

UCH-FC
B. Ambiental
M971
C.1



**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE**



**“PRESENCIA DE LA DIATOMEA INVASORA
DIDYMOSPHEA GEMINATA EN EL FITOPLANCTON DE
LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES CHILENOS DE LAS
REGIONES XIV, X, XI Y XII”**

Seminario de Título
entregado a la
Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al Título de
Biólogo Ambiental

PAOLA ANDREA MUÑOZ SEPÚLVEDA

Directora del Seminario de Título: Vivian Montecino Banderet
Co-directora del Seminario de Título: MCs. Ximena Molina

Marzo, 2012
Santiago, Chile.



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta.

PAOLA ANDREA MUÑOZ SEPÚLVEDA

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo Ambiental

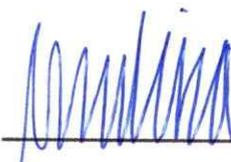
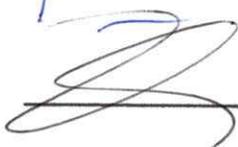
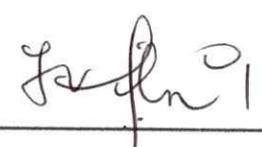
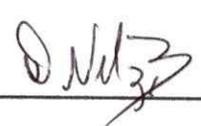
Vivian Montecino Banderet
Directora Seminario de Título

MCs. Ximena Molina Paredes
Co-directora Seminario de Título

Comisión evaluadora

MCs. Irma Vila Pinto
Presidenta Comisión

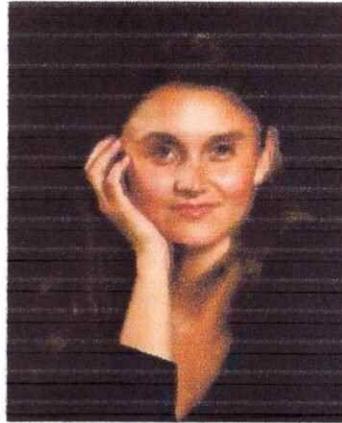
Dr. David Véliz Baeza
Evaluador



Santiago de Chile, Marzo de 2012

BIOGRAFÍA



Paola Andrea Muñoz Sepúlveda nació el 3 de Septiembre de 1983 en la ciudad de Santiago de Chile. Cursó su enseñanza básica en el Colegio Santa Rosa y posteriormente la enseñanza media en el Instituto Miguel León Prado, de la misma ciudad. El año 2004 ingresó a Bachillerato en Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Chile, y luego en el año 2007 es transferida a la carrera de Biología Ambiental de la misma universidad. Durante su último semestre se integra al laboratorio de Bio-óptica, bajo la tutela de la profesora Vivian Montecino con la finalidad de aprender sobre el fitoplancton, donde ha participado en varios proyectos ligados a los ecosistemas acuáticos. Finalmente, el año 2010 egresa como Bióloga Ambiental de la Universidad de Chile.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi tutora Vivian Montecino por todo el tiempo en el que me ha entregado su dedicación, enseñanzas, paciencia, apoyo y buena disposición. Agradecer también en Ximena Molina por sus comentarios y al profesor Ramiro Bustamante por su ayuda y simpatía durante el desarrollo de este seminario, así como también a Carolina Díaz por su buena disposición en el conocimiento que me ha entregado sobre las diatomeas.

No puedo dejar de mencionar a Ariel Valdés por su paciencia e incondicional apoyo y ayuda en la realización de este seminario, así como a mis amigos y compañeros de laboratorio.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi familia por su cariño, apoyo y consejos durante todo el transcurso del pregrado, y porque lo que soy ahora es gracias a ellos.

INDICE DE CONTENIDOS



ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCION.....	1
1. 1 Distribución.....	3
1. 2 Ciclo de vida	4
1. 3 Registro en Chile	5
1. 4 Características de la plaga.....	7
1. 5 Consecuencias de la plaga.....	8
2. HIPOTESIS DE TRABAJO	9
3. 1 Objetivo General.....	10
3. 2 Objetivos Específicos.....	10
4. MATERIALES Y METODOS.....	11
4. 1 Área de estudio.....	11
4. 2 Variables físicas y químicas.....	13
4. 3 Obtención y análisis de muestras biológicas.....	15
4. 4 Análisis estadísticos.....	17
4. 5 Análisis Comunitarios	19
4. 5. 1 Índice de Diversidad de Shannon-Wiener	19
4. 5. 2 Análisis de Equitatividad	20
4. 5. 3 Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de <i>D. geminata</i> en la comunidad fitoplanctónica.....	20
4. 5. 4 Ocurrencias de <i>D. geminata</i> a lo largo de un rango latitudinal	20
5. RESULTADOS	22
5. 1 Análisis Estadísticos	25

5. 2 Análisis Comunitarios	26
5. 2. 1 Análisis de Abundancia y diversidad	26
5. 2. 2 Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de <i>D. geminata</i> en la comunidad fitoplanctónica.....	28
5. 2. 3 Ocurrencias de <i>D. geminata</i> a lo largo de un rango latitudinal.	29
6. DISCUSION.....	32
7. CONCLUSIONES	37
8. BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXO 1.....	45
ANEXO 2.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología Análisis Químicos.....	14
Tabla 2. Resumen de los ríos muestreados con sus correspondientes características fisicoquímicas y abundancia de células de <i>D. geminata</i>	22
Tabla 3. Principales actividades antrópicas en los ríos muestreados.....	24
Tabla 4. Resultados finales del análisis GLM.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Didymosphenia geminata</i> . Objetivo 100x (Autor C. Díaz).	3
Figura 2. Distribución actual de <i>D. geminata</i> en el mundo (Modificado de Whitton y col. 2009).....	4
Figura 3. Distribución potencial de <i>D. geminata</i> en el mundo (Modificado de Spaulding y Elwell, 2007).	6
Figura 4 Ríos y cuencas muestreadas en la IX y X regiones de Chile entre 39°-40° latitud sur.....	12
Figura 5 Ríos y cuencas muestreadas en la XI y XII regiones de Chile entre 40°-52° latitud sur.....	13
Figura 6. Características y posicionamiento en un río de la Red Estándar NIWA. ..	16
Figura 7 Cámara de recuento de células Sedgwick Rafter (1) y vidrio superior (2). 17	
Figura 8. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H') en ríos ordenados latitudinalmente. Las flechas indican la presencia de <i>D. geminata</i>	27
Figura 9. Índice de Equitatividad (J) en ríos ordenados latitudinalmente. Las flechas indican la presencia de <i>D. geminata</i>	28
Figura 10. Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de <i>D.geminata</i> en la comunidad fitoplanctónica.....	29
Figura 11. Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a la presencia de NO ₃	30
Figura 12 Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a la presencia de Sílice.	30
Figura 13 Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a las horas de sol totales (Dirección Meteorológica de Chile).....	31

RESUMEN

La diatomea *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt 1899 ha adquirido mucha importancia en el último tiempo debido a su gran expansión en varios ríos de las regiones templadas alrededor del mundo. Chile también se ha visto afectado por la presencia de *D. geminata* en los ríos del sur en las regiones X y XI, siendo esperable que impacte negativamente la sustentabilidad de las cuencas, como sobre las actividades turísticas y de pesca recreativa. En este seminario se estudió si la presencia de la diatomea invasora *D. geminata* en el fitoplancton de los ecosistemas fluviales del sur de Chile, se relaciona con alguna(s) característica(s) física(s) o química(s) del agua. En cada sitio por río se midieron las variables nitrato, nitrito, fósforo, calcio, sílice, oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad eléctrica, radiación y velocidad del caudal en la columna de agua. Para realizar este estudio, se usaron los datos obtenidos durante noviembre 2010 por el proyecto "Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones XIV, X, XI y XII y elaboración de material de difusión tendiente a su control". Mediante el uso del análisis de GLM y comunitarios, se evaluó si la abundancia de *D. geminata* o comúnmente conocida como Didymo, está asociada con alguna de estas características. Los resultados indican que la abundancia de Didymo se relaciona con la mayoría de las variables analizadas de manera significativa, excepto con el calcio y la temperatura, y se destaca que se encontró presente en aquellos ríos donde se evaluó una mayor diversidad biológica de la comunidad fitoplanctónica.

ABSTRACT

The diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt 1899 has acquired a great importance in recent times due to its expansion in several rivers of temperate regions around the world. Chile has also been affected by the presence of *D. geminata* in the rivers of southern X and XI regions, being expected to impact negatively the sustainability of the basins, as on tourism and recreational fishing activities. In this paper I studied if the abundance of the invasive diatom *D. geminate* in the phytoplankton in the rivers ecosystems of southern Chile is related to any of the physical(s) or chemical(s) water characteristics. At each site by river the variables nitrate, calcium, silica, dissolved oxygen, conductivity and flow rate in the water column were quantified. To develop this study we used data obtained during November 2010 by the project "Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones XIV, X, XI y XII y elaboración de material de difusión tendiente a su control". Using statistical and community analysis, it was assessed whether the abundance of *D. geminata* or commonly known as Didymo is associated with some of these characteristics. The results indicate that the abundance of Didymo is significantly related to the variables analyzed, except calcium and temperature, and it stands out that it is present in those rivers with greater biological diversity of the phytoplankton community.

1. INTRODUCCION

El fitoplancton constituye un conjunto de productores primarios y entre los grupos más importantes se encuentran Bacilliarophyceae, Dinophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae. Desde el punto de vista de su producción, el grupo Bacilliarophyceae (diatomeas) y Dinophyceae (dinoflagelados) son los más importantes dentro del ecosistema acuático, donde las diatomeas contribuyen cerca de un 90% a la productividad primaria total, por lo que son los pilares fundamentales para el funcionamiento de estos ecosistemas.

Las diatomeas son algas microscópicas unicelulares (Wetzel, 2001) que se encuentran en todos los tipos de hábitat, donde la luz, temperatura y las condiciones químicas son favorables para su crecimiento; se distribuyen en todas las latitudes del mundo por lo que están presentes en la columna de agua de ríos, lagos, océanos, estuarios y otros ambientes acuáticos. También viven sobre diversos sustratos, en zonas húmedas, frías y aguas termales. Su pared celular, llamada frústulo o teca, se caracteriza por estar compuesta de sílice. Cada frústulo está constituido por dos partes, de forma que la superior (epiteca) recubre a la inferior (hipoteca), formando una especie de caja. En cada teca se puede distinguir una parte plana o valva y una pieza lateral (borde), la pleura o banda conectiva que, en la zona de yuxtaposición con la correspondiente a la otra teca, forma el cíngulo. Las diferentes partes del frústulo, en especial las valvas, están ornamentadas con una serie de estructuras cuya forma, disposición y número constituyen excelentes caracteres para la separación de

las especies. En algunas especies con simetría bilateral existe una estructura central que recorre toda la célula, llamada rafe (Bourrelly, 1968).

De acuerdo a su distribución, las diatomeas se pueden clasificar en continentales y marinas, y además por su permanencia en los sistemas acuáticos, pueden ser bentónicas y/o planctónicas. Las formas bénticas, en su mayoría poseen rafe que les permite presentar movimiento. Las formas bénticas o perifíticas, viven adheridas al sustrato que pueden ser rocas o piedras (epilíticas), plantas (epífitas), sobre animales (epizoicas) o dentro de animales (endozoicas). Las epífitas secretan sustancias mucilaginosas que fluyen a través de poros del frústulo o bien se adhieren al sustrato por medio de sus valvas (Fernández 1999; Manguin 1966).

La evidencia fósil sugiere que las diatomeas se originaron durante o antes del período Jurásico temprano; actualmente las diatomeas están representadas por cerca de 250 géneros y 1000 especies que muestran una amplia distribución geográfica, siendo en general cosmopolitas (Lobo y col., 2003).

Didymosphenia geminata (Lyngbye) M. Schmidt 1899 (Figura 1) es un alga microscópica béntica de agua dulce, perteneciente al grupo de las diatomeas. Una de las características más destacables del género *Didymosphenia* es su capacidad de producir pedicelos extracelulares de mucílago (tallos), el cual es producido en poros especiales presentes en alguno de los dos polos (Round y col. 1990), confiriéndole la capacidad de adherirse fuertemente a varios tipos de sustrato, ya sea rocas o la misma vegetación (Kilroy, 2006). Dicha capacidad y alta tasa de reproducción le permite formar "blooms" o extensas floraciones, lo cual la convierte no solo en una especie invasora, sino además en nociva para

el ecosistema, y a esta forma se le denomina Didymo (Spaulding & Elwell, 2007).

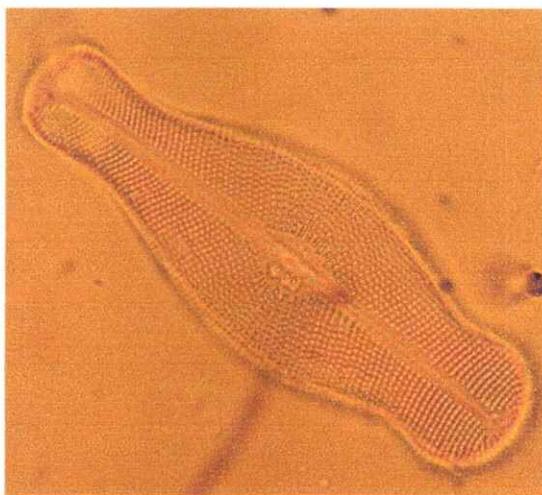


Figura 1. *Didymosphenia geminata*. Objetivo 100x (Autor C. Díaz).

El carácter invasor de *D. geminata* y su tolerancia a múltiples condiciones ambientales hacen que una vez introducida en una región amplíe constantemente su área de distribución geográfica, dentro y hacia otras cuencas.

