

ICH-FC  
D. Ambiental  
357  
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL (OTOÑO – INVIERNO) DEL  
FITOPLANCTON, Y SU RELACIÓN CON VARIABLES ABIÓTICAS DE UN  
LAGO SALINO: LAGO BUDI (38° 52' S; 73° 18' W)**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile  
en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de  
Biólogo con mención en Medio Ambiente

LAURA INÉS CATALÁN BARREDO

Director de Seminario de Título: MSc. Irma Vila Pinto

Co-Director: PhD. David Véliz Baeza.



Marzo, 2010  
Santiago – Chile



**“VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL (OTOÑO – INVIERNO) DEL  
FITOPLANCTON, Y SU RELACIÓN CON VARIABLES ABIÓTICAS DE UN  
LAGO SALINO: LAGO BUDI (38° 52’ S; 73° 18’ W)”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con Mención en Medio Ambiente.

**LAURA INÉS CATALÁN BARREDO**

*MSc. Irma Vila Pinto*  
**Director Seminario de Título**

*PhD. David Véliz Baeza*  
**Co-Director Seminario de Título**

**Comisión de Evaluación**

*Prof. Vivian Montecino Banderet*  
**Presidente**

*MSc. Ximena Molina Paredes*  
**Evaluador**



Santiago, \_\_\_\_\_ de 2010

## Biografía



Laura Catalán Barredo nació el 9 de diciembre de 1984, en Santiago de Chile. Cursó su educación básica en el colegio Florence Nigthingale, en la comuna de Macúl. Posteriormente cursó la educación media en el Liceo Carmela Carvajal de Prat, ubicado en la comuna de Providencia. Luego ingresó a la carrera de Biología Ambiental que imparte la facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Mientras cursaba el cuarto año de su carrera, motivada por el curso de limnología coordinado por la profesora Irma Vila, tuvo el particular interés en el área de estudio de aguas continentales.

Posteriormente se integró al equipo de trabajo del laboratorio de limnología, donde participó en un proyecto de la Dirección General de Aguas (DGA), que le permitió elaborar este seminario de título.

Su interés por perfeccionarse y continuar investigando en el área limnológica, la motivan a postular al Magíster en Ciencias biológicas que imparte la escuela de Posgrado, en la facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, en el cual es aceptada a partir del primer semestre 2010.

## Dedicatoria

Quisiera dedicar este trabajo a mis tías Carolina y Fabiola. Ya que los cuidados, preocupación e interés de mi tía Carol, junto con el aporte de Fabiola, quien fue la primera en incentivar mi interés científico, aportaron significativamente a mi formación.

Además dedico este seminario de título a la memoria de mi tío Lalo, quien siempre fue un gran ejemplo, una gran persona y un gran profesional. Finalmente, pero no menos importante, quisiera dedicar mi seminario a quien me ha acompañado y apoyado por años, mi mejor amigo y gran amor Sebastián.





## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a la profesora Irma Vila y a David Véliz, por su gran apoyo y dirigir éste seminario de título. Por integrarme al equipo del laboratorio y su excelente disposición.

También agradezco a Luisa Delgado y Víctor Marín por permitirme participar de su proyecto. Del cual pude estudiar el fitoplancton en el lago Budi, lo que permitió desarrollar este trabajo.

Agradezco también a la comisión que revisó este seminario de título, integrada por la profesora Vivian Montecino y Ximena Molina. Quienes ayudaron a mejorar este trabajo con sus sugerencias y aportes constructivos.

Finalmente, pero no menos importante, quisiera agradecer también a mis compañeros del laboratorio de limnología, quienes siempre tuvieron muy buena disposición a cooperar y aportar cuando fue necesario.



## Índice de Contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Hipótesis del trabajo.....	5
1.2.1 Predicciones.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivo específico.....	6
2. MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1 Biodiversidad.....	7
2.2 Bioindicadores.....	7
2.3 La importancia del plancton.....	8
2.3.1 La importancia del fitoplancton y razón de Redfield.....	9
2.3.2 El fitoplancton y su relación con variables fisicoquímicas.....	10
3. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	12
3.1 Área de estudio.....	12
3.2 Metodología utilizada.....	13
4. RESULTADOS.....	17
4.1 Abundancia de géneros.....	17

4.2 Variables Abióticas .....	18
5. DISCUSIÓN .....	32
5.1 El efecto del sodio .....	34
5.2 La salinidad del sistema .....	34
6. CONCLUSION .....	37
7. BIBLIOGRAFIA .....	38





## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	Coordenadas UTM (Datum: WGS84, Huso: 18S) y fechas de muestreo para cada estación – pág 14.
<b>Tabla 2</b>	Riqueza y abundancia de géneros de fitoplancton por puntos de muestreo en el lago Budi – pág 21 a 24.
<b>Tabla 3</b>	Promedio de las variables ambientales medidas en superficie a 1,5 m en el periodo de Otoño del lago Budi – pág 25.
<b>Tabla 4</b>	Promedio de las variables ambientales medidas en superficie a 1,5 m en el periodo de Invierno del lago Budi – pág 25.
<b>Tabla 5</b>	Comparación entre el índice de diversidad de Shannon máximo y mínimo obtenido en la campaña de invierno actualmente realizada y la del 2004 – pág 28.
<b>Tabla 6</b>	Valores de varianza acumulada para cuatro ejes del análisis de correspondencia canónica (CCA) y sus valores de inercia asociados – pág 29.
<b>Tabla 7</b>	Resultado del test de permutaciones de Montecarlo para ambas estaciones estudiadas – pág 30.
<b>Tabla 8</b>	Índice de calidad ambiental sugerido, por puntos de muestreo para ambos periodos estudiados – pág 31.

## Resumen

El lago Budi ( $38^{\circ} 52' S$ ;  $73^{\circ} 18' W$ ), se encuentra en la región de La Araucanía (IX) de nuestro país. En la comuna de Puerto Saavedra, se sitúa cerca de la costa y se conecta esporádicamente al mar mediante el río Budi. Esta conexión se realiza de forma artificial mediante gestión municipal, dependiendo de las lluvias, como medida de evitar inundaciones en las poblaciones aledañas al lago.

La influencia marina dentro del sistema lacustre permite el desarrollo de una singularidad de biota. Entre los organismos presentes, es de particular interés el plancton, ya que es de vital importancia para mantener el equilibrio trófico del ecosistema acuático y conservarlo saludable.

Como consecuencia de la actividad antrópica producida alrededor del lago Budi, se van observado cambios en su nivel de trofia. Es por ello, que ha despertado el interés de las autoridades e investigadores a desarrollar estudios de calidad ambiental que permitan la elaboración de futuros planes de manejo en el sector.

Este trabajo desarrolló un estudio acerca de la dinámica temporal del fitoplancton y su relación con las variables fisicoquímicas del sistema acuático, mediante un análisis de correspondencia canónica, durante el otoño e invierno del año 2009. Con el fin de analizar la dinámica estacional del lago, se tomó muestras superficiales de fitoplancton y variables abióticas como: Conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, cloruros, sodio, fósforo y nitrógeno.

El resultado del análisis determinó las taxas específicas que se asocian a determinada condición ambiental y a partir de ello se generó una sugerencia de índice de calidad ambiental para el lago Budi, el cual está sujeto a cambios ambientales y se confirmará con estudios posteriores.

Se concluyó recomendable, mantener constantemente la conexión al mar mediante el río Budi, ya que la renovación y mezcla de las aguas evita la eutroficación.

## **Abstract**

Lake Budi ( $38^{\circ} 52' S$ ;  $73^{\circ} 18' W$ ), is located in the region named La Araucanía, Chile. In the district of Port Saavedra, it's near the coast and sporadically connects to the sea through the river Budi. This connection is realized artificially by municipal management, depending on the rains, to avoid floods in the bordering populations of the lake.

The marine influence inside the lacustrine system allows the development of a particular biota. Among these organisms, the plankton is of particular interest, since it is of vital importance in maintaining the trophic level of the aquatic ecosystem and keeping it healthy.

Lake Budi has been the source for a varied amount of resources for the inhabitants of the locality of Port Saavedra during the last years, which has generated changes in its level of trophic. This is why it is of interest for the authorities and researchers to develop studies of environmental quality that allow the elaboration of future managing plans in the region.

This work developed a study in the dynamics of the phytoplankton and its relation with the physicochemical variables of the aquatic system, through a canonical correspondence analysis, during the autumn and winter of the year 2009, in order to analyze the seasonal dynamics of the lake, by means of four monitoring in one year, taking superficial samples of phytoplankton and various abiotic variables like: Conductivity, dissolved oxygen, pH, temperature, chlorides, sodium, phosphorus and nitrogen.

The result of the analysis determined the specific taxa that are associated with certain environmental conditions and from this a suggestion of environmental quality index for the lake Budi was generated, which is subject to environmental changes and it will be confirmed by later studies.

It is advisable, to keep the connection to the sea constant via river Budi, since the renovation and mixing of the waters avoid eutrophication and major changes of the aquatic system.

## 1 INTRODUCCIÓN

Se ha estudiado que los organismos vivos se relacionan e interactúan entre sí y también con el medio físico que los rodea (Tansley 1935, Begon y col 1999, Steward y col 2009). Estas interacciones, han permitido la generación de especiaciones y ventajas adaptativas de los organismos, evolucionando y determinando las características del ecosistema que constituyen (Dobzhansky 1973, Begon y col 1973). El conjunto de elementos, que compone al ecosistema y las interacciones que se dan entre ellos, constituye un gran reservorio de recursos (Steward y col 2009), los que permiten las condiciones y procesos a través de los cuales, los ambientes naturales y las especies que lo conforman sustentan y nutren la vida en el planeta (Daily 1996), proporcionando un lugar físico para que la vida se desarrolle, y produzca alimento, agua, madera, paisajes, básicos para la actividad humana. Por ello se establece que el ecosistema tiene la capacidad de generar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas (De Groot 1992).

A partir de las visiones anteriormente expuestas, nace el concepto de servicios ecosistémicos, de gran contingencia en la actualidad, con el fin de valorar el medio ambiente y evitar la sobreexplotación de los recursos naturales (Delgado y col 2006, Balvanera 2007). Estos servicios que proporciona el ecosistema, están determinados por la riqueza y variedad de especies biológicas que habiten e interactúen en él, así como también la mayor variedad genética dentro de los organismos que comparten dicho hábitat, es decir biodiversidad (Piera 1991).

Se ha aprendido que la biodiversidad de un ecosistema, tiene directa relación con el reservorio de recursos que posee y los servicios ecosistémicos que puede proveer.

Dicho concepto establece que los ecosistemas sustentan la vida en el planeta (Daily 1997, De Groot 1992, Delgado y col 2006, Balvanera 2007). Es por ello la importancia de conservar la biodiversidad en los ambientes naturales y evitar la pérdida de genes potencialmente útiles (Simonetti 1997). Esto, con el fin de proveer un reservorio de recursos naturales que satisfaga las necesidades humanas y del resto de organismos que componen el ambiente, conservando las virtudes que proporciona el ecosistema al corto, mediano y largo plazo.

Para determinar biodiversidad, se estudia la diversidad de especies dentro de una comunidad de organismos que habita un ecosistema en particular, estableciendo una relación entre la abundancia de organismos de una especie y el total de organismos. Esto proporciona una visión respecto a la variedad de componentes que posee, indicando la diversidad de su estructura biótica.

