

VCH-FC

Q. Ambiental

T 172

C.1



FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA
DEL YELCHO Y SU RELACIÓN CON LA PRESENCIA DE LA ESPECIE PLAGA
Didymosphenia geminata”**

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

Químico Ambiental

Nicole Elizabeth Tapia Olivares

Director de Seminario de Título: MCs. Ximena Molina Paredes
Profesor Patrocinante: M.Sc. Irma Vila Pinto

Noviembre de 2012
Santiago – Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

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 candidata:

NICOLE ELIZABETH TAPIA OLIVARES

“CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL YELCHO Y SU RELACIÓN CON LA PRESENCIA DE LA ESPECIE PLAGA
Didymosphenia geminata”

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

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

M. Cs. Ximena Molina Paredes

Director de seminario

M. Sc. Irma Vila Pinto

Profesor Patrocinante

Vivian Montecino Banderet

Corrector

M. Cs. Sylvia Copaja Castillo

Corrector











Santiago de Chile, Octubre de 2012



Nicole Elizabeth Tapia Olivares nació el 17 de Septiembre en la ciudad de Santiago de Chile. Cursó su colegiatura, básica y media, en el colegio Excelsior de la misma ciudad. El año 2006 ingresó a la carrera de Química Ambiental de la Universidad de Chile. Durante su cuarto semestre, realiza su unidad de Investigación en el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), a cargo de la Dra. Isel Cortés y en su último semestre, realiza su tesis bajo la tutela de la Profesora Ximena Molina, sobre el tema de *Didymosphenia geminata*, plaga en el sur de Chile, donde ha participado en varios proyectos de ecosistemas limnológicos asociados a la Universidad de Chile. Finalmente, en el año 2012, egresa de la carrera de Química Ambiental.

Agradecimientos

Al proyecto INNOVACHILE-CORFO (Código 11BPC-10019), dirigido por la profesora Vivian Montecino, a la Dirección General de Aguas (DGA), y la empresa POCH Ambiental S.A., por darme la información necesaria y la oportunidad de desarrollar este seminario de título.

A mis profesores: Ximena Molina, por siempre haberme dado la motivación de seguir adelante, por haber confiado en mí desde el principio. Gracias por sus palabras tan reconfortantes cuando perdía mi camino. Profesora Irma Vila, por su candidez y consejos tan acertados. Y profesor Ramiro Bustamante, por su gran disposición y voluntad a atender mis consultas. Gracias por su simpatía, alegría y por su gran vocación a enseñar.

A mi familia, por su incondicionalidad, sus consejos y su amor. Nunca habría llegado donde estoy si uds. no me hubiesen dado la confianza de dar los pasos que siempre me dieron tanto miedo. Los amo.

A Víctor, eres mi apoyo, mi motivación, mi futuro. Te agradezco inmensamente tu paciencia y el amor que me entregas cada día.

A mis amigos, Sergio, tus palabras precisas que siempre me dan la tranquilidad que necesito y muchas veces me sacan una sonrisa en los peores momentos, y por tu amistad incondicional. Te quiero mucho. Daniela, sin tu confianza ni tu cariño no habría logrado nada. Siempre estaré a tu lado si me necesitas, gracias por estar conmigo siempre. Johan y Nicole, por su gran humor y sencillez. Los quiero.

INDICE

| | | |
|-------------|---|-----------|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 | Antecedentes | 1 |
| 1.2 | Planteamiento del problema | 4 |
| 1.2.1 | Presencia de <i>Didymo</i> en Chile..... | 4 |
| 1.2.2 | Concepto y declaración de plaga para <i>D. geminata</i> en Chile | 6 |
| 1.2.2.1 | Presencia de <i>D. geminata</i> en la cuenca Yelcho..... | 7 |
| 1.2.3 | Antecedentes de efectos de <i>D. geminata</i> en los ríos invadidos..... | 9 |
| 1.3 | Objetivos e hipótesis | 11 |
| II. | METODOLOGÍA | 12 |
| 2.1 | Localización de área de estudio | 12 |
| 2.2 | Diagrama de flujo metodológico | 16 |
| 2.3 | Desarrollo de objetivos | 17 |
| III. | RESULTADOS | 27 |
| 3.1 | Caracterización de la cuenca Yelcho..... | 27 |
| 3.1.1 | Clima de la cuenca Yelcho | 27 |
| 3.1.2 | Hidrografía de la cuenca | 28 |
| 3.1.3 | Tipo de suelo de la cuenca..... | 29 |
| 3.1.4 | Geomorfología de la cuenca..... | 30 |
| 3.1.5 | Análisis de variables físicas..... | 32 |
| 3.1.5.1 | Caudal (Q)..... | 32 |
| 3.1.5.2 | Temperatura del río Futaleufú (FF)..... | 33 |
| 3.1.6 | Análisis de variables químicas en estación de calidad de aguas DGA <i>Futaleufú en la frontera</i> | 34 |
| 3.1.6.1 | pH..... | 34 |
| 3.1.6.2 | Conductividad eléctrica (CE)..... | 35 |
| 3.1.6.3 | Oxígeno Disuelto | 35 |
| 3.1.6.4 | Aniones y cationes..... | 36 |
| 3.1.6.5 | Nutrientes: Fosfato (PO_4^{-3}) y Nitrato (NO_3^-) | 39 |
| 3.1.7 | Análisis de Conglomerados Jerárquicos (ACJ o <i>Cluster</i> en Inglés) | 42 |
| 3.1.8 | Análisis de componentes principales (ACP) | 44 |
| 3.1.8.1 | Incorporación de variable biológica (<i>D. geminata</i>) | 47 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.1.9 | Caracterización antrópica de la cuenca Yelcho | 49 |
| 3.1.9.1 | Actividades antrópicas de la cuenca | 49 |
| 3.2 | Condiciones físicas y químicas donde se ha observado <i>D. geminata</i> en relación a las características de la cuenca | 51 |
| 3.3 | Bioseguridad en Chile frente a la plaga <i>Didymosphenia geminata</i> | 53 |
| IV. | DISCUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES..... | 56 |
| 4.1. | Caracterización físicoquímica de la cuenca del río Yelcho | 56 |
| 4.2 | Caracterización antrópica de las cuencas del Río Yelcho | 66 |
| 4.2.1 | Análisis de la presencia de <i>D. geminata</i> y su posible relación con la actividad antrópica..... | 66 |
| 4.2.2 | Rangos de condiciones físicoquímicas de ríos afectados por la presencia de <i>D. geminata</i> en Chile y otros países | 68 |
| 4.3 | Análisis de la evolución de <i>D. geminata</i> en ríos de la cuenca del Yelcho | 75 |
| V. | CONCLUSIONES | 78 |
| VI. | REFERENCIAS | 80 |
| VII. | ANEXOS..... | 1 |



INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1.** Registro fotográfico de ríos con presencia de Didymo en la cuenca Yelcho
- ANEXO 2.** Importancia ambiental de variables elegidas para caracterizar la cuenca del Yelcho
- ANEXO 3.** Matriz de datos para el Análisis Estadístico de los datos
- ANEXO 4.** Caudales medios mensuales de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA)
- ANEXO 5.** Variables y parámetros de calidad de aguas considerados para la caracterización ambiental de la cuenca del Río Yelcho
- ANEXO 6.** Resultados del Análisis de Conglomerados Jerárquicos (*Cluster Analysis*)
- ANEXO 7.** Imágenes del Plan de Vigilancia, Detección y Control de la plaga *D. geminata*
- ANEXO 8.** Ríos con presencia de Didymo y sus actividades productivas y recreativas asociadas
- ANEXO 9.** Actividades antrópicas de los ríos de la cuenca Yelcho

Tabla 18. Caudales medios mensuales [m³/s] 2001-2010 para la estación Futaleufú en la frontera

Tabla 19. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú en la frontera. (Datos de la Figura 12)

Tabla 20. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú ante junta río malito

Tabla 21. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú ante junta río malito. (Datos de la Figura 12)

Tabla 22. Valores medios diarios de T°, pH, CE y OD de la estación de calidad de aguas (Datos informados por la CIRH)

Tabla 23. Valores medios diarios de variables químicas [mg/L] de la estación de calidad de aguas (Datos informados por la CIRH)

Tabla 24. Valores medios anuales de aniones y cationes [mg/L] de la estación de calidad de aguas.

Tabla 25. Temperatura, pH, Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto medio mensual registrada en el período 2001-2011 y su desviación estándar

Tabla 26. Cluster formados en el análisis de conglomerados de la región de Los Lagos utilizando variables fisicoquímicas

Tabla 27. Ríos prospectados de *D. geminata* en la región de Los Lagos y sus respectivas actividades productivas y recreativas

Tabla 28. Porcentajes de ríos por actividad, y porcentaje de ríos con *Didymo* por actividad. Región de Los Lagos.

Tabla 29. Actividades antrópicas asociadas a los ríos de la cuenca del Río Yelcho. Los ríos marcados con rojo son aquellos en los que se ha registrado presencia de *Didymo*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Imagen microscópica y macroscópica de *Didymosphenia geminata*. Se observa la diatomea aislada sin pie de mucílago (izquierda), con pedúnculo (centro) y en forma de plaga (derecha)
- Figura 2.** Distribución mundial de *D. geminata*. (Whitton y col., 2009)
- Figura 3.** Presencia de Didymo en la subcuenca del Río Espolón, Cuenca del Yelcho, Región de los Lagos
- Figura 4.** Distribución de Didymo en la cuenca del Río Yelcho
- Figura 5.** Mapa de localización del área de estudio: Cuenca Yelcho.
- Figura 6.** Vista satelital del nacimiento, bajo represa, del río Futaleufú; La estación Futaleufú en la Frontera (DGA) y la zona en la cual se ha registrado Didymo (Rojo)
- Figura 7.** Flujo metodológico
- Figura 8.** Anatomía de un diagrama de Maucha
- Figura 9.** Climograma Estación Futaleufú. La línea ilustra la temperatura promedio (°C) y las barras ilustran la precipitación promedio (mm).
Datos: Dirección general de Aeronáutica Civil
- Figura 10.** Perfil geomorfológico de la Región de Los Lagos (www.educarchile.cl)
- Figura 11.** Mapa geológico cuenca río Yelcho
- Figura 12.** Caudales medios mensuales del período 2001-2010 para las estaciones: Futaleufú en la frontera (Gris oscuro) y Futaleufú ante junta río Malito (Gris claro)
- Figura 13.** Temperatura media mensual registrada desde el año 2001-2011
- Figura 14.** pH medio mensual para el río Futaleufú
- Figura 15.** Conductividad eléctrica para el río Futaleufú
- Figura 16.** Oxígeno disuelto para el río Futaleufú
- Figura 17.** Concentración media anual de aniones para el río Futaleufú
- Figura 18.** Concentración media anual de cationes para el río Futaleufú

Figura 19. Diagramas de maucha confeccionados a partir de concentraciones medias anuales de iones del río Futaleufú

Figura 20. Concentración media anual de nitrato para el río Futaleufú

Figura 21. Concentración media anual de fosfato para el río Futaleufú

Figura 22. Dendrograma para los ríos de la Región de Los Lagos utilizando variables físicoquímicas. Se destacan con rojo aquellos ríos con presencia de *Didymo*

Figura 23. Análisis de componentes principales de ríos prospectados en la X región

Figura 24. ACP considerando la presencia y ausencia de *Didymo* como variable agrupante (presencias = Rojo, Ausencias = Verde)

Figura 25. Porcentaje de ríos prospectados de acuerdo a su actividad (Barras). Se indica el % de ocurrencia de *D. geminata* para cada actividad (línea)

Figura 26. Acciones de Bioseguridad (adaptación de Biosecurity, New Zealand)

Figura 27. Plan de Acción de especies exóticas invasivas, SERNAPESCA

Figura 28. Ranking DGA de caudales medios de ríos de Chile (DGA, 2003). Se destacan en rojo los ríos

Figura 29. Pluma de erupción del Volcán Chaitén, en dirección sureste

Figura 30. Vista satelital de la ubicación de la estación *Futaleufú en la frontera* y el Volcán Chaitén

Figura 31. Temperaturas a las cuales se ha registrado *D. geminata* en Chile, Nueva Zelanda (río Waitaki en rojo) e Inglaterra (Lago Windemere en verde)

Figura 32. pH de ríos en los que se ha registrado *D. geminata* en Chile

Figura 33. Conductividades eléctricas de ríos donde se ha registrado *D. geminata* en Chile y otros países

Figura 34. % de saturación de oxígeno de ríos de Chile donde se ha registrado *D. geminata*

Figura 35. Concentraciones de nitrato de ríos donde se ha registrado *D. geminata* en Chile y otros países

Figura 36. Representación gráfica del rango de algunas condiciones en las cuales puede desarrollarse *D. geminata*. El eje inferior cuantifica las variables nitrato, temperatura y % de saturación de O₂, y el eje superior cuantifica la conductividad eléctrica

Figura 37. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Futaleufú

Figura 38. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Noroeste

Figura 39. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Espolón

Figura 40. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el Estero Bellavista

Figura 41. Polígono de Contención Región de Los Lagos

Figura 42. Unidades de desinfección de X región. (Workshop CORFO, 2012)

Figura 43. Tríptico de Difusión Inglés (www.sernapesca.cl)

RESUMEN

Didymosphenia geminata (Lyngb.) M. Schmidt 1899 es una diatomea microscópica unicelular bentónica de agua dulce que forma colonias, es invasiva y se ha declarado plaga tanto en Chile como en Nueva Zelanda, específicamente en la región de Los Lagos y Aysén. Este estudio se centra en la cuenca del río Yelcho (Región de Los Lagos), principalmente el río Futaleufú, lugar donde se ha observado esta alga (conocida como Didymo). La hipótesis de este estudio plantea que existe relación entre las características físicoquímicas de los ríos con presencia de Didymo y su distribución, y el objetivo fue realizar una caracterización física y química del sistema fluvial de la cuenca hidrográfica del Río Yelcho asociada a la presencia de *D. geminata*. Para esto se realizó una caracterización ambiental, a partir de datos hidrogeológicos disponibles de la única estación de calidad de aguas de la DGA de la zona, un Análisis de Componentes Principales (para explicar las variables relevantes en la variabilidad del sistema), un análisis de conglomerados y una caracterización de las principales actividades antropogénicas que influyen externamente en ríos prospectados.

Las aguas del río Futaleufú presentan un pH relativamente neutro, de bajas temperaturas, carbonatado cálcico y de alto caudal. La trofia del río no fue posible establecerla por la ausencia de datos de fósforo y nitrógeno total. El análisis estadístico arrojó que no existe agrupación de los ríos con Didymo por similitudes físicoquímicas y que las variables que explican la variabilidad de los ríos de la cuenca son la oxigenación, la velocidad, el ancho del río y la conductividad eléctrica. Además, al incluir la presencia/ausencia de *D. geminata* como variable agrupante se observó que la físicoquímica de los ríos con y sin Didymo no tiene

diferencias significativas. Con respecto a la caracterización antrópica, la principal actividad de la cuenca del Yelcho asociada a los ríos es el turismo, particularmente las actividades de pesca recreativa y deportes náuticos, donde, a su vez, se correlacionó que los ríos que poseen estas actividades tienen mayor ocurrencia de *Didymo*, por lo que se consideraría que están asociadas a su dispersión.

Con relación a los objetivos, se evidenció que *D. geminata* no tiene condiciones óptimas acotadas de proliferación, y que la hipótesis no se cumple, es decir, no existe aún ningún patrón de distribución de la diatomea en la cuenca Yelcho. Se hace imprescindible su estudio, seguimiento y control, para evitar la introducción otros cuerpos de agua y prevenir las consecuencias ecológicas, biológicas y económicas.

ABSTRACT

Didymosphenia geminata (Lyngb.) M. Schmidt 1899 is a microscopic freshwater diatom, which forms colonies, is invasive and has been declared pest in Chile and New Zealand, specifically in the Los Lagos and Aysén region. This study focuses on Yelcho River Basin (Los Lagos Region), mainly the Futaleufu River, where there has been record this algae (known as Didymo). The hypothesis of this study suggests that there is a relationship between the physicochemical characteristics of rivers where Didymo has been recorded, and its distribution, and the aim was to conduct a physical and chemical characterization of the watershed Yelcho river system associated with the presence of *D. geminata*. For this we conducted an environmental characterization, using the available hydrogeologic data from the only water quality station of the DGA in the area, a Principal Component Analysis (for determining the relevant variables that explain the variability of the system), a cluster analysis and a characterization of the major anthropogenic activities that affects externally the prospected rivers.

Futaleufu River waters have a relatively neutral pH, low temperature, high concentrations of calcium carbonate and high flow. The trophic state of the river was not possible to establish because of the absence of phosphorus and total nitrogen data. Statistical analysis showed that doesn't exist clustering between rivers with Didymo based in physical chemistry, and that the variables that explain the variability of the rivers in the basin are oxygenation, the water velocity, the width of the river and conductivity. Besides, by including the presence / absence of *D. geminata* as a variable, the analysis showed that the physical chemistry of the rivers has no significant differences. With regard to the anthropic characterization the main

activity of Yelcho's basin rivers is tourism, particularly the recreational fishing and water sports, which are correlated to the rivers that have more *Didymo* occurrence. Therefore, these activities are considered that are associated with the *D. geminata* dispersion.

With respect to the objectives, it was shown that *D. geminata* has no optimal proliferation conditions, and that the hypothesis is not true, ie, there is still no pattern of the diatom distribution in the basin associated with the physicochemical of Yelcho's basin rivers. It is essential the study, monitoring and control of *Didymo*, to avoid the introduction of the diatom to other water bodies and prevent the ecological, biological and economic damage.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Didymosphenia geminata (Lyngb.) M. Schmidt 1899 es un alga de la clase *Bacillariophyceae* (diatomeas). Las diatomeas son uno de los productores primarios más importantes en los ecosistemas acuáticos y uno de los tipos más comunes de fitoplancton. Esta diatomea es de hábitos bentónicos pues vive ligada a un sustrato (ya sea rocas o vegetación) donde puede encontrarse aislada o formando colonias. En este último estado puede producir un pedúnculo de mucopolisacárido (mucílago) por reproducción vegetativa, que cubre el sustrato y es detectado visualmente. En este grado de desarrollo *D. geminata* se encuentra en forma de plaga y es conocida vulgarmente como Didymo, “moco de roca”.

La condición de plaga Didymo se ha observado bajo ciertas condiciones físicas y químicas la cual comprende una serie de etapas desde colonias jóvenes de algas las cuales no generan mayores estragos en el ecosistema, hasta colonias más adultas, las que forman filamentos gruesos con un alto poder de invasión que puede cubrir grandes extensiones en los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla (Biosecurity, New Zealand, 2008). En la Figura 1 se ilustra *D. geminata*, donde sus células se pueden encontrar aisladas en el sustrato y unidas por un pedúnculo al sustrato. Esta última es la forma donde prolifera de manera extensiva y tiene una alta capacidad invasiva, y desarrolla una masa macroscópica mucosa que cubre los sustratos.

