenedesmus sp.

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Closterium sp.

Trebouxiophyceae

Crucigeniella apiculata (Lemmermann) Komárek

Oocystis lacustris Chodat

Tetraedron minutum (A.Braun) Hansgirg

OCHROPHYTA

Synurophyceae

Mallomonas sp.

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas erosa Ehrenberg

Cryptomonas ovata Ehrenberg

Rhodomonas lacustris Pascher & Ruttner

MIOZOA

Dinophyceae

Gymnodinium sp.

Peridinium sp.

Peridinium aff. cinctum

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Anabaenopsis arnoldii Aptekar

Aphanocapsa incerta (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

Aphanothece smithii Komárková-Legnerová & G.Cronberg

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

Merismopedia sp.

Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Euglena allorgei Deflandre

Euglena sp.

4.5. Lago Vichuquén

El Lago Vichuquén está ubicado en el área costera de la Región del Maule, tiene influencia de la zona marina por lo que es considerado una laguna costera, tiene una longitud máxima de 7,1 km y una profundidad de 30 m. Presenta una condición mesotrófica durante el verano y oligotrófica en la primavera (Montecinos et al., 2017).

Se analizaron 10 muestras, 8 en tres estaciones del lago (Bahía Vichuquén, Centro y ZMAX) y dos en los tributarios (río Vichuquén y estero Llico) (Tabla 8).

Tabla 8. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreo en el Lago Vichuquén.

Estaciones de muestreo	Noviembre2017
Bahía Vichuquén	2
Centro	3
ZMAX	3
Estero Llico	1
Estero Vichuquén	1
Total	10

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Vichuquén está compuesta por 11 clases en las que se registraron 34 géneros y 42 especies, de los cuales 11 fueron algas verdes de la clase Chlorophyceae, Trebouxiophyceae, Klebsormidiophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), 10 diatomeas, 5 cianobacterias, 2 dinoflagelados, 2 criptofíceas, 2 synuras

y 2 euglenas (Tabla 9). Las algas verdes representaron el 0,5% constituyendo el grupo más diverso.

Las cianobacterias dominaron la comunidad fitoplanctónica con el 98% de la abundancia relativa total, este grupo estuvo representado por 5 géneros potenciales formadores de floraciones tóxicas. Las especies más abundantes fueron las cianobacterias *Aphanizomenon favaloroi*, *Nodularia spumigena* y *Pseudoanabaena catenata* que generaron una floración en la estación Zmax.

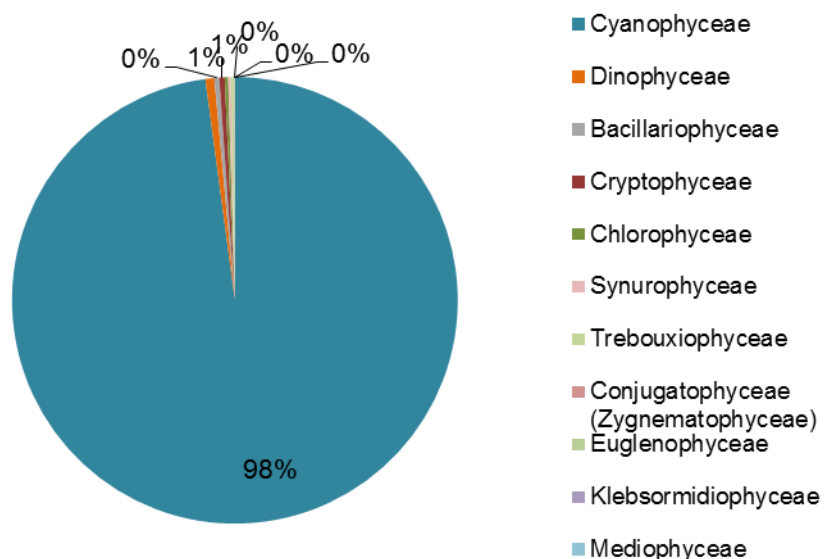


Figura 6. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Vichuquén.

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,4, una equidad de $J' = 0,4$ y una dominancia de $\lambda = 0,4$. La mayor diversidad y riqueza se registró en el sector Bahía Vichuquén ($H' \log_{10} = 1,0$ y $S =$

20) (Anexo 2.5). La estructura de la comunidad no presentó diferencias entre los sitios muestreados (ANOSIM $R_{global} = 0,21$; $p > 0,05$) (Figura 7). La menor abundancia se presentó en el Centro a 17 m de profundidad (1.178 Cel/L). La mayor abundancia se registró en la superficie de la estación Zmax donde *A. favaloroi* alcanzó una abundancia de 29.291.667 Cel/L, correspondiendo al 98% de la abundancia relativa de la muestra. Esta especie generó una floración en la estación ZMAX durante enero de 2017 en donde alcanzó el 98% de la abundancia de la comunidad (30.006.944 cel/L) (Urrutia et al. 2017). Al parecer esta floración se mantuvo durante todo el año en el cuerpo de agua.

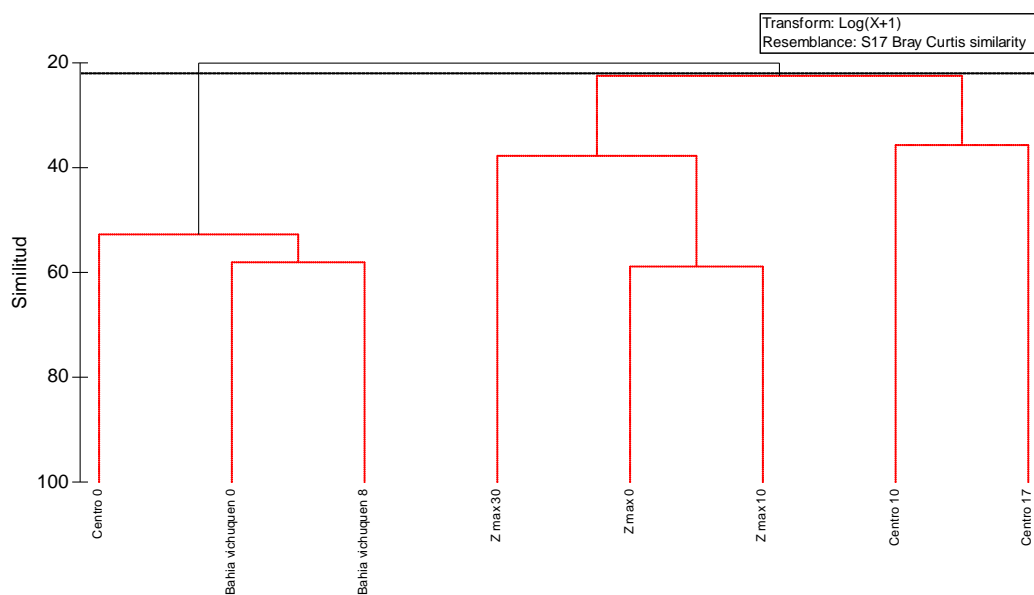


Figura 7. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Vichuquén. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

Tabla 9. Listado de especies, Lago Vichuquén.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cocconeis placentula Ehrenberg
Diatoma vulgare Bory
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson
Epithemia sorex Kützing
Fragilaria aff. *schroeteri* (Meister)
Fragilaria sp.
Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
Navicula spp.
Nitzschia sp.
Ulnaria acus (Kützing) Aboal

Mediophyceae

Ciclotella sp.

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

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

Trebouxiophyceae

Actinastrum hantzschii Lagerheim
Crucigeniella apiculata (Lemmermann) Komárek
Oocystis lacustris Chodat

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Closterium acutum Brébisson
Cosmarium aff. *quadratum*
Staurastrum sp.

Klebsormidiophyceae

Elakatothrix gelatinosa Wille

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas erosa Ehrenberg
Cryptomonas ovata Ehrenberg

Tabla 9. Listado de especies, Lago Vichuquén (Continúa).

OCHROPHYTA

Synurophyceae

Mallomonas sp.

MIOZOA

Dinophyceae

Peridinium willei Huitfeld-Kaas

Gymnodinium sp.

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Anabaenopsis arnoldii Aptekar

Aphanizomenon favaloroi S.H.Otaño

Nodularia spumigena Mertens ex Bornet & Flahault

Oscillatoria sp.

Pseudoanabaena catenata Lauterborn

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Astasia sp.

Trachelomonas superba Svirenko

En el Río Vichuquén se registraron 8 clases, 20 géneros y 23 especies. Las diatomeas dominaron la comunidad (71%). La especie más abundante fue *Encyonema minutum*. La comunidad presentó una alta diversidad de taxones ($H' \log_{10} = 1,1$), en donde todas las especies se encuentran indistintamente representadas ($J' = 0,8$ y $\lambda = 0,8$).

Una mayor abundancia de células se registró en el estero Llico, el que presentó 8 clases, 14 géneros y 14 taxones (Tabla 10). Las algas verdes de la clase Trebouxiophyceae y las cianobacterias dominaron la comunidad (63% y 30%, respectivamente). La diversidad de especies fue baja ($H' \log_{10} = 0,4$), con la dominancia de dos especies, *Oocystis lacustris* y *Microcystis aff. smithii*, las que componen el 93% de la abundancia relativa de las microalgas en el río.

Tabla 10. Listado de especies, Estero Llico y Vichuquén.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner

Diatoma vulgare Bory

Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann

Fragilaria aff. *capucina*

Fragilaria aff. *schroeteri*

Fragilaria sp.

Gomphoneis sp.