Chile posee una gran variedad de ecosistemas, con gran importancia a nivel mundial por su biodiversidad característica (Simonetti 1997), atribuible a los diferentes ambientes que proporciona su extenso territorio, con gradiente latitudinal, altitudinal y una marcada influencia marina (Errázuriz y col 1998). Dentro de dichos ambientes destacan importantes sistemas acuáticos, tales como, estuarios, lagos y lagunas costeras los que debido a la influencia marina presentan una singularidad ecológica y biota característica (Stuardo y col 1989, Vásquez y col 1998, Valdovinos y col 2004, Bertrán y col 2006, Basualto y col 2006). Las lagunas o lagos costeros son sistemas acuáticos que poseen una elevada productividad primaria y biodiversidad (Stuardo y Valdovinos 1989). En dichos sistemas acuáticos destacan los lagos, estos se caracterizan por presentar estratificación térmica, a diferencia de las lagunas, las que

poseen menor profundidad, constante mezcla y sin estratificaciones permanentes (Wetzel 2001). También forman parte de los ecosistemas costeros, los estuarios. Estos sistemas corresponden a la desembocadura de un río al mar, es decir, presentan una conexión permanente con el océano, lo que implica una mayor influencia de agua marina (Pritchard 1967).

Entre los lagos costeros que posee nuestro país, está el lago Budi, el cuál ha sido estudiado por su singularidad de biota, típica de sistemas límnicos con influencia marina: con elevada biodiversidad y productividad primaria (Stuardo y col 1989, Valdovinos y col 2004, Basualto y col 2006). El cual, hasta el año 2004, se categorizó como oligotrófico, posteriormente registró características oligo-mesotróficas y disminución de biodiversidad (Basualto y col 2006). Este cambio generó interés de las autoridades, por realizar estudios referentes a la calidad ambiental del sistema y a la diversidad de biota que posee actualmente (CONAMA 2007), con el fin de de implementar planes de manejo que permitan la recuperación de biodiversidad original del sistema.

El ecosistema que comprende el lago Budi, se encuentra fuertemente influenciado por la actividad humana, tales como: pesca artesanal, actividad turística, actividad agrícola, entre otras (CONAMA 2007). Esto genera la necesidad de estudiar dicho ambiente de manera ecosistémica, incorporando la influencia antrópica, y los factores sociales que implica (Marín y col 2008), ya que su condición ambiental actual está determinada por un sinnúmero de interacciones que tienen lugar dentro del ecosistema, muchas de ellas se inhiben o potencian entre sí, generando a veces que el resultado sea un efecto sinérgico sobre sistemas complejos (Marín & Delgado 2008).

## 1.1 Planteamiento del problema

Los sectores aledaños al Lago Budi, se han destacado durante los últimos años por presentar una elevada actividad turística, agrícola, forestal y de pesca artesanal (Valdovinos y col 2004, CONAMA 2007). Posiblemente estas actividades explicarían la disminución en las poblaciones de peces del lago, así como también el notorio aumento de nutrientes. Investigaciones recientes señalan que, tanto la agricultura como la tala rasa, generan que por procesos de escorrentía y lixiviación, los nutrientes (que retenían las raíces de los árboles, en el caso de la tala rasa) lleguen al lago provocando un aumento en la concentración de fósforo y nitrógeno principalmente, dentro del sistema lacustre, lo que podría terminar por un excesivo aumento de organismos, que al morir se acumulan sobre el fondo, los que por su incremento, no son completamente consumidos por los microorganismos degradadores, es decir, se generaría una eutrofización y deterioro del sistema acuático (Rodhe 1969, Lara y col 2005, Marín y col 2009).

Dado el aumento de nutrientes que ha experimentado el lago Budi durante los últimos años, el cuál posiblemente se deba a la actividad agro-forestal realizada en la zona (Valdovinos y col 2004, CONAMA 2007), es de primera necesidad estudiar la condición ambiental de este sistema acuático. Para ello se caracterizará el fitoplancton presente en el ecosistema (Parra 1982, 1983) y con dicha información se determinará la relación entre los diversos géneros de fitoplancton encontrados actualmente en el Lago Budi (en otoño e invierno) y las variables abióticas que más se relacionen con la composición y estructura fitoplanctónica, con el propósito de generar un índice de calidad ambiental para el sistema.

## 1.2 Hipótesis del Trabajo

H<sub>0</sub>: La estructura comunitaria fitoplanctónica es independiente de las variables físicas y químicas del sistema lacustre, tales como: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, cloruros, sodio y nutrientes (nitrógeno(N)/fósforo(P)).

H<sub>1</sub>: La estructura comunitaria fitoplánctónica es influenciada por las variables físicas y químicas del sistema lacustre, tales como: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, cloruros, sodio y nutrientes (nitrógeno (N)/Fósforo (P)).

### 1.2.1 Predicciones

Se espera encontrar cambios en la composición y distribución del fitoplancton en dos estaciones del año. Además se espera la presencia de géneros microalgales característicos de aguas salobres en las estaciones que reciben mayor influencia marina.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Establecer una relación entre los géneros de microalgas identificados y las variables abióticas del sistema en un periodo otoño e invierno, con el fin de proveer información para futuros estudios asociados a la calidad ambiental del sistema lacustre.

### 1.3.2 Objetivo específicos

- Identificar y caracterizar el fitoplancton del Lago Budi, a nivel taxonómico de género.
- Determinar las abundancias del fitoplancton en el ecosistema.
- Asociar dicho fitoplancton a las variables abióticas del sistema.
- Determinar una tendencia asociada a las variables abióticas del sistema.
- Generar base de datos que aporten a un futuro estudio de calidad ambiental para el Lago Budi.

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Biodiversidad

Para estudiar diversidad biológica se han desarrollado diversos índices. Entre los métodos más usados para este tipo de estudios, están el índice de Simpson y el índice de Shannon. El índice de Simpson, también conocido como índice de dominancia, señala la probabilidad de que dos individuos tomados al azar, dentro de una misma comunidad, pertenezcan a la misma especie (Simpson 1949). Por otra parte, el índice de Shannon mide biodiversidad basado en la riqueza de especies y sus abundancias relativas dentro del ecosistema (Shannon 1948).

Para determinar diversidad biológica entre los organismos fitoplanctónicos presentes en el lago Budi, se utilizará el índice de Shannon.

### 2.2 Bioindicadores

Para estudios de calidad ambiental, ya no es suficiente medir variables en forma independiente, ya que no genera una visión del estado actual del ecosistema. Esto, debido a que se ha estudiado que la biota constituye un importante reservorio de elementos que posiblemente estén alterando al ambiente del que se desea determinar calidad ambiental. Un ejemplo de ello es el importante reservorio de hierro encontrado en el hígado de cisnes del humedal del río cruces (CONAMA/UACH/ 2005).

Por esta razón, cada vez es más frecuente la utilización de bioindicadores, para determinar calidad ambiental. Esto ha permitido visualizar los efectos directos en la biota, según el diferente rango de tolerancia y sensibilidad de las especies, con el fin de poder establecer umbrales permitidos (como norma secundaria de calidad

ambiental) o determinar los componentes que están alterando el sistema en caso que estos se desconozcan (Díaz-Quiroz & Rivera-Randón 2004, Wang y col 2008, Lane y col 2009 & Kane y col 2009).

Está ampliamente documentado el estudio de organismos como indicadores de calidad ambiental en sistemas acuáticos (Díaz-Quiroz & Rivera-Randón 2004, Wang y col 2008, Lane y col 2009 & Kane y col 2009). Dichos organismos, son considerados indicadores de calidad ambiental, porque presentan diferentes umbrales de tolerancia a condiciones ambientales conocidas y establecidas con anterioridad, por lo que su presencia o ausencia refleja la situación ambiental del sistema. Sus resultados han sido efectivos, permitiendo apreciar la calidad ambiental completa del ecosistema y posiblemente determinar su evolución futura.

Entre los organismos indicadores destaca el plancton, el cual es altamente sensible a cambios ambientales, de fácil manejo y económico de coleccionar. Esto representa significativas ventajas para monitorear condiciones ambientales (Schindler 1978). Además, el plancton desempeña un rol fundamental para mantener el ecosistema acuático saludable y seguir entregando a la población los servicios ecosistémicos que requiere (Kane y col 2009).

### 2.3 La importancia del plancton

Entre los organismos planctónicos se encuentra el zooplancton, el que es considerado de gran importancia en el sistema acuático, ya que conforma el principal nexo entre los productores primarios y los peces (Schriver y col 1995 & Tatrai y col 1997). En el plancton, el fitoplancton, posee una gran importancia ecológica, ya que conforma la base de la cadena trófica acuática fijando el nitrógeno, fósforo y carbono

necesario para que los organismos superiores puedan formar macromoléculas de importancia biológica (Cabrera & Montecino 1987; Atkinson & Smith 1983).

### 2.3.1 La importancia del fitoplancton y razón de Redfield

El fitoplancton posee una gran importancia a nivel global, ya que es el principal productor primario de los sistemas acuáticos (Hutchinson 1967, Richardson y col 1983, Reynolds 1984, Sommer 1989). Considerando sistemas límnicos y marinos, los que constituyen la mayor superficie del planeta (Spilhouse 1942).

Respecto a la interacción del fitoplancton con los nutrientes que requiere, se ha descrito una relación directamente proporcional entre la clorofila a y el fósforo de los sistemas (Dillon & Rigler 1974). Esta relación explica el aumento en la proliferación algal (bloom algal) cuando recibe la energía radiante necesaria que proviene de la luz solar y además aumentan los nutrientes (fósforo y nitrógeno).

Es por ello que se ha estudiado el comportamiento del fitoplancton frente a las condiciones anteriormente descritas, dentro de los principales parámetros utilizados, se encuentra la razón de Redfield. Esta se generó a partir de un estudio realizado en el mar, dónde se concluyó que la razón entre carbono, nitrógeno y fósforo, es: 106:16:1 respectivamente. Dicho estudio propone, que para un sistema acuático saludable y el óptimo crecimiento fitoplanctónico, el nitrógeno y fósforo del sistema deben tener una relación 16:1, respectivamente (Redfield 1934). Sin embargo, esto se da principalmente en las profundidades del océano (Atkinson & Smith 1983).

La razón de Redfield, indica si el fitoplancton se encuentra en crecimiento, ya que en ese caso hay menos nitrógeno en el sistema, por lo tanto se observará menor valor para dicha razón. Se ha estudiado que en sistemas límnicos, que se encuentran

constantemente en mezcla, no se observará el valor esperado (16:1), ya que habrá variaciones dependiendo de la estación del año. Por ejemplo, valores de Redfield inferiores a 10, indicaría que el sistema se encuentra en crecimiento algal, ya que ha consumido gran parte del nitrógeno, para la síntesis de proteínas y macromoléculas. Por otra parte se esperan valores superiores a 30 posterior a dicho proceso de crecimiento (Atkinson & Smith 1983).

### 2.3.2 El fitoplancton y su relación con variables fisicoquímicas

Cabe destacar que el fitoplancton presenta una estrecha relación con las variables abióticas (Díaz-Quiroz & Rivera-Randón 2004 & Kane y col 2009) lo que ha permitido establecer una tendencia por determinadas variables. A dichos grupos de microalgas (Anexo 1) se les ha denominado grupos funcionales (Reynolds y col 2002).

La adecuación por las diferentes condiciones ambientales, ha permitido asociar ciertos grupos de fitoplancton a una determinada condición ambiental. Por ejemplo, el índice genérico de diatomeas (Wu 1999), porcentaje de algas verde azules y la razón entre la abundancia de diatomeas céntricas y pennales (Gliwicz & Siedlar 1980; Gliwicz & Lambert 1990), porcentaje y abundancia de *Microcystis sp.*, *Anabaena sp.* y *Apharizomanon sp.* (Carmichael 1986, 1997). Se ha descrito a *Microcystis sp.* como género característico de sistemas con elevado grado de eutroficación, que libera toxinas y dificulta el paso de la luz a través de la columna de agua provocando daño al equilibrio ecológico del sistema (Martins y col 2009).