1. 1 Distribución

La distribución de *D. geminata* a nivel mundial se registra en el Hemisferio Norte desde 1894 en Canadá, expandiéndose ampliamente en los últimos años con repetidas proliferaciones (Spaulding & Elwell, 2007). En Europa, se han detectado proliferaciones por más de 150 años en el Reino Unido; en Islandia hay registros desde principios de la década de 1990, en Polonia desde el año 2003. Actualmente su distribución alcanza el oeste de EE.UU, Inglaterra, Turquía, Ucrania, Polonia, Rumania, Hungría, Islandia, Rusia, Federación de Kirguistán, Kazajstan, China, Mongolia y Paquistán. En 2004, se reportó por

primera vez en el Hemisferio Sur, en río Waiau, Nueva Zelandia (Kilroy 2004, Kilroy y col. 2006) (Informe Técnico SubPesca 2010) (Figura 2).



Figura 2. Distribución actual de *D. geminata* en el mundo (Modificado de Whitton y col. 2009).

1. 2 Ciclo de vida

En relación al ciclo de vida de las poblaciones de *Didymosphenia* spp. éstas crecen por división celular vegetativa, donde cada una de las valvas de la célula forma una nueva valva que encaja perfectamente dentro de la valva original. En algunos estados puede ocurrir reproducción sexual, involucrando la división de la célula para la posterior formación de dos gametos haploides. Este mecanismo además de permitir que exista un intercambio de material genético principalmente, también restituye el tamaño celular a su máximo (Kilroy, 2006).

D. geminata es componente del perifiton y puede encontrarse adherida a sustrato duro o de forma libre, como células individuales sin tallo, en el cuerpo de agua (Informe Técnico SubPesca 2010). Sus proliferaciones o Didymo se conocen vulgarmente como "moco de roca", y se desarrollan en lagos, ríos y arroyos, aunque se señala que prefiere los sistemas de régimen lóxico. Didymo se encuentra particularmente en aguas oligotróficas, montañosas (Kilroy 2004) los cuales se forman en cursos de agua templados, principalmente en ríos oligotróficos donde el fósforo disponible limita la producción primaria (Sundareshwar y col., 2011). Según Whittom y colaboradores (2009), esta especie prolifera en aguas claras, someras, pobres de nutrientes, de pH neutro o levemente alcalino, en ausencia de flujo extremo y con alta luminosidad. Sin embargo, actualmente algunos autores han observado que soporta un amplio rango de condiciones ambientales, mostrando gran tolerancia a fluctuaciones en los parámetros físicos y químicos (Spaulding & Etwell, 2007).

1.3 Registro en Chile

En Chile, se observó por primera vez en los años '60 en las regiones XI y XII, en el Río Cisnes y Lago Sarmiento (Asprey y col.1964; Rivera, 1983). El 18 de mayo de 2010, la IV Dirección Zonal de la Subsecretaría de Pesca informó la presencia de Didymo en la cuenca del Río Futaleufú, Provincia de Palena, Región de Los Lagos, siendo este el primer registro de esta alga en forma masiva para América del Sur (Segura, 2011). La mayor parte del florecimiento se encontró en el Río Espolón, en un sector de intenso uso recreativo internacional. La presencia de Didymo en los efluentes fluviales de un lago podría coincidir con las observaciones en Nueva

Zelanda, mientras que para Chile también hay evidencia de la fertilización con hierro desde las cenizas del volcán Chaitén lo que habría funcionado como un elemento gatillador (Reid & Torres 2010). En general los ambientes continentales acuáticos de la Patagonia han resultado ser ambientes favorables para el desarrollo de proliferaciones de *D. geminata* (Informe final SUBPESCA 2010).

En la actualidad, la distribución de *Didymo* ha aumentado alrededor del mundo, si bien es nativa del Hemisferio Norte, se ha observado un incremento en su cobertura hacia el Hemisferio Sur (Figura 3), siendo su principal causa las actividades antrópicas, ya sean económicas, deportivas o de recreación. Además estudios basados en el modelo de nicho ecológico, indican que la distribución potencial de *Didymo* podría considerarse en todos los continentes, excepto en la Antártica, lo cual provoca riesgos de nuevas introducciones y dispersiones en ríos del Hemisferio Sur. Existe especial interés en las cuencas de Australia, Argentina, Chile y Perú, por el posible riesgo de introducción de *Didymo* como plaga (Spaulding y Elwell, 2007).

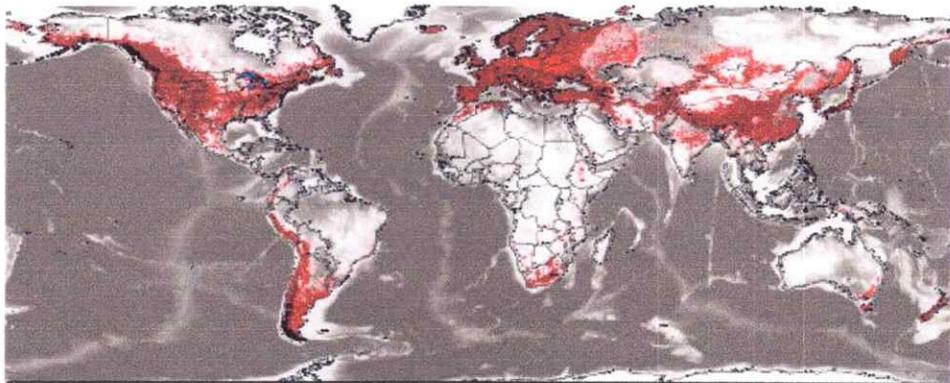


Figura 3. Distribución potencial de *D. geminata* en el mundo (Modificado de Spaulding y Elwell, 2007).

1. 4 Características de la plaga.

Durante el invierno, las células móviles se adhieren al sustrato y en primavera los pedicelos extracelulares comienzan a desarrollarse (Ellwood y col. 2007). Las colonias jóvenes dan un aspecto granuloso a la roca y sólo cuando las condiciones son óptimas se desarrollan las proyecciones mucilaginosas o tallos (Biosecurity New Zealand, 2006). Esta condición impide el crecimiento de otras algas que utilizan el sustrato como medio de fijación, lo que repercutiría en las tramas tróficas de los sistemas invadidos (Whitton y col., 2009, Reid y col. 2010 Informe CIEN).

En síntesis, *Didymo* posee una serie de características para ser considerada una plaga para Chile, entre las cuales están:

- Es una especie exótica e invasiva, por lo que es muy difícil de erradicar y de capacidad expansiva en escalas de tiempo cortas.
- Su presencia modificaría las características de los ecosistemas acuáticos alterando el desarrollo de otras especies acuáticas, generando pérdida de hábitat y por lo tanto de biodiversidad.
- La proliferación del alga alteraría las tramas tróficas.
- Su vía de dispersión principal sería el vector humano, por actividades recreativas en los ríos tales como pesca deportiva, navegación y deportes náuticos.

En nuestro país se considera una plaga por la definición en el Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas (REPLA) (D.S.345/2005), la cual corresponde a "la población de una especie hidrobiológica que por su abundancia o densidad puede causar efectos negativos en la salud humana, en las especies hidrobiológicas o en

el medio, originando detrimento de las actividades pesqueras extractivas o de acuicultura y pérdidas económicas" (Art. N°3, D.S. N° 345/2005 REPLA).

1.5 Consecuencias de la plaga.

Se ha observado que una de las consecuencias de la floración y proliferación de diatomeas causaría una disminución de la disponibilidad de oxígeno en el medio y de pH, y un aumento de las concentraciones de nutrientes. Un incremento de la materia orgánica altera el proceso de ciclado de nutrientes, como por ejemplo el flujo del carbono, lo cual repercute a su vez en el equilibrio de la estructura trófica y la disponibilidad de hábitat, e incide en el proceso reproductivo de la fauna (Whitton y col. 2009). Finalmente, su rápida expansión trae consecuencias negativas con implicancias ecológicas, económicas, sociales y estéticas (Kilroy, 2005 y 2006; Kilroy y col. 2004, 2005 a; Kilroy & Dale, 2006; Campbell 2005, Branson 2006). Esto podría constituir una amenaza para los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla, al disminuir la salud del ecosistema y por tanto los servicios ecosistémicos, como la provisión de agua, afectando el desarrollo de la cuenca, y su sustentabilidad ambiental y recreativa.

En relación a la estrategia de control de *D. geminata*, Kilroy (2004) señala que una vez que esta especie está establecida en un ecosistema es muy difícil su erradicación, de manera que lo más apropiado es buscar alternativas que eviten su introducción y dispersión.

Dados los antecedentes expuestos surge la importancia de conocer las condiciones de desarrollo de esta diatomea invasora y cual es su distribución en nuestro país,

con la finalidad de construir mapas de riesgo y desarrollar protocolos de bioseguridad para mantener un bajo crecimiento poblacional de modo de evitar floraciones extensivas y su dispersión a ríos libres de plaga.

2. HIPOTESIS DE TRABAJO

H₀: La abundancia de la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton de los sistemas fluviales del sur de Chile, entre los 39° 57' S y los 52° 12' S, no se asocia con variables físicas y químicas.

H₁: La abundancia de la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton de los sistemas fluviales del sur de Chile, entre los 39° 57' S y los 52° 12' S, se asocia con una o varias variables físicas y químicas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Evaluar si la abundancia y distribución de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton de los ecosistemas fluviales de Chile se relaciona con alguna(s) característica(s) física(s) y/o química(s) del cuerpo de agua o una característica climática de la zona.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la abundancia de *D. geminata* en los ríos del sur de Chile, entre los 39° 57' °S y los 52° 12' °S.
- Describir las características físicas y químicas para cada sitio prospectado.
- Determinar la distribución de *D. geminata* en los ríos del sur de Chile, entre los 39° 57' °S y los 52° 12' °S.
- Estimar la abundancia relativa de *D. geminata* en el fitoplancton y relacionarla con las variables físicas y químicas de cada ecosistema fluvial.
- Determinar los parámetros comunitarios (riqueza, dominancia, diversidad) del fitoplancton en los distintos ríos analizados.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Área de estudio

Los 24 ríos muestreados en este estudio abarcan un rango latitudinal desde los 39° 57' °S a los 52° 12' °S entre las regiones XIV, X, XI y XII (Figura 4 y 5), las cuales corresponden a las zonas hidrográficas 4, 5 y 6. La zona 4 corresponde a ríos tranquilos con regulación lacustre, en la zona húmeda de Chile, mientras que la zona 5 corresponde a ríos caudalosos de la Patagonia Septentrional de Chile, donde las precipitaciones adquieren gran importancia. Entre tanto la zona 6 corresponde a los campos de Hielo de la Patagonia meridional, la cual incorpora grandes lagos de origen glacial que desaguan en el océano Pacífico (http://www.educarchile.cl/portal.herramientas/nuestros_sitios/bdrios/sitio/rios/rios).

Esta cobertura se debe a que durante el año 2010, tanto en la cuenca de Aysén como en la de Futaleufú, se reportaron floraciones de *Didymo* (Subsecretaría de Pesca I.F. D.AC. 2064/2010), por lo que toda el área constituiría hábitats favorables para el desarrollo del alga en forma masiva, según lo señalado por algunos autores quienes han propuesto que *Didymo* habitaría ambientes prístinos o de baja perturbación (Jónsson y col. 2000, Sherbot & Bothwell, 1993). Consecuentemente, estas floraciones podrían extenderse al sur y al norte de las regiones de los Lagos y Aysén, y a otros cuerpos de agua de las regiones XIV y XII.

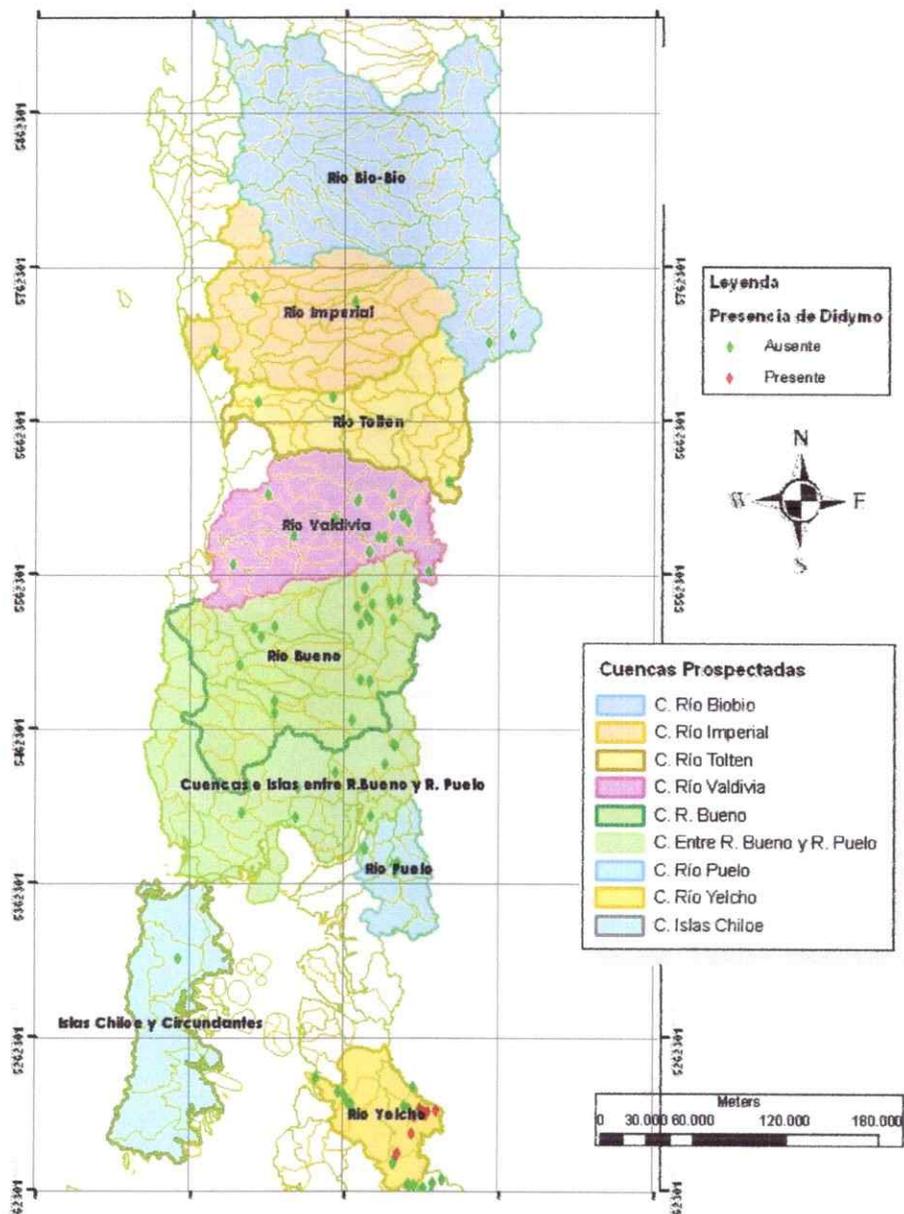


Figura 4 Ríos y cuencas muestreadas en la IX y X regiones de Chile entre 39°-40° latitud sur.