Navicula aff. *dicephala*

Navicula spp.

Navicula viridula (Kützing) Kützing

Nitzschia sp.

Surirella sp.

Ulnaria acus (Kützing) Aboal

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Mediophyceae

Ciclotella sp.

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Coelastrum microporum Nägeli

Desmodesmus communis (E. Hegewald) E. Hegewald

Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová

Monoraphidium saxatile Komárkova-Legnerová

Scenedesmus sp.

Trebouxiophyceae

Oocystis lacustris Chodat

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Closterium acutum Brébisson

Closterium parvulum Nägeli

Pleurotaenium sp.

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas erosa Ehrenberg

Tabla 10. Listado de especies, Estero Llico y Vichuquén (Continúa).

OCHROPHYTA

Synurophyceae

Mallomonas sp

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium sp.

Gymnodinium sp.

Peridinium willei Huitfeld-Kaas

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Microcystis aff. *smithii*

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Euglena spathirrhyncha Skuja

Euglena sp.

Trachelomonas superba Svirenko

4.6. Laguna Grande de San Pedro

Este lago urbano está ubicado en la comuna de San Pedro de la Paz, en la Región del Biobío. Tiene un área de 155 hectáreas y posee una profundidad máxima de 13,5 metros. Su cuenca ha sido drásticamente modificada con la introducción de plantaciones forestales (pino y eucaliptus) y la expansión urbana. Durante las últimas décadas este sistema ha experimentado una fuerte disminución en la calidad del agua, siendo definido como un lago eutrófico, con crecimiento de macrófitas en la zona litoral, presencia de bolsones anóxicos en el fondo y aparición de malos olores (Parra, 1989).

En la Laguna Grande de San Pedro se tomaron 2 muestras durante el mes de febrero 2018 en una estación a nivel superficial y a 5 m.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en la Laguna Grande de San Pedro está compuesta por 9 clases, 16 géneros y 18 especies de los cuales 4 fueron diatomeas, 5 algas verdes de la clases Chlorophyceae y Trebouxiophyceae, 3 dinoflagelados, 2 cianobacterias, 2 euglenas, 1 criptofíceas y 1 crisofíceas (Tabla 11). Las diatomeas (47%) y las cianobacterias (37%) dominaron la comunidad (Figura 8).

Las especies más abundantes fueron la cianobacteria *Dolichospermum planctonicum* y las diatomeas *Fragilaria crotonensis* y *Tabellaria fenestrata*.

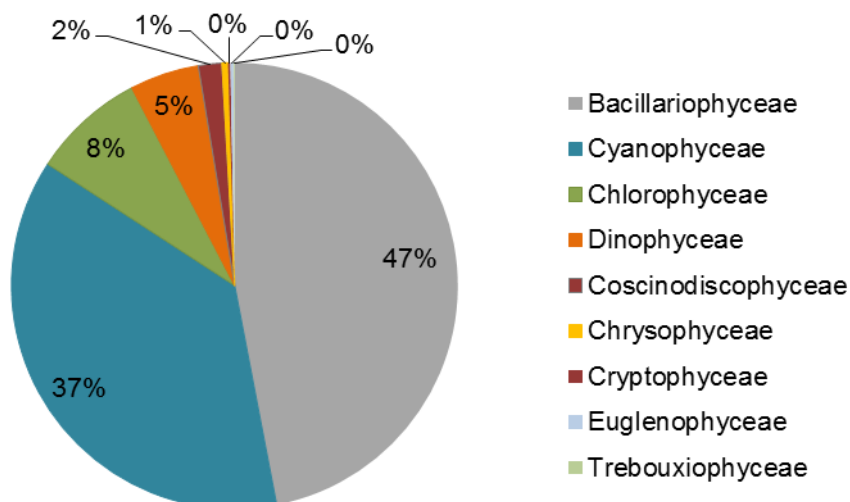


Figura 8. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en la Laguna Grande de San Pedro.

La comunidad presentó una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,8, una equidad de $J' = 0,7$ y una dominancia de $\lambda = 0,8$. *D. planctonicum* presentó una floración desde la superficie hasta 5 m de profundidad, donde alcanzó una abundancia de 1.583.890 Cel/L, esta especie es potencialmente productora de toxinas.

Parra et al. (2003) informaron una riqueza de especies de 57 para este cuerpo de agua, y las mismas tres clases dominantes en el lago (Chlorophyceae, Bacillariophyceae y Cyanophyceae).

Tabla 11. Listado de especies presentes en la Laguna Grande de San Pedro.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Asterionella formosa Hassall
Fragilaria crotonensis Kitton
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Monoraphidium saxatile Komárkova-Legnerová
Nephrochlamys subsolitaria (G.S. West) Korshikov
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson
Scenedesmus sp.

CHAROPHYTA

Trebouxiophyceae

Oocystis lacustris Chodat

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium furcoides (Levander) Langhans
Gymnodinium sp.
Peridinium sp.

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas ovata Ehrenberg

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Trachelomonas sp.
Euglena sp.

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Chrysoosporum minus (Kiselev) Komárek
Dolichospermum planctonicum (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek

4.7. Lago Lanalhue

El lago Lanalhue se ubica en el valle de la Cordillera de Nahuelbuta entre Cañete y Contulmo a 12 msnm, tiene un área de 31,9 km² y una profundidad promedio de 13,1 m. Desde el año 2009 el estado trófico del lago ha sido clasificado como mesotrófico (CREA, 2009) a eutrófico (Martínez et al., 2014).

En el Lago Lanalhue se analizaron 5 muestras de 2 sitios diferentes recolectadas durante el mes de febrero de 2018.

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Lanalhue está compuesta por 10 clases, 32 géneros y 41 especies de los cuales 12 son algas verdes de las clases Chlorophyceae, Trebouxiophyceae y Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), 10 diatomeas, 5 dinoflagelados, 6 cianobacterias, 3 euglenas, 2 criptofíceas, 1 synura y 1 crisofícea (Tabla 12).

Las cianobacterias (89%) dominaron la comunidad (Figura 9). Las especies más abundantes fueron la cianobacteria fijadora de nitrógeno *D. planctonicum* y *Aphanocapsa aff. holsatica*, las que formaron una floración en la estación de Puerto Manzano, en donde alcanzaron una abundancia máxima de 21.780.000 Cel/L y 13.444.444 Cel/L, respectivamente.

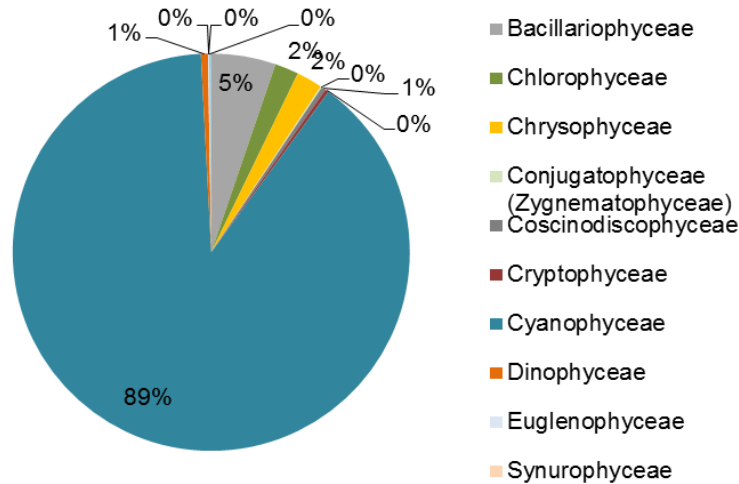


Figura 9. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Lanalhue.

La comunidad presentó una diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,5, debido a la dominancia de *D. planctonicum*, la equidad fue de $J' = 0,3$ y una dominancia de $\lambda = 0,5$.

En el estudio realizado por Parra et al. (2003) informaron la presencia de 48 especies, con Chlorophyceae, Bacillariophyceae y Cyanophyceae como las clases las más importantes en términos de abundancia para el lago.

Tabla 12. Listado de especies presentes en el Lago Lanalhue.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Asterionella formosa Hassall
Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
Naviculla sp.
Rhizosolenia eriensis H.L.Smith
Rhizosolenia longiseta O.Zacharias
Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing

Coscinodiscophyceae

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

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Desmodesmus communis (E. Hegewald) E. Hegewald
Desmodesmus denticulatus (Lagerheim) An, Friedl & E. Hegewald
Dimorphococcus lunatus A.Braun
Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová
Monoraphidium saxatile Komárkova-Legnerová
Nephrochlamys subsolitaria (G.S. West) Korshikov
Scenedesmus aff. *granulatus* West & G.S.West
Scenedesmus ecornis (Ehrenberg) Chodat

CHAROPHYTA

Trebouxiophyceae

Mucidosphaerium pulchellum (Wood) C. Bock, Pröschold & Krienitz
Oocystis lacustris Chodat

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Closterium acutum Brébisson
Closterium aff. *parvulum*

Tabla 12. Listado de especies presentes en el Lago Lanalhue (Continuación).

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

Ceratium furcoides (Levander) Langhans

Gymnodinium aff. viride

Peridinium aff. inconspicuum

Peridinium sp.

Peridinium willei Huitfeld-Kaas

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas ovata Erhrenberg

Rhodomonas lacustris (Pascher & Ruttner) Javornicky

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon cylindricum O.E.Imhof

Synurophyceae

Mallomonas sp.