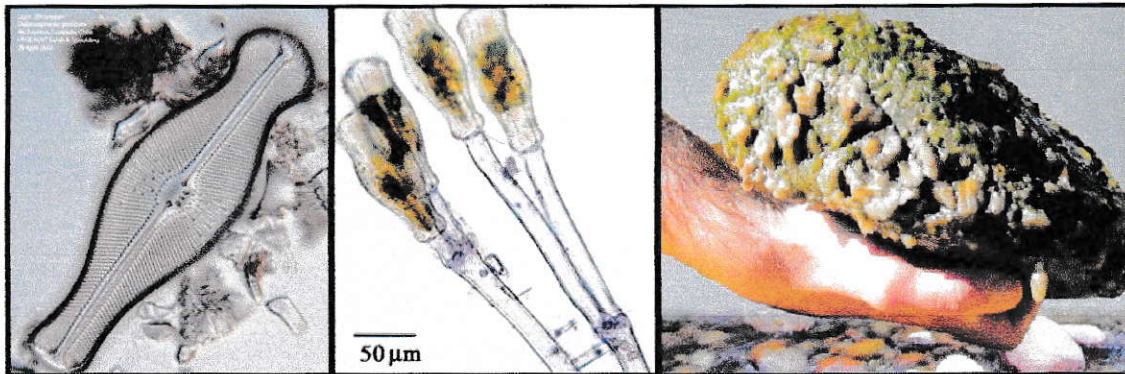


Figura 1. Imagen microscópica y macroscópica de *Didymosphenia geminata*. Se observa la diatomea aislada sin pie de mucilago (izquierda), con pedúnculo (centro) y en forma de plaga (derecha)

Esta alga se ha distribuido ampliamente en el hemisferio norte (Figura 2) a nivel mundial (Europa, Asia, Norteamérica, Turquía, China) por razones que aún se desconocen, y su dispersión ha sido tal que ha invadido cuerpos de agua del hemisferio sur, entre los cuales están los ríos de la Patagonia chilena.

En Octubre 2004 en Nueva Zelanda, en cuerpos de agua destinados a deportes náuticos, se detectó que *D. geminata* se desarrollaba sobre sustratos de ríos y orillas de lagos. Esta alga prolifera en forma masiva en Nueva Zelanda y se declaró plaga en la Isla Sur de este país, donde debido a su gran capacidad invasiva, en 4 años el 80% de los ríos del país se encontraban afectados (Biosecurity, New Zealand, 2008). Debido a la rápida dispersión de la diatomea, se realizaron extensos estudios sobre su hábitat, forma de vida y condiciones de reproducción y dispersión, donde se determinó que *D. geminata* alteraba la química del agua (Larned y col, 2006), producía daños físicos y ecológicos (Kilroy y col.

2004) y generaba disminución de la frecuencia turística para Nueva Zelanda lo que derivó en consecuencias económicas de millones de dólares (Branson y col., 2006).

En la Figura 2 se destaca Chile y Nueva Zelanda en el hemisferio sur, zonas que se han visto afectadas por esta plaga.

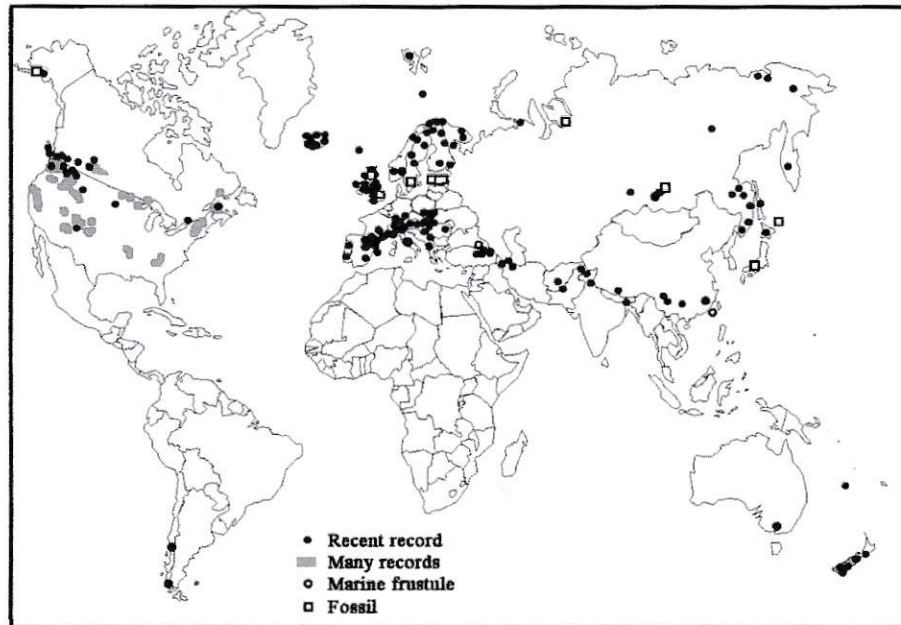


Figura 2. Distribución mundial de *D. geminata*. (Whitton y col., 2009)

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Presencia de *Didymo* en Chile

El origen de *D. geminata* en Chile es desconocido, al igual que en Nueva Zelanda y en otros lugares del mundo donde se ha registrado la presencia de esta alga invasora. Sin embargo, existen suposiciones que una de las grandes causas de su dispersión, establecimiento y proliferación ha sido asociada a las actividades de pesca recreativa, por medio de los equipos de pesca deportiva, embarcaciones deportivas, y acuicultura (Kilroy, 2004; POCH-U. Chile, 2011a, b y c).

En Chile, *D. geminata* ha sido declarada plaga en ríos de la región de Los Lagos y Aysén (Res. Ex. 3064/2010, SUBPESCA), específicamente en la cuenca de los ríos Palena, Aysén, Baker y Yelcho, este último perteneciente a la provincia de Palena, cuenca del río Yelcho, que es el área de estudio de este seminario de título. La Res. Ex. 3064/2010 de SUBPESCA se realizó para dar cumplimiento al Reglamento de Plagas Hidrobiológicas (D.S. 345/2005) con el fin de tomar medidas para controlar su rápida dispersión, ya que *Didymo* tiene ventaja competitiva por sobre otras algas, lo que genera repercusiones físicas y químicas, con implicancias ecológicas, económicas, sociales y estéticas (Kilroy y col. 2005a, 2005b, 2006, Campbell, 2005, Branson, 2006).

El estudio de la presencia de *D. geminata* en Chile es muy reciente. Se han realizado diversos estudios (Tabla 1) donde se ha recopilado vasta literatura que dan cuenta de condiciones donde se ha registrado *Didymo*, cómo se distribuye y medidas de control que se han implementado.

Tabla 1. Cronología de estudios realizados sobre *D. geminata* y su presencia en ríos patagónicos

| Fecha | Estudio |
|--------------|--|
| Mayo 2004 | CIEP (Centro de Investigación de Ecosistemas Patagónicos) detecta Didymo en ríos patagónicos |
| Abril 2010 | Se confirma la presencia de <i>Didymosphenia geminata</i> en Chile por la Dra. Sarah Spaulding (U.S. Geological Survey), en un muestreo realizado por la empresa de rafting "Expediciones Chile" en los ríos Futaleufú y Espolón |
| Mayo 2010 | Informe del CIEP confirma la presencia de Didymo en río Futaleufú y estudia sus morfotipos |
| Mayo 2010 | La Subsecretaría de Pesca informa la presencia de la diatomea en la cuenca del Río Futaleufú |
| Mayo 2010 | Informe de la Universidad de Concepción confirma identidad de <i>Didymosphenia geminata</i> en muestreos de ríos patagónicos (a cargo del Dr. Patricio Rivera) |
| Octubre 2010 | CIEP realiza una evaluación preliminar sobre <i>Didymosphenia geminata</i> en cuencas de Aysén y Baker, X Región y POCH-U. Chile realiza una prospección de la presencia de <i>Didymosphenia geminata</i> en las regiones XIV, X, XI y XII |
| Abril 2011 | CIEN Austral, Centro de Investigación y Desarrollo de la Región de Los Lagos, realiza una prospección de la presencia del alga en ríos de la cuenca del Futaleufú y Palena en la región de Los Lagos |
| Abril 2012 | POCH.U. Chile realizan una prospección de la presencia de <i>Didymosphenia geminata</i> en las cuencas Yelcho, Palena y Baker |



Figura 3. Presencia de Didymo en la subcuenca del Río Espolón, Cuenca del Yelcho, Región de los Lagos

1.2.2 Concepto y declaración de plaga para *D. geminata* en Chile

El concepto de plaga en cuerpos de agua en Chile, está asociado al D.S. MINECON. N°345/2005, Reglamento sobre plagas hidrobiológicas, donde se define plaga hidrobiológica como “*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*” (Artículo 1, DS N° 345/2005) *D. geminata* reúne distintas condiciones para ser considerada plaga, entre estas se encuentran: (Informe técnico D. AC. N° 2064/2010, SUBPESCA):

- Es una especie exótica invasiva
- Hasta ahora es imposible de erradicar
- Tiene un efecto negativo variable, desde modificar el ecosistema a daño a poblaciones acuáticas
- El mecanismo más probable de dispersión es el transporte pasivo por actividad humana
- Se encuentra en Chile formando proliferación masiva

D. geminata podría generar un peligro potencial a la estética del paisaje y el turismo, en su forma de plaga (Didymo) por reducción del valor recreacional de un sector turístico y pérdida del valor asociado a la extinción nativa de especies (Branson, 2006; Kilroy, 2004). Este valor se ha estimado para Nueva Zelanda, país que ha declarado zonas de plaga por Didymo, siendo de un promedio de US 157.000 millones de dólares (Biosecurity, New Zealand 2006).

1.2.2.1 Presencia de *D. geminata* en la cuenca Yelcho

En la cuenca del río Yelcho, se ha detectado *Didymo* en los ríos indicados en la Tabla 2 donde se indican los sectores con presencia de *D. geminata* en cada subcuenca que, a su vez, se ilustran en la Figura 4. Si bien, esta diatomea es conocida de hace muchos años, es en esta última década donde se ha descubierto su capacidad invasiva, y en esta cuenca en 2 años ha afectado a 5 ríos, y a otras cuencas de la región de Los Lagos. En el anexo 1 se observa un registro fotográfico de la diatomea en cada uno de estos ríos.

Tabla 2. Puntos de muestreo afectados con *D. geminata*, cuenca del río Yelcho

| N° | Subcuenca | Río | Coordenadas Geográficas | | Fuente |
|----|-----------|------------|-------------------------|--------------|----------------------|
| | | | S | W | |
| 1 | Yelcho | Futaleufú | 43°11'34,7" | 71°50'28,6" | POCH-U. Chile, 2011c |
| 2 | Yelcho | | 43°11'57,7" | 71°50'57,62" | Reid y col. 2011 |
| 3 | Yelcho | | 43°12'40,28" | 71°51'12,23" | Reid y col. 2011 |
| 4 | Yelcho | | 43°26'6,072" | 72°5'48,48" | Reid y col. 2011 |
| 5 | Espolón | Espolón | 43°11'35,2" | 71°52'15,3" | Reid y col. 2011 |
| 6 | Espolón | | 43°12'17,46" | 71°54'50,29" | Reid y col. 2011 |
| 7 | Espolón | | 43°12'0,71" | 71°54'43,88" | Reid y col. 2011 |
| 8 | Espolón | | 43°11'31,09" | 71°52'22,82" | Reid y col. 2011 |
| 9 | Espolón | | 43°11'35,12" | 71°53'13,45" | Reid y col. 2011 |
| 10 | Espolón | | 43°11'59,17" | 71°52'15,13" | Reid y col. 2011 |
| 11 | Yelcho | Yelcho | 42°58'14,7" | 72°43'21,4" | POCH-U. Chile, 2012 |
| 12 | Espolón | Noroeste | 43°11'12,73" | 71°54'9,89" | Reid y col. 2011 |
| 13 | Yelcho | Bellavista | 43°10'42,6" | 71°53'20,6" | POCH-U. Chile, 2012 |

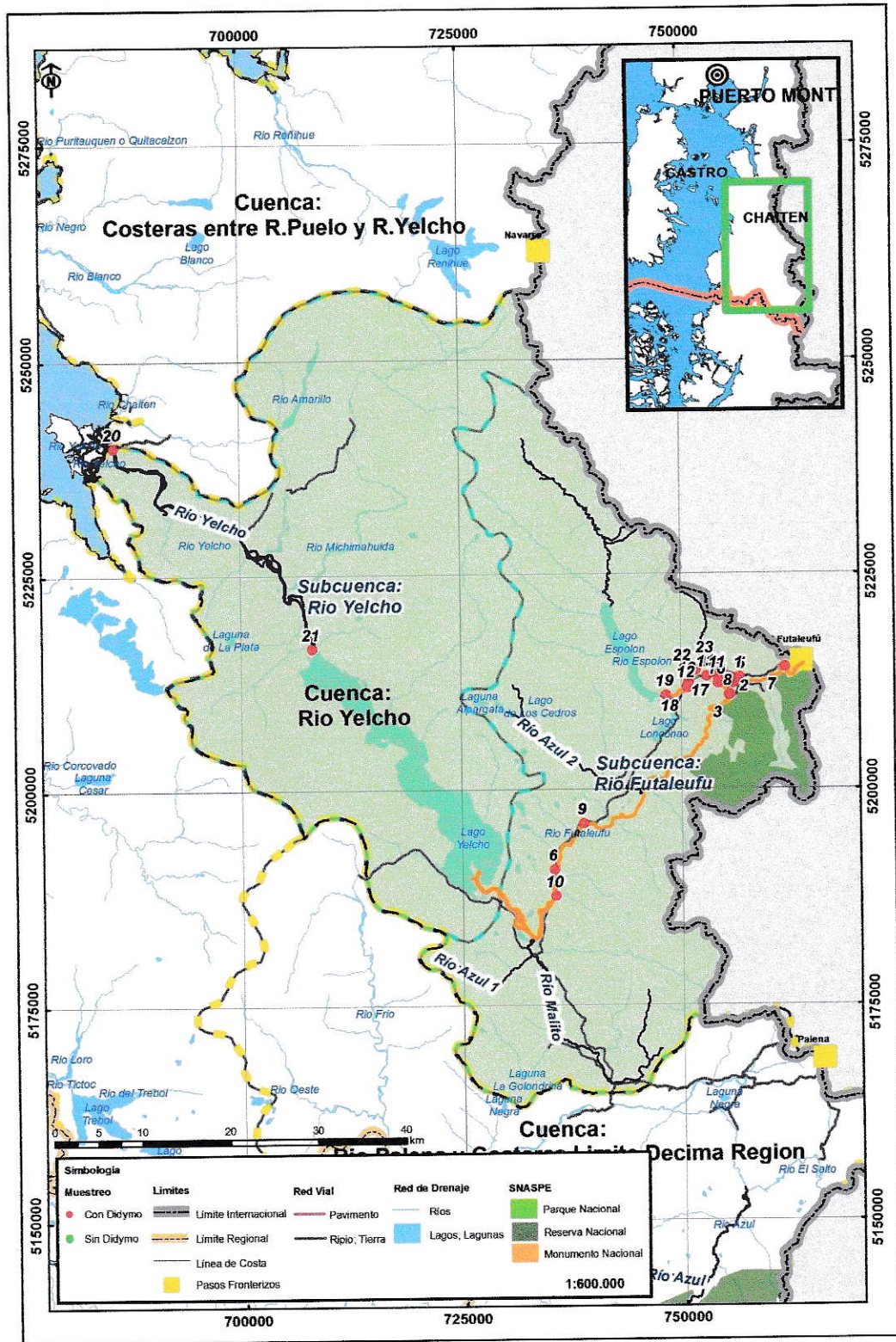


Figura 4. Distribución de Didymo en la cuenca del Río Yelcho

1.2.3 Antecedentes de efectos de *D. geminata* en los ríos invadidos

Invertebrados

La plaga de Didymo afecta directamente a la trama trófica del ecosistema donde esté presente (Larned y col., 2006), ya que los invertebrados que se alimentan de *D. geminata* se ven favorecidos por sobre los que tienen una dieta diferente. Además afecta directamente en el hábitat de microinvertebrados bentónicos ya que abarca una alta tasa de cobertura de sustratos y sedimentos (Spaulding & Elwell, 2007). De esta manera, si las proliferaciones de *D. geminata* son capaces de alterar la composición taxonómica y el tamaño de macroinvertebrados bentónicos presentes en el ecosistema, esa relación representa un impacto de nivel trófico. Sin embargo, estudios en Nueva Zelanda indican que algunas especies aumentan con alta cobertura de *D. geminata*. (Spaulding & Elwell, 2007). Esto deja a la vista que es necesario generar más investigación científica para dilucidar los efectos de *D. geminata* sobre las comunidades y sus consecuencias ecosistémicas a escala local, pues es difícil de generalizar.

Pesca

La distribución y abundancia de peces de los ríos se ve afectada por la presencia de Didymo. Por consiguiente, la pesca recreativa y, en menor medida, la artesanal se ven disminuidas. Esto ocurre por la competencia interespecífica por el hábitat, entre *D. geminata* y organismos que no son plaga (Biosecurity, New Zealand). Además, los peces que se alimenten de organismos bentónicos están en desventaja frente a *D. geminata*, por lo que también se verán afectados, ya que si la fuente de

alimento de los peces se ve disminuida también disminuirá el depredador. (Spaulding & Elwell, 2007)

Química del agua

Se ha detectado la presencia de *Didymo* bajo ciertas condiciones físicas y químicas en los sistemas continentales, sin embargo hoy en día esta distribución se ha ampliado, producto de un aumento del rango de condiciones ambientales en los cuales se desarrolla (Whitton y col., 2009; Spaulding & Elwell, 2007), por lo que no existe un patrón de distribución claramente definido para esta diatomea (Kilroy, 2004)

Entre los efectos inmediatos del alga sobre la química del agua, se ha observado la disminución de la concentración de sílice en el agua (característico de diatomeas), disminución de la disponibilidad de oxígeno en el medio, disminución del pH, aumento de las concentraciones de nutrientes y alteración del sustrato repercutiendo en el proceso reproductivo de la fauna autóctona del lugar (Larned y col., 2006), alterando el régimen del caudal y las dinámicas limnológicas.

Particularmente, se ha observado también que *Didymo*, puede absorber Fe y P del medio acuático (Sundareshwar y col., 2011), ya que el fósforo es limitante para su división celular (Bothwell & Kilroy, 2011). Estudios recientes indican que la cantidad de mucílago está inversamente relacionada con la concentración de fósforo en el agua, lo que indicaría que la diatomea atrapa el fósforo desde el agua por medio de su pedúnculo (Kumar y col., 2009).

1.3 Objetivos e hipótesis

Hipótesis

Existiría un patrón de distribución de *Didymosphenia geminata* en los ríos patagónicos asociado a las características físicas y químicas del cuerpo de agua

Objetivo General

Caracterización ambiental del sistema fluvial de la cuenca hidrográfica del Río Yelcho asociado a la presencia de *Didymosphenia geminata*.