En Chile existen 17 clases de microalgas reconocidas, las cuales incluyen 190 géneros y 1325 especies (Parra 2006). Uno de los grupos más representativos son las diatomeas, con 962 taxones registrados aproximadamente (Rivera 2006). El estudio taxonómico es fundamental, para realizar estudios ecológicos y ambientales con

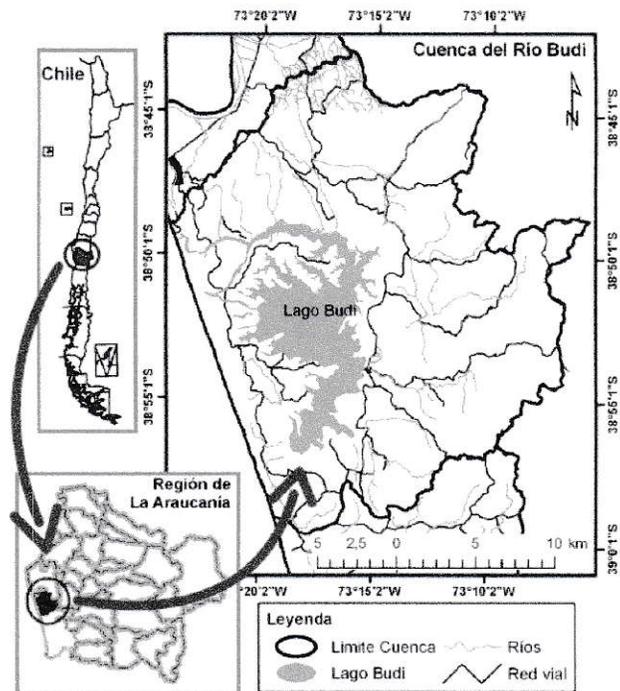
aplicabilidad general, sin embargo, esto se ve limitado, ya que la mayoría de las diatomeas han sido caracterizadas erróneamente por falta de especialistas y material de trabajo idóneo (Rivera 2006).

### 3 METODOLOGÍA Y MATERIALES

#### 3.1 Área de estudio

La cuenca hidrográfica del Lago Budi comprende 502 km<sup>2</sup> de superficie y se sitúa cerca de la costa en la región de la Araucanía, IX Región de Chile (38° 42' – 39° 01' S; 73° 04' – 73° 26' W). Se encuentra cerca de las comunas de Carahue, Puerto Saavedra y Teodoro Smith (Valdovinos y col 2004). Esta cuenca es de origen tectónico y está conformada por depósitos arcillosos estratificados. El clima es oceánico con influencia mediterránea (Valdovinos y col 2004).

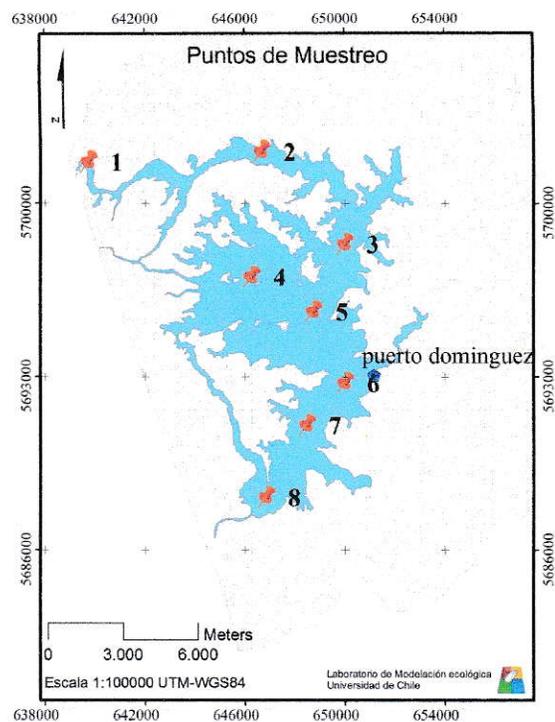
Los principales afluentes de este lago son los esteros Temo, Allipén, Comué, Bolleco, y Botapulli (Tapia y col 2006). Esta cuenca desemboca al mar esporádicamente mediante el río Budi, el cual generalmente permanece abierto desde mayo a octubre, por lo que el lago posee aguas mixohalinas (Stuardo y col 1989). En los últimos años, la conexión se gestiona mediante la acción municipal. Excepcionalmente durante el año 2009, debido a la prolongada estación seca en otoño, se decidió no abrir la conexión en mayo. Durante el periodo invernal, producto de las abundantes lluvias que se registraron en la región, se abrió la conexión al mar a principios de septiembre para evitar inundaciones a los asentamientos humanos que rodean el sector (Delgado y col 2009).



**Figura 1: Ubicación geográfica del Lago Budi y su conexión al mar.**

### 3.2 Metodología Utilizada

Se tomó muestras superficiales (1,5 m) en 8 puntos, distribuidas homogéneamente en el área del lago. La primera estación se ubicó en el sector más cerca del mar en el río Budi, por lo que presenta mayor influencia salina, la estación dos se ubicó más al interior y así sucesivamente (figura 2); la estación 8 es la que se encuentra más lejos del mar y al interior del continente. En cada estación se registró sus coordenadas con GPS (Tabla1).



**Figura 2: Ubicación puntos de muestreo.**

**Tabla 1: Coordenadas UTM (Datum: WGS84 y Huso: 18S) y las fechas de muestreo para cada estación.**

Estación de Muestreo	UTM E	UTM N	Otoño	Invierno
E1	641.217	5.700.714	20-04-09	10-09-09
E2	646.641	5.701.916	20-04-09	10-09-09
E3	649.835	5.700.439	20-04-09	10-09-09
E4	648.887	5.695.272	20-04-09	10-09-09
E5	646.143	5.697.068	20-04-09	10-09-09
E6	649.711	5.692.514	21-04-09	10-09-09
E7	648.630	5.690.567	21-04-09	10-09-09
E8	647.315	5.688.953	21-04-09	10-09-09

Se utilizó una sonda multiparamétrica ISY, modelo 6920 v2-2 para la medición de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. También se incluyó en este análisis, las concentraciones de cloruros, sodio, N-total y P-total medidos posteriormente, en el laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile. Para la determinación de cloruros, se utilizó el método de Mohr & Volhard (APHA, AWWA, WPCF 1992), para determinar la concentración de nitrógeno, el método de Mühlhauser (Mühlhauser y col 1987), y finalmente se utilizó el método de Zahradnik para la determinación de fósforo (Zahradnik 1981).

El fitoplancton se colectó con una botella Van Dorn en para cada uno de los 8 puntos anteriormente mencionados, a una profundidad constante de 1,5 m,. Estas muestras, se fijaron con lugol para evitar la descomposición del fitoplancton. En el laboratorio, cada botella se agitó 100 veces y se almacenó en dos cámaras de decantación de 25 mL por cada estación, como se recomienda en análisis de lagos mesotróficos (Utermöhl 1958). Se dejó decantar durante mínimo 25 hrs (1 hr por mL de muestra) y mediante microscopía inversa se procedió a realizar la caracterización y cuantificación por campo del microscopio mediante el método de Utermöhl (Utermöhl 1958). Los organismos se identificaron según las claves del Manual taxonómico de microalgas de aguas continentales de Chile (Parra 1982, 1983).

Luego de tabular los resultados, se procedió a hacer el análisis de correspondencia canónica (CCA), utilizando el programa CANOCO (Ter Braakk & Smilauer 2005). En este análisis, se relacionó los diversos géneros de fitoplancton encontrados con las variables abióticas: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, cloruros, sodio y nutrientes. En el análisis se consideró como nutrientes el parámetro dado por la razón entre nitrógeno y fósforo del sistema (Redfield 1934,

Atkinson & Smith 1983). La correspondencia canónica, es una de las técnicas estadísticas más utilizadas en ecología para asociar especies a un determinado sitio de muestreo o a variables ambientales (Cajo J & Ter Braakk 1987, 1994; Cajo J y col 1995; Oyanedel J.P. y col 2008).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Abundancia de géneros

En otoño se registró la presencia de 22 géneros de fitoplancton distribuidos en las 8 estaciones (Figura 3a). Se observó una predominancia de *Chlamydomonas sp.*, *Pyramimonas sp.*, *Glenodinium sp* y *Cyclotella sp.* (Anexo fotográfico). La clase Bacillariophyceae presenta la mayor diversidad de géneros presentes, los que muestran una marcada preferencia por condiciones fisicoquímicas de mayor salinidad (Figura 4a). Sin embargo, la mayor abundancia se observó en géneros pertenecientes a la clase Chlorophyceae, especialmente de las familias Polyblepharidaceae y Chlamydomonadaceae. (Tabla 2a). Se encontró mayor riqueza de géneros en el punto 8, el que se ubica más lejano de la influencia del mar, destacando también los puntos 1 y 6 por su riqueza (Tabla 2a). Se observó la distribución del fitoplancton y la presencia de las microalgas pertenecientes al grupo de las Bacillariophyceae en las estaciones más cercanas al mar (Tabla 2a).

Cabe destacar, que se observó una menor variedad de géneros pero mayor abundancia de organismos fitoplanctónicos pertenecientes al grupo de las Chlorophyceas y Cryptophyceas, representantes de las familias Polyblepharidaceae, Chlamydomonadaceae y Cryptomonadaceae tales como: *Pyramimonas sp.*, *Cryptomonas sp.* y *Chlamydomonas sp.* (Anexo fotográfico). Además destaca su dominancia en la mayoría de las estaciones registradas en el periodo otoñal (Tabla 2a).

En Invierno, al igual que el periodo anterior, predominan diversos géneros de la clase Bacillariophyceae (Tabla 2b). En ambas estaciones temporales, estas especies se asocian a condiciones de mayor salinidad (Figura 4b). En relación a la abundancia,

se observan más géneros incluidos en la clase de las Chlorophyceas (Tabla 2b). Destaca también la presencia de un ejemplar perteneciente a la clase de las Cyanophyceas, representante de la familia Nostocaceae, no observado durante el periodo otoñal (Tabla 2b). La Cyanophycea encontrada, corresponde a una colonia de *Anabaena sp.* la que destaca por su no-relación con el sodio del sistema (Figura 4b).

Por otra parte, en el periodo invernal se registró la presencia de 23 géneros de fitoplancton distribuido en los 8 puntos de muestreo (Figura 3b). Se observó una predominancia de *Nephroclamys sp.* un género perteneciente al grupo de las Chlorophyceas, representante de la familia Oocystaceae, pero que presenta afinidad por ambientes salinos (Mühlhauser y col 1995). En todas las estaciones fue el género más abundante (Tabla 2b).

Se observó una menor heterogenidad entre los géneros de microalgas, respecto a la campaña anterior, ya que la dominancia de *Nephroclamys sp.* es de un orden de magnitud mayor que los otros géneros encontrados en el periodo de invierno (Figura 3).

#### 4.2 Variables abióticas

En otoño, las variables abióticas registradas en (Tabla 3), señalan una gran cantidad de nutrientes, con una razón de Redfield superior a 20. Se observa una mayor concentración de sales cloruradas en las primeras estaciones, las que poseen mayor influencia marina. También se observó una mayor conductividad en dichas zonas cercanas a la costa, y una baja temperatura, característica de las aguas del sur de Chile y esperada para esta época otoñal.