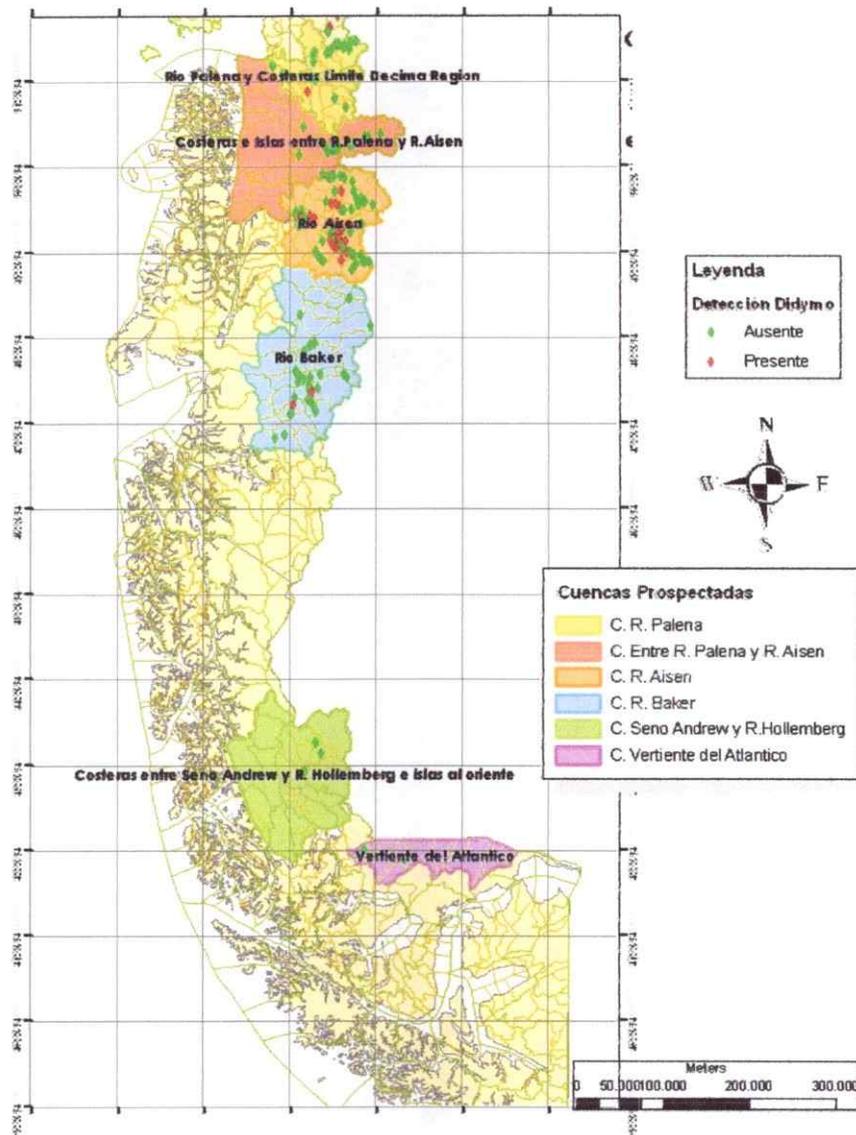


Figura 5 Ríos y cuencas muestreadas en la XI y XII regiones de Chile entre 40°-52° latitud sur.

4. 2 Variables físicas y químicas.

a) Variables determinadas *in situ*: pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto y radiación solar superficial. Para medir el pH se utilizó un

potenciómetro Modelo pHep 4 (HI 98127); para la conductividad un conductímetro Modelo Dist 5 (HI 98311); para medir la temperatura se utilizó un equipo multiparámetro Hanna Instruments, Modelo pHep 4 (HI 98127); para medir el oxígeno disuelto se utilizó un oxigenómetro portátil y finalmente para la radiación solar superficial se utilizó un luxómetro, previamente calibrado con un cuantómetro. Los instrumentos utilizados fueron calibrados antes de su uso en terreno, con soluciones de referencia, obtenidas del laboratorio de POCH.Ambiental S.A., sede Puerto Montt.

b) Toma de muestras de agua superficial para la determinación de nitrato, fósforo orgánico e inorgánico, silicato, y calcio. El procedimiento de toma de muestras de agua superficial y preservación de ellas, se realizó de acuerdo a lo establecido en la NCh 411/2 Of. 96, NCh 411/3 Of. 96 y NCh 411/6 Of. 98 y el análisis en el laboratorio de acuerdo al Standard Methods (2005), indicado en la tabla 1. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Limnología química de la Universidad de Chile y en laboratorio de Agriquem (AGQ) acreditado a la NCh 17025, Of. 2005.

Tabla 1. Metodología Análisis Químicos.

Componentes	Métodos
Calcio	SM 3120 B en Standard Methods 21 th . Ed., 2005
Nitrato	Método Colorimétrico, en Standard Methods 21 th . Ed., 2005
Nitrito	Método Colorimétrico, en Standard Methods 21 th . Ed., 2005
Fósforo orgánico	SM 3120 B en Standard Methods 21 th . Ed., 2005
Fósforo inorgánico	SM 3120 B en Standard Methods 21 th . Ed., 2005
Sílice	4500-SiO ₂ en Standard Methods 21 th . Ed., 2005

c) Estimación de la velocidad del caudal V (m^3/s) y de la profundidad del sitio para estimar el caudal en el tramo seleccionado. Se estimaron perfiles batimétricos con los cuales se calcularon el área transversal (m^2) y la velocidad media en el tramo se obtuvo en base a la velocidad superficial (m/s), por medio de la estimación del recorrido de un derivador en un tramo entre 10 a 25 m, según la longitud del tramo establecida por cada sitio. Cabe destacar que la velocidad superficial se pondera por 0,85 (Dingman, 1994) y se obtiene la velocidad media. Con el perfil batimétrico y la determinación de la velocidad media se calculó el caudal en cada sector, para finalmente obtener la estimación del caudal total mediante la suma de sus parciales.

4. 3 Obtención y análisis de muestras biológicas.

Se recolectaron muestras biológicas para analizar el fitoplancton para un total de 24 sistemas hídricos distribuidos en la zona de interés. Para su recolección, se utilizó una red de fitoplancton de apertura de malla de 40 μm (Figura 6), la que fue suspendida en el flujo durante 15 minutos para detectar presencia de *D. geminata* en el plancton y analizar el fitoplancton acompañante. Las muestras recolectadas fueron preservadas en una solución de Lugol al 4 % en un frasco de PVC hermético debidamente etiquetado para su posterior transporte al laboratorio.

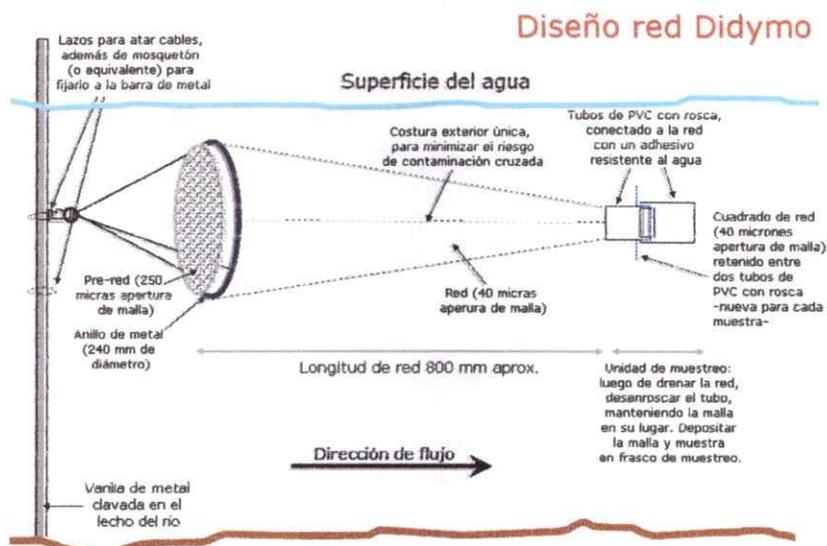


Figura 6. Características y posicionamiento en un río de la Red Estándar NIWA.

Cada muestra se separó a) en tubo Eppendorf y b) en criovial para:

- a) Análisis cualitativo (por gotas y 400x).
- b) Recuento directo de *D. geminata* y del fitoplancton acompañante en cámara Sedgwick Rafter de 1 ml de muestras originales o diluidas (si corresponde) y homogenizadas.

En cada muestra planctónica, se realizó el recuento de diatomeas y otros taxa considerando un número mínimo de 200 células totales del taxón mas abundante, con anotación del volumen analizado de acuerdo con los transectos recorridos en la cámara Sedgwick Rafter (20 microlitros por transecto) (Figura 7). El resultado de los recuentos se muestra en el Anexo 1.

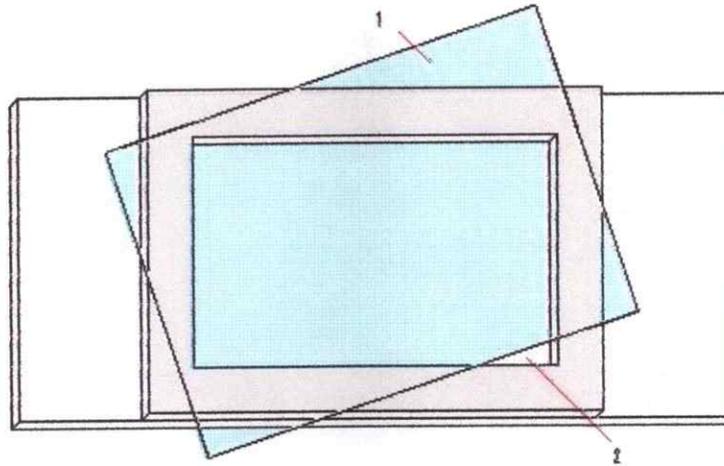


Figura 7 Cámara de recuento de células Sedgwick Rafter (1) y vidrio superior (2).

Previamente cada muestra cualitativa (gotas) se analizó sobre portaobjeto con aumento objetivo 40x para identificación y registro fotográfico (Anexo 2). La identificación de los taxa se realizó por microscopía con contraste de fases (Olympus BX40) y literatura taxonómica pertinente.

Luego de los recuentos, se estimó la abundancia relativa de *Didymo* (en %) y se confeccionó un listado de fitoplancton acompañante en cada una de las estaciones.

4. 4 Análisis estadísticos

Se obtuvo un set de datos de 24 sitios muestreados, con ocho variables físicas y químicas seleccionadas, que incluyen calcio (mg/L), nitrato (mg/L), sílice (mg/L), temperatura del agua (°C), pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (mg/L) y velocidad de caudal (m^3/s). Los datos de fósforo no fueron considerados debido a que la metodología utilizada poseía un bajo límite de detección, por ende todos los

sitios muestreados tienen el mismo valor. Por la calidad de los datos se descartó también radiación aérea, temperatura del aire y humedad relativa.

Con los datos previamente tabulados, se procedió a realizar los análisis estadísticos, utilizando el software R-project versión 2.12.2 (<http://www.r-project.org/>).

El primer paso fue comprobar la normalidad de los datos, donde la variable respuesta corresponde a la abundancia de *D. geminata*. Para ello se usó el test de Shapiro-Wilk (1965), debido a que es un test adecuado para el contraste de la normalidad para muestras pequeñas ($n < 30$). Este test plantea como hipótesis nula que la muestra proviene de una población normalmente distribuida, entonces:

H_0 : los datos tienen una distribución normal.

H_1 : los datos no tienen una distribución normal.

Debido a que los datos no poseían una distribución normal, se procedió a realizar un análisis GLM (GLM de las siglas en Inglés de *Generalized Linear Models*), de correlación para datos no paramétricos, utilizando un ajuste para una distribución de Poisson.

Los GLM generalizan modelos de regresión lineal, incluyendo el modelo de regresión múltiple con variables cualitativas y cuantitativas, y varias distribuciones de la familia exponencial, por lo que incluye todos los modelos del análisis de varianza y covarianza. Se utilizan cuando la variable respuesta es un recuento de casos (Ej. abundancia de una especie), un recuento de casos expresados como proporciones o una respuesta binaria. Su objetivo es analizar un modelo que

pretende explicar el comportamiento de una variable (dependiente Y) utilizando la información proporcionada por los valores tomados de un conjunto de variables explicativas. Para este caso, la variable dependiente corresponde a la abundancia de *D. geminata* y las posibles variables explicativas a los factores físico-químicos, utilizando una distribución de Poisson.