Objetivos Específicos

1. Realizar una caracterización física y química de la cuenca del río Yelcho a partir de variables históricas de estaciones de calidad de la Dirección General de Aguas (DGA)
2. Realizar recomendaciones para la determinación analítica de variables físicas y químicas consideradas en prospecciones de *D. geminata*
3. Realizar una caracterización antrópica de la cuenca del río Yelcho y establecer asociaciones entre variables físicas, químicas y ambientales con ausencia/presencia de *Didymo* para identificar las actividades antrópicas del sistema fluvial que pudiesen constituir una amenaza a la dispersión de *D. geminata*

II. METODOLOGÍA

2.1 Localización de área de estudio

La cuenca hidrográfica del Río Yelcho pertenece a la X región de Los Lagos y se extiende entre los paralelos 42° 15' y 43° 40' de latitud sur y los meridianos 70° 55' y 72°50' de longitud Oeste, abarcando una superficie de 11.600 [km²] aproximadamente (Figura 5), correspondiendo 3900 [km²] al territorio Chileno y 7.700 [km²] al territorio de Argentina (DGA, 2007).

La cuenca del río Yelcho está compuesta por las subcuencas Futaleufú y Yelcho (Tabla 3). En este estudio se caracterizó el componente **físico y químico** del río Futaleufú (*Río Grande* en mapuche), pues es la única fuente de información histórica de la cuenca Yelcho, y se describió el componente **antrópico** de toda la cuenca Yelcho a partir de datos de usos antrópicos de ríos y prospecciones de *D. geminata*, realizadas por POCH- U.Chile.

Tabla 3. Sub-cuencas y ríos de la cuenca Yelcho, Región de Los Lagos

| Cuenca | Sub-cuencas | Ríos |
|--------|-------------|------------|
| Yelcho | Futaleufú | Espolón |
| | | Azul |
| | | Futaleufú* |
| | | Malito |
| | | Noroeste |
| | Yelcho | Yelcho |

* Único río con estación de calidad de aguas de la cuenca

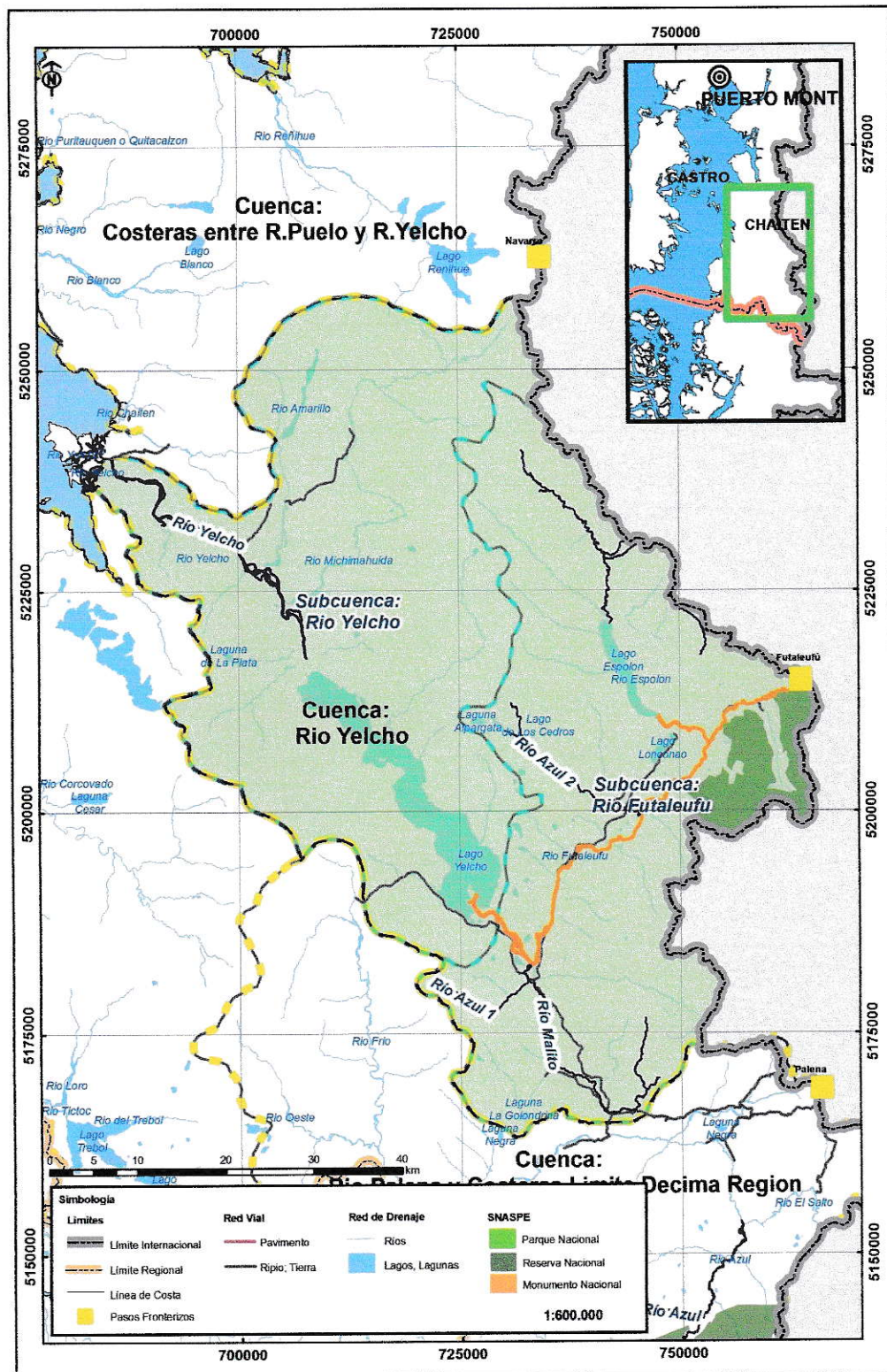


Figura 5. Mapa de localización del área de estudio: Cuenca Yelcho.

La subcuenca Futaleufú nace en territorio argentino en la Represa-Lago Amutui-Quimei (del complejo hidroeléctrico Futaleufú) posee una extensión de 40 km, donde un par de kilómetros corresponden a Argentina y el resto a Chile. Su principal aporte es el río Espolón y desemboca en el Lago Yelcho. El río se extiende entre paralelos 42°17' y 43°25' Latitud Sur y meridianos 70°58' y 72°11' Longitud Oeste y desemboca en el lago Yelcho. A los 10 km a partir de la entrada del territorio chileno se ha registrado la presencia de *D. geminata* (POCH Ambiental- U. Chile 2011^a; CIEP-Reid y col, 2010; CIEN Austral 2011b y c)

2.1.2 Estaciones fluviométricas y de calidad de aguas

La información histórica para estudiar la cuenca del Río Yelcho, fue elaborada por el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la Dirección General de Aguas y puesta a disposición para los fines de desarrollo de este trabajo. Las estaciones para caracterizar el río Futaleufú se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Estaciones fluviométricas y de calidad de aguas utilizadas para caracterizar el sistema fluvial del río Futaleufú (CIRH)

| Estación | Tipo de estación* | Coordenadas geográficas | | Sigla de la estación |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------|----------------------|
| | | Latitud (S) | Longitud (W) | |
| Río Futaleufú en la frontera | F y CA | 43°10'42,44" | 71°45'28,09" | FF |
| Río Futaleufú ante junta río Malito** | F | 43°27'8,58" | 72°6'35,41" | FRM |

* F = Fluviométrica; CA= Calidad de aguas; **Sólo se utilizará para la caracterización del caudal

La estación Futaleufú en la frontera se encuentra como su nombre lo dice, en la frontera Chile-Argentina. Está aproximadamente a 10 km del nacimiento del río

Futaleufú en Argentina (Figura 6) en el Lago Amutui Quimei (represa del complejo Hidroeléctrico Quimel, en Argentina), que no sólo regula la renovación de agua, sino que también regula el caudal, ya que desde el punto de nacimiento hasta la estación la pendiente del relieve es aproximadamente nula (la acción de la gravedad no es relevante). A su vez, esta estación se encuentra aproximadamente 7 km aguas arriba del área del río en el cuál se ha registrado Didymo.

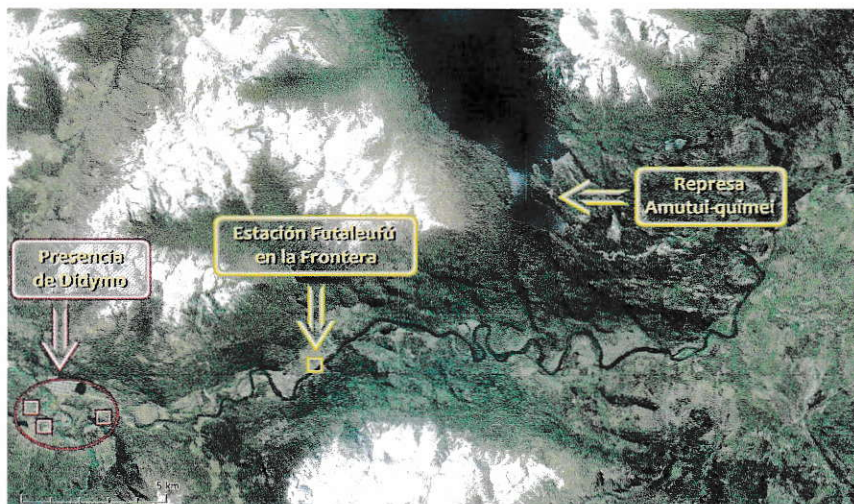


Figura 6. Vista satelital del nacimiento, bajo represa, del río Futaleufú; La estación Futaleufú en la Frontera (DGA) y la zona en la cual se ha registrado Didymo (Rojo)

Para la caracterización del régimen del caudal se utilizaron datos de las estaciones DGA *Futaleufú en la frontera* y *Futaleufú ante junta río Malito*, dónde la primera está aguas arriba del sector del río donde se ha registrado Didymo y la otra aguas abajo; esto se hizo para garantizar un espectro más completo de las variaciones que experimenta el caudal a lo largo de la cuenca. En relación con los componentes químicos (calidad de aguas), se utilizó como referencia sólo la estación Futaleufú en la frontera (por ser la única estación de calidad de aguas en la zona).

2.2 Diagrama de flujo metodológico

En la Figura 7, se resume el flujo metodológico que se siguió en este seminario de título. Se realizó una caracterización ambiental en base a los componentes físicos, químicos y biológicos. Para la parte física, se realizó una recopilación bibliográfica del clima y la hidrogeología del sistema. El componente químico se caracterizó a partir de datos históricos de variables físicas y químicas del período 2001-2010 y datos actuales de prospecciones de proyectos de SUBPESCA ejecutados por POCH Ambiental S.A. en los años 2010 y 2011. El componente biológico se refiere a la plaga *Didymo* y su distribución. Y por último, se realizó una caracterización antrópica de la cuenca (usos antrópicos de los ríos) asociados a la presencia de *D. geminata*.

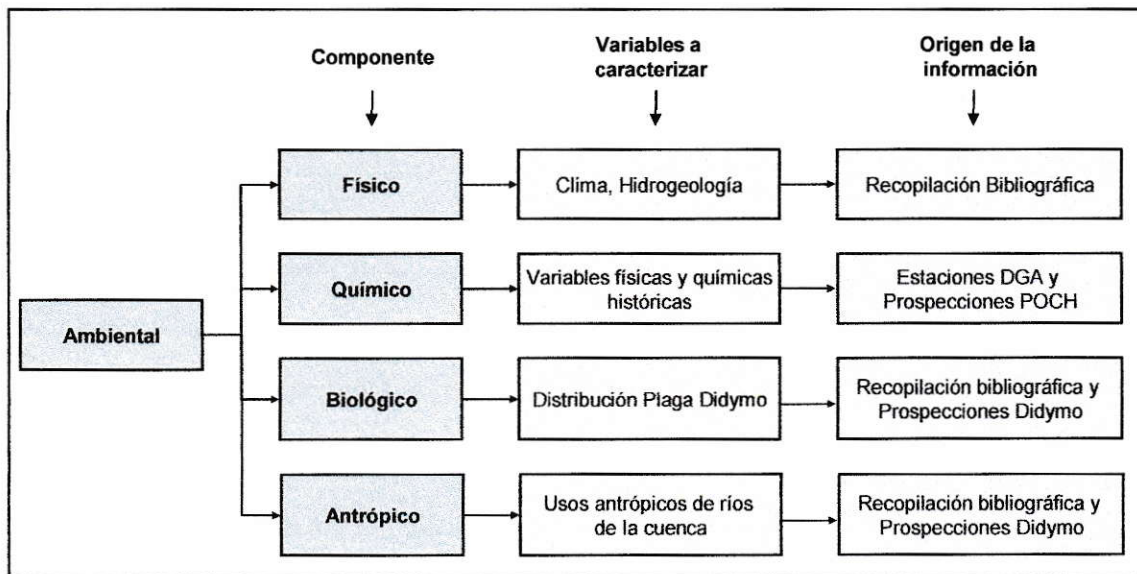


Figura 7. Flujo metodológico de las actividades a realizar

2.3 Desarrollo de objetivos

Para realización de los objetivos se hizo una recolección de datos históricos de variables físicas y químicas, y de datos involucrados en la presencia y evolución de *Didymo* de la cuenca Yelcho. El material bibliográfico principal se centró en la obtención de datos de variables físicas y químicas disponibles de las estaciones fluviométricas y de calidad de aguas de la DGA, datos actuales a partir de prospecciones de *D. geminata* e información de publicaciones a nivel mundial.

2.3.2 **Objetivo Específico 1:** Realizar una caracterización física y química de la cuenca del río Yelcho a partir de variables históricas de estaciones de la DGA.

- **Actividad 1:** Elaboración de una Base de Datos Depurada de estaciones de calidad de aguas DGA

Se recopiló una base de datos de estaciones de calidad de agua de la Dirección General de Aguas (DGA) de la cuenca Yelcho. Se observó que existía sólo una en la cuenca: "*Futaleufú en la frontera*". Por la escasez de estaciones de calidad de aguas, la caracterización física y química de la cuenca del río Yelcho sólo se hizo en base a esta estación y a este río. El período que abarcan los datos es 2001-2010. Una vez finalizada la etapa inicial de ordenación de datos se realizó una revisión preliminar de los valores de las variables de calidad indicadas en la Tabla 5.

Revisión 1

El análisis de los datos permitió detectar incoherencias en los datos, por lo que se consideró necesario realizar una visita al laboratorio DGA para:

- Análisis y correcciones de valores mínimos (Límites de detección): Dentro de una misma variable había más de un límite de detección, por lo que en la visita DGA se consultaron todos los métodos de medición y sus respectivos límites de detección en todo el período de medición estudiado, y así corregirlos.
- Revisión de errores sistemáticos y operacionales: Esta revisión permitió corregir aquellos datos que parecían inconsistentes, los cuales eran errores asociados al almacenamiento de datos y errores en la digitación

Revisión 2

- Para aquellos datos donde el valor del parámetro fuera menor al límite de detección, se consideró este último como valor final del dato.
- Se eliminaron los valores 0 (cero) ya que cualquier equipo o instrumento de medición tiene un límite de detección mayor que cero.
- Se uniformizaron las unidades de cada variable. De esta manera, se consideró que 0,01 es un nivel de precisión suficiente para los valores de las variables Temperatura, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, pH, Bicarbonato, y Caudal. Mientras que se consideró 0,001 como nivel de precisión para Fósforo Total, Sulfato, Cloruro, Nitrato y Cationes.

Revisión 3

Para validar finalmente la información, se le asignó a cada valor de las variables un “nivel” de confiabilidad, basado en la cantidad de datos utilizados para obtener el valor promedio¹. Se consideró lo siguiente:

1. En el caso de disponer de un número de registros mayor o igual a 4 datos por período anual, se calculó el promedio, lo que equivale a información de **Nivel 1**.
2. Cuando se dispone de un número de registros entre 2 a 3 datos por período anual, también se procedió a calcular un promedio aritmético de los datos, pero se considera información de **Nivel 2**.
3. Cuando se dispone de 1 registro por período anual, se considera este valor como un valor anual, pero se considera información de **Nivel 3**.
4. Cuando no se dispone de información por período anual, y se hace imprescindible tener una estimación para el análisis, los años sin información (*missing values*) fueron reemplazados por el promedio aritmético de los valores de los años anteriores, lo que se consideró información de **Nivel 4**.

Considerando esto, la información de Nivel 1, es significativamente más confiable que la información de nivel 4.

1° resultado: El resultado de esta actividad es una Base de Datos Depurada (BDD), revisada y donde se establece la confiabilidad de cada valor de cada parámetro considerado.

¹ Metodología adaptada de CADE-IDEPE, DGA 2004.

- **Actividad 2:** Elección de variables históricas para la caracterización de calidad del agua

Para la caracterización, se seleccionaron variables han sido reconocidas en aportar a la descripción de sistemas fluviales y en la caracterización de su funcionamiento, como por ejemplo estar relacionadas con el ciclado de nutrientes, indicadores de calidad, entre otros (Tabla 5). La importancia ambiental de estas variables se encuentra en el anexo 2.

Tabla 5. Variables consideradas en la caracterización física y química de la cuenca del Yelcho

| Tipo de Variable | Parámetro | Unidad |
|------------------|--|--------------------------------------|
| FÍSICAS | Caudal (Q) | m ³ /s |
| | Temperatura (T°) | °C |
| QUÍMICAS | pH | Unidades de pH |
| | Conductividad Eléctrica (CE) | µS/cm |
| | Oxígeno Disuelto (OD) | mg/L |
| | Alcalinidad (HCO ₃ ⁻) | mg/L HCO ₃ ⁻ |
| | Nitrógeno de nitrato (N-NO ₃ ⁻) | mg/L N-NO ₃ ⁻ |
| | Fósforo de fosfato (P-PO ₄ ⁻³) | mg/L P-PO ₄ ⁻³ |
| | Sulfato (SO ₄ ⁻²) | mg/L SO ₄ ⁻² |
| | Cloruro (Cl ⁻) | mg/L Cl ⁻ |
| | Calcio (Ca ⁺²) | mg/L Ca ⁺² |
| | Magnesio (Mg ⁺²) | mg/L Mg ⁺² |
| | Potasio (K ⁺) | mg/L K ⁺ |
| | Sodio (Na ⁺) | mg/L Na ⁺ |

Para hacer recomendaciones sobre las variables o métodos analíticos para este tipo de aguas, se observó cuáles son los utilizados en la DGA para las variables de la Tabla 5. Los métodos de medición para las variables y parámetros considerados para la caracterización física y química se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6. Métodos de medición de variables DGA y sus respectivos límites de detección (LD)

| Variable | LD [mg/L] | Técnica | Metodología |
|---------------------------------|-----------|---|---|
| Temperatura | | Sonda Multiparamétrica (<i>in situ</i>) | |
| pH | | | |
| CE | | | |
| OD | | | |
| Q | | Aforos de descarga | |
| HCO ₃ ⁻ | 6,1 | Volumetría | Titulación ácido-base |
| Cl ⁻ | 1 | Volumetría | Titulación con Hg(NO ₃) ₂ |
| N-NO ₃ ⁻ | 0,010 | EAM ² | Método del salicilato (Rodier, 1981) |
| P-PO ₄ ⁻³ | 0,003 | EAM | Método del ácido ascórbico (4500-PE SMWW ³) |
| SO ₄ ⁻² | 3,0 | Turbidimetría | Método HACH 8051 |
| Ca ⁺² | 0,4 | EAA-Llama A/A ⁴ | 3111B SMWW |
| Mg ⁺² | 0,1 | EAA-Llama A/A | 3111B SMWW |
| K ⁺ | 0,2 | EAA-Llama A/A | 3111B SMWW |
| Na ⁺ | 0,2 | EAA-Llama A/A ⁵ | 3111B SMWW |

Fuente: Laboratorio DGA (visita)

² EAM = Espectroscopia de Absorción Molecular

³ SMWW = Standard Methods for examination of water and Wastewater, 21st Edition

⁴ EAA = Espectroscopia de Absorción Atómica

⁵ A/A = Aire/Acetileno

- **Actividad 3:** Caracterización de la subcuenca Futaleufú (cuenca Río Yelcho)

La caracterización de la sub cuenca del Río Futaleufú se separó en dos etapas:

Etapas 1: Caracterización de las características naturales de la cuenca.