Se encontró una clara relación entre los cloruros y sodio presentes, con la conductividad del sistema (Figura 4a) y con ellas relacionadas las taxas de la clase Bacillariophyceae. No se encontró relación directa entre ninguna de las taxas y el pH o la temperatura. También, se observó claramente los grupos de la clase Chlorophyceae asociados a mayor concentración de nutrientes y a mayor oxígeno disuelto.

Respecto a la razón de Redfield calculada para ambas épocas del año estudiadas (otoño e invierno), se encontró valores mayores durante el periodo de otoño (Tabla 3 y 4) en relación a los datos registrados en invierno, pero en ambos casos elevadas.

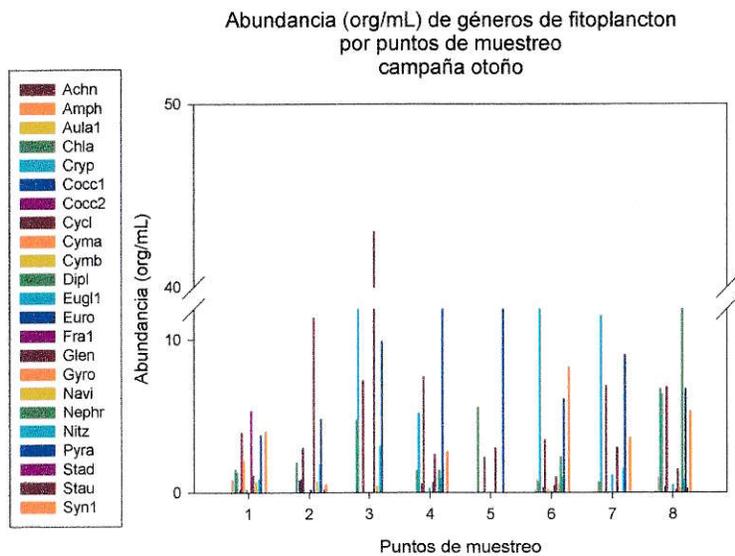


Figura 3a: Riqueza y abundancia de géneros por cada punto de muestreo del lago Budi, campaña de otoño.

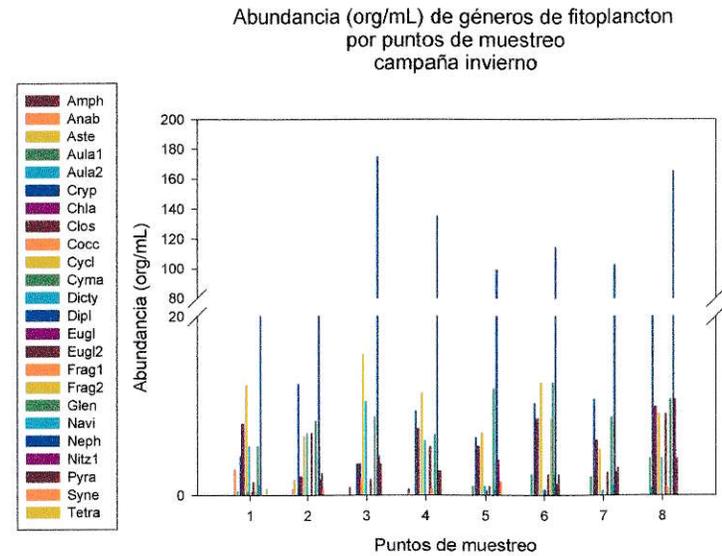


Figura 3b: Riqueza y abundancia de géneros por cada punto de muestreo del lago Budi, campaña de invierno.

Nota: Los géneros se indican por las primeras letras de su nombre, el cual se muestra completo en la tabla 2. Observar también que ambos gráficos presentan diferente escala, respecto a su abundancia.

Tabla 2a: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña otoño.

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Bacillariophyceae</b>								
<b>Centrales</b>								
<b>Thalassiosiraceae</b>								
<i>Aulacoseira sp.</i> <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	0,83	0,69	0,96
<i>Aulacoseira sp.</i> <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella sp.</i>	3,91	2,91	7,32	7,59	2,30	3,44	6,99	6,91
<b>Pennales</b>								
<b>Achnantheaceae</b>								
<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,06
<i>Cocconeis sp.</i> <sub>1</sub>	0,19	0,86	-	0,59	-	0,32	-	0,36
<i>Cocconeis sp.</i> <sub>2</sub>	-	0,80	-	-	-	-	-	-
<b>Diatomaceae</b>								
<i>Fragilaria sp.</i> <sub>1</sub>	5,33	-	-	0,65	-	0,45	-	0,18
<i>Fragilaria sp.</i> <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synedra sp.</i>	4,00	0,51	-	2,68	-	8,22	3,58	5,35
<b>Eunotiaceae</b>								
<i>Eunotia sp.</i>	-	0,17	-	-	-	-	-	-

Tabla 2b: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña invierno.

1	2	3	4	5	6	7	8
0,36	-	-	-	0,99	2,28	2,05	4,12
-	-	-	-	-	-	-	0,82
12,3	6,6	15,7	11,5	6,9	12,6	5,1	9,1
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	1,75	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
0,36	-	-	0,67	-	-	-	0,82
-	-	-	-	-	8,57	-	-
-	0,69	-	-	1,48	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2a: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña otoño.

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Bacillariophyceae</b>								
<b>Pennales</b>								
<b>Naviculaceae</b>								
<i>Amphora sp.</i>	0,80	-	-	-	-	0,13	-	0,06
<i>Cymbella sp.</i>	-	-	-	-	-	0,19	-	-
<i>Diploneis sp.</i>	0,17	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyrosigma sp.</i>	0,17	-	-	-	-	-	-	0,30
<i>Navicula sp.</i>	0,67	0,69	0,43	0,07	-	0,51	-	0,18
<b>Nitzschiaceae</b>								
<i>Nitzschia sp.</i>	0,83	1,83	3,01	0,92	-	1,02	1,56	0,84
<b>Surirellaceae</b>								
<i>Cymatopleura sp.</i>	2,11	0,06	-	-	-	0,06	-	-
<b>Chlorophyceae</b>								
<b>Chlorococcales</b>								
<b>Botryococcaceae</b>								
<i>Dictyosphaerium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Chlorellaceae</b>								
<i>Tetraedron sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Oocystaceae</b>								
<i>Nephroclamys sp.</i>	-	-	-	1,44	-	2,33	-	12,02

Tabla 2b: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña invierno.

1	2	3	4	5	6	7	8
-	-	0,87	0,67	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0,49	0,57	-	-
1,09	-	-	-	0,49	2,28	1,02	-
-	1,73	4,37	2,70	3,96	1,14	2,56	10,72
0,36	-	-	-	-	-	-	-
5,43	6,91	10,48	6,07	0,99	0,57	0,51	4,12
0,72	-	-	-	-	-	-	-
72,4	69,06	174,7	135,0	99,0	114,2	102,4	165,0

Tabla 2a: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña otoño.

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
Orden								
Familia								
Género								
<b>Chlorophyceae</b>								
<b>Volvocales</b>								
<b>Chlamydomonadaceae</b>								
<i>Chlamydomonas sp.</i>	1,50	1,94	4,73	1,44	5,58	0,70	0,69	6,78
<b>Polyblepharidaceae</b>								
<i>Pyramimonas sp.</i>	3,75	4,80	9,90	13,08	12,12	6,12	9,01	6,79
<b>Zygnematales</b>								
<b>Closteriaceae</b>								
<i>Closterium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Desmidiaceae</b>								
<i>Staurastum sp.</i>	-	0,17	-	-	-	-	-	-
<i>Staurodesmus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,24
<b>Cryptophyceae</b>								
<b>Cryptomonadales</b>								
<b>Cryptomonadaceae</b>								
<i>Cryptomonas sp.</i>	1,30	-	22,81	5,17	-	12,75	11,56	6,43
<b>Cyanophyceae</b>								
<b>Nostocales</b>								
<b>Nostocaceae</b>								
<i>Anabaena sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2b: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña invierno.

1	2	3	4	5	6	7	8
4,35	12,43	3,49	9,45	6,43	10,28	10,75	22,27
0,00	2,42	3,49	2,70	1,48	2,28	3,07	4,12
7,97	2,07	3,49	7,42	5,44	8,57	6,14	9,90
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
2,54	13,12	19,22	10,80	7,42	12,56	7,17	9,90
2,90	0,69	-	-	-	-	-	-

Tabla 2a: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña otoño.

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8
Orden								
Familia								
Género								
<b>Dinophyceae</b>								
<b>Peridinales</b>								
<b>Peridiniaceae</b>								
<i>Glenodinium sp.</i>	1,11	11,42	43,04	2,49	2,91	1,02	2,95	1,50
<b>Euglenophyceae</b>								
<b>Euglenales</b>								
<b>Euglenaceae</b>								
<i>Euglena sp<sub>1</sub></i>	-	-	-	0,26	-	0,06	1,10	0,48
<i>Euglena sp<sub>2</sub></i>	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2b: Riqueza y abundancia (org/mL) de géneros de fitoplancton por punto de muestreo en el Lago Budi campaña invierno.

1	2	3	4	5	6	7	8
5,43	8,29	8,73	6,75	11,88	12,56	8,70	10,72
0,36	-	-	-	-	-	-	-
1,45	6,91	1,75	5,40	0,99	2,28	2,56	9,07

**Tabla 3: Promedio de las variables ambientales medidas en superficie a 1,5 m en el periodo de Otoño 2009.**

<b>Var Amb.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Cond (mS/cm)	12,84	10,25	9,99	9,84	9,92	9,77	9,72	9,67
pH	8,50	8,42	8,48	8,31	8,24	7,90	7,96	8,01
Temp (°C)	16,21	17,26	17,83	17,66	17,62	17,28	17,23	16,91
DO Conc (mg/L)	8,38	8,70	9,10	8,84	8,84	9,87	9,40	9,72
Cloruro (mg/L)	4.249,88	3.299,90	3.234,90	3.224,90	3.149,91	3.149,91	3.109,91	3.124,91
Na (mg/L)	1.662,40	1.413,60	1.320,40	1.288,00	1.436,40	1.351,60	1.288,40	1.350,80
[N/P]	25,37	39,79	21,05	35,32	30,74	27,58	28,27	29,57

**Tabla 4 Promedio de las variables ambientales medidas en superficie a 1,5 m en el periodo de Invierno 2009.**

<b>Var. Amb.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Cond (mS/cm)	7,37	6,54	6,89	6,76	6,71	6,29	6,18	6,35
pH	8,08	8,37	8,27	8,37	7,34	8,07	8,03	8,09
Temp (°C)	11,79	12,72	12,40	12,14	11,85	11,68	11,49	11,64
DO Conc (mg/L)	4,92	4,11	4,24	4,12	3,65	4,02	3,98	4,09
Cloruro (mg/L)	1.563,33	1.497,92	1.367,96	1.170,18	1.265,06	1.046,48	1.487,22	1.110,14
Na (mg/L)	1.105,60	877,60	943,20	936,00	894,40	911,60	896,40	885,60
[N/P]	29,06	30,87	29,23	24,42	26,07	23,38	35,70	22,88

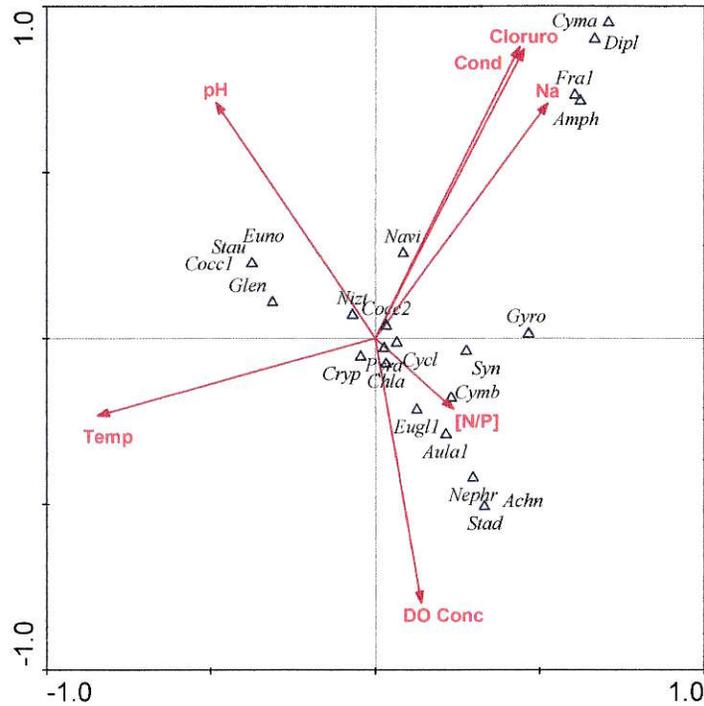


Figura 4a: Gráfico del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) campaña de Otoño.