Luego, se realizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) (Akaike, 1993), el cual consiste en escoger el modelo que presenta el valor mas pequeño entre todos los modelos evaluados, siendo éste el que muestra el mejor ajuste a los datos (Posada, 2008). Posteriormente el valor obtenido fue analizado estadísticamente usando un análisis de la varianza (ANOVA) y un Chi-cuadrado (χ^2).

4. 5 Análisis Comunitarios

4. 5. 1 Índice de Diversidad de Shannon-Wiener

Para cuantificar la diversidad en los ríos muestreados, se utilizo el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H'), el cual relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie presente en la muestra.

$$H' = -\sum(p_i)(\log_2 p_i)$$

Donde H' =diversidad de especies y p_i =proporción de individuos de una especie sobre el total de individuos (Smith 2001).

4. 5. 2 Análisis de Equitatividad

Para establecer los resultados en una escala de valores de 0 a 1, se utilizó el Índice de Equitatividad (J), donde se calculó H_{\max} ; esto es:

$$H_{\max} = I_n S \quad \text{siendo } S: \text{ n}^\circ \text{ de especies}$$

Finalmente se tiene que:

$$J = H/H_{\max} \text{ (Smith 2001)}$$

4. 5. 3 Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de *D. geminata* en la comunidad fitoplanctónica

Para realizar este análisis los taxos encontrados en los ríos muestreados se agruparon en siete categorías: Didymo, Diatomeas, Clorofíceas, Crisofíceas, Cianobacterias, Dinofíceas y otros, las cuales corresponden a la división de clase. Se sumaron las abundancias de cada uno de ellos en los diferentes ríos de cada región analizada.

4. 5. 4 Ocurrencias de *D. geminata* a lo largo de un rango latitudinal

Para determinar en que zona del rango latitudinal donde se realizó el muestreo presentaba las mayores ocurrencias de Didymo, se procedió a determinar las ocurrencias de Didymo en cada región asignándole un 1 cuando estaba presente y un 0 cuando no lo estaba. Finalmente, la suma algebraica de las ocurrencias se llevó a valores de porcentaje.

Para contrastar el resultado anterior con la variable química nitrato, se procedió a sumar las cantidades de nitrato presentes en cada río de cada región. Lo mismo se hizo al contrastar las ocurrencias de Didymo con la sílice presente en el medio.

Posteriormente se realizó el mismo análisis pero tomando en cuenta una variable climática, que en este caso fueron las horas de sol totales, para lo cual se utilizó la base de datos de la Dirección Meteorológica de Chile, en donde se promediaron los datos de los meses de agosto hasta enero, de los años 2008, 2009 y 2010, en las localidades de Valdivia, Puerto Montt, Coyhaique y Punta Arenas.

5. RESULTADOS

Las variables físicas y químicas determinadas para cada río se presentan en la Tabla 2 junto con la abundancia de *D. geminata*, donde se observó su presencia en el fitoplancton tanto en la X como en la XI región, siendo en esta última donde en el río Emperador Guillermo se midió su máxima abundancia.

Tabla 2. Resumen de los ríos muestreados con sus correspondientes características fisicoquímicas y abundancia de células de *D. geminata*.

Región	Sitio	Coordenadas GPS	Didy(cal ml ⁻¹)	Ca(mgL ⁻¹)	NO3(mgL ⁻¹)	Si(mgL ⁻¹)
XIV(Los Ríos)	Futa	S 39° 57'01,3" W 73° 11'23,3"	0	0.1	2.6	12.6
	Fuy	S 39° 51'09,3" W 71° 55'18,8"	0	4.2	2.9	38.8
	San Pedro	S 39° 47'55,2" W 72° 43'08,9"	0	2.9	2.7	33.5
	Cruces	S 39° 33'08,4" W 72° 54'03,4"	0	1.0	2.5	42.4
	Bueno	S 40° 18'32,9" W 73° 02'58,4"	0	4.6	2.4	37.6
	Ñihue	S 40° 18'11,8" W 72° 09'53,9"	0	4.7	3.5	81.2
X(Los Lagos)	Golgol	S 40° 39'38,4" W 72° 15'13,2"	0	1.0	2.5	43.0
	Rahue	S 40° 45'49,5" W 72° 55'15,0"	0	3.0	2.4	32.9
	Futaleufú	S 43° 11'34,7" W 71° 50'28,6"	9	4.0	2.3	16.2
	Espolón	S 43° 11'35,2" W 71° 52'15,3"	16	3.5	2.1	14.4
	Petrohué	S 41° 11'42,4" W 72° 28'28,2"	3	6.0	6.8	32.3
	Puelo	S 41° 38'43,9" W 72° 16'20,8"	0	10.8	2.2	18.6
XI(Aysén)	Blanco	S 45° 24'39,7" W 72° 35'20,4"	0	2.2	0.3	28.7
	Coyhaique	S 45° 32'24,4" W 71° 55'02,0"	0	10.1	0.4	43.6
	Simpson	S 45° 25'28,7" W 72° 25'38,6"	138	6.8	1.3	32.3
	Emp.Gmo	S 45° 16'55,5" W 72° 10'54,2"	3769	9.8	0.6	28.7
	Ñirehuo	S 45° 09'40,5" W 72° 01'09,7"	0	6.8	2.7	25.7
	Cisnes	S 44° 43'38,1" W 72° 07'29,1"	0	1.0	1.3	16.8
	Baker	S 47° 28'46,7" W 72° 56'43,3"	0	10.1	0.2	7.2
XII(Magallanes)	Penitentes	S 52° 12'20,7" W 71° 23'47,2"	0	4.9	2.1	76.4
	Rubens	S 52° 05'40,0" W 72° 03'45,1"	0	9.1	0.1	30.5
	Serrano	S 51° 14'25,5" W 73° 00'15,8"	0	9.7	1.9	9.0
	Paine	S 50° 56'23,8" W 72° 47'35,9"	0	10.7	2.1	6.6
	Sarmiento	S 51° 03'35,6" W 72° 43'08,6"	0	43.3	4.2	16.2

Región	Sitio	T°(°C)	pH	CE(μScm^{-1})	O ₂ (mgL ⁻¹)	O ₂ (%)	V(m ³ s ⁻¹)
XIV(Los Ríos)	Futa	13	8.3	17.0	10.3	97.4	216.1
	Fuy	10	8.3	34.0	11.4	101.3	101.7
	San Pedro	14	8.3	35.0	10.5	100.5	93.2
	Cruces	14	8.3	53.0	9.8	94.4	28.3
	Bueno	13	8.2	50.0	10.7	102.1	158.2
	Ñlahue	9	8.0	85.0	12.1	102.7	75.4
X(Los Lagos)	Gol Gol	7	8.5	23.0	12.1	100.4	56.1
	Rahue	11	8.2	40.0	10.6	95.9	101.3
	Futaleufú	11	6.7	27.0	10.3	91.0	14.0
	Espolón	13	8.5	29.0	10.9	101	118.2
	Petrohué	12	8.8	30.0	10.7	99.4	250.9
	Puelo	11	8.5	33.0	10.7	97.3	133.8
XI(Aysén)	Blanco	10	8.8	18.0	12.8	112.7	88.1
	Coyhaique	11	7.0	40.0	10.0	91.2	34.1
	Simpson	10	8.3	37.0	11.5	101.2	243.2
	Emp.Gmo	10	8.4	25.0	11.3	97.6	77.2
	Ñirehuao	10	8.5	32.0	11.1	101.5	69.7
	Cisnes	10	8.8	11.0	10.3	93.8	401.0
	Baker	8	8.1	42.0	11.3	95.4	2477.2
XII(Magallanes)	Penitentes	9	8.3	60.0	12.1	103.4	7.0
	Rubens	8	8.5	34.0	11.0	92.5	13.9
	Serrano	7	8.2	62.0	12.0	99.2	155.1
	Paine	10	8.2	33.0	11.7	102	57.2
	Sarmiento	8	8.6	1112.0	12.0	102.2	216.1

En la Tabla 3 se detallan las principales actividades antrópicas que se realizan en cada lugar siendo estas muy similares entre los sitios con presencia *Didymo*, donde la actividad común para los cuatro ríos corresponde a la pesca deportiva.

En general en la mayoría de los ríos se desarrollan actividades turísticas, las cuales se incrementan en la época estival.

Tabla 3. Principales actividades antrópicas en los ríos muestreados.

Región	Ríos	Pesca deportiva	Kayak	Rafting	Canoa	Embarcaciones	Turismo	C/Didymo
XIV de los Ríos	Cruces	x	x			x	x	
	Futa	x				x	x	
	Fuy		x	x			x	
	San Pedro	x		x			x	
	Ninatue	x						
	Bueno	x				x	x	
X de los Lagos	Gol Gol	x						
	Futaleufú		x	x				x
	Espolón	x	x	x	x			x
	Petrohué	x					x	
	Puelo	x	x				x	
XI Aysén	Blanco	x						
	Coyhaique	x	x	x			x	
	Simpson	x	x	x			x	x
	Emp. Gmo.	x						x
	Nirehuao	x						
	Cisnes	x				x		
	Baker	x	x	x			x	
XII Magallanes	Rubens	x						
	Serrano	x	x	x	x		x	
	Paine	x	x				x	
	L.Sammlento	x					x	

5. 1 Análisis Estadísticos

Al comprobar la normalidad del set de datos utilizado, se rechazó la hipótesis de nulidad con un valor de $p < 0.05$ ($p\text{-value} = 2.707e-10$). Por lo tanto, los datos no presentan una distribución normal.

El modelo propuesto en el GLM corresponde a (Didy ~ Ca + Nit + Si + Temp + Ox + CE + pH+V family = poisson), donde se observó que la abundancia de Didymo se relaciona con la mayoría de las variables fisicoquímicas, excepto con la temperatura.

El modelo inicial presentó un valor de AIC= 1098.94, el cual al ser mejorado utilizando el Criterio de Información de Akaike (AIC), obtuvo un valor AIC= 1096.94, en donde se eliminaron las variables calcio y temperatura, ya que no aportaba en el modelo propuesto. El modelo final quedó expresado como (formula = Didy ~Nit+ Si + Ox +pH + CE + V, family = poisson).

Finalmente, se realizó un ANOVA y un Chi^2 para determinar la significancia estadística del resultado obtenido anteriormente, donde se muestra con un 100% de confianza, que las variables físicas y químicas nitrato, sílice, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y la velocidad de caudal se relacionan con la abundancia de Didymo, siendo la conductividad eléctrica y el nitrato las que explican un mayor porcentaje de la devianza (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados finales del análisis GLM.

Variable	Coef.	%Dev	
Nitrato	0.77	10.6	***
Silice	0.27	0.08	***
Oxígeno disuelto	3.7	0.42	***
pH	-3.94	1.82	***
CE	-0.49	26.9	***
V	0.003	1.7	***
Total		41.52	
Código significancia	*=0.05	**=0.01	***=0.00

5. 2 Análisis Comunitarios

5. 2. 1 Análisis de Abundancia y diversidad

En el anexo 1 se presentan las abundancias de cada taxa en el fitoplancton de cada río muestreado.

Los resultados del análisis de diversidad, utilizando el índice de Shannon-Wiener (H'), muestran que aquellos sitios en donde se detectó la presencia de *Didymo*, poseen altos valores de diversidad biológica. Estos son los ríos Futaleufú, Simpson, Emperador Guillermo y Espolón, en las regiones de Los Lagos y Aysén respectivamente (Figura 8).

Índice de Diversidad Sh-W (H')

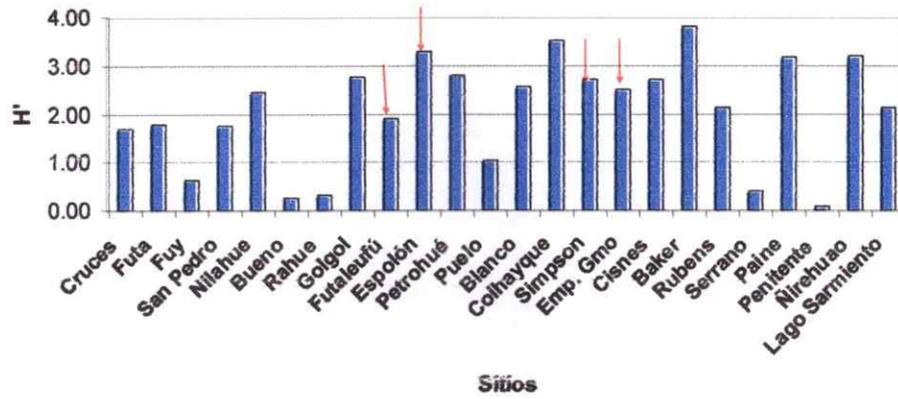


Figura 8. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H') en ríos ordenados latitudinalmente. Las flechas indican la presencia de *D. geminata*.

Por otra parte, al realizar el análisis de Equitatividad (J) se observa que aquellos sitios donde la riqueza de especies fue menor son los que poseen un mayor índice de Equitatividad, es decir en los ríos Futa y Baker (Figura 9).