Se consideró el entorno y la físicoquímica del río Futaleufú. Se caracterizó el clima, hidrología, hidrogeomorfología y rangos de condiciones físicas y químicas del río Futaleufú, a partir de bibliografía y estudios de la subcuenca.

Etapas 2: Caracterización a partir de la base de datos histórica de la Dirección General de Aguas (DGA).

A partir de los datos de la Base de datos Depurada (BDD) se caracterizó la calidad del agua del río Futaleufú, donde se informaron los rangos anuales y la evolución de las variables de la Tabla 5.

Para las variables *in situ* (temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto) se calculó la media aritmética de datos medios diarios para obtener medios mensuales para cada año, es decir, se calculó la media de un mismo mes en distintos años. Para variables de análisis de laboratorio (aniones, cationes y nutrientes), se obtuvieron promedios anuales a partir de datos medios diarios. Y para el caudal, se obtuvieron promedios anuales a partir de datos medios mensuales.

Una vez obtenidos los datos anuales para cada variable, se graficaron versus la variable independiente tiempo (escala anual y mensual). El período registrado de datos es desde el año 2001 al año 2011. Para la respectiva caracterización, se consideraron los rangos de máximos y mínimos a lo largo del año para conocer la evolución anual de la calidad del agua. Los gráficos se realizaron mediante el software Microcal Origin (OriginLab) 7.0. y Microsoft Excel 2010.

Además, para una ilustración más visual de la distribución de iones en el río, se realizaron diagramas de Maucha (Maucha, 1932) para los años estudiados.

Los diagramas de Maucha son diseños hidroquímicos de símbolos de una estrella de ocho puntas, donde las concentraciones de aniones están a la izquierda y los cationes están a la derecha (Figura 8). Las concentraciones se convierten en miliequivalentes por litro, de modo que el equilibrio de cationes y aniones de carga se puede ver a simple vista.

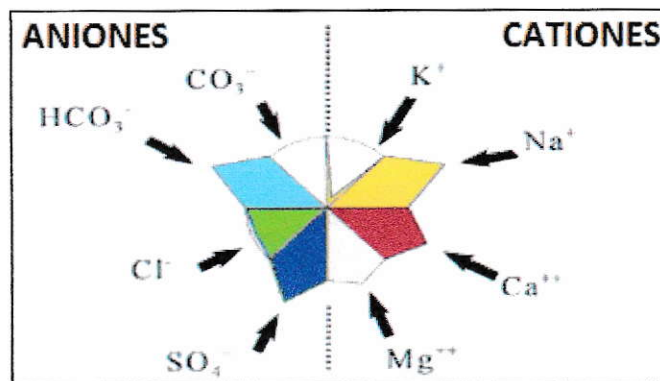


Figura 8. Anatomía de un diagrama de Maucha

2° resultado: Caracterización física de la cuenca del río Yelcho (clima, hidrología y geomorfología).

3° Resultado: Caracterización química de los niveles background del sistema fluvial del río Futaleufú, es decir, una estimación de las condiciones naturales del sistema.

- **Actividad 4:** Análisis estadístico a partir de datos de prospecciones de *D. geminata* en la región de Los Lagos

Para interrelacionar las variables físicoquímicas con la variable biológica (presencia y ausencia de *Didymo*) e identificar algún patrón de distribución asociado a la fisicoquímica del sistema, se realizó un Análisis de Conglomerados Jerárquicos (*Cluster*, en inglés) y un Análisis de Componentes Principales (ACP).

Para los análisis se recopilaron datos de prospecciones de *D. geminata* de proyectos SUBPESCA (años 2010 y 2011) en la región de Los Lagos, y se realizaron mediante el software Statsoft, Statistica 6.0. Los datos utilizados se encuentran en el anexo 3 y los estudios a partir de los cuales se obtuvo la información, se detallan en las referencias.

Para efectuar los análisis, la matriz de datos no tenía distribución normal, según se verificó por Test de Shapiro-Wilk. Sin embargo, para este caso, la suposición de normalidad no es requisito del cluster ni del análisis de componentes principales, ya

que no se busca una predicción a partir de los valores (modelación), sino disminuir el número de variables para describir información relevante (Marín J.M., 2006).

4° Resultado: Identificar si existe un patrón de distribución de *Didymo* asociado a la físicoquímica del sistema

5° Resultado: Identificar los componentes que aportan mayormente a la variabilidad del sistema fluvial del río Futaleufú

6° Resultado: Correlacionar las variables físicas y químicas relevantes para el sistema con la presencia/ausencia de *Didymo* como variable agrupante para los ríos prospectados. Esto es para poder observar si las condiciones físicas y químicas discriminan entre los ríos con y sin *Didymo* de la región de los Lagos.

2.3.3 **Objetivo Específico 2:** Realizar recomendaciones para la determinación analítica de variables físicas y químicas consideradas en prospecciones de *D. geminata*

Para establecer recomendaciones para la obtención de mediciones analíticas se evidenciaron interferentes en métodos utilizados, errores asociados al muestreo y límites de detección no adecuados para las variables estudiadas. Para esto se revisó información de métodos de muestreo de variables físicas y químicas en aguas, en bibliografía como *Standard methods for examination of water or wastewater* (APHA, 1998), manuales de evaluación de calidad de aguas (Molina X, Vila I., 2006,

CENMA-SAG; Fuentes & Massol, 2002) y de muestreo, textos de química analítica y normas técnicas como las de SERNAPESCA asociadas al control de Didymo.

Además, se hizo una revisión de todas aquellas condiciones físicas y químicas donde se ha desarrollado Didymo, tanto en Chile como en el resto del mundo, para identificar los rangos de variables donde esta diatomea ha podido habitar y correlacionarlos con los límites de detección de los métodos utilizados para las prospecciones de *D. geminata*. Si el límite de detección de un método es mayor al valor medido experimentalmente, implicaría que el método no es adecuado para caracterizar aguas donde se desarrolla Didymo.

2.3.4 Objetivo Específico 3: Realizar una caracterización antrópica de la cuenca del río Yelcho y establecer asociaciones entre variables con la ausencia/presencia de Didymo para identificar las actividades antrópicas del sistema fluvial que pudiesen constituir una amenaza a la dispersión de *D. geminata*

Esta caracterización identificó las actividades antrópicas de los ríos de la cuenca, asociados a la presencia de *Didymosphenia geminata*. Se caracterizaron las principales actividades antrópicas y las medidas de seguridad y control de Didymo adoptadas en la zona y se relacionaron los tipos de actividades antrópicas con la ocurrencia de Didymo en cada río.

6° Resultado: Caracterización de las actividades antrópicas de la cuenca asociadas a los ríos y su relación con la presencia de *D. geminata*.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización de la cuenca Yelcho

3.1.1 Clima de la cuenca Yelcho

El clima de la cuenca, y de la Patagonia chilena en general, es un clima templado lluvioso con influencia mediterránea. Este tipo de clima se caracteriza por una temperatura media del aire alrededor de los 12°C (Figura 9), y una alta humedad media anual (de 85%) por la presencia de abundantes cuerpos de agua, tanto lénticos como lótics, con alta nubosidad. La provincia de Palena se ve continuamente afectada por presencia de sistemas frontales por lo que se generan altas precipitaciones, humedad y nubosidad específicamente en la subcuenca de Futaleufú.

Otra característica es la presencia de vientos permanentes y de gran intensidad de dirección norte y noreste con velocidad de 50 km/hr o más (Niemeyer y Cereceda, 1984), sobre todo en los meses de verano y precipitaciones producidas por frecuentes sistemas frontales que cruzan la zona, los que a su vez producen abundante nubosidad y poca cantidad de días despejados. Estos vientos de aire húmedo con dirección hacia la parte andina se producen en la costa, y al chocar con el relieve, producen fuertes precipitaciones (PLADECO, 2004).

Particularmente, en Futaleufú no existe estación seca a lo largo del año (Figura 9), sin embargo, las precipitaciones en la temporada estival declinan en comparación al invierno. En relación a las temperaturas, existe una gran inversión térmica a lo largo del año, siendo 8-9 °C la temperatura media anual.

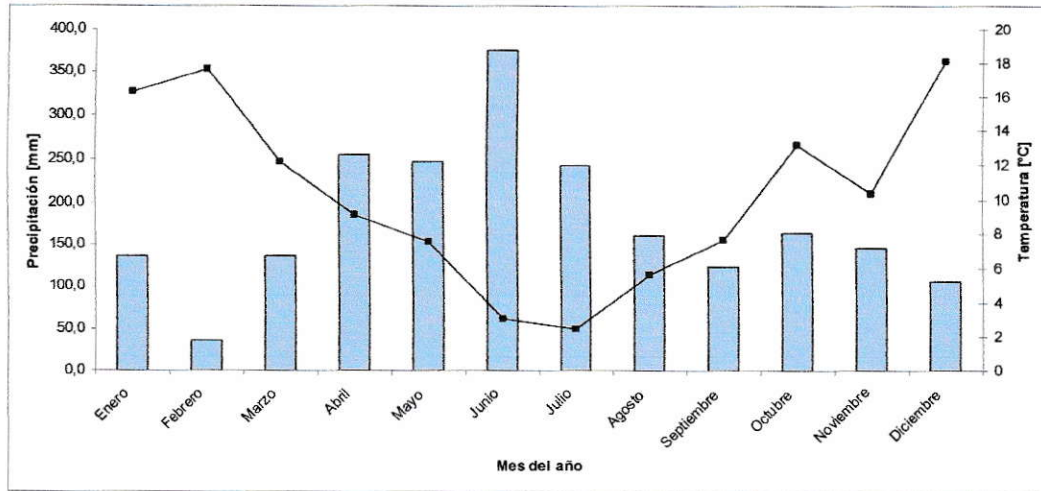


Figura 9. Climograma Estación Futaleufú. La línea ilustra la temperatura promedio (°C) y las barras ilustran la precipitación promedio (mm).

Datos: Dirección general de Aeronáutica Civil

3.1.2 Hidrografía de la cuenca

La cuenca Yelcho tiene 2 subcuencas: Río Yelcho y Futaleufú. Dentro de las clasificaciones de las cuencas hidrográficas de la Patagonia chilena, la cuenca del río Yelcho, se clasifica como una cuenca trasandina, es decir, sus cursos trasponen las serranías andinas a través de pasos, y habiendo nacido a veces tras ellas, desembocan en el pacífico en estuarios o fiordos (Errázuriz A., 1998).

La subcuenca de Futaleufú, representada en este caso por el río Futaleufú, recibe aporte de varios efluentes, entre ellos: Río Chico que desemboca en el Futaleufú a 5 km de la frontera Chile-Argentina y Río Espolón (principal tributario) que une sus aguas 3 km más abajo que el Río Chico (Chaparro & Marín, 2005). En territorio chileno el río tiene una longitud de 40 km y luego de confluir con el río Espolón, el Futaleufú toma una orientación sur-oeste y desemboca en el lago Yelcho.,

sin presentar variaciones de dirección, sólo meandros locales (PLADECO, 2004). A lo largo del año, el río Futaleufú tiene un régimen nivo-pluvial, es decir, presenta crecidas en invierno por las lluvias y en primavera por los deshielos. Por otra parte, tiene períodos de estiaje entre febrero y abril y hacia fines del invierno.

El relieve de la zona provoca que la pendiente del río Futaleufú sea alta (después de la estación de calidad de aguas DGA), aumentando considerablemente el caudal aguas abajo antes de desembocar en el lago, lo que ha generado un gran atractivo turístico para deportes náuticos, siendo en el 5° río en el ranking de los 10 mejores ríos mundiales para rafting y uno de los ríos más visitados para la práctica de kayaking (SERNATUR, 2012).

3.1.3 Tipo de suelo de la cuenca

Los suelos de la cuenca se han formado sobre sedimentos de cenizas volcánicas, depositadas sobre la roca fundamental, lo que genera una alta discontinuidad litológica, es decir, un cambio significativo en la distribución del tamaño de partículas. La baja influencia de la roca fundamental por sobre la ceniza volcánica explica el alto contenido de alofán (mineral de aluminosilicato) en los suelos de la Región (Peralta, 1980). Estos suelos tienen un alto contenido de materia orgánica, especialmente en la zona centro de la cuenca, sin embargo, su concentración va disminuyendo hacia la zona este de la cuenca (territorio Argentino). Particularmente los suelos de la zona del río Futaleufú, son suelos aluviales, "trumao", de terraza alta, de buen drenaje y permeabilidad y alta materia orgánica (Peralta, 1980).

3.1.4 Geomorfología de la cuenca

La cuenca del río Yelcho se localiza en la cordillera de los Andes de la Región de los Lagos (Figura 10). Esta zona se denomina cordillera patagónica y se caracteriza por ser cerrada y abrupta, atravesada por profundos cañones erosionados en una primera parte por glaciares y en la actualidad por los ríos de Chiloé continental, tales como los ríos Puelo, Futaleufú y Palena.

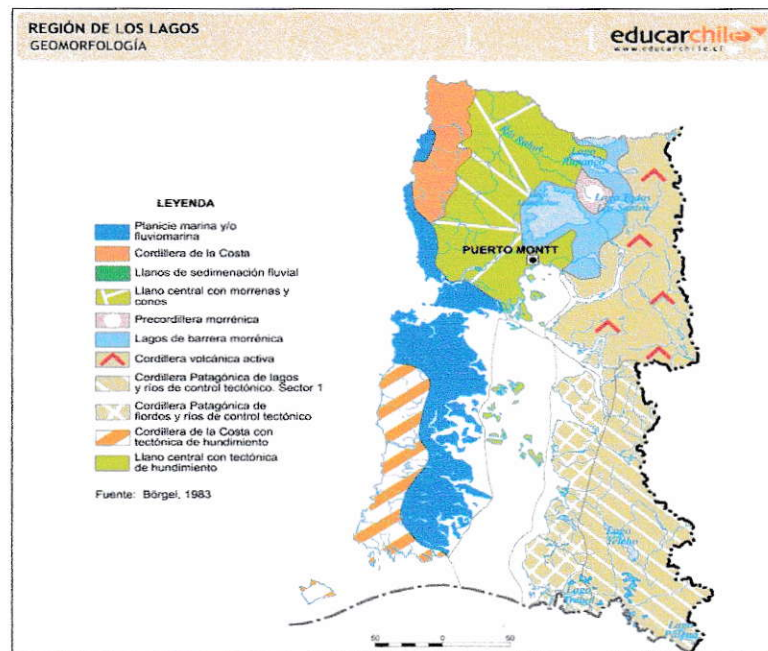


Figura 10. Perfil geomorfológico de la Región de Los Lagos (www.educarchile.cl)

Geomorfológicamente, esta zona se clasifica como un sector de cordillera patagónica de lagos y ríos de control tectónico (Börgel, 1983), es decir, la cuenca se encuentra en un sector cordillerano oriental que se pone en contacto con la zona volcánica activa. La geomorfología fluvial del área presenta características torrenciales a nivel de toda la zona, los ríos tienen lechos bien estabilizados y drenan sin dificultad,

debido a las precipitaciones y derretimientos de nieves característicos de la región (PLADECO, 2004).

La geología de la cuenca del Yelcho está representada por la cartografía temática donde se identifican principalmente por rocas de minerales de cuarzo, tales como: Granitos, Granodioritas y Biotita (Figura 11), además de tonalitas de Hornblenda (Aluminosilicato). Sin embargo, la zona oriente donde se localiza la subcuenca del río Futaleufú (Área de estudio) está compuesta por rocas de minerales carbonatados tales como Calizas, Lutitas, Areniscas Calcáreas, Areniscas y Coquinas. (Mapa geológico de Chile, SERNAGEOMIN, 2003).

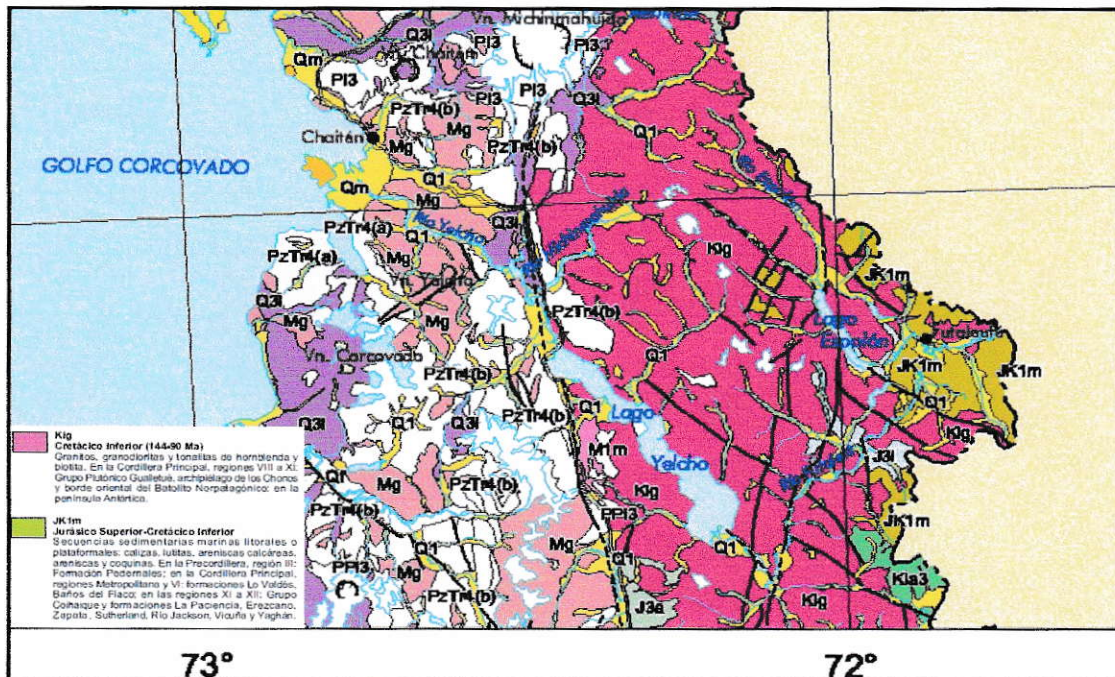


Figura 11. Mapa geológico cuenca río Yelcho

3.1.5 Análisis de variables físicas

3.1.5.1 Caudal (Q)

Para efectos de comprender la evolución del caudal del río, se tomó las dos estaciones fluviométricas del río Futaleufú: *Futaleufú en la frontera* (FF) y *Futaleufú ante junta río Malito* (FRM). La estación FF está aguas arriba del lugar donde se ha registrado Didymo y la estación FRM está aguas abajo.