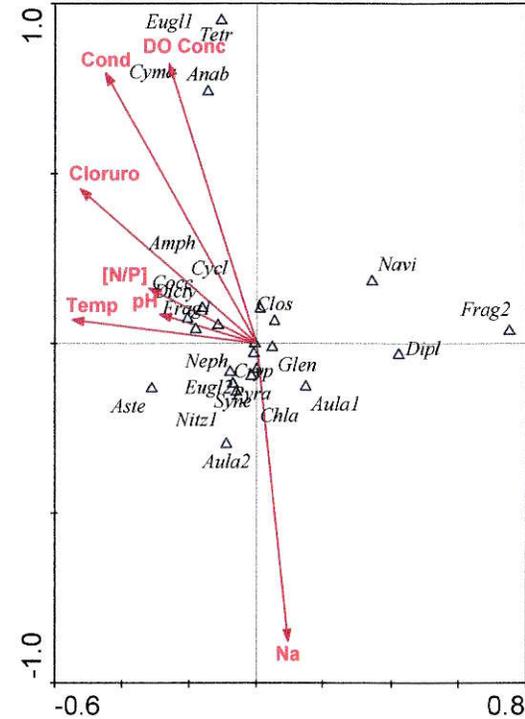
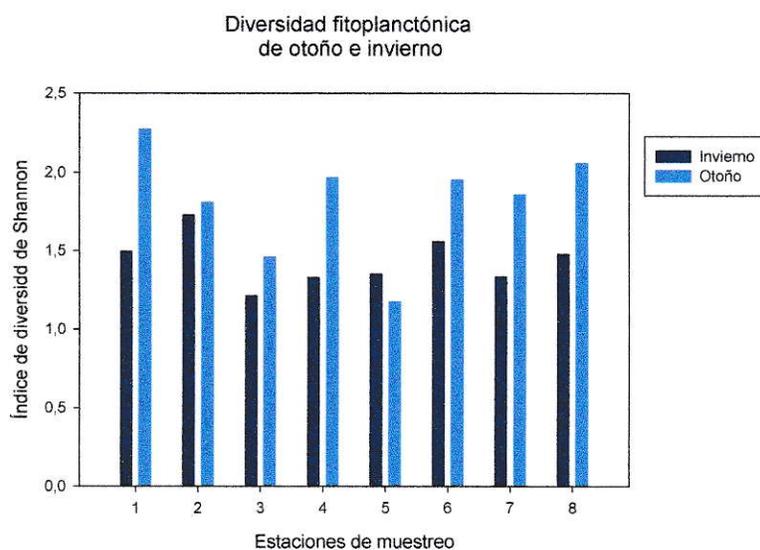


Figura 4b: Gráfico del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) campaña de Invierno.

Nota: Los géneros se indican por las primeras letras de su nombre, el cual se muestra completo en la tabla 2.

En el periodo de invierno se encontró una disminución de la temperatura en el sistema acuático, propio de la estación (de 17°C a 11°C en promedio). También una disminución en el oxígeno disuelto, en los cloruros y el sodio. Junto con la disminución de los cloruros se aprecia una notoria disminución en la conductividad del sistema (Tabla 4). Se pudo apreciar también, una disminución en la razón de nutrientes [N/P] respecto a la campaña anterior, pero que mantiene aun elevada (Tabla 4).

Las variables ambientales como nutrientes, pH y temperatura señalan relación con los géneros pertenecientes a la familia Chlorophyceae, dónde se observó mayor relación entre ambos componentes, respecto a la campaña de otoño. Esto indica una correspondencia entre dichas variables, la mayor cantidad de materia orgánica y productividad del sistema (Reynolds 2002). El cloruro y oxígeno disueltos, muestran una tendencia en el mismo sentido de la conductividad, en ambas campañas, pero se observa más directo para la campaña de otoño (Figura 4a).



**Figura 5: Comparación entre otoño e invierno del índice de diversidad de Shannon, por cada punto de muestreo.**

Se encontró mayor diversidad fitoplanctónica en el periodo otoñal, respecto al periodo invernal (figura 5).

Sin embargo, cabe destacar que al comparar los resultados de ambas campañas realizadas durante el invierno, se observó mayor diversidad en la estación dos, situada al interior del río Budi, con influencia de agua marina y aguas continentales. Si comparamos los valores con los obtenidos recientemente podemos apreciar que durante la campaña realizada el 2009, se encontró una mayor biodiversidad de organismos fitoplanctónicos (Tabla 5), respecto al estudio realizado durante el año 2004 (Basualto y col 2006).

La menor diversidad durante el periodo invernal del estudio de Basualto y col, se encontró en el sector de Puerto Dominguez, el que se sitúa cercano al punto 6 de muestreo para este estudio. Distinto a lo encontrado durante el 2009, donde se registró menor biodiversidad de fitoplancton en el punto 3 (Tabla 5). En general, se registró un aumento de la biodiversidad del fitoplancton respecto al estudio anterior (Tabla 5).

**Tabla 5: Comparación entre Índice de diversidad de Shannon máximo y mínimo obtenidos en la campaña de invierno actualmente realizada y la del año 2004.**

Invierno 2004 (max) E2	Invierno 2004 (min) E6	Invierno 2009 (max) E2	Invierno 2009 (min)E3
0,938	0,132	1,726	1,328

**Tabla 6: Valores de varianza acumulada para cuatro ejes del análisis de Correspondencia Canónica (CCA) y sus valores de Inercia asociados.**

Ejes	1	2	3	4	Inercia
Varianza Acumulada (género-var amb) Otoño	36.2	62.9	77.9	90.0	0.975
Varianza Acumulada (género-var amb) Invierno	29.6	55.0	72.5	88.4	0.189

El resultado del análisis de correspondencia canónica, arrojó una varianza acumulada referente a la interacción género – variables ambientales, tanto para la campaña de invierno, como para la de otoño, elevada; explica más del 55% de la dinámica del sistema con sólo los dos primeros ejes, lo que confirma que las variables escogidas se relacionan fuertemente con la dinámica del fitoplancton (Tabla 6).

El análisis de correspondencia canónica (Figura 4) indicó que existe una estrecha relación entre el primer eje y la temperatura durante el periodo otoñal, también se observó que la conductividad del sistema, está fuertemente asociada al segundo eje, lo que muestra que la dinámica del sistema está en gran medida determinada por estas dos variables para éste periodo estudiado (Figura 4a).

Se encontró también una marcada tendencia de los cloruros y sodio, con la conductividad (Figura 4a). Se observó, fuertemente asociados los siguientes géneros de diatomeas pennales: *Cymatopleura sp.*, *Diploneis sp.*, *Amphora sp.*, y *Fragilaria sp.*, a la conductividad eléctrica del sistema, y a características salobres. Así como también, clorophyceas y euglenophyceas, tales como: *Euglena sp.*, *Nephroclamys sp.* y *Chlamydomonas sp.* asociadas fuerte y directamente a los nutrientes.

Por otra parte, durante el periodo invernal también se encontró una estrecha relación entre la temperatura y el primer eje, sin embargo se observó que el segundo

eje se relacionó estrechamente con el sodio, a diferencia del comportamiento en el periodo otoñal, que el segundo eje se definió por la conductividad eléctrica del sistema acuático (Figura 4b). Durante la estación invernal, también se observó una directa y estrecha relación entre *Cymatopleura sp* y *Amphora sp.* con la conductividad del sistema (Figura 4b). Se encontró también una considerable e inversa relación entre el sodio y *Anabaena sp.* (Figura 4 b).

Finalmente el Test de Monte Carlo (5000 permutaciones) determinó que todas las variables utilizadas son de importancia significativa, y que explican en gran porcentaje, la dinámica fitoplanctónica dentro del sistema acuático (Tabla 7).

**Tabla 7: Resultado del test de permutaciones de Monte Carlo para ambas estaciones estudiadas. Lo cuál indica las variables significativas ( $p < 0,05$ ) y el orden de importancia para cada estación estudiada.**

Otoño		Invierno	
[N/P]	0.01	[N/P]	0.01
DO Conc	0.02	pH	0.02
pH	0.02	Cloruro	0.03
Na	0.02	Temp	0.04
Cond	0.02	DO Conc	0.04
Cloruro	0.02	Na	0.04
Temp	0.02	Cond	0.04

Se considera que la presencia de *Cyclotella sp.*, género descrito para aguas de buena calidad (Reynolds y col 2002), y la presencia de algas como *Cymatopleura sp.* que se relaciona estrechamente con la conductividad del sistema durante ambos periodos de estudio (Figura 4), señalan una preferencia por ambientes rico en sales y pobres en materia orgánica. Así como también, la marcada presencia de géneros asociados al aumento de materia orgánica, como: *Chlamidomonas sp.*, el cual no había

sido encontrado anteriormente en el Lago Budi (Anexo 2). Además se encontró un aumento en las *Cryptomonas sp.* respecto a estudios anteriores (Basualto y col 2006). Se sugiere establecer una razón entre la suma de dichos géneros característicos de aguas saludables y oligotróficas (*Cyclotella sp.* y *Cymatopleura sp.*), con la suma de los géneros característicos de sistemas en vías de eutroficación (*Chlamydomonas sp.* y *Cryptomonas sp.*), por lo que se propone el siguiente índice de calidad ambiental de sistemas acuáticos, donde valores superiores a uno indican buena calidad de las aguas y valores inferiores a uno indican mala calidad (Tabla 8).

**Tabla 8: Índice de calidad ambiental por estación para ambos periodos estudiados.**

<b>Estaciones</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Otoño	2,15	1,53	0,27	1,1	0,41	0,26	0,57	0,52
Invierno	1,84	0,26	0,7	0,6	0,5	0,55	0,29	0,28

Este, se encuentra sujeto a variaciones durante años con periodos secos y años de periodos lluviosos prolongados. Así como también variaciones en el clima de la región, dicha propuesta se confirmará con estudios futuros del sistema acuático.