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Aphanocapsa aff. holsatica

Aphanocapsa elachista West

Dolichospermum planctonicum (Brunnthaler) Wacklin

Gomosphaeria lacustris Chosdat

Microcystis smithii Komárek & Anagnostidis

Pseudoanabaena catenata Lauterborn

EUGLENOPHYTA

Euglenophyceae

Euglena sp.

Phacus sp.

Trachelomonas aff. superba

4.8. Lago Colico

El lago Colico está localizado en la Región de la Araucanía, es un lago profundo con aproximadamente 416 m de profundidad media, se estratifica durante verano y presenta una condición de oligotrofia (Martínez et al., 2014)

En este lago, se analizaron 8 muestras tomadas durante el mes de octubre en 5 sitios diferentes; tres en el lago (Bahía Trafampulli, Centro, Puerto Colico) y dos en los ríos Trafampulli y Curaco (Tabla 13).

Tabla 13. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el Lago Colico.

Estaciones de muestreo	Octubre 2018
Bahía Trafampulli	2
Centro	2
Puerto Colico	2
Río Trafampulli	1
Río Curaco	1
Total	8

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el Lago Colico está compuesta por 5 clases, en las que se registraron 17 géneros y 25 especies (Tabla 14). Las diatomeas céntricas de la clase Coscinodiscophyceae dominaron la comunidad (83%) (Figura 10).

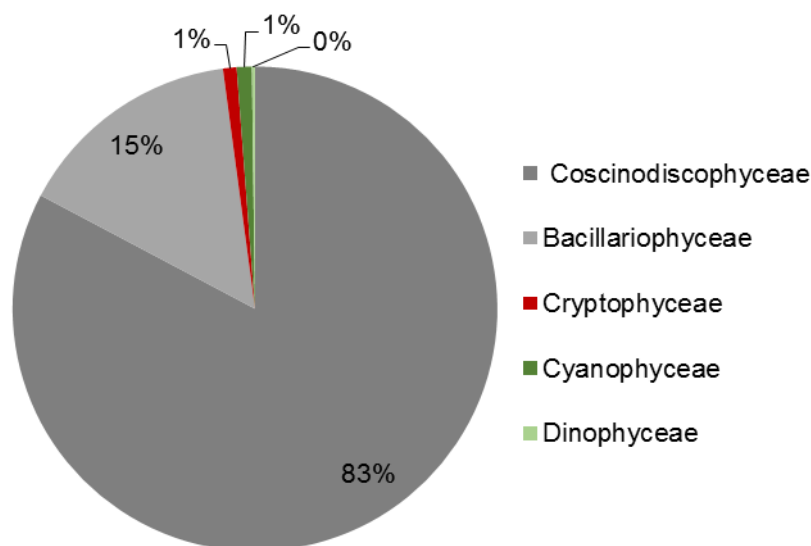


Figura 10. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el lago Colico.

La abundancia varió entre 231.281 Cel/L en la superficie de Bahía Trafampulli y 57.942 Cel/L en la superficie de la estación Centro. La diversidad promedio ($H' \log_{10}$) fue de 0,6, en donde dominaron las diatomeas *Rhizosolenia longiseta* (61%) y *Rhizosolenia eriensis* (18%).

La comunidad no presentó diferencias estadísticamente significativas en entre los sitios muestreados (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,44$; $p > 0,05$) y las profundidades (ANOSIM $R_{\text{global}} = -0,11$; $p > 0,05$).

Tabla 14. Listado de especies, Lago Colico.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Diatoma vulgare Bory

Fragilaria aff. *tenera*

Fragilaria asterionelloides Tuji & D.M.Williams

Fragilaria sp.

Gomphoneis sp.

Hannea aff. *arcus*

Hantzshia spp.

Navicula aff. *cryptocephala*

Navicula aff. *radiosa*

Navicula dicephala Ehrenberg

Navicula spp.

Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot

Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing

Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen

Rhizosolenia eriensis H.L.Smith

Rhizosolenia longiseta O.Zacharias

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Monoraphidium saxatile Komárkova-Legnerová

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium sp.

Peridinium sp.

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas ovata Ehrenberg

Rhodomonas lacustris (Pascher & Ruttner) Javornicky

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Aphanocapsa aff. *incerta*

En el Río Trafampulli se identificaron 3 clases, en las que se registraron 11 géneros y 19 especies (Tabla 15). Las diatomeas de las clases Coscinodiscophyceae y Bacillariophyceae constituyeron el 97% de la abundancia de taxones en la comunidad, la especie más abundante fue *Diatoma mesodon* y *Navicula* sp.12. La comunidad presentó una alta diversidad $H' \log_{10} = 1,1$, en donde no se presentó dominancia de ninguna especie ($\lambda = 0,9$, $J' = 0,9$).

En el Río Curaco, la comunidad fitoplanctónica estuvo compuesta por 5 clases, 8 géneros y 11 especies; las diatomeas *Rhizosolenia longiseta* (56%) y *Rhizosolenia eriensis* (34%) dominaron la comunidad fitoplanctónica de este río, que presentó una baja diversidad $H' \log_{10} = 0,5$, por la dominancia de las diatomeas céntricas ($\lambda = 0,6$, $J' = 0,5$) (Anexo 2.8).

Tabla 15. Listado de especies, ríos del Lago Colico.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cymbella minuta Hilse
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing
Diatoma vulgare Bory
Eunotia sp.
Fragilaria aff. tenera
Fragilaria sp.
Gomphonema sp.
Hannea aff. arcus
Navicula spp.
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing
Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing
Ulnaria acus (Kützing)
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen
Aulacoseira aff. calypsi
Rhizosolenia longiseta O.Zacharias
Rhizosolenia eriensis H.L.Smith

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Closterium acutum Brébisson

CHLOROPHYTA

Ulvophyceae

Cladophora glomerata

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Rhodomonas lacustris (Pascher & Ruttner) Javornicky

4.9. Lago Villarrica

El lago Villarrica está ubicado en la región de Araucanía en la cuenca del Río Toltén. Tiene una superficie de aproximadamente 175 km² y una longitud de 23,5 km. Presenta una estratificación térmica durante el periodo estival (verano) (Montecinos et al., 2017).

Históricamente se ha reportado para este lago una condición de Oligo-mesotrofia y eventualmente condiciones eutróficas durante el verano (Martínez et al., 2014). Actualmente el lago Villarrica cuenta con la Resolución Exenta SMA N°671/2016 que dicta el Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua para las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica. Durante el año 2017, la DGA reportó una condición oligotrófica para el periodo estacional verano y primavera (Montecinos et al., 2017).

En el lago Villarrica se tomaron 32 muestras durante el mes de febrero y octubre de 2018 en siete diferentes estaciones y en dos ríos (Tabla 16).

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Villarrica está compuesta por 12 clases, 41 géneros y 64 especies, de los cuales 38 fueron diatomeas, 13 algas verdes de las clases Chlorophyceae, Conjugatophyceae, Klebsormidiophyceae, Trebouxiophyceae y Ulvophyceae, 6 cianobacterias, 4 Dinophyceae, 2 Cryptophyceae y 1 Chrysophyceae (Tabla 17). Las diatomeas constituyeron el 72% de la abundancia,

seguidas por las algas verdes de la clase Trebouxiophyceae con el 19% (Figura 11).

Tabla 16. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fecha en el lago Villarrica.

Estación	Febrero	Octubre	Total
	2018		
Bahía La Poza	3	2	5
Centro	3		3
Litoral Norte	3		3
Litoral Pucón	4	3	7
Litoral Sur	2	1	3
Litoral Villarrica	3		3
Pelagial	4		4
Río Pucón	1	1	2
Río Tolten	1	1	2
Total	24	8	32

Tabla 17. Listado de especies, Lago Villarrica.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Asterionella formosa Hassall
Cocconeis placentula Ehrenberg
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing
Diatoma vulgare Bory
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson
Epithemia sorex Kützing
Fragilaria aff capuccina
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria spp.
Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Gomphoneis sp.
Gomphonema spp.
Navicula aff. anglica
Navicula aff. radiosa
Navicula dicephala Ehrenberg
Navicula spp.
Navicula viridula (Kützing) Ehrenberg
Nitzschia aff sublinearis
Nitzschia spp.
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing
Ulnaria acus (Kützing) Aboal
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coccinodiscophyceae

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

Tabla 17. Listado de especies, Lago Villarrica (Continuación).

Mediophyceae

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

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae

- Closterium acutum* Brébisson
- Closterium parvulum* Nägeli

Klebsormidiophyceae

- Elakatothrix gelatinosa* Wille

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

- Eutetramorus aff. planctonicus*
- Golenkinia radiata* Chodat
- Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius
- Monoraphidium saxatile* Komárková-Legnerová
- Sphaerocystis schroeteri* Chodat
- Volvox sp.*
- Willea irregularis* (Wille) Schmidle

Trebouxiophyceae

- Mucidosphaerium pulchellum* (Wood) C. Bock, Pröschold & Krienitz
- Oocystis lacustris* Chodat

Ulvophyceae

- Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

- Cryptomonas ovata* Erhrenberg
- Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

- Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek
- Dolichospermum planctonicum* (Brunnthaler) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek
- Dolichospermum aff. lemmermanii*
- Microcystis smithii* Komárek & Anagnostidis
- Oscillatoria sp.*
- Pseudoanabaena aff. catenata*

Tabla 17. Listado de especies, Lago Villarrica (Continuación).