En la Figura 12 se graficaron las evoluciones de los caudales de las dos estaciones fluviométricas. En la estación FF, los mayores caudales se registraron en los meses de septiembre a diciembre, y en la estación FRM en los meses de julio a octubre. De acuerdo al conjunto de datos informados por la DGA (anexo 4), el rango de caudal anual del río Futaleufú fluctúa entre 252-522 m³/s.

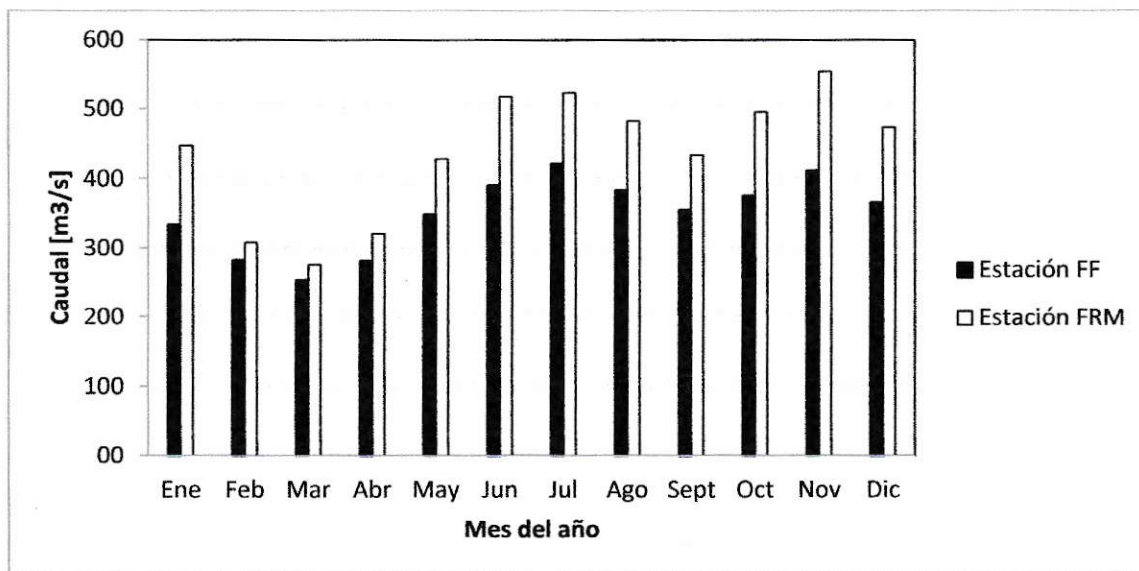


Figura 12. Caudales medios mensuales del período 2001-2010 para las estaciones: Futaleufú en la frontera (Gris oscuro) y Futaleufú ante junta río Malito (Gris claro)

3.1.5.2 Temperatura del río Futaleufú (FF)

La temperatura del agua del río Futaleufú tuvo a lo largo del año una fluctuación térmica en invierno y verano, de aproximadamente de 6° a 12°. En general, el cambio de temperatura no es tan pronunciado y en la mayor parte del año es templada, es decir, se caracteriza por temperaturas media anuales alrededor de los 15° (Fraume N., 2007). La menor temperatura se registró en los meses de julio y la mayor, los meses de diciembre a abril (Figura 13). El año más frío en promedio fue el año 2008, siendo de un promedio de 11°C. La temperatura más baja se registró en los meses de Julio del 2004 y 2005, de 7°C y 6°C. El rango de temperatura anual del río Futaleufú fue de 6 a 12 °C (anexo 5).

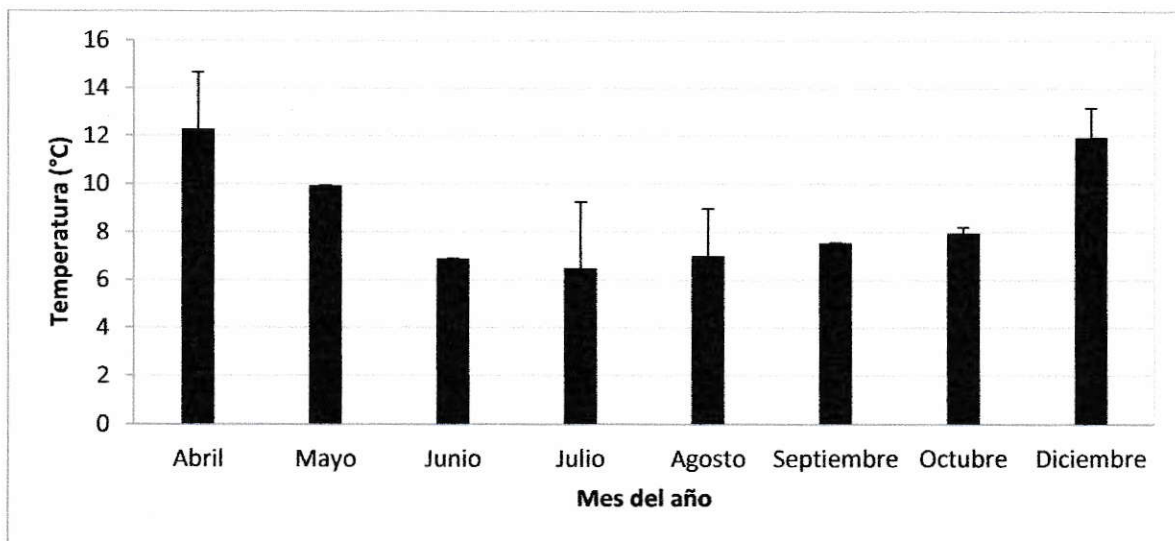


Figura 13. Temperatura media mensual registrada desde el año 2001-2011

3.1.6 Análisis de variables químicas en estación de calidad de aguas DGA Futaleufú en la frontera

3.1.6.1 pH

Con respecto al pH, el río mostró mayor variación en los meses de octubre, donde el pH es menor, y en junio, donde es mayor (Figura 14). Esta variación es de aproximadamente 1 unidad de pH. De acuerdo a lo informado por la DGA (anexo 5), el rango anual de pH del río Futaleufú es 6,6-7,9.

Con una tendencia fuera de lo común, en Abril del año 2006 se marca el nivel más alto que se tenga registro en la estación, un pH de 8,1.

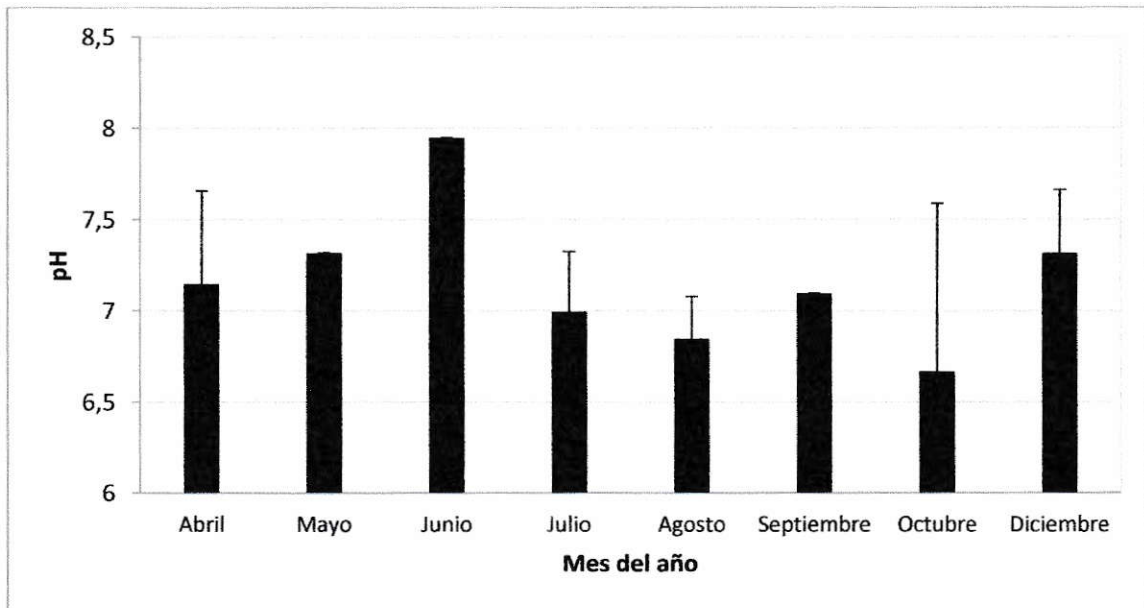


Figura 14. pH medio mensual para el río Futaleufú

3.1.6.2 Conductividad eléctrica (CE)

Con respecto a la CE, su variación refleja que en los meses de primavera se presenta la mayor conductividad y la menor se presenta en otoño (mes de mayo). No existe una gran variación de conductividad (de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en los meses de verano y en los meses de otoño. De acuerdo a lo informado por la DGA (anexo 5), el rango anual de CE del río Futaleufú es 50-89 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

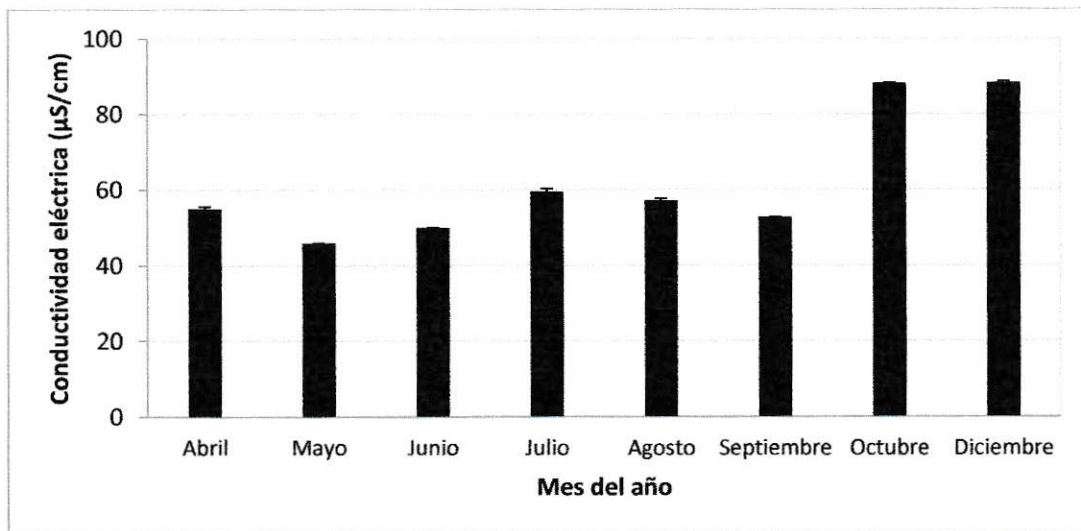


Figura 15. Conductividad eléctrica para el río Futaleufú

3.1.6.3 Oxígeno Disuelto

A lo largo de todos los años que se tiene registro, el río Futaleufú siempre estuvo sobre los 5 mg/L, oxigenación que se considera óptima para el desarrollo de vida acuática (Conzonno, 2009).

El rango de concentración de oxígeno disuelto (OD) promedio para el río Futaleufú fue entre 9,6 y 11,8 mg/L, donde los niveles mínimos de OD se dan el mes de abril y los mayores el mes de julio y agosto (Figura 16).

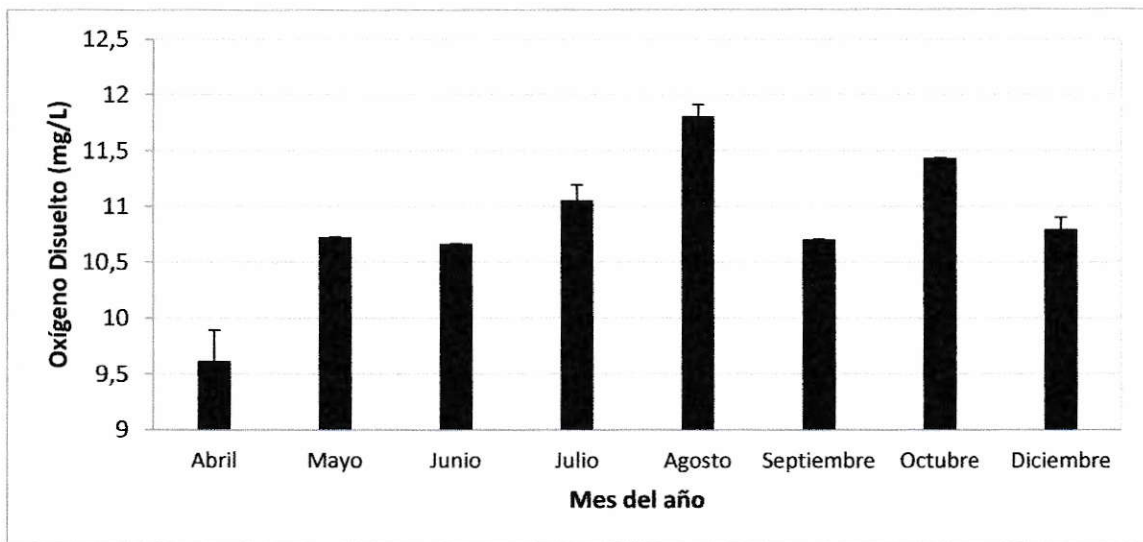


Figura 16. Oxígeno disuelto para el río Futaleufú

3.1.6.4 Aniones y cationes

Para efectos prácticos, por escasez de datos representativos, el análisis de iones se hizo con promedios medios anuales. En la Figura 17 queda de manifiesto que el anión mayoritario en las aguas del río Futaleufú es el bicarbonato (HCO_3^-), y lo siguen en menor proporción los Cloruros (Cl^-) y Sulfatos (SO_4^{-2}). Los cloruros históricamente se han mantenido relativamente constantes en un rango de concentración de 1-3 mg/L. Los bicarbonatos también se han mantenido relativamente constantes a una concentración aproximada de 19-20 mg/L, sin embargo, el año 2006 tiene un aumento inusual de 55 mg/L. Luego, el rango de concentración de bicarbonato para los años 2001-2006 es 19,8-55,2 mg/L.

Por el contrario, la concentración de sulfato ha tenido variación dentro de los 10 años de registro, presentando una tendencia a un aumento considerable. El rango de concentración de sulfato fluctúa entre 0,5-4,1 mg/L (Figura 17). Cabe señalar, que este valor de concentración de sulfato es bajo, si se considera que el nivel en aguas naturales varía entre 20 y 50 mg/L (Marín, 2003).

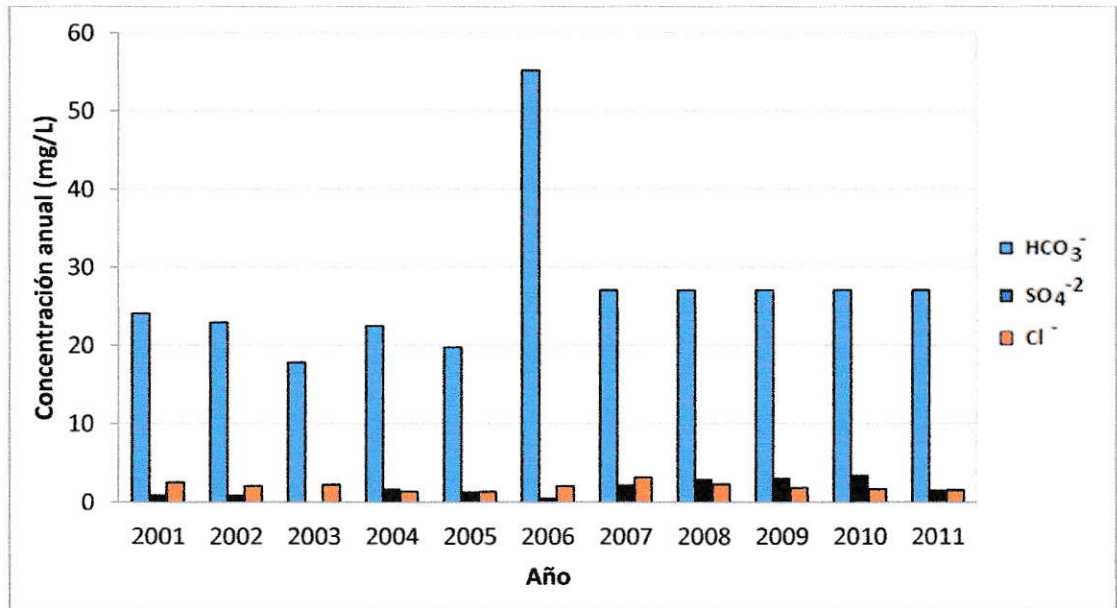


Figura 17. Concentración media anual de aniones para el río Futaleufú

Por su parte, los cationes mayoritarios son Ca⁺² y Na⁺ (Figura 18). Los rangos de concentración de cationes en mg/L son: 3,0-23,68 de Ca⁺², 0,18-0,82 de K⁺, 0,22-1,01 de Mg⁺² y 1,17-2,25 de Na⁺.

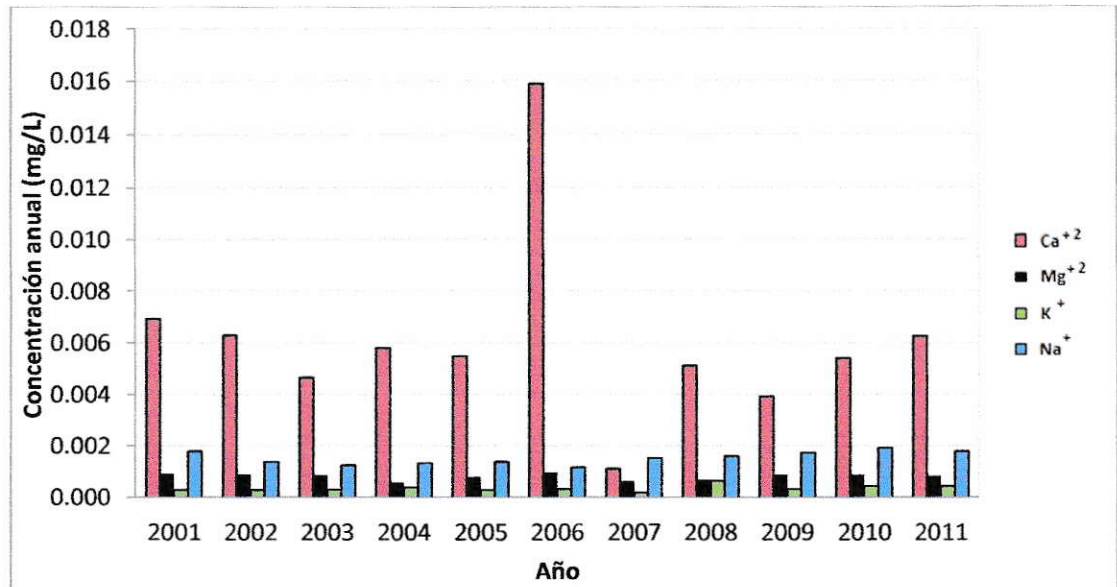


Figura 18. Concentración media anual de cationes para el río Futaleufú

Para ilustrar un comportamiento general del río de acuerdo a la concentración de aniones y cationes se confeccionaron diagramas hidroquímicos de Maucha (Figura 19), donde queda evidenciado que las concentraciones de calcio y el bicarbonato son muy predominantes por sobre los otros iones estudiados.