## 5 DISCUSIÓN

Apartir del análisis de Correspondencia Canónica, se identificó géneros que toleran ambientes con elevada conductividad y sales disueltas, por sobre ambientes ricos en materia orgánica y nutrientes, principalmente organismos de la clase Bacillariophyceae, tales como: *Cymatopleura sp.*, *Fragilaria sp.*, *Diploneis sp.* y *Amphora sp.* Así como también, permitió identificar los géneros asociados a una mayor temperatura y nutrientes, como: *Chlamydomonas sp.*, *Euglena sp.*, *Nephroclamys sp.*, *Cryptomonas sp.* y *Nitzschia sp.*

En sistemas límnicos con características salinas se ha descrito una predominancia de microalgas pertenecientes a la clase Bacillariophyceae (Licea & Santoyo 1991; Basualto y col 2006; Reynolds 2002), singulares por la presencia de carotenos como pigmentos fotosintético principal (Rivera 2006). Si bien, en el lago Budi predominan en abundancia las chlorophyceas, la clase Bacillariophycea presenta una gran variedad de taxones, tales como: *Fragilaria sp.*, *Cyclotella sp.*, *Synedra sp.*, *Nitzschia sp.*, *Aulacoseira sp.* y *Cocconeis sp.*, entre otras. De las que, *Nitzschia sp.* y *Synedra sp.*, se consideran características de aguas superficiales turbias, ricas en nutrientes; *Chlamydomonas sp.* y *Cryptomonas sp.*, se encuentran en lagos pequeños y enriquecidos, aguas ricas en materia orgánica. Y *Aulacoseira sp.* está descrita como característica de sistemas mesotróficos (Reynolds y col 2002, Wang y col 2008).

También destaca la presencia del dinoflagelado *Glenodinium sp.*, propio de sistemas mixohalinos, mesotróficos (Licea & Santoyo 1991). Junto con, *Euglena sp<sub>1</sub>* y *Euglena sp<sub>2</sub>*, asociada también, a sistemas acuáticos ricos en materia orgánica (Reynolds y col 2002).

Los elevados niveles registrados en ambos periodos (otoño e invierno), para la razón de Redfield, indican que el lago presentó crecimiento algal y que ya terminó dicho proceso. Este aumento de la biomasa algal, junto con la presencia de los géneros anteriormente mencionados, indican que el sistema se encuentra en vías de eutroficación.

Basado en lo anteriormente descrito, y considerando la dinámica que explica el análisis de correspondencia canónica dentro del sistema acuático, es que se incluyó a: *Cymatopleura sp.*, *Cyclotellasp.*, *Chlamydomons sp.* y *Cryptomonas sp.* para elaborar la propuesta de índice de calidad ambiental para el Lago Budi. Este se confirmará con estudios posteriores en el mismo sistema acuático. Dicha propuesta se encuentra sujeta a modificaciones, dependiendo de las variaciones climáticas observadas en la región.

Por otra parte, en sistemas ricos en nutrientes (Tabla 3 y 4), se espera encontrar presencia significativa de fitoplancton perteneciente a la clase Cyanophyceae (Wetzel 2001; Reynolds 2002). Sin embargo, en el presente trabajo, se encontró una escasa presencia, sólo del género *Anabaena sp.* durante el periodo de invierno (Tabla 3b), lo que posiblemente se deba a que el sistema está constantemente en renovación y posee aguas turbulentas por su conexión al mar. Esto último no proporcionaría las condiciones adecuadas para las cyanophyceas (Chahuán y col 2001, Saygidger & Deniz 2008) además posee temperaturas muy por debajo al ambiente ideal de desarrollo para estos organismos, los que viven plenamente en aguas con temperatura igual o superior a 25°C y con poca mezcla (Reynolds 2002).

### 5.1 El efecto del sodio

El análisis de correspondencia canónica mostró, una clara repelencia entre *Anabaena sp.* y sodio (Na) (Figura 4b) indicando que esta relación se deba posiblemente a que gran parte de las cyanophyceas dulceacuicolas presentan intolerancia al cloruro de sodio (NaCl). Es conocido que el sodio de dicho compuesto inhibe el fotosistema II, la fosforilación y su actividad diurna (Chauhan y col 2001). Otros estudios muestran que el cloruro de sodio provoca la muerte inmediata a altas concentraciones de microalgas cyanophyceas (Saygideger & Deniz 2008). Es por ello que también se utiliza como tratamiento previo a la extracción de DNA algal, ya que destroza completamente la estructura de la cyanobacteria a concentraciones igual o superior 150 mM (Edelman y col 1967).

### 5.2 La salinidad del sistema

Si bien, el océano posee una salinidad promedio muy por debajo de la salinidad letal para dichos organismos (aproximadamente 33 mM), de todas maneras, no proporciona el hábitat preferido para su desarrollo, lo que posiblemente explique también su escasa presencia en el sistema estudiado, el que posee una importante influencia de agua marina. Por otra parte existen microalgas pertenecientes a la clase Cyanophyceae que muestran preferencia por habitar los océanos (Marino & Howarth 1990; Marino y col 2003). Pero en este caso no se registró ninguno de estos organismos.

Respecto a la diversidad y abundancia de taxones, se encontró mayor riqueza de géneros de fitoplancton pertenecientes a la clase de las Bacillariophyceae. Sin embargo, se apreció una disminución, para dicho grupo, respecto al último estudio realizado en el Lago Budi (Basualto y col 2006). La mayoría de los géneros registrados en la investigación anterior aun habitan el lago Budi, otros posiblemente se registren en futuras campañas (primavera o verano) y probablemente una parte de la biota microalgal se modificó producto de los cambios que experimentó el sistema acuático (CONAMA, 2007).

Se observó mayor abundancia y riqueza de géneros fitoplanctónicos, en el periodo invernal, pero el índice de biodiversidad de Shannon señala menor diversidad en este periodo (Figura 5), lo que posiblemente se deba a que durante el invierno se registró una amplia dominancia de *Nephroclamys sp.* en todos los puntos de muestreo, es decir, del total de algas encontradas, dicho género constituye la mayoría, provocando una disminución en la variedad de ejemplares, lo que se refleja en un valor menor de biodiversidad.

En la campaña de invierno se observó una menor relación entre la salinidad y conductividad, se encontró disminución de nutrientes, cloruros y sodio. Esto posiblemente se deba a las abundantes lluvias registradas en el invierno recién pasado, que aportaron agua dulce al sistema lacustre, lo que probablemente también generó el ambiente propicio para el desarrollo de algunas colonias de *Anabaena sp.* Se encontró también una disminución en el oxígeno disuelto, durante este periodo.

Se espera que en las próximas estaciones del año (primavera y verano) se registren variaciones en la composición de la microflora que conforma sistema

acuático, así como también su distribución dentro del ecosistema. Y que eventualmente confirme la baja riqueza de géneros encontrada en éste periodo de estudio.

## 6 CONCLUSIÓN

Se rechaza  $H_0$ , ya que la estructura comunitaria fitoplanctónica está determinada por las variables físicas y químicas que se estudiaron en éste trabajo (Tabla 6).

Se observó una modificación temporal en la composición del sistema acuático. Dependiendo de las diferentes estaciones del año, se encontró diferente tipo de biota y distribución dentro del sistema. Dicha variación (entre otoño e invierno) probablemente se deba a que las condiciones físicas y químicas del ambiente dónde se desarrollan los organismos modifica sus características dependiendo de: si recibe influencia marina, condiciones climáticas de la zona, actividades humanas realizadas en la zona, entre otros factores.

Se caracterizó y cuantificó la microflora presente para otoño e invierno, la que presentó una clara diferencia en su composición en los distintos puntos de muestreo, esto se debe a que las estaciones al interior del continente, presentan aguas con variables abióticas características de sistemas dulceacuícolas, donde predominan las Chlorophyceas y Dynophyceas, en cambio las estaciones que presentan mayor influencia salina poseen una predominancia de Bacillariophyceas. Si bien, esto concuerda con lo descrito, cabe destacar que diversos autores difieren con dicha clasificación ya que no se da de igual forma en todos los sistemas límnicos (Padisák & Crossetti 2009).

Respecto a la propuesta de índice de calidad ambiental, se puede apreciar que hay mejor calidad de las aguas en las estaciones de mayor influencia marina (Tabla 8), por lo que se sugiere mantener abierta y constante la conexión con el mar, para evitar la eutroficación.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WPCF (1992) Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos, S.A. Madrid. Pag 4-76-4-78.
- ATKINSON MJ. & S. SMITH V. (1983) C:N:P ratios of benthics marine plants. American Society of Limn. & Ocean. 28 (3), 1983, 568 – 574.
- BALVANERA P, PFISTERER AB, BUCHMANN N (2006) Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. Ecol Lett. 9:1146–56
- BASUALTO S, TAPIA J, CRUCES F, BERTRAN C, SCHLATTER R, PEÑA-CORTÉS F y HAUENSTEIN E. (2006). The effect of physical and chemical parameters on the structure and composition of the phytoplankton community of Lake Budi (IX Region, Chile). J. Chil. Chem. Soc., 51, N° 3.
- BEGON, M; HARPER, J; TOWNSEND, C (1999), «Introducción», Ecología : individuos, poblaciones y comunidades (3ª edición), Barcelona: Omega, ISBN 9788428211529.
- BERTRAN C, VARGAS-CHACOFF V, PEÑA-CORTÉS F, MULSOW S, TAPIA J, HAUENSTEIN E, SCHLATTER R, BRAVO A (2006) Benthic macrofauna of three saline-lake wetlands on the coastal rim of southern Chile. *Cienc. Marin.* (2006), 32(3): 589–596.
- CABRERA S. & MONTECINO V. (1987) Productividad primaria en ecosistemas límnicos. Arch. Biol. Med. Exp. 20: 105 – 116.
- CAJO J., TER BRAAK (1987) The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Veget.* 69: 69-77.
- CAJO J., TER BRAAK (1994) Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods. *Ecosc.* 1: 127 – 140.
- CAJO J., TER BRAAK & Verdonschot P (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aqu. Sci.* 57: 1015 – 1621.
- CARMICHAEL, W.W., (1986). Algal toxins. *Adv. Bot. Res.* 12, 47–101.
- CARMICHAEL, W.W., (1997). The cyanotoxins. *Adv. Bot. Res.* 27, 211–256.
- CHAUHAN V., BHANUMATI S., SINGH S & BISEN P. (2001) Regulation of Sodium influx in the NaCl-Resistant(NaCl<sup>r</sup>) Mutant strain of the Cyanobacterium *Anabaena variabilis*. *Current Micro.* vol. 42: 100 – 105.

- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA), Gobierno de Chile – Plan de manejo para el sitio prioritario Lago Budi: conservación y recuperación de la biodiversidad de peces nativos y su ecosistema acuático – 2007.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) X<sup>a</sup> Región de los Lagos- Universidad Austral de Chile. (2005) “Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia”, Informe final, Convenio Complementario Específico N° 1210-1203/2004-12-14.
- CÓRDOVA S., GAETE H., ARÁNGUIZ F. & FIGUEROA R. (2009) Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2): 199-209.
- DAILY G., EHRLICH P., ALBERTI M (1996) “Managing earth’s life support systems: The game, the players and getting everyone top lay”. *Ecological applications*. 6: 19-21.
- DE GROOT, R.S. (1992) "Functions of Nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision-making". Wolters Noordhoff BV, Groningen, the Neth. (345 pp).
- DELGADO L., MARIN V. & VILA I. (2006) Sistemas acuáticos, ecosistemas y cuencas hidrográficas. En: I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter y C. Ramirez (eds.) *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- DELGADO L, VILA I, TORRES M, BACHAMANN P & FISCHER F. (2009) Análisis del impacto económico y social y objetivos de calidad ambiental del “lago Budi”. Dirección General de Aguas (DGA).
- DÍAZ – QUIRÓS C, RIVERA – RONDÓN C (2004) Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26(2): 381 – 394.
- DOBZHANSKY, T (1973), "Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution".
- ERRÁZURIZ A.M, CERECEDA P, GONZÁLEZ J.I, GONZÁLEZ M, HENRIQUEZ M, RIOSECO R (1998). Manual de geografía de Chile.
- GLIWICZ, Z.M., LAMPERT, W., (1990). Food thresholds in *Daphnia* species in the absence and presence of blue-green filaments. *Ecol.* 7, 691–702.
- GLIWICZ, Z.M., SIEDLAR, E., (1980). Food size limitation and algae interfering with food collection in *Daphnia*. *Arch. Hydrobiol.* 88, 155–177.
- HUTCHINSON G, (1967) “A treatise on limnology, Vol. II, Introduction to lake biology and the limnoplankton”, ed. by Wiley and Sons, New York.