MIOZOA

Dinophyceae

- Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin
- Gymnodinium aff. fuscum*
- Peridinium aff. inconspicuum*
- Peridinium willei* Huitfeld-Kaas

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

- Dinobryon divergens* O.E.Imhof

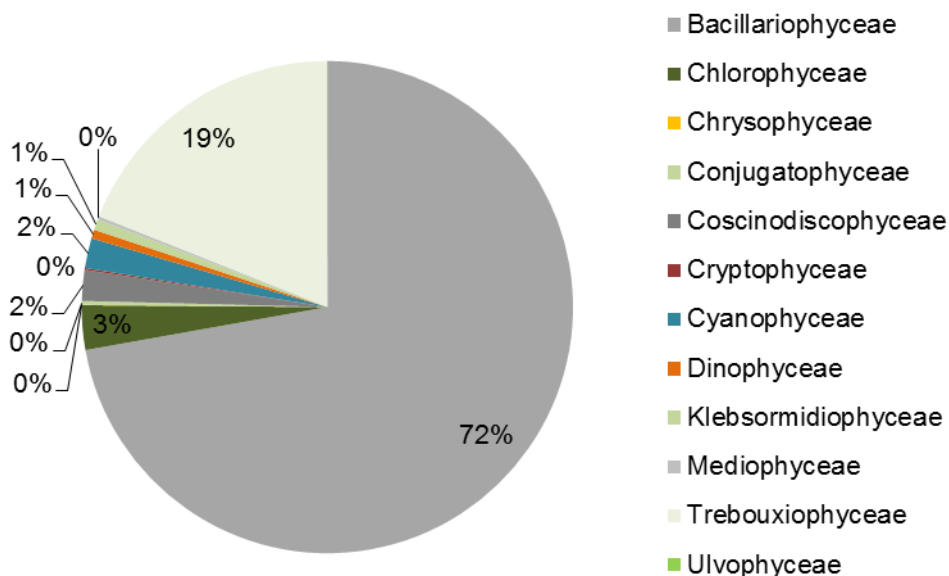


Figura 11. Abundancia relativa (%) de grupos o clases de microalgas en Villarrica.

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,3, con la dominancia de pocas especies ($J' = 0,3$ y $\lambda = 0,3$). La mayor diversidad y riqueza promedio de especies se registró en Litoral Pucón ($H' \log_{10} = 0,4$, $S = 14$) (Anexo 2.9).

Las especies más abundantes fueron las diatomeas *F. crotonensis* y el alga verde *Mucidosphaerium pulchellum*. Dentro de esta comunidad el grupo de las cianobacterias fue diverso (con 5 especies diferentes) pero poco abundante. La especie que presentó mayor abundancia fue *Pseudoanabaena aff. Catenata* con 91.891 Cel/L la que formó una floración en la estación Centro a 10 m de profundidad.

Tabla 18. Índices biológicos por estación de muestreo en el lago Villarrica.

Estación de muestreo	S	H'(log10)	J'	λ
Bahía La poza	13	0,3	0,3	0,3
Pelagial	9	0,2	0,2	0,2
Litoral Pucón	14	0,4	0,4	0,4
Centro	11	0,3	0,3	0,3
Litoral Norte	11	0,2	0,2	0,2
Litoral Sur	10	0,2	0,2	0,2
Litoral Villarrica	13	0,2	0,2	0,2
Total	12	0,3	0,3	0,3

La abundancia no presentó diferencias significativas entre los sitios muestreados (ANOSIM $R_{global}=0,07$; $p > 0,05$), sin embargo, varió entre las profundidades (ANOSIM $R_{global}=0,02$; $p < 0,05$) y las estaciones del año (ANOSIM $R_{global} = 0,96$; $p < 1,00$). En la Figura 12, se observan dos grupos, uno formado mayoritariamente por las muestras de verano y otros dos con las muestras de primavera.

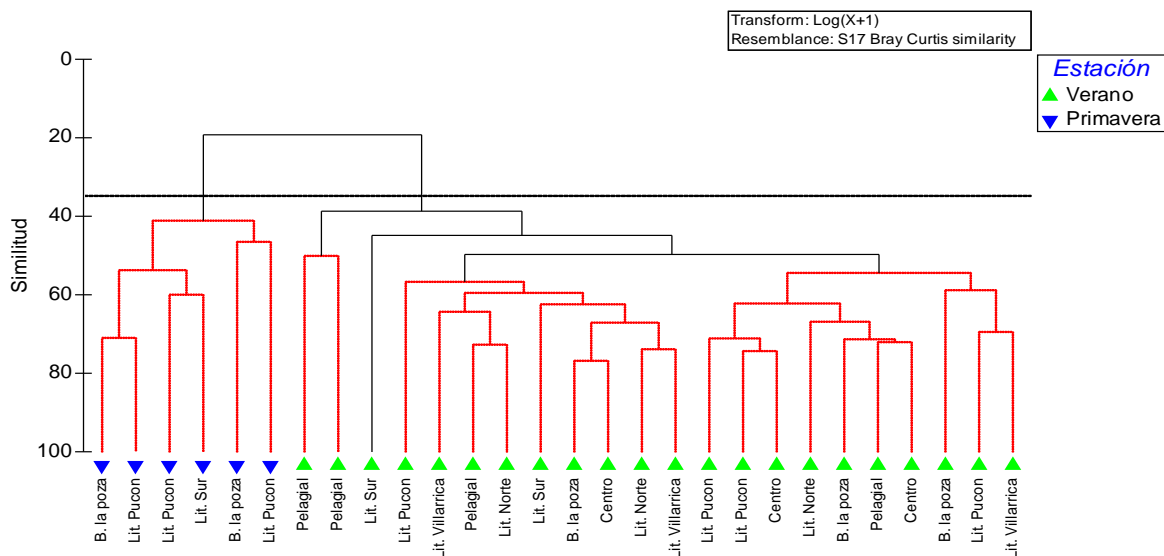


Figura 12. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Villarrica. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

La comunidad fitoplanctónica se mantuvo dominada por diatomeas las que cambiaron de 68% durante el año 2017 al 72% en este periodo. Con respecto al año anterior, se registró un cambio en la composición de especies de las diatomeas *A. granulata* y *A. distans* a *F. crotonensis* durante este año (Urrutia et al., 2017), así como la disminución de la abundancia *D. divergens* y el aumento del alga verde *M. pulchellum*.

La abundancia del dinoflagelado invasor *C. hirundinella*, también presentó una baja abundancia de 161 Cel/L en el sector de litoral Pucón durante el mes de octubre 2018, con relación a la abundancia reportada durante el 2017 (Urrutia et al., 2017).

En las muestras tomadas en el Río Toltén se registraron 8 clases, 33 géneros y 35 taxones (Tabla 19). Las diatomeas dominaron la comunidad de este río (68%), seguidas por Trebouxiophyceae. Las especies más abundantes fueron *F. crotonensis* (62%) y *M. pulchellum* (24%). La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10}$) de 0,3, con la dominancia de pocas especies ($J' = 0,2$ y $\lambda = 0,2$).

En el Río Pucón se registraron 5 clases, 20 géneros y 28 taxones, las diatomeas de las clases Bacillariophyceae (69%) y Coscinodiscophyceae (16%) fueron las más abundantes, con las especies *Melosira varians* y *Navicula* sp.. La comunidad presentó una alta diversidad promedio ($H' \log_{10} = 1,0$), donde todas las especies estuvieron representadas de igual forma ($J' = 0,9$ y $\lambda = 0,8$). En este río se registró la presencia del alga verde filamentosa *Cladophora glomerata* (2.751cel/L) en octubre de 2018. Esta especie produce agregaciones en los sustratos rocosos de los sistemas acuáticos continentales, que ocasionan la alteración de los ecosistemas acuáticos y afectan su estructura y función.

Tabla 19. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Cocconeis placentula Ehrenberg
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner
Cymbella minuta Hilse
Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing
Diatoma vulgare Bory
Fragilaria aff. capuccina
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria spp.
Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni
Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Gomphoneis sp.
Gomphonema acuminatum Ehr.
Gomphonema sp.
Hanea aff. arcus
Navicula aff. anglica
Navicula spp.
Navicula viridula (Kützing) Kützing
Nitzschia aff. sublinearis
Nitzschia spp.
Pinnularia aff. dactylus
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller
Surirella aff. ovalis
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing
Ulnaria acus (Kützing)
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Tabla 19. Listado de especies, ríos del Lago Villarrica (Continuación).

BACILLARIOPHYTA

Coscinodiscophyceae

- Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen
Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen
Melosira varians C. Agardh
Rhizosolenia longiseta O. Zacharias

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

- Closterium acutum* Brébisson

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

- Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius
Sphaerocystis Schroeteri Chodat

Trebouxiophyceae

- Mucidosphaerium pulchellum* (H.C. Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz
Oocystis lacustris Chodat

ULVOPHYCEAE

- Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

- Cryptomonas ovata* Ehrenberg
Rhodomonas lacustris (Pascher & Ruttner) Javornicky

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

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

MIOZOA

Dinophyceae

- Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin
Gymnodinium sp.
Peridinium aff. *inconspicuum*
Peridinium willei Huitfeldt-Kaas

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

- Dinobryon divergens* O.E. Imhof

4.10. Lago Llanquihue

El Lago Llanquihue está ubicado en la Región de los Lagos en la cuenca Río Maullin y subcuenca Lago Llanquihue. Presenta una superficie de aproximadamente 870,5 km² y una longitud de 42,3 km.