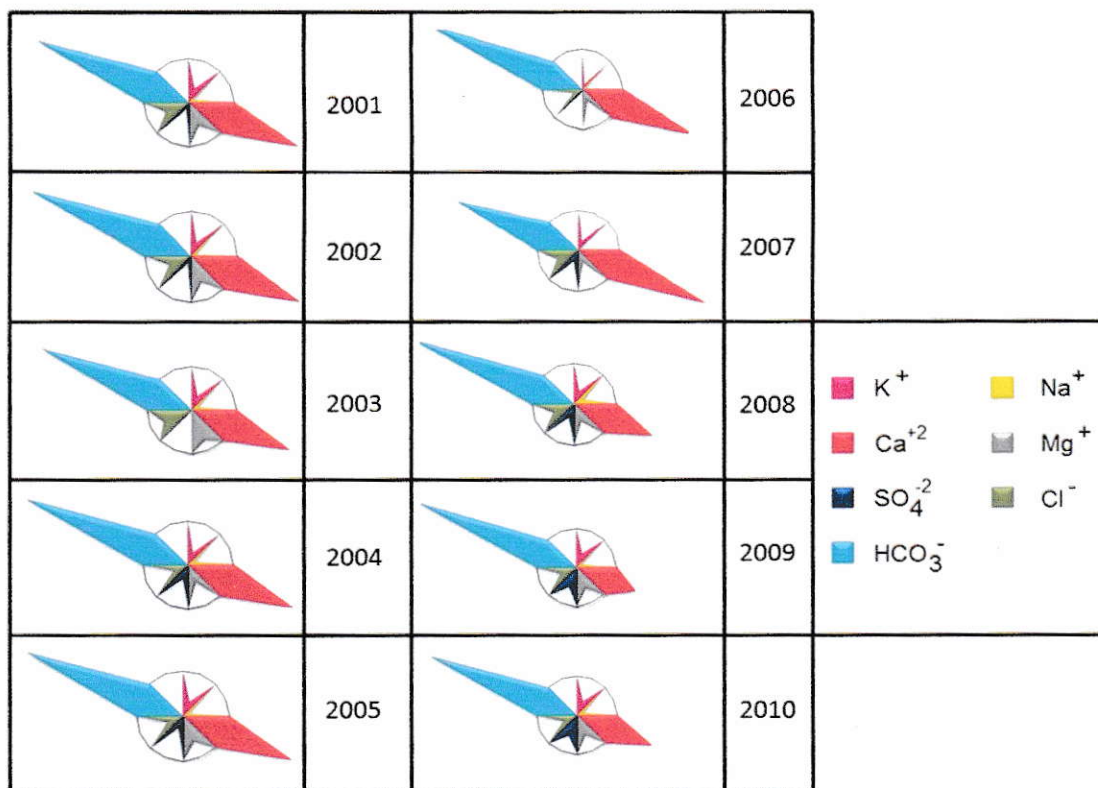


Figura 19. Diagramas de maucha confeccionados a partir de concentraciones medias anuales de iones del río Futaleufú

3.1.6.5 Nutrientes: Fosfato (PO₄⁻³) y Nitrato (NO₃⁻)

Las únicas formas de nitrógeno y fósforo que mide la DGA son la concentración de Nitrógeno de Nitrato (N- NO₃) y Fósforo de fosfato (P-PO₄). Para efectos prácticos, estos datos se transformaron en concentración de nitrato y de fosfato.

Por escasez de datos representativos, para el análisis de nutrientes se tomó el promedio medio anual de fosfato. La concentración de nitrato (NO₃⁻), Figura 20, se encuentra en mayor proporción, que el fosfato, con un rango de concentración de

44-158 $\mu\text{g/L}$, mientras que la concentración de fosfato (PO_4^{-3}), Figura 21, en los años de registro se mantuvo variable y en menor proporción con un rango de 7-34 $\mu\text{g/L}$.

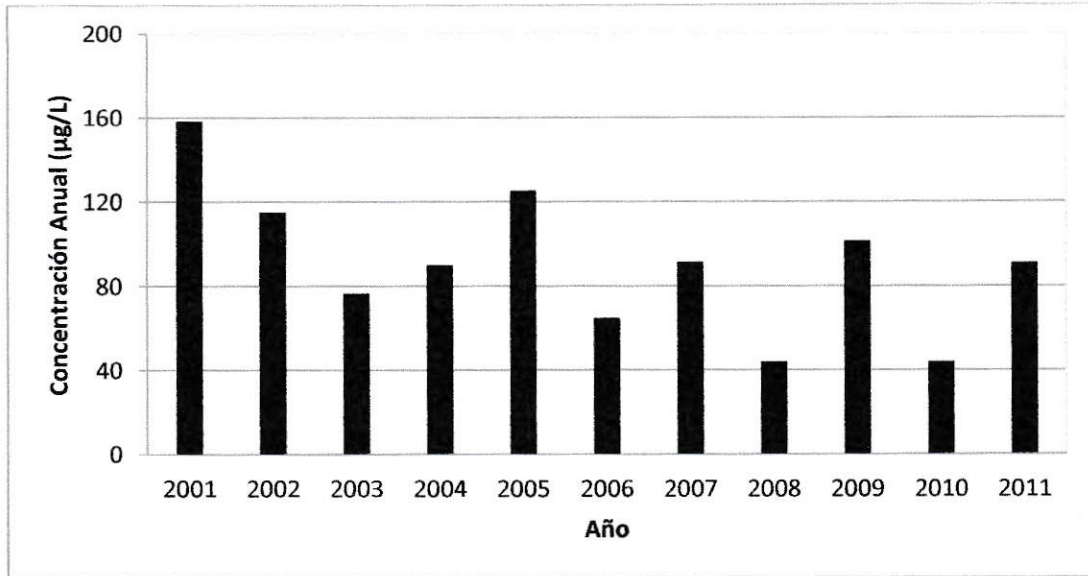


Figura 20. Concentración media anual de nitrato para el río Futaleufú

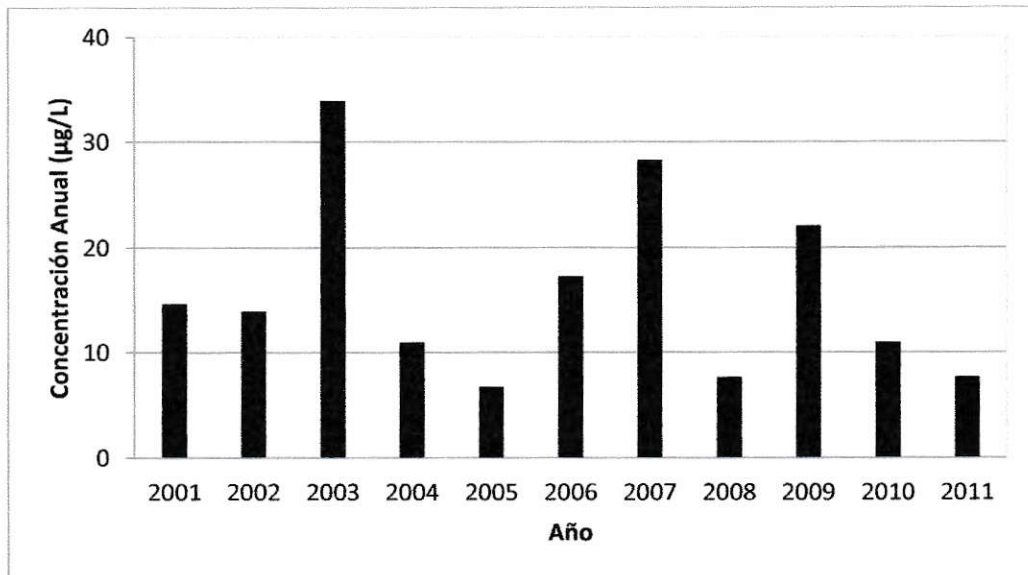


Figura 21. Concentración media anual de fosfato para el río Futaleufú

En la Tabla 7 se describe un resumen de los rangos característicos más importantes de las variables estudiadas y las observaciones más relevantes de acuerdo a lo observado.

Tabla 7. Tabla resumen de los rangos de las variables estudiadas

| Variable | Rango | Variación Anual | Observaciones |
|--------------------|--|--|--|
| Temperatura | 6-12°C | Máx: Diciembre (Deshielos) | Aguas templadas (< 15°C) |
| pH | 6-8 | Máx: Junio (Precipitaciones) | Río de pH neutro |
| CE | 50-89 µS/cm | Máx: Octubre (Deshielos) | Río de baja conductividad |
| OD | 9-12 mg/L | Máx: Invierno (A menor temperatura, mayor disolución de oxígeno) | 10 años sobre 7 mg/L: óptimo para desarrollo de vida acuática (Conzonno, 2011) |
| Caudal | 252-522 m ³ /s | Máximo: Diciembre (Deshielos) | Río de alto caudal según el ranking de caudales chilenos (DGA, 2003) |
| Aniones y cationes | Ca ⁺² : 4-23 mg/L | Las sales del río son mayoritariamente de Ca ⁺² y HCO ₃ ⁻ | Geología en base a minerales carbonatados |
| | HCO ₃ ⁻ : 20-55 mg/L | | |
| | PO ₄ ⁻³ : 7-34 µg/L | Los únicos nutrientes informados por la DGA son fosfato y nitrato | Se recomienda medir fósforo total y nitrógeno total para establecer trofia del río |
| | NO ₃ ⁻ : 44-158 µg/L | | |

3.1.7 Análisis de Conglomerados Jerárquicos (ACJ o *Cluster* en Inglés)

Para identificar algún patrón de distribución de *Didymo* según la fisicoquímica del río o identificar heterogeneidad en la química de los ríos de la región, se realizó un Análisis de Conglomerados Jerárquicos (*Cluster*, en adelante). Los datos utilizados provienen de estudios de prospecciones de *D. geminata* en la región de Los Lagos, para SUBPESCA ejecutados por la consultora POCH Ambiental y la Universidad de Chile (anexo 3).

Las variables disponibles para realizar el cluster: velocidad del agua, altitud sobre el nivel del mar, ancho del río, pendiente, longitud del río, índice de sinuosidad, temperatura, saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica.

El cluster se realizó con el criterio de *Distancia Euclidiana (Euclidian Distance)*, y a partir del método *Distancia mínima entre grupos (Single Linkage)* que se utiliza cuando se asume alta variabilidad en los datos, ya que permite unir puntos muy extremos. La ilustración gráfica de las agrupaciones, dendograma, se muestra en la Figura 22 donde se desprenden los cluster (grupos) (anexo 6). Para identificar los cluster se utilizó una distancia euclidiana de 50 como límite, lo que se considera como aceptable.

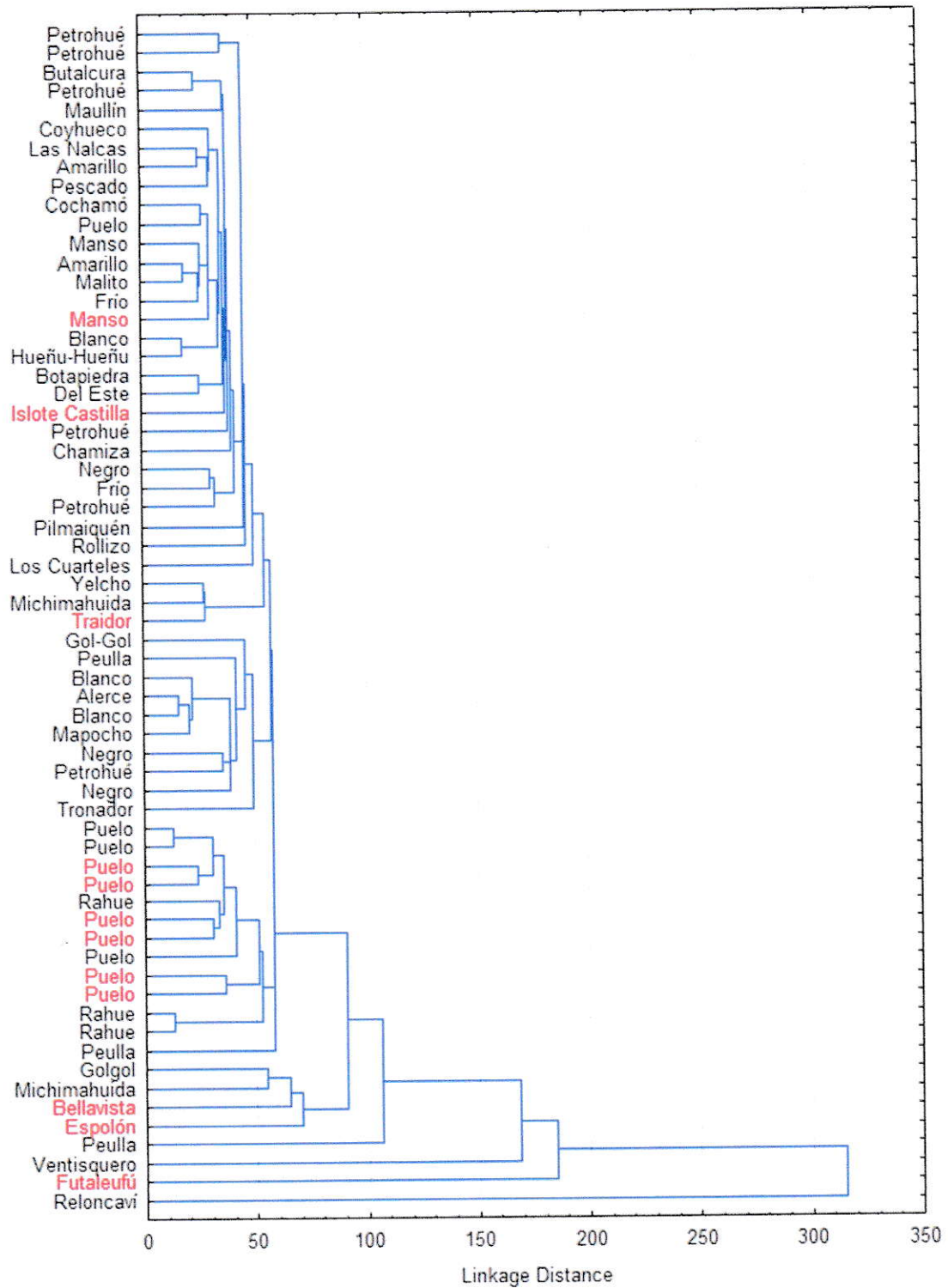


Figura 22. Dendrograma para los ríos de la Región de Los Lagos utilizando variables fisicoquímicas. Se destacan con rojo aquellos ríos con presencia de Didymo

3.1.8 Análisis de componentes principales (ACP)

Para tener un alcance de las variables que afectan la variabilidad del sistema, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP).

La base de datos utilizada es la misma para utilizada para el análisis de conglomerados (anexo 3). Cabe señalar, que algunas de estas variables están estrechamente correlacionadas entre si, por ej: El % de saturación de oxígeno se correlaciona con el oxígeno disuelto y la temperatura. Sin embargo, el ACP tiene sentido si existen altas correlaciones entre variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante, y por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total (Terrádez M., 2007); y además, considerando que el análisis se realiza para generar un conjunto de nuevas variables incorreladas entre sí (componentes principales), no tendría sentido realizar un ACP para variables originales sin correlación (Marín J.M., 2006).

El ACP explicó un 63 % de la varianza considerando los tres primeros componentes (F1 a F3), donde los dos primeros componentes explican un 49% de la varianza (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de componentes principales de variables físicas y químicas medidas en ríos de la región de Los Lagos (Datos: POCH-U. Chile a, b y c)

| | F1 | F2 | F3 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Valor propio | 3,02 | 1,65 | 1,47 |
| % varianza | 27,43 | 14,95 | 13,32 |
| % varianza acumulada | 27,43 | 42,38 | 55,70 |

En las Figura 23 y Tabla 9 se puede observar que la primera componente, de mayor peso, la explica el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno. La segunda componente, también de alta relevancia, es explicada por la velocidad del río y la tercera componente la explica el ancho y la conductividad eléctrica del río.

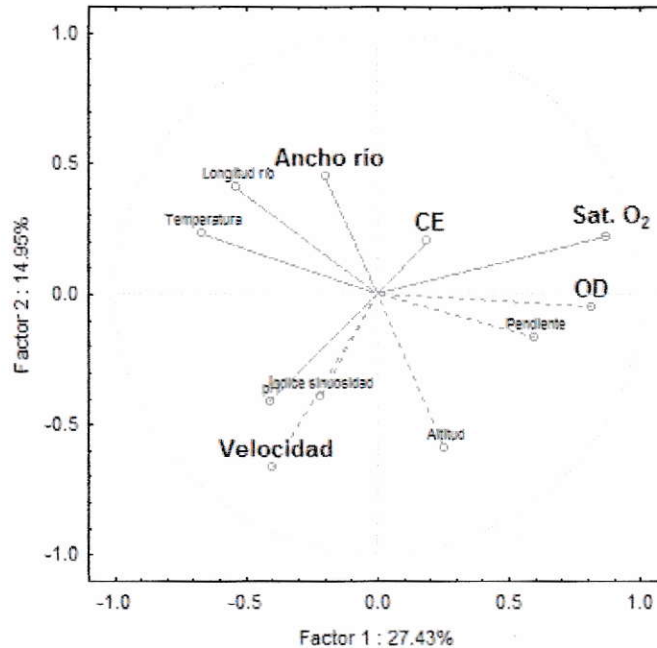


Figura 23. Análisis de componentes principales de ríos prospectados en la X región

Tabla 9. Correlación de componentes principales y las variables utilizadas para el análisis⁶. Las celdas destacadas son correlaciones significativas entre el componente y la variable

| | F1 | F2 | F3 |
|---------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Velocidad | -0.399379 | -0.663300 | -0.195187 |
| Altitud | 0.253284 | -0.590155 | -0.063942 |
| Ancho río | -0.197841 | 0.446232 | -0.699234 |
| Pendiente | 0.594633 | -0.163913 | 0.268594 |
| Longitud río | -0.536346 | 0.406625 | -0.301612 |
| Índice sinuosidad | -0.215817 | -0.393388 | -0.245279 |
| Temperatura | -0.664810 | 0.228417 | 0.387889 |
| Saturación O₂ | 0.872457 | 0.217672 | -0.088383 |
| Oxígeno Disuelto | 0.813942 | -0.048275 | -0.437959 |
| pH | -0.406646 | -0.410387 | -0.009304 |
| CE | 0.188436 | 0.200951 | 0.600516 |

⁶ Las correlaciones destacadas son aquellas con mayor ponderación, es decir, las que explican mayormente el componente principal. Se consideraron las correlaciones mayores al 60%.