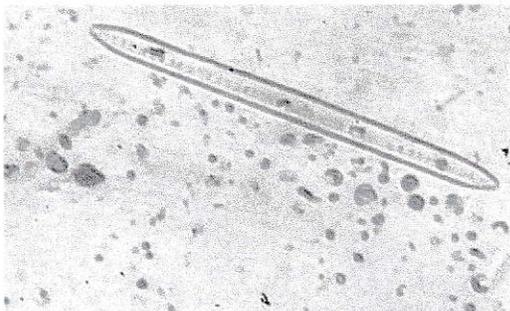
- KANE D, GORDON S, MUNAWAR M, CHARLTON M, CULVER D (2009) The Planktonic Index of Biotic Integrity (P-IBI): An approach for assessing lake ecosystem health – *Ecol. Indict.* 9: 1234 – 1247.
- LANE C, KELLY C, REISS B, DECELLES S, BROWN M. (2009) Benthic diatom composition in isolated forested wetlands subject to drying: Implications for monitoring and assessment. *Ecol. Indict.* 9: 1121–1128.
- LARA A, URRUTIA R, VILLALBA B, LUCKMAN C, SOTO D, ARAVENA C, MC PHEEF JM, WOLODARSKYA, PEZOA A, LEO N (2005) The potential use of tree-rings to reconstruct streamflow and estuarine salinity in the Valdivian Rainforest eco-region, Chile - *Dendrochronologia* 22: 155–161.
- LICEA S. & SANTOYO H. (1991) Some Ecological Aspects of the Phytoplankton From Central Campeche Bay - *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*.
- MARINO R. & HOWARTH R. (1990) Molybdenum and sulfate as controls on the abundance of nitrogen-fixing cyanobacteria in saline lakes in Alberta - *Limnol. Oceanogr.* 35(2), 1990, 245-259.
- MARINO R., HOWARTH R., CHAN F., COLE J, & LIKENS G. (2003) Sulfate inhibition of molybdenum-dependent nitrogen fixation by planktonic cyanobacteria under seawater conditions: a non-reversible effect *Hydrobiol.* 500: 277–293.
- MARÍN, V.; DELGADO, L. & BACHMANN, P (2008) Conceptual PHES-system models Of the Aysén watershed and fjord (Southern Chile): Testing a brainstorming strategy - *Journal of Environmental Management* 88 (2008) 1109–1118.
- MARÍN V., DELGADO L., (2008) Modelos conceptuales en ecología de ecosistemas: descubriendo al elefante. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 437-439.
- MARÍN V, TIRONI A, DELGADO L, CONTRERAS M, NOVOA F, TORRES-GÓMEZ M, GARREAUD R, VILA I, SEREY I (2009) On the sudden disappearance of *Egeria densa* from a Ramsar wetland site of Southern Chile: A climatic event trigger model. *Ecological Modelling* 220: 1752 – 1763.
- MARTINS J., LEO P. & VASCONCELOS V (2009) Differential protein expression in *Corbicula fluminea* upon exposure to a *Microcystis aeruginosa* toxic strain. *Toxicon* 53: 409 – 416.
- MÜHLHAUSER H., HREPIC N., MLADNIC P., MONTECINO V. & CABRERA S (1995) Water quality and limnological features of a high altitude Andean lake, Chungará, in northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 68: 341 – 349.
- MÜHLHAUSER H, L SOTO & P ZAHRADNIK (1987) Improvement of the Kjeldahl method for total nitrogen including acid hydrolyzable phosphorus determinations in freshwater ecosystems. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 28: 215-226.

- OYANEDEL J.P, VEGA-RETTETTER C, SCOTT S, HINOJOSA F, & RAMOS-JILIBERTO R (2008) Finding patterns of distribution for freshwater phytoplankton, zooplankton and fish, by means of parsimony analysis of endemismity – *Revista Chilena de Historia Natural* - 81: 185-203.
- PADISÁK J.& CROSSETTI L. (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hidrobiología* 621: 1-19.
- PARRA O. (1982 – 1983) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales (Especial referencia al fitoplancton de Chile) – Editorial Universitaria de Concepción – Concepción
- PARRA O. (2006) Estado de conocimiento de las algas dulceacuicolas de Chile (Excepto Bacillariophyceae). *Gayana* 70 (1): 8 – 15.
- PIERA M F., (1991) Sistemática, biodiversidad y conservación del medio natural. *Jornadas sobre el Medio Natural Albacetense*, 1: 409-413.
- PRITCHARD, D. W. (1967) What is an estuary: physical viewpoint. p. 3–5 in: G. H. Lauf (ed.) *Estuaries*, A.A.A.S. Publ. No. 83, Washington, D.C.
- QUINTINO V, RODRIGUES A, GENTIL F, PENEDA M. (1987). Macrozoobenthic community structure in the Lagoon of Albufeira, western coast of Portugal. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 106. 229–241.
- REDFIELD A.C. (1934) On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In *James Johnstone Memorial Volume*. (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool, pp. 177-192.
- REYNOLDS C, (1984)“The ecology of freshwater phytoplankton”, Cambridge University Press, Cambridge.
- REYNOLDS C, HUSZAR V, KRUK C, NASELLI-FLORES L & MELO S. (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plancton research* 24 (5): 417 – 428.
- RICHARDSON K., BEARDALL J., RAVEN J. A. (1983) Adaptation of unicellular algae To irradiance: an analisis of strategies. *New Phytol.* 93: 157 – 191.
- RIVERA P. (2006) Estado de conocimiento de las diatomeas dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70 (1): 1-7.
- RODHE, W. (1969) Crystallization of eutrophication concepts in North Europe. In: *Eutrophication, Causes, Consequences, Correctives*. National Academy of Sciences, Washington D.C., Standard Book Number 309-01700-9, 50-64.

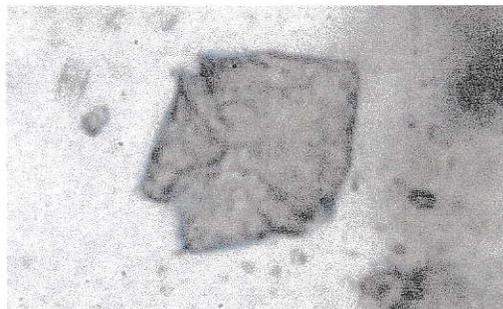
- RYDING S-O & W RAST (1992) El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO, The Partenon Publishing Group, París, Francia. 375 pp.
- SAYGIDGER S. & DENIZ F (2008) Effect of 24-epibrassinolide on biomass, growth and free proline concentration in *Spirulina platensis* (cyanophyta) under NaCl stress. *Plant Growth Regular* 56: 219 – 223.
- SCHINDLER, D.W., (1987). Detecting ecosystem response to anthropogenic stress. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 (Suppl. 1), 6–25.
- SCHRIVER, P., BOGESTRAND, J., JEPPESEN, E., SONDERGAARD, M., (1995) Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton-phytoplankton interactions large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. *Freshw. Biol.* 33, 255–270.
- SHANNON, C.E. (1948). "A mathematical theory of communication". *Bell System Technical Journal* 27: 379–423 and 623–656.
- SIMONETTI, J.(1997) Biodiversity and a taxonomy of Chilean taxonomists – Biodiversity and Conservation – Vol. 6 Nr. 4 pp. 633 – 637.
- SIMPSON, E. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- SOMMER U, (1989) "Plankton ecology; Succession in Plankton Communities", ed. by Springer-Verlag, Berlin.
- SPILHAUS F. (1942). *Maps of the whole world ocean.* 32 (3). American Geographical Society). pp. 431–5.
- STEWART T. A. PICKETT & J. M. GROVE (2009) Urban ecosystems: What would Tansley do? - *Urban Ecosyst.* 12:1–8
- STUARDO J. (1988). Caracteres faunísticos generales del río Biobío y su relación con la zona costera adyacente. Programa Cuenca del Biobío. In: C. Murcia (ed.), Tomo I: Origen, Uso y perspectivas del Río Biobío. Universidad de Concepción, pp. 39–50.
- STUARDO J, VALDOVINOS C. (1989). Estuarios y lagos costeros: Ecosistemas importantes del Chile central. *Ambiente y Desarrollo* 5: 107–115.
- STUARDO J., VALDOVINOS C. & DELLAROSA V. (1989) Caracterización general del lago Budi: una laguna costera salobre de Chile central. *Cienc. Y Tec. Del Mar, CONA* 13: 57 – 89.
- TANSLEY, AG (1935) The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecology* 16, 284-307.

- TAPIA, J. DURÁN, E. PEÑA-CORTÉS, F., HAUENSTEIN, E., BERTRÁN, C. SCHLATTER R., VARGAS-CHACOFF, L. AND JIMÉNEZ, C. (2006) *Micropogonias manni* as a bioindicator for copper in lake Budi (IX region, Chile) . J. Chil. Chem. Soc., 51 (2): 901-904.
- TER BRAAK C., & SMILAHUER P. (2005) CANOCO Version 4,5. Software for Canonical Community Ordination. Microcomputer Power Ithaca, New York.
- TATRAI, I., OLAH, J., PAULOVITS, G., MATYAS, K., KAWIEKA, B.J., JOZSA, V., PEKAR, F., (1997). Biomass dependent interactions in pond ecosystems: responses of lower trophic levels to fish manipulation. *Hydrobiologia* 345, 117–129.
- UTHERMÖHL, H. (1958) Zur Vervollkommung der quantitative Phytoplankton – Methodik. *Mitt. Int. Vereinigung Theor. Angew. Limnol.* 15: 158 – 163.
- VALDOVINOS C., FIGUEROS D., PEÑA-CORTÉS F., HAUENSTEIN E., GUIÑEZ B. & OLMOS V. (2004) Visión sinóptica de la biodiversidad acuática y ribereña del lago Budi. pp 592 – 606.
- VASQUEZ J., CAMUS P. & OJEDA F. (1998) Diversidad estructural y funcionamiento de ecosistemas costeros rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 479 – 499.
- WANG J, ZHANG X, CHEN Y, SOMMERFELD M, HU Q (2008) Toxicity assessment of manufactured nanomaterials using the unicellular green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Chemosphere* 73: 1121–1128.
- WETZEL R. “Limnología”, Editions Omega S.A. Barcelona España – 2001.
- WU, J.-T., (1999). A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia* 397, 79–87.
- ZAHRADNIK P (1981) Methods for chemical analysis of inland waters. Lecture notes for the International Graduate Training Course on Limnology. Limnologisches Institut. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Viena, Austria, Leaflet 44 pp.

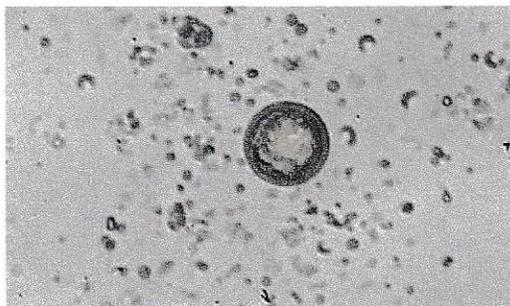
## Anexo Fotográfico



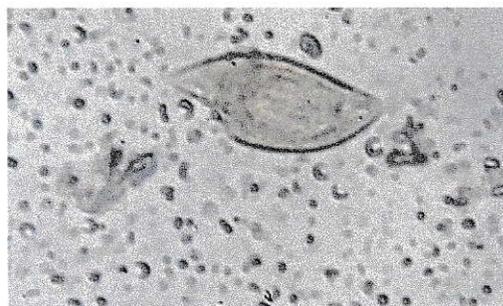
*Fragilaria sp.*<sub>1</sub>.