Un análisis a largo plazo (2000 - 2014) de la concentración de clorofila a en el lago Llanquihue mostró que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia (Martínez et al., 2014) los cuales se han mantenido hasta el 2017 (Montecinos et al., 2017). Actualmente el lago Llanquihue cuenta con la Resolución Exenta DGA N°1207/2012 que Aprueba el Programa de Vigilancia de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas del Lago Llanquihue.

Se analizaron 25 muestras tomadas en los meses de marzo y agosto, en cuatro estaciones diferentes (Puerto Octay, Ensenada, Frutillar y Puerto Varas) (Tabla 20).

Tabla 20. Número de muestras analizadas por estaciones de muestreos y fechas en el lago Llanquihue.

Estación	Marzo	Agosto	Total
	2018		
Puerto Octay	4	3	7
Ensenada	1	3	4
Frutillar	4	3	7
Puerto Varas	4	3	7
Total	13	12	25

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Llanquihue está compuesta por 12 clases, 36 géneros y 52 especies, de los cuales 30 son diatomeas (22 Bacillariophyceae, 5 Coscinodiscophyceae y 3 Mediophyceae), 10 algas verdes (5 Chlorophyceae, 2 Klebsormidiophyceae, 2 Trebouxiophyceae y 1 Conjugatophyceae), 5 dinoflagelados, 3 cianobacterias, 2 criptofíceas (Cryptophyceae), 1 crisofíceas (Chrysophyceae), y 1 Xanthophyceae (Tabla 21). Las diatomeas céntricas de la clase Coscinodiscophyceae constituyeron el 72% de la abundancia de taxones en la comunidad (Figura 13), principalmente las especies de diatomeas *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira distans* y *F. crotonensis*, así como la clorofícea *Westella botryoides* (ver Anexo 2.10).

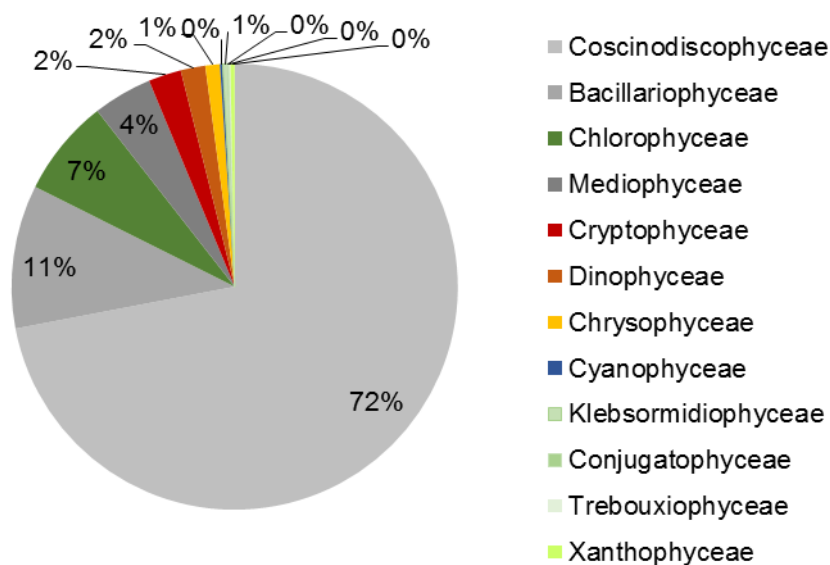


Figura 13. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Llanquihue.

Tabla 21. Listado de especies, Lago Llanquihue.

BACILLARIOPHYTA

Bacillariophyceae

Asterionella formosa Hassall
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen
Cyclotella aff. ocelata
Cymbella sp.
Diatoma vulgare Bory
Encyonema minutum (Hilse) D.G.Mann
Epithemia sores Kützing
Fragilaria aff. tenera
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria spp.
Gomphonema minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Hanea aff. arcus
Navicula aff. anglica
Navicula aff. radiosa
Navicula dicephala Ehrenberg
Navicula spp.
Nitzschia aff. sublinearis
Nitzschia spp.
Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Otto Müller
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

COSCINODISCOPHYCEAE

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

MEDIOPHYCEAE

Cyclostephanos sp.
Cyclotella aff. ocelata
Cyclotella meneghiniana Kützing

Tabla 21. Listado de especies, Lago Llanquihue (Continúa).

CHAROPHYTA

Conjugatophyceae

Closterium acutum Brébisson

Klebsormidiophyceae

Elakatothrix gelatinosa Wille

Mougeotia sp.

CHLOROPHYTA

Chlorophyceae

Golenkinia radiata Chodat

Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini

Sphaerocystis schroeteri Chodat

Westella botryoides (West) De Wildeman

Willea irregularis (Wille) Schmidle

Trebouxiophyceae

Botryococcus braunii Kützing

Oocystis lacustris Chodat

CRYPTOPHYTA

Cryptophyceae

Cryptomonas ovata Erhrenberg

Rhodomonas lacustris Pascher & Ruttner

CYANOBACTERIA

Cyanophyceae

Aphanocapsa incerta (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek

Chroococcus sp.

Pseudoanabaena aff. *catenata*

MIOZOA

Dinophyceae

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin

Gymnodinium aff. *fuscum*

Gymnodinium sp.

Peridinium aff. *inconspicuum*

Peridinium willei Huitfeld-Kaas

OCHROPHYTA

Chrysophyceae

Dinobryon divergens O.E.Imhof

Xanthophyceae

Tribonema elongatum Thomasson

La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10} = 0,5$). Los resultados del análisis de conglomerados y ANOSIM a dos vías (sitio de muestreo y estación del año) 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 existen diferencias entre las estaciones del año (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,76$; $p < 0,01$), determinadas principalmente por la abundancia de *A. granulata* durante invierno y la dominancia de *W. botryoides* en verano (Figura 14). Cabe destacar que *F. crotonensis* fue dominante durante las dos estaciones del año.

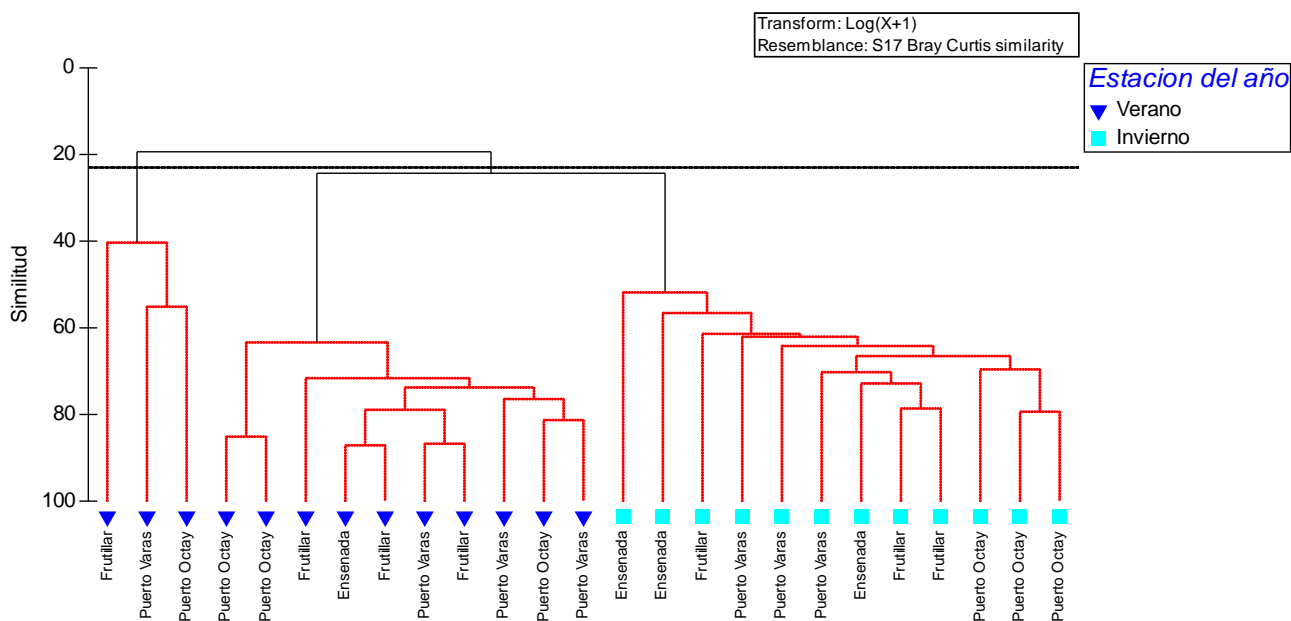


Figura 14. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Llanquihue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

Con relación al año 2017 la comunidad fitoplanctónica registró una similar riqueza de taxones (de 49 durante el 2017 a 52 este año) y la dominancia de las diatomeas *A. granulata* y *A. distans* en la comunidad (Urrutia et al. 2017). Cabe destacar que la crisofícea *D. divergens*, disminuyó su abundancia durante el año 2018 y aumentó la clorofícea *W. botryoides*.

Durante este año, el dinoflagelado *C. hirundinella*, se registró en 12 de las 25 muestras analizadas, con una máxima abundancia de 1.570 Cel/L en la estación Frutillar durante el verano a 30 m de profundidad (ver anexo 2.10). Este dinoflagelado también se reportó durante el 2017 en similares abundancias (Urrutia et al., 2017).

4.11. Lago Laja

El Lago Laja está ubicado en la Región del Biobío a 1.700 msnm, se formó por acción sucesiva de glaciares y volcanes. Este lago es considerado el mayor embalse natural del país y generalmente ha sido clasificado como oligotrófico.