3.1.8.1 Incorporación de variable biológica (*D. geminata*)

Se incorporó, dentro del mismo análisis de componentes principales, la presencia y ausencia de *Didymo*, de cada río, como variable agrupante, para saber cómo estos ríos se distribuyen espacialmente de acuerdo a esta variable, por lo que podríamos saber si la ausencia o presencia de *Didymo* está determinada específicamente por algún parámetro.

En la Figura 24, se presenta el gráfico de las agrupaciones. Cada punto representa un sitio de muestreo, y según su color, si tienen presencia o ausencia de *Didymo* (Rojo = Presencia, Verde = Ausencia). En la figura se puede observar una nube de puntos dispersada sin formar agrupación según las características fisicoquímicas de los ríos, sino por el contrario se superponen. Para analizar si los ríos agrupados por presencia/ausencia de *Didymo* presentan solapamiento se realizó un test de Mahalanobis. Esta es una prueba estadística que mide la distancia al centro de gravedad ponderada por la matriz de varianzas (de los ríos con presencia y ausencia de *Didymo* para este caso), tal que la diferencia significativa entre ellas se produce con una $p < 0,001$. En este caso, el test de Mahalanobis arrojó un $p = 3,83$, lo que implica que las regiones dimensionales de presencia y ausencias de *Didymo* no tienen diferencias significativas, es decir, las regiones verde (ausencia) y roja (presencia) están superpuestas.

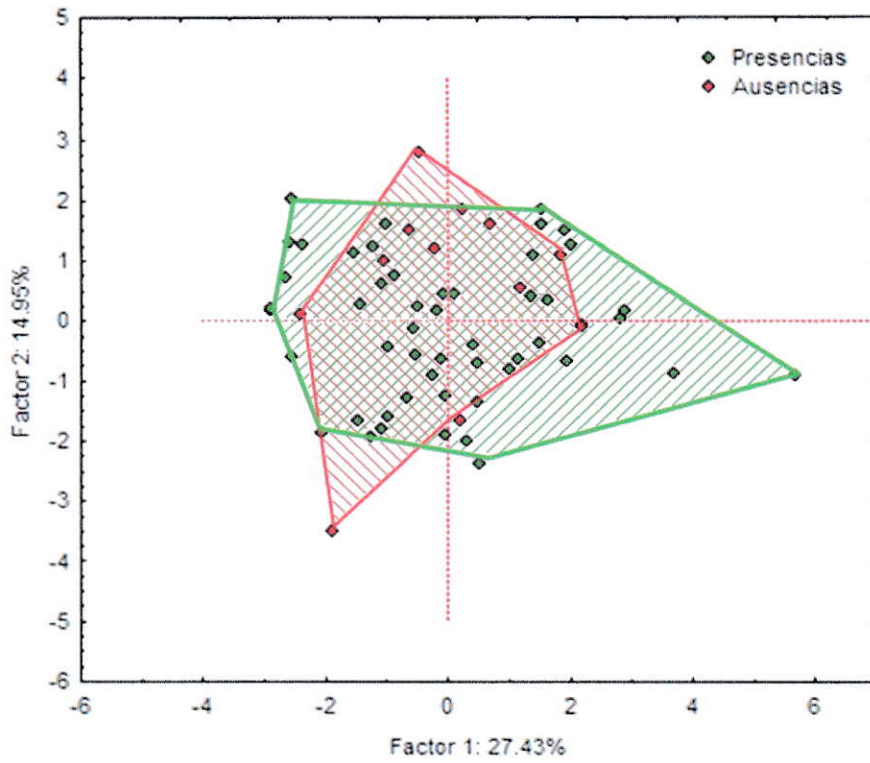


Figura 24. ACP considerando la presencia y ausencia de Didymo como variable agrupante (presencias = Rojo, Ausencias = Verde)

3.1.9 Caracterización antrópica de la cuenca Yelcho

3.1.9.1 Actividades antrópicas de la cuenca

En la región de Los Lagos, las principales actividades productivas son la agricultura, ganadería y explotación forestal. Estas actividades generan el 28% de empleos de la zona (Alvear, 2003). Sin embargo, el turismo, si bien no es una actividad tan productiva como la agrícola-ganadera, genera altos ingresos económicos a la zona, por ejemplo, en el año 2010, el turismo receptivo en la provincia de Palena generó un ingreso de divisas de USD 2.039,8 millones (POCH S.A. 2012) debido a que la belleza escénica del área es sorprendente; razón por la que el año 2001 SERNATUR declarara zona de interés turístico nacional al río Futaleufú y sus alrededores. Por otra parte, el turismo está asociado a actividades recreativas que están estrechamente ligadas a los ríos como recurso principal, que en este seminario de título, son el objetivo de estudio. El ingreso económico del turismo, asociado a actividades como la pesca, navegabilidad y deportes náuticos en los ríos, se ve incrementado en épocas de veraneo (de Diciembre a Marzo) y en épocas de pesca recreativa (de Noviembre a Mayo).

En la cuenca del Yelcho las principales actividades recreativas asociadas a los ríos son el trekking y deportes náuticos para el río Espolón y Futaleufú, y pesca recreativa para el río Yelcho y Noroeste. En estos cuatro ríos se ha registrado la presencia de *D. geminata* y además se ha observado una gran dispersión y proliferación en el último año.

Se estudiaron todos los ríos de la región de Los Lagos prospectados de *D. geminata*, y se calculó el porcentaje de ríos que presentan agricultura, ganadería,

acuicultura, deportes náuticos, pesca recreativa, plantas de tratamiento, hidroeléctricas y turismo como actividad (Anexo 8). A partir de estos datos, se construye la Figura 25, donde se destaca que de los ríos prospectados de *D. geminata* en ambas regiones, la mayoría tiene como actividad la pesca recreativa y la ganadería (Gráfico en barras). Y, además, según el porcentaje de ocurrencia de Didymo en estos ríos, las actividades que tienen mayor ocurrencia de Didymo son la pesca recreativa y los deportes náuticos (Gráfico de línea). Reconociendo que el vector antrópico ha sido uno de los principales agentes dispersores del alga (Kilroy y col., 2004), se podría inferir una mayor potencialidad de dispersión de *D. geminata* en las localidades donde se realizan estas actividades, dado la amplitud de condiciones físicas y químicas de desarrollo del alga, como se ha informado en los estudios ejecutados en los ríos patagónicos (POCH- U.Chile, 2011 a y b y POCH- U. de Chile, 2012).

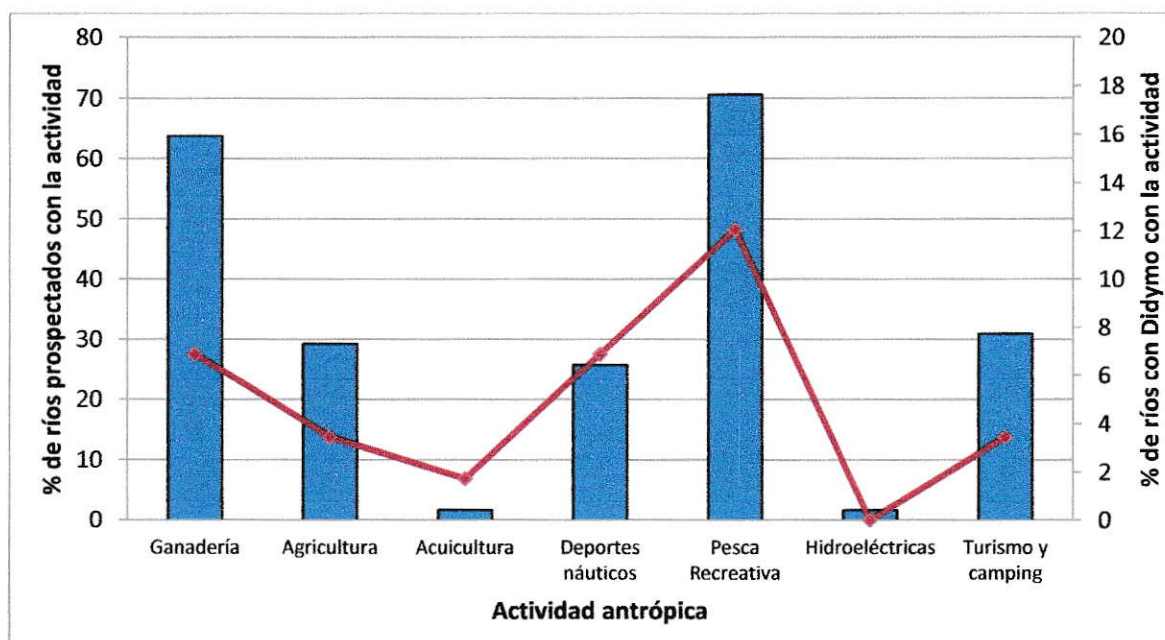


Figura 25. .Porcentaje de ríos prospectados de acuerdo a su actividad (Barras). Se indica el % de ocurrencia de *D. geminata* para cada actividad (Línea)

3.2 Condiciones físicas y químicas donde se ha observado *D. geminata* en relación a las características de la cuenca

D. geminata es un organismo nativo del hemisferio norte, presente sobre latitudes 30°N (Blanco & Ector, 2009). Sin embargo, en los últimos años se ha registrado en numerosos ríos del hemisferio sur, principalmente en Nueva Zelanda, Chile y Argentina. Esta distribución mundial masiva en diversos ambientes y condiciones físicas y químicas, ha evidenciado el amplio rango de condiciones donde habita esta diatomea (Tabla 10 y Tabla 11). El estudio de estas condiciones ayuda a entender el potencial de dispersión de *D. geminata* y, por otra parte, da pautas de control de su presencia en ecosistemas de este tipo. Sin embargo, estas condiciones han sido poco estudiadas. Según la recopilación bibliográfica podemos considerar que existen ciertas condiciones donde la población de *D. geminata* se ha observado.

Tabla 10. Condiciones físicas que favorecen la floración y proliferación de Didymo

| FÍSICAS | |
|--|--|
| Condiciones | Fuente |
| Crece en ríos alpinos y del hemisferio norte de <i>agua fría</i> | Kilroy y col. , 2004 |
| El desarrollo de Didymo aumenta con la <i>luminosidad</i> . Su presencia se da en condiciones de alta luminosidad, por lo que su biomasa aumenta en verano | Kawecka y Sanecki, 2003; Kilroy y col. , 2004 |
| Zonas de aguas <i>abajo de lagos y embalses</i> favorecen las floraciones de Didymo | Kawecka y Sanecki, 2003 |
| <i>Lagos alimentados por ríos</i> son zonas vulnerables a la proliferación de Didymo | Kilroy y col. 2005; Biosecurity New Zealand, 2006 |
| Existe alta correlación entre el florecimiento de Didymo y zonas de <i>aumento de carga de nutrientes</i> de origen antropogénico | Subsecretaría de Pesca, Gobierno de Chile, Informe técnico D. AC. N° 2064/2010 |

| | |
|---|---|
| El crecimiento se ve favorecido en períodos de bajo caudal y bajas profundidades (10 cm a 1,5-2,0 metros) | E.F. Stoermer, University of Michigan, Octubre 2004 [Entrevista] |
| Tiende a ser excluido de agua que se mueve muy lento y de las zonas de las aguas que fluyen rápido (> 1 m / s). | E.F. Stoermer, University of Michigan, Octubre 2004 |
| <i>Bajas temperaturas</i> son óptimas (rango de 5-9°C). El desarrollo de <i>Didymo</i> disminuye de acuerdo aumenta la temperatura | Kilroy y col., 2007 |
| En Chile se ha observado la presencia de <i>D. geminata</i> en los siguientes rangos de temperaturas, y Nueva Zelanda. Por nombrar algunos: <ul style="list-style-type: none"> • Río Yelcho: 12,5 °C • Río Baker y Bellavista: 11 °C • Río Figueroa: 13 °C • Río Pico: 13-15 °C | POCH Ambiental S.A.-U. de Chile, 2012 |
| En Waitaki River se observó <i>Didymo</i> a una temperatura promedio de 14,9°C. Único lugar donde se ha registrado a tan altas temperaturas | Bothwell & Kilroy, 2011 |

Tabla 11. Condiciones químicas que favorecen la floración y proliferación de *Didymo*

| QUÍMICAS | |
|--|---|
| Condiciones | Fuente |
| <i>Ambientes Oligotróficos</i> (Baja concentración de nutrientes y materia orgánicas) | Kilroy y col., 2004 |
| Bajas concentraciones de <i>fosfato</i> (hasta 2 [µg/L]) y nitratos ([1-8] mg/L) | Whitton y col., 2009; Spaulding & Elwell, 2007 |
| Altas concentraciones de <i>amonio</i> y <i>metales</i> (<i>Cu</i> y <i>Zn</i>) | Kawecka & Sanecki, 2003 |
| <i>Amplio rango de pH</i> : Desarrollo viable en el intervalo de pH de [4-9,5] | Kilroy y col., 2007 |
| Los niveles de silicio son un factor significante en los ríos ya que este elemento es requerido para la formación de diatomeas | POCH Ambiental S.A.-U. de Chile, 2011 |
| En ríos de Noruega y Ucrania se ha observado <i>Didymo</i> en aguas de baja y alta contaminación (alto contenido de nutrientes y sales) | Bukhtiyarova 1999; Lindstrom 1991 |
| En noruega se reportó que <i>D. geminata</i> es sensible a la contaminación y desaparece cuando el P total excede 20 µg/L y C orgánico excede 6,5 mg/L | Lindstrom y col., 2008 |

3.3 Bioseguridad en Chile frente a la plaga *Didymosphenia geminata*

El concepto de Bioseguridad engloba medidas distintas para cada país, sin embargo, Nueva Zelanda, que es un referente en temas de Bioseguridad Didymo, lo define como planes para eliminar, remover o manejar efectivamente el daño económico y ambiental de plagas o enfermedades (Biosecurity, New Zealand). La bioseguridad consiste en tres acciones: Prevención, Contención y Difusión (Figura 26).

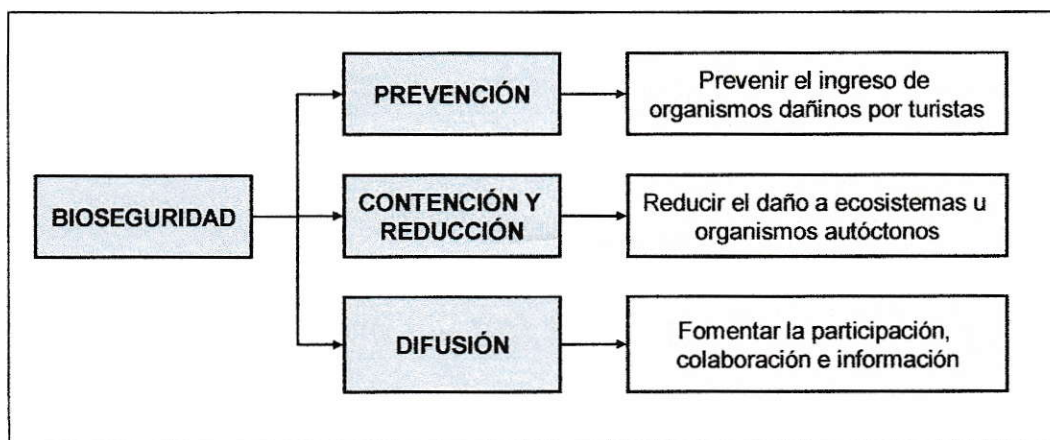


Figura 26. Acciones de Bioseguridad (adaptación de Biosecurity, New Zealand)

En Chile, adoptando políticas de control de Nueva Zelanda, en las zonas de pesca recreativa se ha difundido profusamente el eslogan “remover, lavar y secar” (“Clean, Check & Dry”, en Nueva Zelanda) que instruye a los usuarios de los ríos a remover cualquier rastro de material orgánico en los aparejos de pesca, vestimentas y embarcaciones menores, para prevenir la dispersión del alga.

Legislación

Dentro de la legislación en nuestro país está, en primera instancia, el Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas (D.S. 345/2005), sobre el cual se rigen las directrices de las áreas de plaga y medidas de contención en ríos infectados.

En Febrero del 2011 (Res. Ex. 332/2011), SERNAPESCA establece un protocolo de limpieza y desinfección de fómites de la microalga *D.geminata*. Este protocolo se aplica para todos los artes y aparejos de pesca que hayan tenido contacto con los cuerpos de agua declarados en condición de plaga.

En Noviembre del 2011 (Res. Ex. 1866/2010), SERNAPESCA aprueba un programa de Vigilancia, Detección y Control (PVDC) de plaga para *D. geminata*, que cuenta con un plan de acción contra esta alga invasiva (Figura 27). Este programa se fundamenta en tres ámbitos estratégicos: un sistema de **control** (alerta temprana); medidas de **vigilancia** (preventivas) que protejan las áreas actualmente libres de la plaga, y una campaña de educación y **difusión** que permita conocer los riesgos del *Didymo* y las formas de prevenir su propagación.

El plan de **control** implica un control carretero y de fronteras, a cargo del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y la implementación de estaciones de desinfección para equipos de pesca y deportes náuticos (Anexo 7). El plan de **vigilancia** implica monitoreos de detección de *Didymo* en las cuencas de Futaleufú, Palena y Puelo (y otras cuencas de la XI región), mientras que el plan de **difusión** genera instancias de comunicación a la comunidad y sectores más afectados, tales como entrega de trípticos, instalación de pendones, letreros carreteros, mensajes radiales, documentales, entre otros.

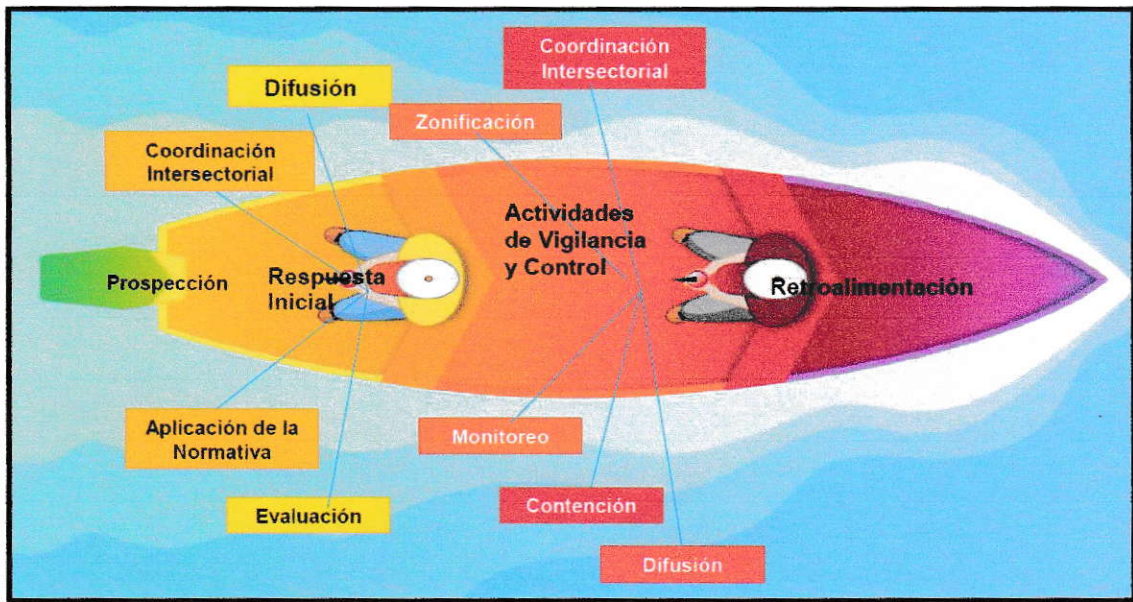


Figura 27. Plan de Acción de especies exóticas invasivas, SERNAPESCA

(Workshop, CORFO, Abril 2012)

IV. DISCUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES

4.1. Caracterización físicoquímica de la cuenca del río Yelcho

i. Tratamiento de datos

Los datos disponibles en el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la DGA, es una buena fuente de información para caracterizar la evolución temporal de la calidad de un cuerpo de agua y además es la única fuente de datos histórica confiable de ríos y lagos en Chile. Sin embargo, con el bajo número de datos anuales y de poca continuidad, no es posible tener resultados representativos del comportamiento durante el ciclo anual del río. Por la misma razón de la escasez de datos, no se pudo establecer la presencia de "Outliers". No obstante, para justificar el número de datos de los promedios anuales, los niveles de información fueron útiles para saber qué datos y a qué años correspondía la información más confiable.

ii. Variables físicas

El clima de la cuenca es principalmente de altas precipitaciones, lo que aporta significativamente en el caudal observado en el río Futaleufú, ya que es un río de origen pluvial.