Índice de Equitatividad (J)

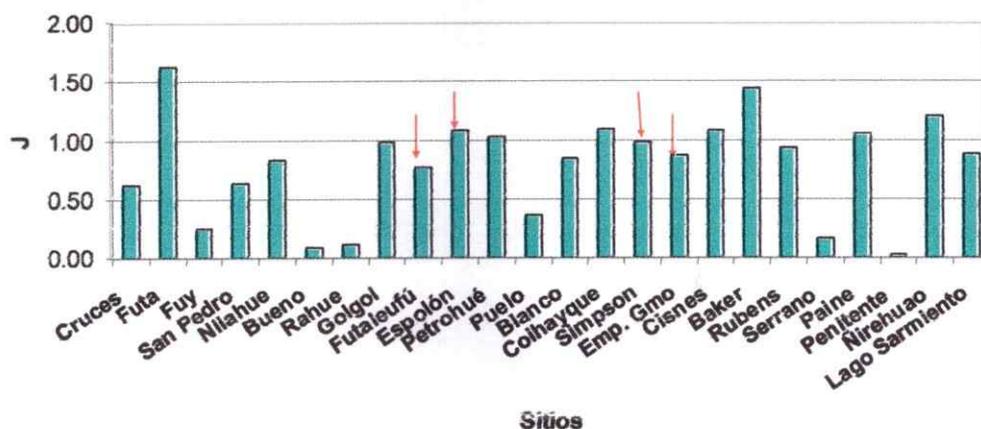


Figura 9. Índice de Equitatividad (J) en ríos ordenados latitudinalmente. Las flechas indican la presencia de *D. geminata*.

5. 2. 2 Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de *D. geminata* en la comunidad fitoplanctónica.

En la figura 10 se muestra la abundancia de los diferentes grupos encontrados en el fitoplancton de los ríos analizados, ordenados según la región geográfica. Se observa que *Didymo* fue más dominante en la región de Aysén que en la región de los Lagos y a su vez son las diatomeas el grupo dominante en tres de las regiones analizadas (Ver fotos de las especies en el Anexo 2).

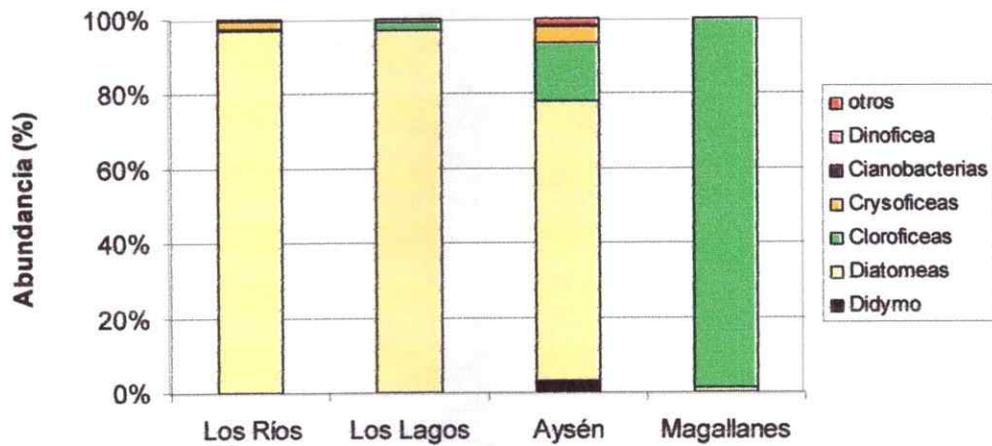


Figura 10. Abundancia en porcentaje (%) de los diferentes grupos y presencia de *D.geminata* en la comunidad fitoplanctónica.

5. 2. 3 Ocurrencias de *D. geminata* a lo largo de un rango latitudinal.

La figura 11 muestra los resultados obtenidos en ríos de distintas latitudes, se puede observar que las ocurrencias de *D. geminata* a lo largo del rango latitudinal se concentran en los sectores medios, lo cual al ser contrastado con la cantidad de nitrato presente en el ambiente, refleja una relación inversa, es decir, en los puntos donde hay una mayor ocurrencia de *D. geminata*, hay una menor cantidad de nitrato.

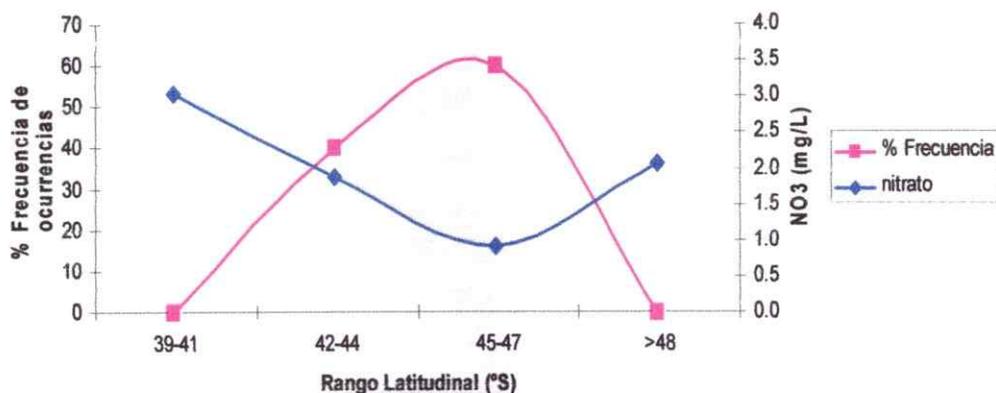


Figura 11. Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a la presencia de NO_3 .

Al realizar el mismo análisis, pero al contrastar las ocurrencias de Didymo con la cantidad de sílice presente, se observa que aquellos sitios donde se detectó la presencia de Didymo poseen valores bajos de sílice en relación con los sitios donde no hubo presencia de esta microalga.

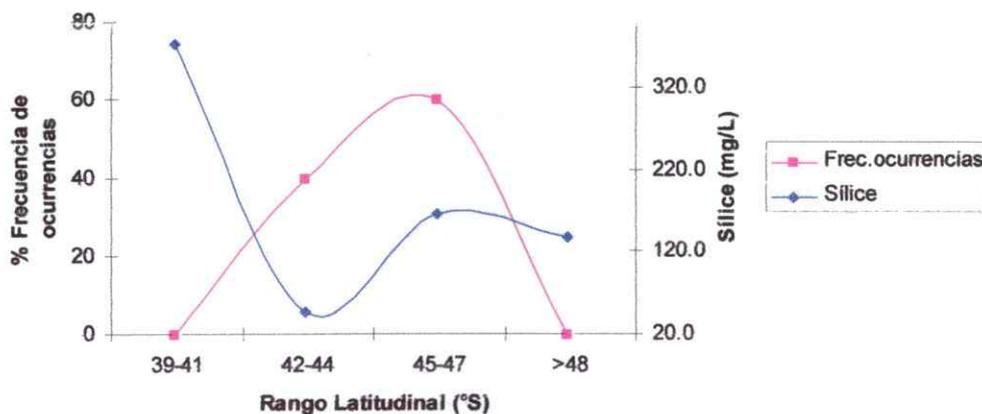


Figura 12 Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a la presencia de Sílice.

Al realizar el mismo análisis, pero contrastándolo con alguna variable climática sub-aérea, en este caso, las horas de sol totales, se observa un comportamiento similar, en donde en los puntos que presentan ocurrencias de Didymo, se observa que las horas de sol totales disminuyen con la latitud y que donde no se encontró Didymo se presenta la máxima y la mínima radiación (Valdivia y Punta Arenas) (Figura 13).

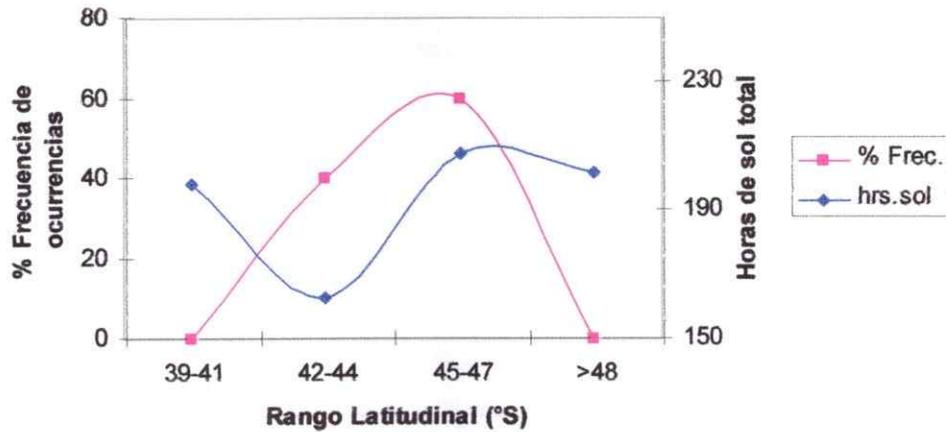


Figura 13 Frecuencia de ocurrencias de Didymo a lo largo del rango latitudinal, en relación a las horas de sol totales (Dirección Meteorológica de Chile).

6. DISCUSION

Los antecedentes físicos y químicos utilizados en el análisis de modelo lineal generalizado (GLM) dan cuenta que las variables utilizadas que están influyendo significativamente en la abundancia de *D. geminata* colectado en el fitoplancton de los ríos donde se detectó su presencia, son el nitrato, la sílice, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la velocidad de caudal (Tabla 4).

Este resultado está dando cuenta de que todos los sistemas analizados presentan características físicas y químicas propias y que ninguna de éstas estaría afectando directa y únicamente la abundancia de *Didymo* en los sistemas fluviales del sur de Chile, lo cual coincide con lo señalado por la literatura, donde no se ha encontrado relación significativa entre variables físicas y químicas y la presencia de esta microalga. Cabe destacar que habría sido interesante contar con datos de fósforo en los sitios donde se detectó la presencia de *Didymo*, debido a que en el trabajo de Bothwell y Kilroy (2011) se señala que si bien las proliferaciones se asocian a ambientes oligotróficos, las células se dividen más rápido en presencia de elevadas concentraciones de fósforo.

Los ríos de Aysén presentan baja concentración de compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos, debido a la alta pluviometría, bajo nivel de industrialización y de poblamiento regional. Además, las aguas de esta región se caracterizan por poseer una baja conductividad, con bajas concentraciones de iones, lo cual las hace ser aguas muy puras de clase excepcional (Gómez, 2005). Esto hace referencia a la cantidad de nutrientes presentes en el medio, donde se señala que la cuenca del río Aysén presentaría características de oligotrofia (Marín y col. 2008), ambiente que según Sundareshwar y colaboradores (2011) se señala como favorable para el

desarrollo de esta microalga, donde las proliferaciones ocurren donde la disponibilidad de fósforo típicamente limita la producción primaria. En este sentido estaría ocurriendo un proceso biogeoquímico, donde las proliferaciones de *Didymo* concentrarían el fósforo presente en el sistema y luego mediante reacciones enzimáticas y bacterianas aumentaría la disponibilidad biológica de fósforo, lo cual incrementa las cantidades de este nutriente para el crecimiento celular (Informe Subpesca 2011).

Las diatomeas consumen los nutrientes como los nitratos y silicatos para crecer, así también lo hace el resto de la comunidad fitoplanctónica que consumen mayoritariamente nitrato y fosfato. Al ser el nitrato la forma más oxidada, abundante y asimilable de nitrógeno por parte de la comunidad fitoplanctónica, en aquellas regiones donde se encontró la máxima abundancia de *Didymo*, es donde la proporción de nitrato debiera ser menor. Esto es lo que se observa en la región de Aysén donde por ejemplo en el río Emperador Guillermo fue donde se detectó la mayor abundancia de *Didymo* y la menor proporción de nitrato.

Al contrastar la frecuencia de ocurrencias de *Didymo* con la concentración del nitrato (Figura 11) se observa que en aquellos puntos donde se detectó la presencia de *Didymo* (Los Lagos y Aysén) coincide con los puntos más bajos en la cantidad de nitrato en el ambiente, lo cual estaría apoyando el consumo de este nutriente por parte de la comunidad fitoplanctónica y de esta especie.

Al realizar el mismo ejercicio pero contrastándolo con la sílice presente, se observa que los puntos donde hay presencia de *Didymo* (Los Lagos y Aysén), poseen valores bajos de sílice en relación al punto anterior correspondiente a la región de Los Ríos (Figura 12); esto se explica debido a que las diatomeas necesitan altos

requerimientos de sílice, nutriente esencial para su crecimiento, considerando que el contenido de sílice en diatomeas representa entre un 25-60% del peso seco.

Al existir una mayor cantidad de células de *D. geminata* que están constantemente en un proceso de crecimiento y desarrollo, van a necesitar un mayor requerimiento de aquellas sustancias que le sean útiles para expandir su población, considerando que las especies invasoras presentan altas tasas reproductoras; en este caso se observó con el nitrato y con la sílice, por lo tanto mientras mas nitrato y sílice haya en el ambiente, aumentaría el crecimiento de *Didymo* y existiría una mayor diversidad biológica, ya que habría una mayor cantidad de nutrientes presentes lo cual favorecería el asentamiento de más especies. Este fenómeno se refleja en la Figura 10, donde el grupo dominante a lo largo del rango latitudinal corresponde a las diatomeas, las cuales requieren tanto del nitrato, fósforo y sílice para su desarrollo y crecimiento.

En relación a los análisis comunitarios, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Figura 8) muestra que *Didymo* está presente en aquellos sitios donde la diversidad biológica es alta, valores que se encuentran entre 2 y 3 bits. En cuanto a la equitatividad, se observa que los ríos Futa y Baker son los que presentan los mayores valores, 1.6 y 1.4 bits respectivamente, mientras que en los sitios con presencia de *Didymo* muestran valores entre 0.5 y 1 bits. Al comparar los valores del Índice de Shannon-Wiener y de equitatividad obtenidos en otros sistemas acuáticos (Lago Nahuel Huapi y Lago Verde) presentes en latitudes similares, esto es a los 40°S (región de los Lagos en Chile), se observa que éstos presentan valores menores en ambos índices, donde Díaz y col. (1998) clasifican al lago Nahuel Huapi como oligotrófico y al Lago Verde como mesotrófico. Tanto en el caso

de estudio de este trabajo, como en el de Díaz y col. (1998) las diatomeas son el grupo dominante, seguidas de las clorofíceas.