Se analizaron 8 muestras recolectadas durante el mes de febrero de 2018 en 5 estaciones del lago (dos dentro de la zona de barrera 2 y 3, una aguas arriba de cola del embalse y dos en aguas adyacentes a sexta barrera).

Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica del Lago Laja está compuesta por 8 clases, 25 géneros y 30 especies diferentes (Tabla 22). Las diatomeas céntricas de la clase Bacillariophyceae constituyeron el 54% de la abundancia de taxones en la comunidad, seguido por los dinoflagelados (Figura 15).

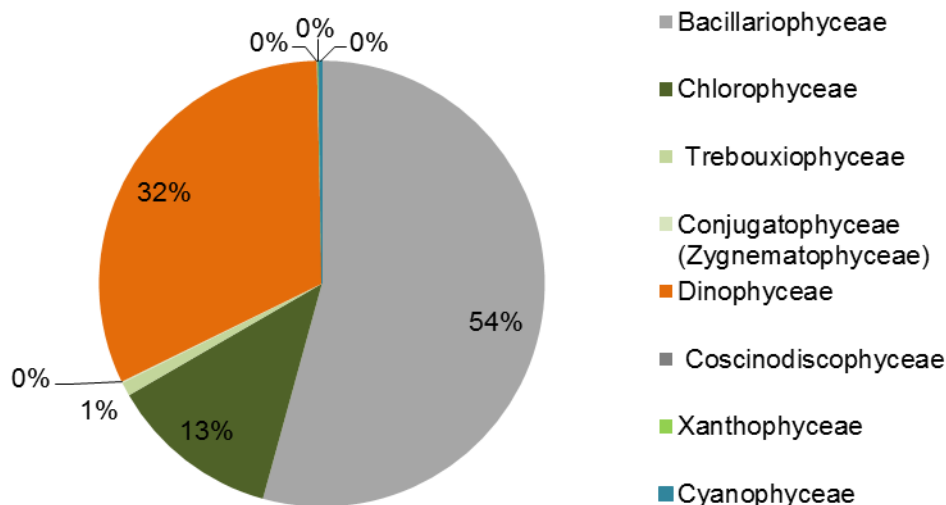


Figura 15. Abundancia relativa (%) de clases de microalgas en el Lago Laja.

La comunidad presentó una dominancia de la diatomea *F. crotonensis* que alcanzó una máxima abundancia de 3.898.328Cel/L en la estación 2.1. El dinoflagelado *Ceratium furcoides* fue muy abundante en todos los sitios de muestreo, en donde se registró una floración. La máxima abundancia reportada fue de 2.378.271Cel/L en la estación 1.1 y la menor abundancia en el sitio 3.2 con 94.549Cel/L. La comunidad presentó una baja diversidad promedio ($H' \log_{10} = 0,6$), por la dominancia de las especies anteriormente nombradas ($J' = 0,6$ y $\lambda = 0,6$) (ver Anexo 2.11).

Los resultados del análisis de conglomerados indican que entre los sitios muestreados existen diferencias en la estructura de la comunidad por sitios de muestreo, determinadas principalmente por la abundancia de *C. furcoides* en 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 y 5.1. En estos sitios fue visible una mancha de color verde amarillenta en el cuerpo de agua, mientras que en los sitios de muestreo 3.1 y 3.2 la estructura de la comunidad es diferente,

presentaron una alta diversidad de especies ($H' \log_{10}=1,1$ y $H' \log_{10}=1,0$) sin la dominancia de ninguna especie (Figura 16).

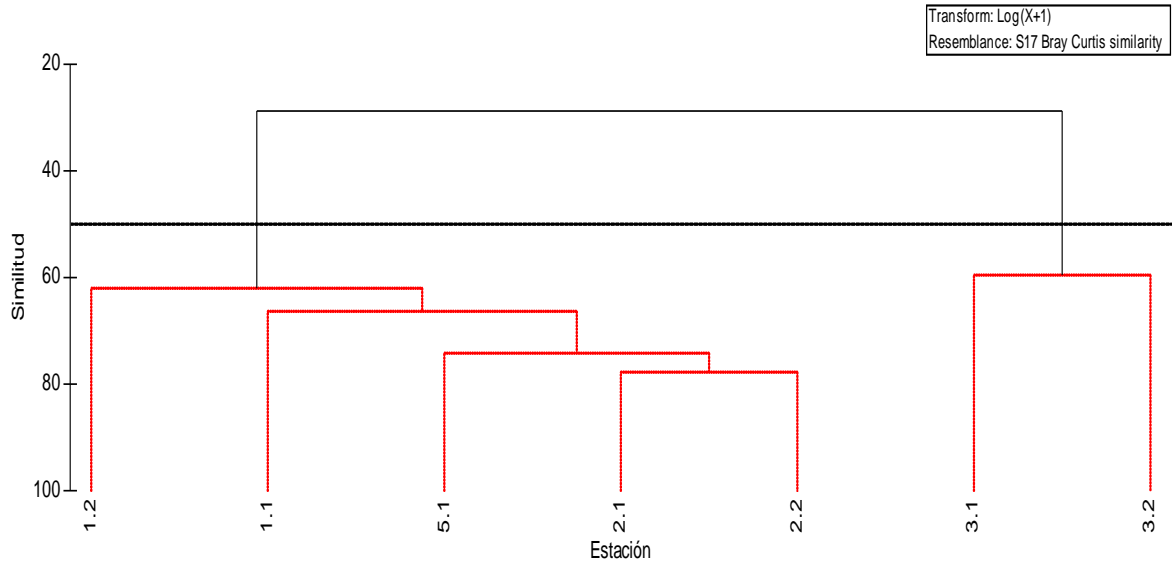


Figura 16. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Laja. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%).

Tabla 22. Listado de especies, Lago Laja.

Bacillariophyta

Bacillariophyceae

Cocconeis placentula Ehrenberg
Cymbella minuta Hilse
Diatoma vulgare Bory
Epithemia sorex Kützing
Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria sp.
Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer
Gomphoneis sp.
Navicula spp.
Navicula viridula (Kützing) Kützing
Nitzschia sigmoidea (Nitzsch) W.Smith
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot
Ulnaria acus (Kützing)
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

Coscinodiscophyceae

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen
Melosira varians C. Agardh

Chlorophyta

Chlorophyceae

Scenedesmus acuminatus (Lagerheim) Chodat
Coelastrum microporum Nägeli
Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová
Monoraphidium saxatile Komárková-Legnerová
Pediastrum simplex Meyen
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey
Sphaerocystis schroeteri Chodat

Trebouxiophyceae

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

Charophyta

Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)

Staurastrum chaetoceras (Schröder) GMSmith

Tabla 22. Listado de especies, Lago Laja (Continúa).

Miozoa

Dinophyceae

Ceratium furcoides (Levander) Langhans

Peridinium sp.

Ochrophyta

Xanthophyceae

Tribonema elongatum Thomasson

Cyanobacteria

Cyanophyceae

Dolicospermum sp.

5. DISCUSIÓN

En los 11 cuerpos de agua analizados se reportan 8 Phylum (Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Miozoa, Ochrophyta) y 15 clases de microalgas (Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Chlorophyceae, Conjugatophyceae (Zygnematophyceae), Trebouxiophyceae, Ulvophyceae, Klebsormidiophyceae, Chrysophyceae, Synurophyceae, Xanthophyceae, Cryptophyceae, Cyanophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae). La mayor cantidad de clases se presentó en los lagos Villarrica y Llanquihue y la menor en El Petrel (Tabla 23).

El phylum más frecuente y abundante fue Bacillariophyta, estuvo presente en 10 de los 11 lagos analizados y representó más del 45% de la abundancia relativa de microalgas en 5 de los lagos estudiados (Laguna Grande de San Pedro, Lago Laja, Lago Colico, Lago Villarrica y Lago Llanquihue). Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae fueron dominantes en la Laguna Grande de San Pedro, Villarrica y Laja, mientras que las diatomeas céntricas de la clase Coscinodiscophyceae dominaron en los lagos Colico y Llanquihue.

La mayor abundancia se registró en la Laguna Torca. La mayor riqueza en el Lago Villarrica ($S=64$) y la menor en el Lago Chungará ($S=14$). Cabe resaltar que en el Lago Villarrica se analizaron la mayor cantidad de muestras ($n=32$). La máxima diversidad se registró en la Laguna Grande de San Pedro ($H_{log10}= 0,8$) y la menor en Torca ($H_{log10}= 0,2$).

Tabla 23. Clases de microalgas en los lagos estudiados.

Clases	Lago Chungará	El Perro	El Petrel	Torca	Vichuquen	L. Grande de San Pedro	Laja	Lanahue	Colico	Villarrica	Llanquihue
Bacillariophyceae	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
Coccinodiscophyceae						+	+	+	+	+	+
Mediophyceae	+	+	+		+					+	+
Chlorophyceae	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Trebouxiophyceae		+		+	+	+	+	+		+	+
Ulvophyceae										+	
Conjugatophyceae	+			+	+		+	+		+	+
Klebsormidiophyceae					+					+	+
Chrysophyceae	+					+		+		+	+
Synurophyceae	+			+	+						
Xanthophyceae							+				+
Cryptophyceae	+	+		+	+	+		+	+	+	+
Dinophyceae		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Euglenophyceae	+	+	+	+	+	+		+			
Cyanophyceae	+			+	+	+	+	+	+	+	+
Total	9	7	5	8	11	9	8	10	5	12	12

Las cianobacterias fueron abundantes en los lagos: Laguna Torca, Lago Vichuquén y Lago Lanahue. Chrysophyceae, Chlorophyceae y Dinophyceae presentaron una mayor abundancia en los lagos Chungará, El Perro y El Petrel, respectivamente (Tabla 24).