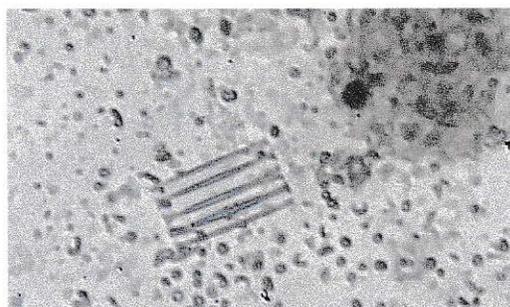
*Glenodinium sp.*



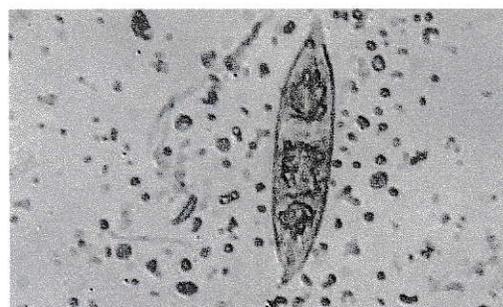
*Cyclotella sp.*



*Pyramimonas sp.*



*Fragilaria sp.*<sub>2</sub>.



*Euglena sp.*<sub>2</sub>.

**Anexo 1: Grupos funcionales de fitoplancton (Reynolds y col 2002).**

Grupo	Hábitat	Representante típico	Tolerancia	Sensibilidad
A	Lagos de aguas limpias, constantemente en mezcla, fondo pobre en nutrientes	<i>Urosolenia sp</i> , <i>Cyclotella comensis</i>	Deficiencia de nutrientes	Elevado pH
B	Lagos mesotróficos, Medianos o pequeños con mezcla vertical	<i>Aulacoseira subarctica</i> , <i>Aulacoseira islandica</i>	Deficiencia de luz	Elevado pH, escasas de Si, estratificación
C	Lagos eutróficos pequeños o medianos, en mezcla	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>Stephanodiscus rotula</i>	Luz, deficiencia de C	Agotamiento de Si, estratificación
D	Aguas superficiales, turbias y enriquecidas, incluidos ríos	<i>Synedra acus</i> , <i>Nitzschia sp</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Aguas turbulentas	Escasas de nutrientes
N	Epilimnion mesotrófico	<i>Tabellaria sp</i> , <i>Cosmarium sp</i> , <i>Staurodesmus sp</i> .	Deficiencia de nutrientes	Estratificación, pH elevado
P	Epilimnion eutrófico	<i>Fragilaria cottonensis</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium aciculare</i> , <i>Staurastum pingue</i>	Luz suave y deficiencia de C	Estratificación, escasas de Si
T	Epilimnion profundo constantemente en mezcla	<i>Geminella sp</i> , <i>Mougeotia sp</i> , <i>Tribonema sp</i> .	Deficiencia de luz	Deficiencia de nutrientes
S <sub>1</sub>	Capas turbias en mezcla	<i>Planktothrix agardhii</i> , <i>Limnothrix redekei</i> , <i>Pseudoanabaena sp</i> .	Elevada luz, condiciones deficientes	Aguas turbulentas
S <sub>2</sub>	Capas superficiales turbias en mezcla	<i>Spirulina sp</i> , <i>Arthrospira sp</i> , <i>Raphidiopsis sp</i> .	Luz, condiciones deficientes	Aguas turbulentas
S <sub>N</sub>	Capas templadas en mezcla	<i>Cylindrospermopsis sp</i> , <i>Anabaena minutissima</i> .	Luz, deficiencia de N	Aguas turbulentas
Z	Capas de aguas limpias en mezcla	<i>Synechococcus sp</i> , <i>picoplancton procariótico</i>	Bajos nutrientes	Deficiencia de luz y pastoreo
X <sub>3</sub>	Capas superficiales limpias en mezcla	<i>Koliella sp</i> , <i>Chrysooccus sp</i> , <i>picoplancton eucariótico</i> .	Pobre condición del fondo	Mezcla y pastoreo
X <sub>2</sub>	Capas superficiales de aguas limpias en mezcla, de lagos de aguas meso-eutróficas	<i>Plagioselmis sp</i> , <i>Chrysochromulina sp</i> .	Estratificación	Mezcla y alimentación por filtradores
X <sub>1</sub>	Capas superficiales en mezcla de lagos en condiciones enriquecidas	<i>Chlorella sp</i> , <i>Ankyra sp</i> , <i>Monoraphidium sp</i> .	Estratificación	Deficiencia de nutrientes y alimentación por filtradores.
Y	Usualmente en lagos pequeños y enriquecidos	<i>Cryptomonas sp</i> .	Luz tenue	Predadores
E	Usualmente en lagos pequeños, oligotróficos de fondo pobre o estanques heterotróficos	<i>Dinobryon sp</i> , <i>Mallomonas sp</i> , <i>Synura sp</i> .	Bajos nutrientes (recurrente a mixotrofia)	Deficiencia de CO <sub>2</sub>
F	Epilimnio de aguas limpias	<i>Chloroficeas coloniales</i> , ej: <i>Botryococcus sp</i> , <i>Pseudosphaerocystis sp</i> , <i>Coenochloris sp</i> , <i>Oocystis lacustris</i>	Bajo nutrientes, elevada turbidez	Deficiencia de CO <sub>2</sub>

<b>G</b>	Cortas columnas de agua enriquecidas en nutrientes	<i>Eudorina sp, Volvox sp.</i>	Elevada luz	Deficiencia de nutrientes
<b>J</b>	Lagos, estanques y ríos superficiales enriquecidos	<i>Pediastrum sp, Coelastrum sp, Scenedesmus sp, Golenkinia sp.</i>	-	Baja luz
<b>K</b>	Cortas columnas de agua enriquecidas en nutrientes	<i>Aphanotece sp, Aphanocapsa sp.</i>	-	Mezcla en profundidad
<b>H<sub>1</sub></b>	Ambiente propicio para nostocales fijadoras de dinitrógeno	<i>Anabaena flos-aquae, Aphanizomenon sp.</i>	Bajo N y Bajo C	Mezcla, escasas de luz, y bajos fosfatos
<b>H<sub>2</sub></b>	Ambiente propicio para nostocales fijadoras de dinitrógeno de extensos lagos mesotróficos	<i>Anabaena lemmermanni, Gloeotrichia echinulata</i>	Bajo N	Mezcla y escasas de luz
<b>U</b>	Epilimnion en verano de lagos oligotróficos	<i>Uroglena sp.</i>	Bajos nutrientes	Deficiencia de CO <sub>2</sub>
<b>L<sub>0</sub></b>	Epilimnion en verano de lagos mesotróficos	<i>Peridinium sp, Woronichinia sp, Merismopedia sp.</i>	Nutrientes segregados	Mezcla prolongada o profunda
<b>L<sub>M</sub></b>	Epilimnion en verano de lagos eutróficos	<i>Ceratium sp, Microcystis sp.</i>	Muy bajo C	Mezcla, pobre estratificación de la luz
<b>M</b>	Capas poco mezcladas de pequeños lagos eutróficos a baja altitud	<i>Microcystis sp, Sphaerocavum sp.</i>	Elevada Insolación	Aguas turbulentas y baja luz total
<b>R</b>	Metalimnion de lagos mesotróficos estratificados	<i>Planktothrix rubescens, Planktothrix mougeotii</i>	Luz baja y fuerte segregación de los nutrientes	Inestabilidad
<b>V</b>	Metalimnion de lagos eutróficos estratificados	<i>Chromatium sp, Chlorobium sp.</i>	Muy baja luz y fuerte segregación de los nutrientes	Inestabilidad
<b>W<sub>1</sub></b>	Pequeños estanques orgánicos	<i>Euglena sp, Synura sp, Gonium sp.</i>	Elevado DBO	Pastoreo
<b>W<sub>2</sub></b>	Lagos mesotróficos superficiales	<i>Trachelomonas sp. y bentónicas</i>	?	?
<b>Q</b>	Pequeños lagos húmicos	<i>Gonyostomum sp.</i>	Elevado color	?

## Anexo 2: Composición fitoplanctónica del lago Budi año 2004. (Basualto y col 2006).

Table 1. Species present among the phytoplankton of the Lake Budi during the sampling periods.

	Rio Budi		Temo		Allipen		Comé		Bollecó		Botapullí		Deume 1		Deume 2		Deume 3	
	July 2004	January 2005																
<b>Cyanophyceae</b>																		
<i>Anabaenopsis eleutheri</i>												+						
<i>Anabaena variabilis</i>	+			+	+	+	+					+		+				+
<i>Lyngbya</i> sp.	+		+	+		+			+	+	+		+	+	+	+	+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+
<i>Nodularia spumigena</i>	+		+					+				+		+		+		+
<b>Bacillariophyceae</b>																		
<i>Asterionella formosa</i>					+		+				+							
<i>Atilacoseta granulata</i>															+			
<i>Atilacoseta</i> sp.	+		+		+		+	+	+		+		+			+		+
<i>Chaetoceros</i> sp.																		+
<i>Cocconeis placanula</i>	+	+		+	+	+										+		
<i>Cocconeis</i> sp.		+				+						+						
<i>Cyclotella</i> sp.			+													+		
<i>Cymbella</i> sp.			+	+			+											
<i>Epirhemia adnata</i>						+								+				
<i>Fragilaria acus</i>						+												
<i>Fragilaria</i> sp.			+	+	+				+		+		+	+				+
<i>Tabellaria</i> sp.			+	+			+		+		+		+		+	+	+	+
<i>Fragilaria ulna</i>	+		+									+	+	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema acuminatum</i>				+														
<i>Gyrodinium fasciola</i>				+														
<i>Gyrodinium spenceri</i>	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Melosira numuloides</i>						+			+		+		+		+	+	+	+
<i>Melosira varians</i>				+			+		+		+		+		+	+	+	+
<i>Navicula</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+		+	+
<i>Nitzschia paradoxa</i>		+		+		+												
<i>Nitzschia signoides</i>				+		+			+							+		+
<i>Nitzschia</i> sp.													+		+		+	+
<i>Fimularia major</i>							+											
<i>Rhopalodia musculus</i>						+												
<i>Surirella ovata</i>		+	+	+		+	+				+	+						
<i>Surirella</i> sp.				+			+		+	+	+					+	+	+
<b>Cryptophyceae</b>																		
<i>Cryptomonas</i>																		
<i>Rhodomonas lacustris</i>																		
<b>Euglenophyceae</b>																		
<i>Euglena</i> sp.	+		+	+	+	+	+				+		+		+			+
<i>Phacus</i>				+														
<b>Dinophyceae</b>																		
<i>Peridinium</i> sp.						+												
<b>Chlorophyceae</b>																		
<i>Coelastrum pseudocarpum</i>														+				
<i>Cosmarium</i> sp.																		
<i>Coelastrum aciculare</i>				+														
<i>Eudorina elegans</i>																		
<i>Oedogonium</i> sp.	+		+						+	+		+						+
<i>Pediastrum duplex</i>				+			+											
<i>Scenedesmus acuminatus</i>				+														
<i>Scenedesmus eornis</i>	+		+		+		+									+		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	+			+	+		+	+						+	+			
<i>Staurastrum sebaldii</i>				+														
<i>Sprogyra</i> sp.					+		+					+						