Al parecer *D. geminata* se asentaría en ambientes con altos valores de riqueza de especies, lo que podría significar por una parte, que esta microalga requiera de la facilitación de otras especies para prosperar o, por otra parte, que ella facilite la presencia de otras especies en el bentos, que es el ambiente donde ella vive. Sin embargo, se desconoce cual es el rol de *D. geminata* en la sucesión ecológica.

En relación a los resultados obtenidos a lo largo del gradiente latitudinal en el sur de Chile, se observa que las ocurrencias de *Didymo* se ubican en la zona media de este rango, no así en los extremos, donde las condiciones ambientales serían más variables a lo largo del año o tendrían también diferente influencia antrópica o turística. En la región de los Lagos y Aysén la explotación del recurso turístico-pesquero es comparativamente mayor respecto de las otras dos regiones (<www.mardechile.cl>, 2005), lo que incidiría en una mayor probabilidad de transporte de esta especie por parte de los pescadores y fomites (embarcaciones, botas, etc). Además en estas regiones existe una mayor afluencia de turistas en la época estival para practicar diferentes deportes náuticos y recreativos, especialmente pesca deportiva, kayak y rafting (Tabla 3), lo cual también sería un medio de propagación de *Didymo*.

Al contrastar el gradiente latitudinal con las horas de sol totales, se observa entre los 45°-47°S que la frecuencia de ocurrencias de *Didymo* fue mayor y que las horas de sol son mayores en relación al tramo anterior (42°-44°S), lo que estaría dando cuenta de una preferencia por la alta luminosidad, tal como lo señala Whitton y colaboradores (2009). Estudios recientes, particularmente en los experimentos

realizados por Bothwell y Kilroy (2011) se observó que los ambientes pobres en nutrientes, sumado a una alta luminosidad, favorecen las proliferaciones de *D. geminata*.

Generar conocimiento sobre la presencia, distribución y abundancia de *Didymo* en Chile permitirá construir mapas de riesgo y desarrollar protocolos de bioseguridad para mantener un bajo crecimiento poblacional de esta alga invasora, de modo de evitar floraciones extensivas y su dispersión a ríos libres de plaga. Cabe destacar que de manera eficiente SERNAPESCA y SubPesca han sido instituciones cruciales para instaurar programas de vigilancia y seguimiento en nuestro país.

7. CONCLUSIONES

Si bien en este trabajo se observa una relación entre la abundancia de *D. geminata* y la mayoría de las variables físicas y químicas utilizadas en los análisis, lo cual coincide con la hipótesis de trabajo propuesta, no existe ninguna variable que se asocie directa y únicamente a la abundancia de esta microalga.

La literatura señala que la presencia de *Didymo* no presenta relación con los factores físicos o químicos presentes en el medio, concluyéndose que por ser una especie invasora es capaz de establecerse en un amplio rango de condiciones ambientales, dando cuenta de su alta capacidad de reproducción y desarrollo.

Según el índice de diversidad de Shannon-Wiener, *D. geminata* está presente donde la diversidad biológica es alta, con valores mayores a los observados en otros sistemas oligotróficos a igual latitud. Si bien el número de organismos en estos sistemas puede ser bajo, la diversidad de especies es a menudo elevada.

Si bien es cierto hasta el momento en nuestro país se conocen los primeros antecedentes de esta alga invasora, y que se están haciendo esfuerzos por aumentar este conocimiento, y de este modo educar a la población e instituciones responsables para que no aumenten los ríos afectados por *Didymo*, aún falta conocer *in situ* como funciona su ciclo de vida.

Agradecimientos: Los datos de este estudio fueron obtenidos dentro del Proyecto SUBPESCA N° 4728-41-LE10, liderado por POCH Ambiental S.A. y ejecutado en conjunto con la Universidad de Chile. Agradezco también a Carolina Díaz por sus

aportes en el tema específico de Diatomeas y a Ariel Valdés por su ayuda en los análisis estadísticos.

8. BIBLIOGRAFÍA

AKAIKE H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov BN, Csaki F, editors. Second International Symposium on Information Theory. Budapest (Hungary): Akademiai Kiado: 267–281.

AKAIKE H. 1974. A new look at the Statistical Model Identification. IEEE Transactions of automatic control 19(6).

ASPREY JF, BENSON-EVANS K, FURET JE. 1964. A contribution to the study of South American freshwater phytoplankton. Gayana Botánica 10: 118.

BOTHWELL M.L., KILROY C. 2011. Phosphorus limitation of the freshwater benthic diatom *Didymosphenia geminata* determined by the frequency of dividing cells. Freshwater Biology 56: 565–578.

BOURRELLY P. 1968. Les Algues D'eau Doce. Initiation à la Systématique. Tome II: Les Algues jaunes et brunes Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées: 243- 252.

BROKER DJ y DUNBAR MJ. 2004. Application of physical habitat simulation (PHABSIM) modeling to modified urban river channels. InterScience 20(2): 167-183.

DINGMAN S.L. 1994. *Physical Hydrology*. New York : MacMillian Publishing Co.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Rfo Aysén.

FERNÁNDEZ, A. 1999. Manual de las diatomeas peruanas. I edición. Publicaciones del Hortus Botanicus Truxillense.

GÓMEZ, L.A. 2005. Situación de los recursos hídricos en la región de Aysén. Proyecto Fortalecimiento Ciudadano en la Región de Aysén. ECOSISTEMAS.

INFORME FINAL SUBPESCA 2011. Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones XIV, X, XI y XII elaboración de material de difusión tendiente a su control. POCH – U. Chile.

JÓNSSON GS, JÓNSSON IR, BJÖRNSSON M, EINARSSON SM. 2000. Using regionalization in mapping the distribution of the diatom species *Didymosphenia geminata* (Lingb.) M. Schmidt in Icelandic rivers. Verhandlung Internationale Vereinigung Limnologie 27: 340-343.

KILROY C. 2004. A new alien diatom, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt: its biology, distribution, effects and potential risks for New Zealand fresh waters. NIWA, Christchurch, New Zealand. 34.

KILROY y DALE M. 2006. Biosecurity New Zealand A comparison of sampling methods for the detection of the invasive alga *Didymosphenia geminate* in New Zealand rivers. NIWA Project: MAF06509. NIWA Client Report: CHC2006-078.

LOBO, E. A., WETZEL, C. E. & BES, D. 2003. Avaliação da qualidade da água dos arroios Sampaio, Bonito e Grande, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Tecnológico. Santa Cruz do Sul*, 7(2): 39-53.

MANGUIN, E. 1966. Contribution a la connaissance des diatomees des andes du Pérou. *Mémoires du muséum national D'histoire naturelle. Serie B. botanique*, 3(2): 41-98.

MARÍN V.H., DELGADO L.E., BACHMANN P. 2008. Conceptual PHES-system models of the Aysen watershed and fjord (Southern Chile): Testing a brainstorming strategy. *Journal of Environmental Management* 88: 1109-1118.

MENDENHAL W. 1997. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Cuarta Edición. 533-600.

MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA, 1:1-83.

PARRA O, M GONZÁLEZ, V DELLAROSSA, P RIVERA Y M ORELLANA. 1982-1983. *Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile*. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae, 1982; Vol. 2, Chrysophyceae-Xanthophyceae, 1982; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, 1982 ; Vol. 4, Bacillariophyceae, 1982; Vol. 5 (partes 1 y 2), Chlorophyceae, 1983.

PARRA O Y CM BICUDO. 1996. *Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática*. Ediciones Universidad de Concepción. 268.

POSADA D. 2008. jModelTest: Phylogenetic Model Averaging. *Molecular Biology and Evolution* 25: 1253-1256.

PRESCOTT G.W. 1970. *How to know the Freshwater Algae*. 3° Edición. University of Montana.

REID B y TORRES R. 2010. La diatomea invasora *Didymosphenia geminata* en Chile: Las posibles causas y las consecuencias para los ecosistemas fluviales. CIEP, UACH. Presentación ante Congreso VII de la Soc. Chil. Limnología. Libro resúmenes.

REID B., MONTERO P., MARTÍNEZ M. 2010. Evaluación preliminar sobre la diatomea invasora exótica *Didymosphenia geminata* en cuencas de Futaleufú y Palena, Provincia de Palena, Región de Los Lagos, Chile. Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia.

RIVERA P. 1983. A guide for references and distribution for the class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica*: 1-386.

ROUND F.E., CRAWFORD R.M., MANN D.G. 1990. *The Diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge.

SEGURA P. 2011. A Slimy Invader Blooms in the Rivers of Patagonia. *Science* 331. www.sciencemag.org

SHAPIRO, S. S. y WILK, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 (3-4): 591-611.

SHERBOT DJM y BOTHWELL ML. 1993. *Didymosphenia geminata* (Gomphonemaceae). A review of the ecology of *D. geminata* and the physicochemical characteristics of endemic catchments on Vancouver Island. National Hydrology Research Institute. Environment Canada, Saskatoon, Sask. NHRI Contribution 93005: 66.

SMITH R. y SMITH T., 2001. Ecología. Editorial Pearson, 4ª Edición: 304 - 305.

SOUTHWOOD, T. R. E. 1987. Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations. Chapman and Hall. London. II ed: 524.

SPAULDING SA y ELWELL L. 2007. Increase in nuisance blooms and geographic expansion of the freshwater diatom *Didymosphenia geminata*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1425: 38.

SUBPESCA. 2010. Presencia de *Didymosphenia geminata* en río Espolón y río Futaleufú, Región de los Lagos. Propuesta de Área de plaga. Informe Técnico N° 2064.

SUNDARESHWAR P.V., UPADHAYAY S., ABESSA M., HONOMICHL S., BERDANIER B., SPAULDING S.A., SANDVIK C., TRENNEPOHL A. 2011. *Didymosphenia geminata*: Algal blooms in Oligotrophic streams and rivers. *Geophysical Research Letters*, Vol.38, L10405.

WETZEL, R. 2001. Limnología. Ed. Omega. S. A. Barcelona.: 259-319.

WETZEL RG & GE LIKENS. 1991. Limnological Analyses. 2nd. Ed. Springer-Verlag: 391.

WHITTON BA, ELLWOOD NTW y KAWECKA B. 2009. Biology of the freshwater diatom *Didymo*: a review. *Hydrobiology* 630:1-37.

Sitios Web:

<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema3am.pdf>

[En línea: Consulta 24 de Marzo 2011]

Dirección Meteorológica de Chile

www.meteochile.cl

[En línea: Consulta Agosto 2011]

www.mardechile.cl/mareducacional

[En línea: Noviembre 2011]

www.educarchile.cl

[En línea: Enero 2011]

<http://www.r-project.org/>

[En línea: Enero 2011]

ANEXO 1

Tabla 1. Ubicación y fecha de muestreo de ríos y lagos estudiados.

Región	Río	Coordenadas GPS	Altitud (m)	Fecha muestreo	Hora muestreo
Los Ríos (XIV)	Futa	S 39° 57'01,3" W 73° 11'23,3"	5	oct-25	18:00
	Fuy	S 39° 51'09,3" W 71° 55'18,8"	506	oct-26	15:00
	San Pedro	S 39° 47'55,2" W 72° 43'08,9"	37	oct-26	18:30
	Cruces	S 39° 33'06,4" W 72° 54'03,4"	9	oct-27	11:00
	Bueno	S 40° 19'32,9" W 73° 02'58,4"	4	oct-27	15:30
	Niñahue	S 40° 18'11,8" W 72° 09'53,9"	137	oct-28	11:15
Los Lagos (X)	Golgoi	S 40° 39'36,4" W 72° 15'13,2"	202	oct-28	16:00
	Rahue	S 40° 45'49,5" W 72° 55'15,0"	57	oct-29	10:00
	Futaleufú	S 43° 11'34,7" W 71° 50'28,6"	307	oct-31	12:00
	Espolón	S 43° 11'35,2" W 71° 52'15,3"	301	oct-31	17:00
	Petrohue	S 41° 11'42,4" W 72° 28'28,2"	91	nov-20	12:30
	Puelo	S 41° 38'43,9" W 72° 16'20,8"	3	nov-20	10:00
	Chiloé: Butalcura	S 42° 14'04,3" W 73° 45' 43,9"	15		
Aysén (XI)	Bianco	S 45° 24'39,7" W 72° 35'20,4"	15	nov-15	17:40
	Coyhalque	S 45° 32'24,4" W 71° 55'02,0"	364	nov-05	18:00
	Simpson	S 45° 25'28,7" W 72° 25'38,6"	33	nov-09	19:30
	Emperador Gmo	S 45° 16'55,5" W 72° 10'54,2"	220	nov-04	12:30
	Nñirehuao	S 45° 09'40,5" W 72° 01'09,7"	341	nov-20	12:30
	Cisnes	S 44° 43'36,1" W 72° 07'29,1"	257	nov-20	16:15
	Baker	S 47° 28'46,7" W 72° 56'43,3"	64	nov-07	13:00
Magallanes (XII)	Penitentes	S 52° 12'20,7" W 71° 23'47,2"	217	nov-20	11:30
	Rubens	S 52° 05'40,0" W 72° 03'45,1"	213	nov-12	13:00
	Serrano	S 51° 14'25,5" W 73° 00'15,8"	20	nov-20	11:30
	Paine	S 50° 56'23,8" W 72° 47'35,9"	119	nov-10	18:00
	Sarmiento	S 51° 03'35,6" W 72° 43'06,6"	79	nov-10	11:30