Tabla 24. Abundancia relativa (%) de las clases de microalgas en los lagos estudiados.

Clases	Lago Chungará	El Perro	El Petrel	Torca	Vichuquen	L. Grande de San Pedro	Laja	Lanahue	Colico	Villarrica	Llanquihue
Bacillariophyceae	1,0	5,7	2,9		0,4	47,0	54,0	7,3	15,2	72,5	10,4
Coccinodiscophyceae						1,7	0,0	2,4	82,7	2,0	72,0
Mediophyceae	3,8	0,9	0,4								4,3
Chlorophyceae	8,8	82,0	2,3	1,2	0,3	8,2	12,0	2,0		2,8	7,1
Trebouxiophyceae		6,6		0,5	0,2	0,1	1,0	0,7		19,1	0,1
Ulvophyceae											
Conjugatophyceae							0,1	0,1		0,3	0,1
Klebsormidiophyceae										0,7	0,4
Chrysophyceae	80,9					0,4		11,5			1,0
Synurophyceae	0,2				0,2						
Xanthophyceae							0,1				0,3
Cryptophyceae	3,3	1,4		1,2	0,4	0,2		0,9	1,0	0,1	2,4
Dinophyceae		1,4	92,6	0,1	0,6	5,0	32,0	1,4	0,5	0,6	1,8
Euglenophyceae		1,9	1,8			0,2					
Cyanophyceae	2,0			96,9	97,9	37,2	0,2	73,6	0,6	2,0	0,2

Los géneros más abundantes fueron las cianobacterias *Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Aphanizomenon* y *Dolichospermum*, las diatomeas *Fragilaria*, *Tabellaria* y *Aulacoseira*, las algas verdes *Scenedesmus*, *Mucidosphaerium* y las criptofíceas *Cryptomonas*, *Rhodomonas*.

La diatomea *F. crotonensis* fue especialmente abundante en los lagos Laja, Villarrica y Llanquihue, según Bellinger & Sigee (2010). *F. 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.

El alga verde *Scenedesmus sp.* fue abundante en los lagos El Petrel, Torca, Vichuquen y Laguna Grande de San Pedro. Especies del género *Scenedesmus* son comunes y abundantes en sistemas eutróficos e hipertróficos, causando también mal olor al agua que es utilizada para consumo humano (Bellinger & Sigee, 2010).

Se estudiaron 7 ríos asociados a las cuencas de los lagos monitoreados: Río Chungará, Estero Llico, Río Vichuquen, Río Curaco, Río Trafampulli, Río Pucón y Río Tolten. Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae, fueron 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 registró la mayor abundancia de células. La riqueza de taxones varió entre 11 en el río Curaco y 32 en Río Chungará. La máxima diversidad se registró en Río Vichuquen ($H_{log10} = 1,1$) y la menor en el Estero Llico y Río Toltén ($H_{log10} = 0,3$).

En los ríos Trafampulli, Toltén y Pucón se reportó la presencia del alga verde filamentosa *Cladophora glomerata* en donde alcanzó una máxima abundancia de 2.752 Cel/L en el Río Pucón. Esta alga genera agregaciones en el sistema bentónico, conocidas como "mats", puede generar problemas asociados a la captación del agua, por la obstrucción de filtros y al valor estético del ecosistema (Bellinger & Sigee, 2010).

Floraciones de cianobacterias: Se identificaron 13 géneros de cianobacterias y 18 especies diferentes. En la Tabla 25 se muestran cinco eventos de floraciones identificadas para los lagos estudiados. En la Laguna Torca se registró una floración de varias especies de cianobacterias, principalmente *A. incerta* y *M. wesenbergii* durante el mes de enero de 2017. En el lago Vichuquen *A. favaloroi* durante el mes de noviembre y la cianobacteria cocoide *Aphanocapsa aff. holsatica* en el Lago Lanalhue en febrero de 2018. Durante este mismo mes, la fijadora de nitrógeno *D. planctonicum* generó una floración en la Laguna Grande de San Pedro y *Pseudoanabaena aff. catenata* en el Lago Villarrica.

Estos taxa son potenciales productores de cianotoxinas, las que afectan la salud humana y animal y el uso del agua ya sea para la recreación, consumo del agua y/o riego. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que cuando la abundancia de las cianobacterias alcanza a las 100.000 células por mililitro, se debe iniciar un análisis de toxicidad y monitoreo con mayor frecuencia para evitar afectaciones sanitarias de mayor riesgo. Actualmente en Chile, no existen normativas referentes a la calidad de aguas en relación a toxinas de cianobacterias y a la presencia de ningún tipo de microalgas (ver norma de calidad de agua NCh 409). No obstante, el Ministerio de Salud estableció como objetivo sanitario para el periodo 2010-2020 la inclusión de riesgos ambientales enfocados a agua potable, específicamente a la prevención y control de las enfermedades transmitidas por el agua y aguas de recreación con contacto directo.

Tabla 25. Eventos de floraciones en los lagos estudiados. Máxima abundancia de células (Cel/L) de cianobacterias.

Cianobacterias	12-01-2017	7-11-2017	12-02-2018	13-02-2018	28-02-2018
	Torca	Vichuquen	LGSP	Lanahue	Villarrica
<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	1.850.000	118.056			
<i>Aphanizomenon favaloroi</i>		29.291.667			
<i>Aphanocapsa aff. holsatica</i>				3.582.471	
<i>Aphanocapsa incerta</i>	275.000.000				393
<i>Aphanothece smithii</i>	400.000				
<i>Chrysoosporum minus</i>			235.620		
<i>Dolichospermum planctonicum</i>			1.583.890	69.115	
<i>Dolichospermum spiroides</i>	541.667				
<i>Dolicospermum aff. lemmermanii</i>					
<i>Gomosphaeria lacustris</i>				273.319	
<i>Merismopedia sp.</i>	312.500				
<i>Microcystis aff. smithii</i>		3.433.333			
<i>Microcystis smithii</i>				251.328	
<i>Microcystis wesenbergii</i>	55.791.667				
<i>Nodularia spumigena</i>					
<i>Oscillatoria sp.</i>		13.889			
<i>Pseudoanabaena catenata</i>		277.778			
<i>Pseudoanabaena aff. catenata</i>					91.892

En este sentido, las floraciones de cianobacterias identificadas en los lagos estudiados constituyen un problema ambiental y de salud emergente en el país. Es importante, continuar con el monitoreo en cada lago, debido a que el aumento de abundancia de las cianobacterias 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 ecosistema, por lo que para identificar posibles medidas de gestión y manejo de las floraciones se hace necesario tener un conocimiento local de cada caso.

Especies invasoras: En cuanto a especies invasoras, se registró el dinoflagelado del género *Ceratium* en 7 de los lagos analizados (Lago Perro, Laguna Grande de San Pedro, Laja, Lanalhue, Colico, Villarrica y Llanquihue).

Se identificaron dos especies, tanto *C. furcoides* como *C. hirundinella*. Estas especies crípticas o gemelas, son extremadamente similares en morfología, pero se hallan reproductivamente aisladas entre sí. Se diferencian por el número de placas de la épiteca al realizar una disección de las mismas. En el Lago Lanalhue se evidenció la presencia de ambas especies, por lo que se cuantificó como *Ceratium* sp.

La abundancia del dinoflagelado varió entre 162 en el Lago Villarrica y 90.321 Cel/L en la Laguna Grande de San Pedro (Tabla 26). En el Lago Laja se registró una floración de *C. furcoides* en donde alcanzó una máxima abundancia de 2.378.271 Cel/L. Así mismo, *C. hirundinella* estuvo presente en los ríos Vichuquén y Toltén, en una abundancia que varió entre 785 y 2.356 Cel/L, respectivamente.

Tabla 26. Presencia de *Ceratium* en los lagos estudiados. Máxima abundancia de células (Cel/L). *Eventos de floraciones.

Lagos	<i>Ceratium furcoides</i>	<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Ceratium sp.</i>
El Perro		589	
*LGSP	90.321		
*Laja	2.378.271		
*Lanahue			43.982
Colico			727
Villarrica		162	
Llanquihue		1.571	

Este género es considerado invasor en los cuerpos de agua del 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.

Grupos funcionales: Tradicionalmente se ha utilizado la agrupación de las especies en grupos taxonómicos fitoplanctónicos para describir la estructura y la dinámica ecológica de esta comunidad. Sin embargo, los organismos que co-ocurren en la comunidad fitoplanctónica tienen requerimientos ambientales similares (Web et al. 2002), como la adquisición de luz y nutrientes, por lo que un mismo grupo taxonómico puede estar comprendido por organismos con tolerancias y requerimientos ambientales muy diversos, por ejemplo en niveles taxonómicos elevados (ej. clase) en donde ocurren organismos con estructuras y formas de vida muy distintas (Reynolds, 1997). A la inversa, organismos que respondan de forma similar al ambiente pueden estar muy alejados filogenéticamente y sin embargo co-ocurrir (Costa et al. 2009). Por lo anterior, las especies más abundantes en cada uno de los lagos fueron clasificadas utilizando la metodología de Reynolds, la que agrupa especies fitoplanctónicas en asociaciones funcionales (Reynolds, 1980; Reynolds et al., 2002; Reynolds, 2006), es decir, grupos de especies que responden de manera similar, aumentando o disminuyendo su biomasa, frente a similares cambios en el ambiente. Esta clasificación ha sido ampliamente utilizada en sistemas tan diversos como lagos alpinos hasta estuarios tropicales (Dokulil & Teubner, 2003; Costa et al., 2009).