Tabla 2. Caracterización físico y química de los ríos y lagos estudiados

Región	Río	Calcio (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Pi (mg/L)	PO (mg/L)	Si (mg/L)	O ₂ (%)	O ₂ (mg/L)	
	Futa	0,08	2,58	< 0,13	< 0,6	< 0,6	12,59	97,4	10,3	
	Fuy	4,24	2,92	< 0,13	< 0,6	< 0,6	38,84	101,3	11,4	
	San Pedro	2,88	2,71	< 0,13	< 0,6	< 0,6	33,47	100,5	10,5	
	Cruces	0,97	2,47	< 0,13	< 0,6	< 0,6	42,42	94,4	9,8	
	Bueno	4,61	2,43	< 0,13	< 0,6	< 0,6	37,65	102,1	10,7	
	Nilahue	4,72	3,46	< 0,13	< 0,6	< 0,6	81,21	102,7	12,1	
Los Ríos (XIV)										
	Golgol	1,03	2,48	< 0,13	< 0,6	< 0,6	43,02	100,4	12,1	
	Rahue	3,03	2,43	< 0,13	< 0,6	< 0,6	32,88	95,9	10,6	
	Futaleufú	3,96	2,31	< 0,13	< 0,6	< 0,6	16,17	91,0	10,3	
	Espolón	3,45	2,11	< 0,13	< 0,6	< 0,6	14,38	101,0	10,9	
	Petrohue	6,03	6,79	< 0,13	< 0,6	< 0,6	32,28	99,4	10,7	
	Puelo	10,79	2,17	< 0,13	< 0,6	< 0,6	18,56	97,3	10,7	
	Chiloé:									
Los Lagos (X)	Butalcura	No	No	No	No	No		93,3	9,2	
	Blanco	2,15	0,26	< 0,13	< 0,6	< 0,6	28,70	112,7	12,8	
	Coyhaique	10,11	0,36	< 0,13	< 0,6	< 0,6	43,62	91,2	10,0	
	Simpson	6,75	1,33	< 0,13	< 0,6	< 0,6	32,28	101,2	11,5	
	Emperador Gmo	9,77	0,56	< 0,13	< 0,6	< 0,6	28,7	97,6	11,3	
	Nñirehuao	6,57	2,73	< 0,13	< 0,6	< 0,6	25,72	101,5	11,1	
	Cisnes	0,97	1,27	< 0,13	< 0,6	< 0,6	16,77	93,8	10,3	
	Aysén (XI)	Baker	10,08	0,18	< 0,13	< 0,6	< 0,6	7,22	95,4	11,3
	Magallanes (XII)	Penitentes	4,85	2,09	< 0,13	< 0,6	< 0,6	76,43	103,4	12,1
Rubens		9,1	< 0,06	< 0,13	< 0,6	< 0,6	30,49	92,5	11,0	
Serrano		9,67	1,89	< 0,13	< 0,6	< 0,6	9,01	99,2	12,0	
Patne		10,74	2,08	< 0,13	< 0,6	< 0,6	6,62	102,0	11,7	
Sarmiento		43,25	4,2	< 0,13	< 0,6	< 0,6	16,17	102,2	12,0	

Tabla 2. Caracterización física y química de los ríos y lagos estudiados

(Continuación)

Región	Río	pH	CE	T Agua (°C)	T° del aire (°C)		
					Medición 1	Medición 2	Medición 3
Los Ríos (XIV)	Futa	8,3	17,0	13,0	30,2		
	Fuy	8,3	34,0	10,3	26,6		
	San Pedro	8,3	35,0	13,7	18,1	18,3	
	Cruces	8,3	53,0	13,9	22,4		
	Bueno	8,2	50,0	13,4	21,3	20,9	
	Nílahue	8,0	85,0	8,6	18,9	18,7	
Los Lagos (X)	Golgol	8,5	23,0	7,3	18,8	18,6	13,8
	Rahue	8,2	40,0	11,1	16,9	16,6	14,9
	Futaleufú	6,7	27,0	10,5	19,8	19,7	19,1
	Espolón	8,5	29,0	12,9	20,1	19,2	
	Petrohue	8,6	30,0	11,8	18,0	16,5	16,9
	Puelo	8,5	33,0	11,3	20,9	14,2	
	Chiloé: Butalcura	8,2	56,0	16,3			
Aysén (XI)	Bianco	8,8	18,0	10,1	21,0	20,4	18,8
	Coyhaique	7,0	40,0	10,9	20,6	21,3	21,4
	Simpson	8,3	37,0	9,7	14,3	13,4	
	Emperador						
	Gmo	8,4	25,0	9,7	26,5	27,2	27,6
	Níirehuao	8,5	32,0	10,3	17,9	17,6	
	Cisnes	8,8	11,0	10,3	27,5	27,1	26,6
	Baker	8,1	42,0	8,4	17,2	16,3	16,6
Magallanes (XII)	Penitentes	8,3	60,0	8,6	10,9	10,6	10,7
	Rubens	8,5	34,0	8,0	14,7	14,9	
	Serrano	8,2	62,0	7,1	12,0	11,9	
	Palne	8,2	33,0	9,8	30,6	29,1	28,3
	Sarmiento	8,6	1112,0	8,3	20,8	20,9	

Tabla 2. Caracterización física y química de los ríos y lagos estudiados

(Continuación)

Región	Río	PAR (µE)			RH (%)		
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 1	Medición 2	Medición 3
Los Ríos (XIV)	Futa	1417,5			58,8		
	Fuy	1471,2			34,5	41,1	
	San Pedro	173,7	177,5		62,7	55,6	
	Cruces	453,7	638,7		62,7	55,6	
	Bueno	711,2	726,2		55,6	54,2	
	Nílahue	133,7	112,5		80,7	76,9	
Los Lagos (X)	Golgol	383,7	241,2	177,5	68,1	78,5	78,6
	Rahue	238,7	361,2	467,5	78,5	78,3	80,8
	Futaleufú	907,5	536,2	782,5	51,6	51,8	53,2
	Espolón	215,0	223,7		52,9	53,7	
	Petrohue	331,2	273,7	211,2	56,5	61,6	61,9
	Puelo	20,0	16,2		62,7	83,1	
	Chiloé: Butalcura						
Aysén (XI)	Blanco	446,2	423,7	433,7	48,8	52,4	53,3
	Coyhaique	360,0	238,7	591,2	64,5	59,8	60,9
	Simpson	50,0	62,5		57,8	57,6	
	Emperador Gmo	720,0	1245,0	752,5	40,9	39,7	39,1
	Nirehuao	1410,0	1462,5		61,2	83,5	
	Cisnes	742,5	650,0	662,5	35,8	37,5	39,5
	Baker	793,7	778,7	925,0	41,9	41,7	41,3
Magallanes (XII)	Penitentes	576,2	727,5	698,7	51,6	51,9	52,3
	Rubens	88,7	93,7		60,7	61,9	
	Serrano	375,0	375,0		53,7	53,9	
	Paine	975,0	903,7	828,7	18,5	19,0	19,7
	Sarmiento	1931,2	1811,2		40,8	40,6	

Tabla 2. Caracterización física y química de los ríos y lagos estudiados

(Continuación)

Región	Río	Longitud a nacimiento		Ancho río	Z prox. media	Área	Velocidad	Q
		m	Km	m	m	m ²	m/s	m ³ /s
Los Ríos (XIV)	Futa	65981,3	66,0	66,1	5	330,5	No aplica	No aplica
	Fuy	6432,5	6,4	42,4	3	127,2	1,0	101,8
	San Pedro	31469,1	31,5	93,2	1	93,2	1,3	93,2
	Cruces	120723,7	120,7	30,0	2	60,0	0,6	28,3
	Bueno	58848,5	58,8	144,9	1,5	217,4	0,9	158,2
	Ñilahué	35740,8	35,7	40,8	1,5	61,2	1,5	75,4
	Golgol	44631,4	44,6	31,6	2	63,2	1,1	56,1
Los Lagos (X)	Rahue	33295,0	33,3	34,8	2	69,6	1,8	101,3
	Futaleufú	10303,8	10,3	42,2	0,5	21,1	0,6	14,0
	Espolón	9923,6	9,9	88,5	1	88,5	1,7	118,2
	Petrohue	9855,9	9,9	93,9	2	187,8	1,7	250,9
	Puelo	98684,8	98,7	149,3	2	298,6	0,6	133,8
	Chiloé: Butalcura	27763,1	27,8	16,3	0,5	8,2	0,7	4,6
	Blanco	69026,5	69,0	116,6	1,5	174,9	0,6	68,1
Aysén (XI)	Coyhaique	31556,7	31,6	14,7	2	29,4	1,5	34,1
	Simpson	250948,7	250,9	52,5	3	157,5	1,9	243,2
	Emperador Gmo	31180,5	31,2	22,5	1,5	33,8	2,9	77,2
	Ñirehuao	83039,8	83,0	26,9	2	53,8	1,6	69,7
	Cisnes	119881,0	119,9	110,4	2	220,8	2,3	401,0
	Baker	93141,8	93,1	619,3	5	3098,5	1,0	2477,2
	Magallanes (XII)	Penitentes	35179,1	35,2	35,1	0,5	17,6	0,5
Rubens	25100,5	25,1	39,9	1,5	59,9	0,3	13,9	
Serrano	10591,1	10,6	155,7	1,5	233,6	0,8	155,1	
Paine			43,5	1,5	65,3	1,1	57,9	
Sarmiento	10487,9	10,5	4035,4			No aplica	No aplica	

Tabla 3. Abundancias de células presentes en el fitoplancton (células/ml) de los ríos muestreados de la XIV y X Región.

Taxa	XIV Región					X Región						
	Cruces	Futa	Fuy	San Pedro	Ñilshue	Bueno	Rahue	Got-Gol	Futaleufú	Espolón	Petrohué	Puelo
<i>Achnanthes</i> sp.												
<i>Amphora</i> sp.												
Arbolito 1												
Arbolito 2												
Arbolito 3												
<i>Asterionella</i> sp.			29	56475		250	63	30				2000
<i>Aulacoseira granulata</i>			17	29700	500	31750	18000					
<i>Auxospora</i> sp.	375	50				250						
Branch 1							188				25	
Branch 2												
Branch 3												
Cadena s/i												
<i>Ceratium</i> sp.										3		
<i>Ceratium hirundinella</i>				900		5000						83
<i>Chaetomorpha</i> sp.												
Chlorococcal												
<i>Chlorococcus</i> sp.												
Ciano 1												167
Ciano 2						500						
Ciano delgada			4									
Ciano finita											50	
<i>Ciano oscillatoria</i>												
Ciano s/i	63	50			125		188		9			
Ciano Spirulina												
Cianobacteria gruesa											75	
Cloroficea s/i	500											
Cloroficea ulotrichal								8				
<i>Closterium</i> sp.												
<i>Cocconeis</i> sp.					125							
<i>Cosmarium</i> sp.				1575						3		
<i>Cyclostephona</i> sp.												
<i>Cymbella</i> sp.									664		25	
Desmido												
<i>Diatoma hiemale</i>												
<i>Diatoma mesodon</i>						6500		165		3		
<i>Diatoma vulgare</i>						375	1500					
<i>Diatomea</i> s/i												
<i>Dictyosphaerium</i> sp.				675								
<i>Didymosphaeria geminata</i>									9	18		
<i>Didymosphaeria trozo</i>										58		
<i>Dinobryon divergens</i>	875		13	64000		26250	63			171	475	3687
Dinoflagelado											25	
Enanas												
<i>Eucyonema</i> sp.	63			225			63					1333
<i>Epithemia</i> sp.						250						
<i>Epithemia schneida</i>												
<i>Epithemia sorax</i>	125				35375							
Eunotia 1									184			
Eunotia 2												
Eunotia 3												
<i>Eunotia grande</i>				675								
<i>Eunotia zigzag</i>												
Filamento 1						125						
Filamento 2						125						
Filamento 3												
Finita ciano												
Finita cloro												
<i>Fragilaria</i> (x12)				386100								
<i>Fragilaria</i> (x15)						2722500						
<i>Fragilaria bicapitata</i>			13	900		2000	392813	8	214			105083
<i>Fragilaria crotonensis</i>	760		1454							339		
<i>Frustulia</i> sp.	63											
<i>Gleocystis</i> sp.												
Globos arborescentes									5			

Tabla 3. Abundancias de células presentes en el fitoplancton (células/ml) de los ríos muestreados de la XIV y X Región (Continuación).

Taxa	XIV Región					X Región						
	Cruces	Futa	Fuy	San Pedro	Ñilahué	Bueno	Rahua	Gol-Gol	Futaleufú	Espolón	Petrohué	Puelo
Gomphonella minuta										3		
Gomphonema sp.			4	225	2125	250			9		25	
Hantzschia arcus	63				750			83		32		
Hormidium								8				
Huevo 1							125				50	
Huevo rotífero								8				
Hyalotheca 1	250				125			90	2768		125	
Hyalotheca 2												
Licmophora sp.						1000						
Melosira cloro 1										195		
Melosira cloro 2										32		
Melosira corda				225						18		
Melosira varians	3675		13	225	5125		313	585			50	
Meridion					1000							
Microspora 1												
Microspora 2												
Mougeotia 1	500				125					26	650	6000
Mougeotia 2												
Navicula sp.												63
Navicula viridula					125							
Naviculacea						250		90				
Naviculoida				225							425	
Oocystis sp.												
Pectastrium aff. Borianum												
Pennal 1					5875							
Pennal 2					5750	500						
Pennal 3	313		13					60				
Pennal abónico							250					
Pennal chica									61	74		500
Pennal empalizada								38				
Pennal enana		50									175	
Pennal enana cinta							375					
Pennal grande										34		600
Pennal s/l chica 1												
Pennal s/l chica 2												
Peridinium sp.												333
Pinnularia sp.								8				167
Pluricelular verde								23				
Rama										11		
Rhizosolenium sp.												
Rhizosolenia eriensis										39		63
Sifonal												
Sifonal empalizada								8				
Sin identificar						250						
Siphonocladus			4							3		
Speudo-spirogyra												
Sphaerocypris sp.						1500					25	
Sphaerocystis sp.			4			7500						
Spirogyra sp.							63		55	26	25	
Staurastrum sp.												167
Staurodesmus sp.												
Stauroneis sp.												
Surirella guatemalensis												
Surirella sp.												
Synedra bicapitata					2500							
Synedra uina	18563			225	375	250	63		300	3		3333
Tabellaria filiculosa										87		
Tabellaria sp.	250		21	76725					100			167
Tribonema						1750	63	23				
Ulothrix								23				
Ulothrix finita												
Ulothrix gigante							63					
Ulothrix gruesa												
Valva Epithemia												
Zygnema sp.												
Total	26626	160	1589	609075	67125	2803500	412692	1254	4587	1175	2625	123668

Tabla 4. Abundancias de células presentes en el fitoplancton (células/ml) de los ríos muestreados de la XI y XII Región.