Nuestros resultados muestran la presencia de 22 grupos funcionales. Los grupos P y K fueron los más abundantes. Las especies del Grupo P

incluyen diatomeas como *A. granulata* y *F. crotonensis* asociadas a ecosistemas de latitudes bajas y/o al período de verano en lagos templados, tienden a estar presentes en las aguas eutróficas y son más tolerantes al agotamiento del dióxido de carbono que las del Grupo N (*Tabellaria* spp.) Ambos grupos están asociados característicamente algas verdes, principalmente desmidiaceas.

Las especies de los géneros *Aphanocapsa* y *Aphanothece* grupo K, habitan en sistemas eutróficos, sobreviven a alto pH y fueron particularmente abundantes en Lanalhue y Torca (Tabla 27).

El grupo con menor número de organismos fue el B, principalmente diatomeas que habitan en lagos enriquecidos con nutrientes, el desarrollo de estas poblaciones a menudo está sujeto a la disponibilidad de silicio.

Otro grupo abundante fue el H1, de microalgas que habitan en sistemas eutróficos pero con baja concentración de nitrógeno, construido principalmente por *Aphanizomenon*, es género es tolerante a las condiciones de mezcla en lagos grandes y fija nitrógeno.

La determinación de grupos funcionales es relevante para determinar prioridades y tomar decisiones respecto al uso del agua, en el sentido que puede llegarse a plantear un monitoreo de las especies de fitoplancton por grupos funcionales solamente, lo que contribuiría a disminuir tiempos de análisis de las muestras y disponer de la información más rápidamente. Sin embargo, estos resultados constituyen una primera aproximación a esta clasificación, pues muchas especies de algas no fueron clasificadas debido a que no están asignadas a un grupo funcional específico, según

el sistema de clasificación utilizado. De igual forma, falta determinar agrupaciones válidas para los ecosistemas del país y revisar si efectivamente el hábitat de las especies nativas concuerda con las preferencias de hábitat superpuestas y/o determinadas por Reynolds en sus trabajos.

Tabla 27. Abundancia relativa de grupos funcionales (%) de los taxones de microalgas más abundantes en los lagos estudiados.

Grupo funcional	Chungará	El Perro	El Petrel	Torca	Vichuquen	LGSP	Lanahue	Laja	Colico	Villarrica	Llanquihue
B	1										
C	19					2	8	0,1	17	2	3
D	12	2	13					0,1	2		1
E	1					1	13		4		1
F		26			14			11		1	1
G											
H				1		77	3				
H1					76						
H2	1										
J	8		27	1	1	3		2			
K				86			67		6		
Lm		2				5	1	31	1		1
Lo						7			4		1
M				12	7		6				
N									45		
P						4	2	54	20	94	91
S1	4				1					2	
T											
W1			60								
W2		2									
X1	38	68									
Y	17	1		1			1		1		1

6. CONCLUSIONES

- En general, los grupos más abundantes tanto en los lagos como en los ríos evaluados fueron las diatomeas (*Fragilaria*, *Tabellaria* y *Aulacoseira*) y las cianobacterias (*Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Aphanizomenon* y *Dolichospermum*). Los géneros más abundantes de estos grupos se caracterizan por habitar en sistemas meso a hipertróficos y pueden llegar a generar floraciones que afectan el uso del recurso hídrico, por la formación de malos olores y cambios en la coloración del agua. En el caso de las cianobacterias afectan la salud humana y animal por la producción de cianotoxinas (microcistinas).
- La mayor abundancia de microalgas se registró en la Laguna Torca. La mayor riqueza en el Lago Villarrica ($S=64$) y la menor en el Lago Chungará ($S=14$). La máxima diversidad se registró en la Laguna Grande de San Pedro ($H\log_{10}= 0,8$) y la menor en Laguna Torca ($H\log_{10}= 0,2$). Los ecosistemas como Laguna Torca, Lago Vichuquén y Lago Lanalhue, 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 se podría indicar un estado de eutrofia para estos sistemas.
- Se determinaron 22 grupos funcionales, los más abundantes fueron los grupos P (incluyen diatomeas como *A. granulata* y *F. crotonensis*) y K (*A. incerta*, *A. smithii* y *Aphanocapsa aff. holsatica*), asociados a ecosistemas eutróficos.
- Se identificaron 12 géneros de cianobacterias y aproximadamente 18 especies diferentes. Se registraron aumentos de abundancia de

7 especies de cianobacterias (*A. incerta*, *M. wesenbergii*, *Microcystis aff. smithii*, *A. favaloroi*, *Aphanocapsa aff. holsatica*, *D. planctonicum* y *Pseudoanabaena aff. catenata*) en 5 de los lagos estudiados (Torca, Vichuquén, Laguna Grande de San Pedro, Lanalhue, Villarrica) y una en el Estero Llico.

- El dinoflagelado invasor *Ceratium* sp. estuvo presente en 7 de los 11 lagos estudiados y en dos ríos (Vichuquén y Toltén). Generó floraciones en 3 cuerpos de agua (Laguna Grande de San Pedro, Laja y Lanalhue).
- Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae, fueron el grupo dominante en 6 de los 7 los ríos estudiados (Chungará, Estero Llico, Vichuquen, Curaco, Trafampulli, Pucón y Tolten). La mayor abundancia de células se registró en el estero Llico. La riqueza de taxones varió entre 11 en el río Curaco y 32 en río Chungará. La máxima diversidad se registró en río Vichuquen ($H_{log10} = 1,1$) y la menor en el estero Llico y río Toltén ($H_{log10} = 0,3$).
- En los ríos Trafampulli, Toltén y Pucón se reportó la presencia del alga verde filamentosa *Cladophora glomerata*. Esta alga puede generar problemas en el uso del recurso hídrico.
- 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.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar las muestras cualitativas con una malla de 20 μm , debido a que hasta el momento se toman las muestras con una red de ojo de malla de 50 μm , la que captura individuos de mayor tamaño dejando excluidas especies de tamaños pequeños. 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.
- 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 todos 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.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ALMANZA, V., C.E.D.M., BICUDO, O. PARRA & 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.
- ALVEAL, K., M.E., FERRARIO, E.C. OLIVEIRA & E.SAR. 1995. Manual de métodos ficológicos. Chile: Universidad de Concepción.
- 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. Algumas considerações sobre 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.

COSTA, L., HUSZAR, V. & OVALLE A. 2009. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. *Estuaries and Coasts*. 32: 508-521.

CREA, 2009. Evaluación Rápida del Estado Trófico del Lago Lanalhue. pp. 47.

DOKULIL, M. & K. TEUBNER. 2003. Steady-state phytoplankton assemblages during thermal stratification in deep alpine lakes: do they occur? *Hydrobiologia*. 502: 65-72.

DORADOR, C., PARDO, R. & I. VILA. 2003. Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará. *Revista chilena de historia natural*. 76(1): 15-22.

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. 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., 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.) 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. 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.

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.

KRUK, C. & A.M. SEGURA. (2012). The habitat template of hytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* 698(1): 191-202.

KRUK, C., V.L.M. HUSZAR, E.H.M. PEETERS, S. BONILLA, L. COSTA, M. LURLING, C.S. REYNOLDS & M. SCHEFFER. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology* 55(3): 614-627.

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

LEIVA, M., A. DURÁN, C., NAVARRO, M. MOLINA & P. FUENTES. 2015. Diagnóstico y caracterización del estado trófico y batimétrico de lagos costeros. Informe Final Dirección General de Aguas (DGA). pp 288.

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 com base em algas diatomáceas enfoque metodológico avaliação e controle da drenagem urbano editora da Universidade Federal do Rio 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.

MARTINEZ, G., K. OVALLE & V. MARTINEZ. 2014. Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la DGA. Informe Final Dirección General de Aguas (DGA). pp 129.

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.

MONTECINOS, C., CORNEJO, D.M. & H. MOYA. 2017. Reporte de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas año 2017. Informe Final Dirección General de Aguas (DGA). pp 38.

PARRA, O. & C. BICUDO. 1995. Introducción a la Biología y Sistemática de las algas de aguas continentales. pp. 268.

PARRA, O. 1989. La eutrificación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile. Un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo (Chile)* 1: 117-136.

PARRA, O., C. VALDOVINOS, R. URRUTIA, M. CISTERNAS, E. HABIT & M. MARDONES. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central. *Limnetica*. 22(1-2): 51-83.

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.

REYNOLDS C. 1997. Vegetation Process in the pelagic: a model for ecosystem theory: Excellence in Ecology. Ecology Institute.

REYNOLDS, C.S., V. HUSZAR, C. KRUK, L. NASELLI-FLORES & S. MELO. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton, *Journal of Plankton Research*. 24(5): 417-428.

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

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

TRIEMER, 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.

URRUTIA, R., V. ALMANZA, S., BASUALTO & O. PARRA. 2017. Análisis de fitoplancton en muestras de agua. Informe Final Dirección General de Aguas (DGA). pp 129.

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

WEBB, C., D. ACKERLY, A. MCPEEK, M.DONOGHUE. 2002. Phylogenies and community ecology. Annual Review of Ecology and Systematics, 33, 475–505.

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

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

9. ANEXOS