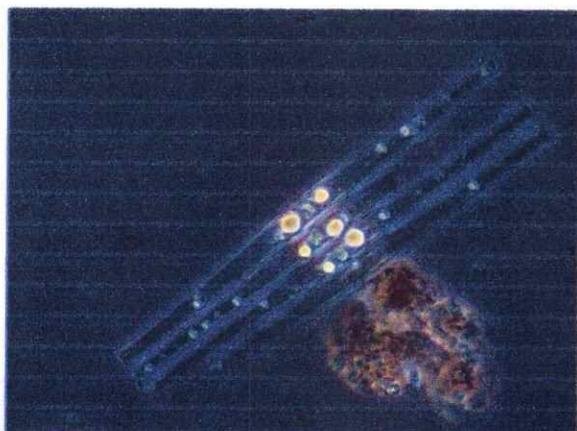
Taxa	XI Región						XII Región					
	Blanco	Coyhaique	Simpson	Emp. Canso	Clares	Baker	Rubens	Serrano	Palme	Peñante	Kirehuco	L. Sarmiento
<i>Achnanthes</i> sp.	100				169							
<i>Azophora</i> sp.					84	500			3833			
Arbolito 1					56							
Arbolito 2	100											
Arbolito 3	100											
<i>Asterionella</i> sp.	500				50		6	18	63			6
<i>Azucoseira granulata</i>	14800						25	4208				
<i>Axonopora</i> sp.		63										
Branch 1												
Branch 2												9
Branch 3												3
Cadena s/l									63			
<i>Ceratium</i> sp.												
<i>Ceratium birundinella</i>												
<i>Chaetomorpha</i> sp.						500						
Chlorococcal		63										
<i>Chlorococcus</i> sp.												190
Ciano 1		188							63			
Ciano 2		63										
Ciano delgada												
Ciano finita												
<i>Ciano oscillatoria</i>	100											
Ciano s/l			17	28								3
Ciano Spirulina										1500		
<i>Cyanobacteria gruesa</i>												
<i>Closterium</i> s/l			1437			500						
<i>Closterium ulrichii</i>												
<i>Closterium</i> sp.		125			13				63	250		
<i>Coconeis</i> sp.		63										
<i>Cosmarium</i> sp.		63						39				
<i>Cyclodoporus</i> sp.												40
<i>Cymbella</i> sp.												
Desmido							6					
<i>Diatoma hiemale</i>	29200											
<i>Diatoma mesodon</i>					13							
<i>Diatoma vulgare</i>												
<i>Diatomea</i> s/l			69	66								
<i>Dicydosphaerula</i> sp.												
<i>Didymosphenia geminata</i>			138	3769								
<i>Didymosphenia trozo</i>												
<i>Dinobryon divergens</i>	1700	3166			25							19
Dinoflagelado		63				500						
Enenas					844							
<i>Eocyonema</i> sp.			35			600			167			3
<i>Epithemia</i> sp.		63										
<i>Epithemia acinata</i>					13							
<i>Epithemia sorax</i>												
Eunotia 1		503			50				333	250		
Eunotia 2	300											
Eunotia 3	800											
Eunotia grande												
<i>Eunotia zigzag</i>									333			
Filamento 1												
Filamento 2												
Filamento 3				28								
Finta ciano							6					
Finta cloro							50					
<i>Fragilaria</i> (x12)												
<i>Fragilaria</i> (x15)												
<i>Fragilaria bicapitata</i>	21500	3563	294	141		500	425		417	250		
<i>Fragilaria crotonensis</i>												
<i>Frustulia</i> sp.												
<i>Gleocystis</i> sp.			17									
<i>Globulus arborescens</i>												

Tabla 4. Abundancias de células presentes en el fitoplancton (células/ml) de los ríos muestreados de la XI y XII Región (Continuación).

Taxa	XI Región							XII Región				
	Bianco	Coyhaique	Sapocon	Emp. Gmo.	Clares	Baker	Roberts	Serrano	Paine	Pedrona	Nirehuso	L.Sarmiento
<i>Gomphonema minuta</i>	300											
<i>Gomphonema</i> sp.		1750	1921		25							6
<i>Hantzschia arcus</i>				141								
<i>Homidium</i>												
Huevo 1	2000			141								
Huevo rotífero												
<i>Hyalotheca</i> 1	12200				50				7750	250		
<i>Hyalotheca</i> 2		525										
<i>Licmophora</i> sp.												
<i>Melosira cloro</i> 1												
<i>Melosira cloro</i> 2												
<i>Melosira gorda</i>												
<i>Melosira varians</i>	2300	2313	606	501						250		
<i>Micrillon</i>												
<i>Micropora</i> 1									83			
<i>Micropora</i> 2									1500			
<i>Mougeotia</i> 1		438	17	141	225			13	5500	545000	8	
<i>Mougeotia</i> 2												1125
<i>Navicula</i> sp.	200	63	17	28								
<i>Navicula viridula</i>												
<i>Naviculaceae</i>						500						9
<i>Naviculoides</i>												
<i>Oocystis</i> sp.									83			
<i>Pediastrum</i> aff. <i>Bortanum</i>												200
<i>Pennal</i> 1												5
<i>Pennal</i> 2												
<i>Pennal</i> 3	300								4000			
<i>Pennal abenico</i>												
<i>Pennal chica</i>		375	312									45
<i>Pennal empalizada</i>												
<i>Pennal enana</i>					25	500	50	13	2063	500		
<i>Pennal enana tarta</i>												
<i>Pennal grande</i>		563	104					3			3	10
<i>Pennal s/i chica</i> 1												31
<i>Pennal s/i chica</i> 2												44
<i>Peridinium</i> sp.												
<i>Pinnularia</i> sp.	300	125				500		8				
<i>Puriscalter verde</i>												
<i>Rama</i>												
<i>Rhizocentrum</i> sp.						500	58			250		
<i>Rhizosolenia erlensis</i>												
<i>Sisonal</i>				58								
<i>Sisonal empalizada</i>												
<i>Siso indenticar</i>												
<i>Siphonocladus</i>												
<i>Spseudo-spirogyra</i>										250		
<i>Sphaerocystis</i> sp.												
<i>Sphaerocystis</i> sp.												
<i>Spirogyra</i> sp.	100			23				21				
<i>Staurastrum</i> sp.			17				38	92	83			715
<i>Staurastrum</i> sp.								3				
<i>Stauroneis</i> sp.						500						
<i>Stauroneis</i> sp.						500						
<i>Surirella gustaviiensis</i>												
<i>Surirella</i> sp.	100											100
<i>Synedra bicapitata</i>												31
<i>Synedra tina</i>	200	563	831	1013		500	63	6	2250	42250	3	5
<i>Tabellaria flocculosa</i>						500						
<i>Tabellaria</i> sp.			17		13							
<i>Tabonera</i>		63			13							
<i>Ulothrix</i>									3067			
<i>Ulothrix fluitans</i>		125			13							
<i>Ulothrix gigantea</i>												
<i>Ulothrix grisea</i>		313										
<i>Valva Ephyraia</i>										750		
<i>Zygnema</i> sp.								3	1500			
Total	67200	13383	6850	7371	478	7020	726	4423	39915	6561750	177	2435

ANEXO 2

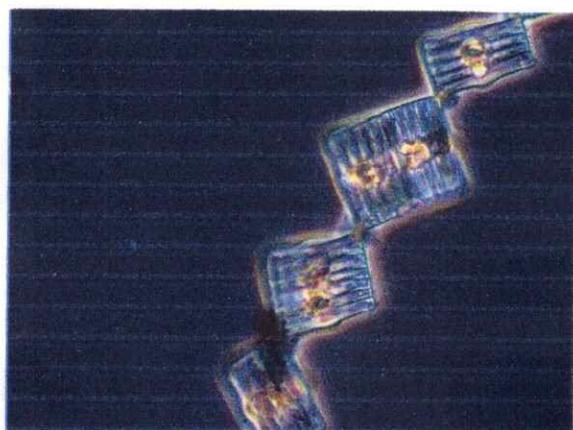
Imágenes de las especies más abundantes en el fitoplancton de los ríos y lagos muestreados en el presente estudio.



Fragilaria crotonensis



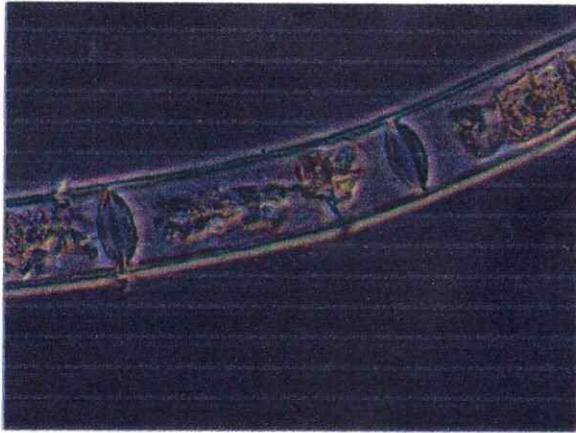
Asterionella sp. y Encyonema sp.



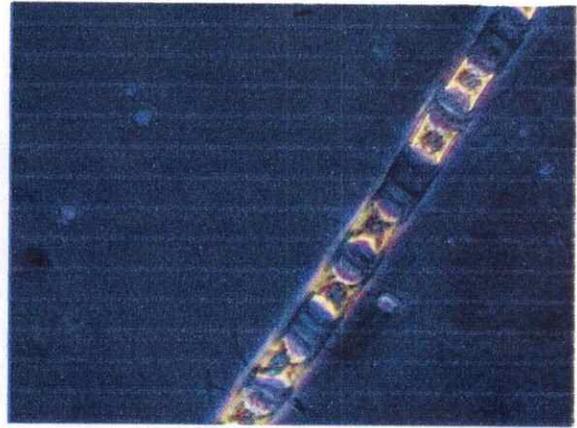
Tabellaria flocculosa



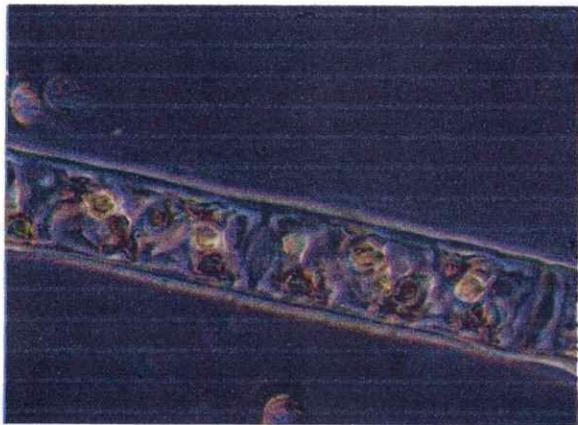
Melosira varians



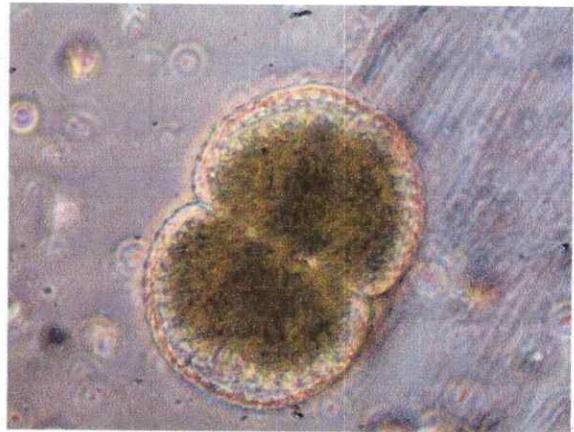
Hyalotheca sp.



Mougeotia sp.



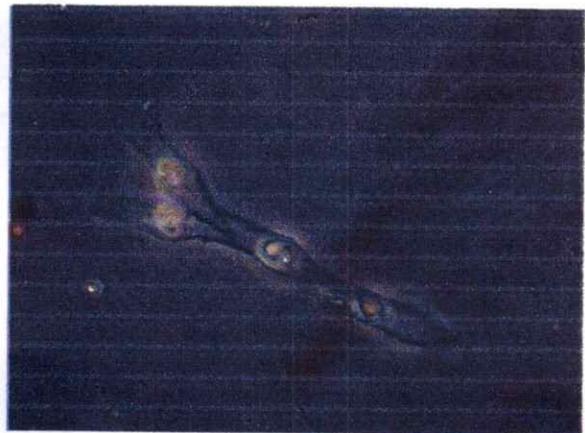
Spirogyra sp.



Cosmarium sp.



Astrodismus sp.



Dinobryon divergens