Por otra parte, el relieve de la cuenca es accidentado (propio de zonas montañosas), es decir, alta presencia de cerros y pendientes, lo que define en gran parte, la velocidad del río y la importancia de los deshielos en la composición química de los ríos porque aumenta la concentración de sales disueltas y aporta iones que pueden modificar el pH y la capacidad tamponante del río.

La evolución anual de los caudales medidos en ambas estaciones fluviométricas DGA (Figura 12) es muy similar entre sí, lo que implica que los fenómenos temporales que afectan a ambas estaciones son los mismos. El río en la estación *Futaleufú en la frontera* tiene un rango de 169,2-647,36 m³/s y en la estación *Futaleufú Ante Junta río Malito* aumenta al rango de 162,5-963,9 m³/s. Para evaluar si un río es caudaloso, se utilizó el ranking de los ríos de mayor caudal en Chile (Figura 28, DGA, 2003), que indica que el río Futaleufú se encuentra dentro de los 15 ríos de mayor caudal del país (de 44 ríos rankeados), por lo que se consideraría un río de alto caudal, lo que a su vez podría relacionarse con su buena oxigenación (alto porcentaje de saturación de oxígeno y niveles de oxígeno disuelto sobre los 8 mg/L). Sin embargo, los datos de caudal con respecto a los de oxígeno disuelto no evidencian correlación (Coeficiente de Spearman R = 0,189), esto puede indicar que los datos de caudal y oxigenación son muy variables o que la oxigenación del río también depende de otras variables. Esto último es lo esperable, ya que estudios indican que la oxigenación del río depende de la pendiente, la altura a la cual se encuentra el río, la velocidad de los vientos, la vegetación, salinidad, entre otros (Conzonno, 2009). Es importante señalar que los cambios más importantes del caudal del río se dan en abril, julio y octubre. En los meses de abril y julio ocurren las precipitaciones y en el mes de octubre ocurren los deshielos. De acuerdo a la evolución anual del caudal, que aumenta en abril, julio y octubre, se puede inferir las precipitaciones y los deshielos aportan mayor volumen de agua aumentando el caudal.

Con relación al Didymo, en la Figura 28 se destacan con rojo aquellos ríos en los que se ha registrado presencia de Didymo. Se ilustra claramente que el alga está presente en ríos de alto caudal, sin embargo, esta característica es más atribuible

a que son ríos patagónicos que a su hábitat propicio. No obstante, se destaca que el río Baker tiene un caudal casi 60% mayor que el río Futaleufú, y aun así Didymo se ha desarrollado extensamente en estos ríos. Esto podría señalar que el caudal no sería una variable determinante en el ambiente que Didymo podría proliferar.

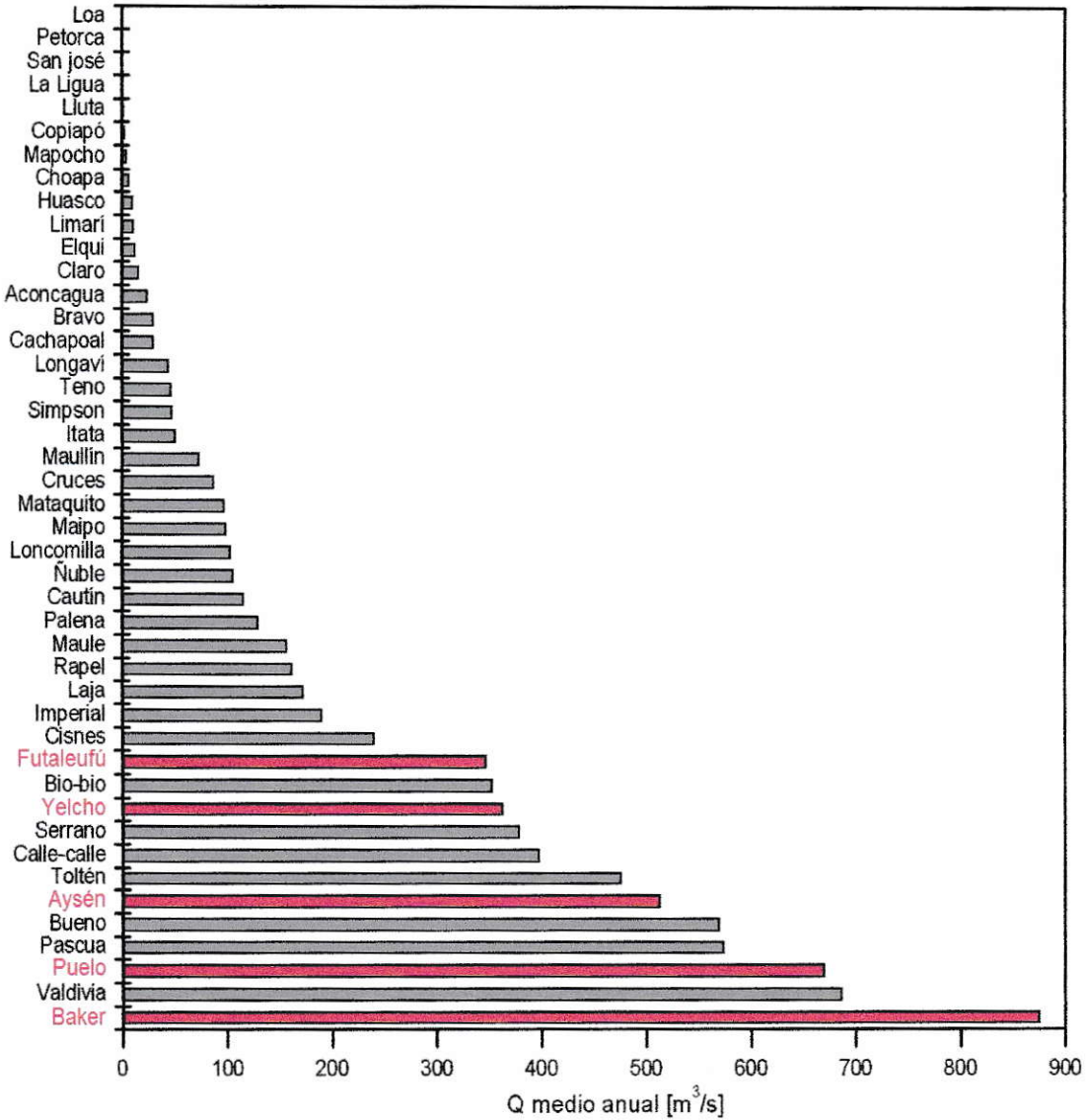


Figura 28. Ranking DGA de caudales medios de ríos de Chile (DGA, 2003). Se destacan en rojo los ríos con presencia de Didymo

iii. Variables Químicas DGA

El pH tiene sus máximos en invierno y era esperable que su máximo fuera en primavera, ya que los deshielos que contienen gran cantidad de sales, lo que provoca que el río utilice su capacidad de tamponamiento por medio de los iones HCO_3^- (predominantes en el río). Sin embargo, al presentarse en la época de precipitaciones, podría sugerir que el agua de lluvia de la zona posee un nivel de acidez mayor que los deshielos. Por otra parte, la conductividad eléctrica aumenta considerablemente en primavera, lo que podría explicarse por los deshielos, debido a que el agua de los deshielos conlleva una alta carga de sales disueltas por escorrentía que se vierten al río.

El oxígeno disuelto tiene un leve aumento en los meses de invierno, esto puede deberse a que las altas precipitaciones (> 2000 mm) provoca un aumento en el torrente y por ende una mayor oxigenación y también a que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura. No obstante, se probó estadísticamente la correlación de los datos de temperatura y oxígeno disuelto para la cuenca y no presentaron una correlación significativa (Coeficiente de Spearman $R = -0,494$).

La conductividad eléctrica del río Futaleufú es baja, y presenta sus máximos en invierno y verano ($162-967$ m^3/s). Los máximos en invierno podrían deberse al aumento de caudal y por lo tanto, el aumento de dilución de sales. Sin embargo, no se encontró correlación significativa entre la conductividad eléctrica y el caudal (Coeficiente de Spearman $R = 0,39$).

En comparación al resto de los ríos patagónicos, los parámetros *in situ* del río Futaleufú son muy similares a los datos físicoquímicos referidos al Río Aysén (Oyenedel y col., 2008). Al comparar los rangos de parámetros *in situ* del río Aysén respecto al río Futaleufú (Tabla 12), éste último tiene un pH y temperatura del agua similar a río Aysén, sin embargo, posee un valor máximo de conductividad eléctrica más alto, que podría ser atribuible a una mayor cantidad de sales disueltas, posiblemente de calcio y bicarbonato.

Tabla 12. Comparación del Río Futaleufú y Río Aysén (Oyenedel y col., 2008)

| Variable | Unidad | Rango | |
|-------------------------|--------------|-----------|---------------|
| | | Río Aysén | Río Futaleufú |
| pH | Unidad de pH | 7,28-8,57 | 6-8 |
| Temperatura | °C | 10-18,1 | 6-14 |
| Conductividad eléctrica | μS/cm | 9-65 | 42-121 |

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se observa, tanto en los diagramas hidroquímicos de Maucha anuales como en la Figura 17 y Figura 18, que el río Futaleufú es un cuerpo de agua principalmente con Calcio disuelto, producto de bicarbonatos. Estos últimos le otorgan al cuerpo de agua una gran alcalinidad y capacidad de tamponamiento, por lo que tiende a ser un río relativamente neutro de manera constante. La alta concentración de Ca^{+2} y HCO_3^- también se ve justificada por la geología basada en minerales de CaCO_3 de la zona oriental de la cuenca. Estas sales de carbonato podrían haberse meteorizado de las rocas y disueltas en el agua, donde se formarían sales de

bicarbonato. De acuerdo a esto, cabe señalar, según la Tabla 10 y la Tabla 11, que el pH neutro junto a la baja conductividad de los ríos de la cuenca, y una geología con gran aporte de sílice, hacen de la cuenca Yelcho una zona con características propicias para la floración de *D. geminata*.

iii.a Trofia

En relación a los nutrientes, no fue posible establecer si el río es oligotrófico, ya que para ello es requisito conocer los datos de fósforo total y nitrógeno total, lo que implica determinar otras formas de nitrógeno y fósforo (NO_2^- , NH_4^+ , N orgánico, P orgánico, HPO_4^{2-} , entre otras) de los que no se tiene conocimiento. Sin embargo, se puede hacer una aproximación para el valor de nitrógeno si consideramos que en ríos prístinos, el valor del nitrógeno inorgánico es predominante (Wetzel, 1992). Por lo que si nos ponemos en el escenario menos conservador, donde el N orgánico sea el doble de la concentración de NO_3^- (Por ejemplo: 2 veces 158, es decir, 316 $\mu\text{g/L}$), el río sigue siendo oligotrófico para el nitrógeno según Ryding & Rast (1989) (Tabla 13).

No obstante, en consideración de las concentraciones de fosfato y nitrato, se pone de manifiesto que el sistema es **limitante por fósforo** (nutriente en menor cantidad (Vergara y col., 2012), lo que hace aún más imprescindible tener el dato de P orgánico para corroborar la oligotrofia.

Tabla 13. Análisis comparativo para determinar trofia. Se ilustran los rangos de nutrientes para cada condición trófica de un río y los rangos de nutrientes medidos en el río Futaleufú

| Parámetro | Unidad | Valores teóricos | | | Rango de $[\text{PO}_4^{3-}]$ y $[\text{NO}_3]$ anual del río Futaleufú |
|-----------|-----------------|------------------|-------------|------------|---|
| | | Oligotrofia | Mesotrofia | Eutrofia | |
| P total | $\mu\text{g/L}$ | 8 | 26,7 | 84,4 | 3-9 |
| | | (3,0-17,7) | (10,9-95,6) | (16,2-386) | |
| N total | $\mu\text{g/L}$ | 661 | 753 | 1875 | 44-158 |
| | | (307-1.630) | (361-1.387) | (393-6100) | |

Fuente: Ryding & Rast (1989). Los valores representan una mediana geométrica y para el caso de los valores teóricos se indica el rango de variación de dos desviaciones estándares

Es interesante señalar el aumento sostenido de SO_4^{-2} entre el año 2007-2008 (Figura 17). Es poco probable que este aumento pueda deberse a un aporte por meteorización, ya que en la geología del lugar no predominan los sulfatos. Sin embargo, considerando los vientos con dirección este que predominan en la zona este incremento de SO_4^{-2} puede relacionarse con la erupción del Volcán Chaitén, del año 2008, ya que la estación FF se encuentra aproximadamente a 80 km al noroeste del volcán (Figura 29 y Figura 30), por lo que se puede inferir que la gran cantidad de SO_2 liberado en la erupción puede haber sido dirigida por vientos, y por medio de deposición húmeda, se disolvió en las aguas del Futaleufú en forma de SO_4^{-2} .



Figura 29. Pluma de erupción del Volcán Chaitén, en dirección sureste (SERNAGEOMIN, 2008)

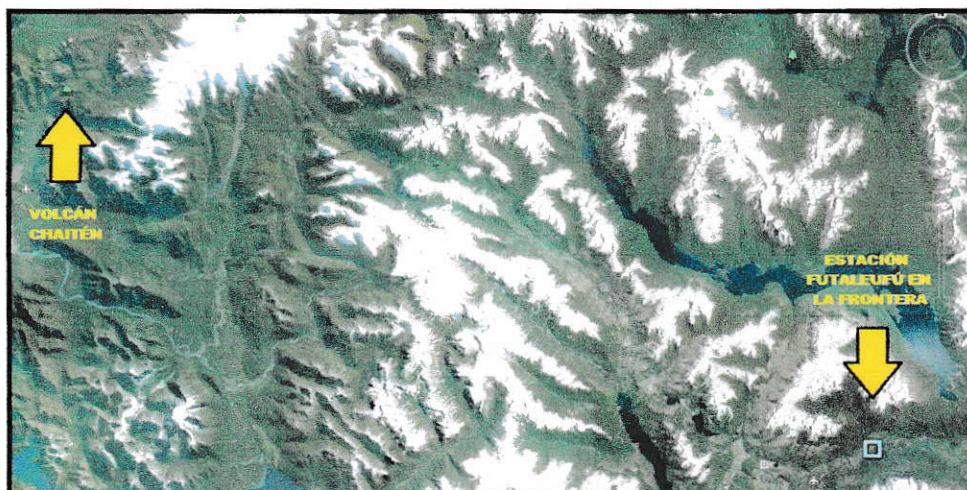


Figura 30. Vista satelital de la ubicación de la estación *Futaleufú en la frontera* y el Volcán Chaitén

iv. Variables fisicoquímicas y Didymo

De acuerdo al cluster realizado, el dendograma ilustra claramente que los ríos con *Didymo* no presentan agrupación por sus características fisicoquímicas. Sin embargo, cabe señalar, que los diferentes puntos de muestreo de un mismo río con y sin *Didymo* sí mostraron agrupaciones, lo que era esperable teniendo en cuenta que se trataba del mismo cuerpo de agua. Esto último es interesante, considerando que, en algunos casos, a pesar de existir *Didymo* en estaciones de un mismo río, estas no se agruparon.

De acuerdo al análisis de componentes principales, las variables físicas y químicas que explican mayormente los ríos de la X región como sistema son: la oxigenación del río (como oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno), velocidad, conductividad eléctrica y el ancho del río. El análisis de componentes principales arrojó que las variables altitud, pendiente, la longitud del río, índice de

sinuosidad, temperatura y pH tienen un bajo porcentaje de explicación de la variabilidad del sistema.

Por otra parte, gracias a la incorporación de la variable biológica al análisis de componentes principales se podría evidenciar que los ríos con presencia y ausencia de *Didymo* tienen muchas características en común, lo que hace difícil caracterizar el ambiente físicoquímico específico donde *Didymo* se desarrolla.

En resumen, de acuerdo a los análisis estadísticos, se podría asumir que no existe ningún patrón de distribución de *Didymo* asociado a las variables físicoquímicas en la región de Los Lagos, y por ende en la cuenca Yelcho. De esto también se estima que los ríos con *Didymo*, al no tener características distintas a la de un río no infectado, todos los ríos patagónicos podrían estar vulnerables a la dispersión de *D. geminata*.

v. Observaciones

La base de datos DGA no fue una herramienta suficiente para la caracterización físicoquímica, debido a la falta de sistematicidad en las mediciones y a que había sólo una estación de calidad de agua en la cuenca. Esto complicó establecer una caracterización en la zona del río con presencia de *D. geminata*, debido a la gran distancia entre la estación DGA y la zona del río con *Didymo*. Por estas dificultades de temporalidad del muestreo, se recomienda a la DGA:

- Mayor rigurosidad en la temporalidad de las mediciones

- Aumentar el número de estaciones de calidad de aguas en la cuenca y reducir la distancia entre una y otra.

Con respecto a las variables analizadas en la DGA, en general los métodos analíticos utilizados tienen un límite de detección adecuado, lo que se evidenció en la base de datos, ya que se informaron pocos valores bajo el límite de detección. Sin embargo, algunos datos de nitrato y fosfato que se encontraban bajo el límite de detección implicó incluso perder la información de un año entero por las pocas mediciones anuales. Por lo que considerando la escasez de información de estas especies, el análisis histórico de nutrientes del río no fue tan representativo. Además, es importante señalar que para evaluar la calidad del agua, los niveles de nitrato y fosfato, no son tan relevantes como los niveles de fósforo y nitrógeno total, ya que estos últimos permiten la determinación de parámetros como la trofia y la relación N:P (índice de Redfield) de un cuerpo de agua. Sin embargo, las estaciones de calidad de aguas de la DGA no incluyen fósforo total ni nitrógeno total como variables a medir. Entonces, con respecto a las variables medidas, se recomienda a la DGA:

- Aumentar el número de mediciones anuales de nutrientes en las estaciones de calidad de aguas
- Incluir al Nitrógeno y Fósforo total como variables dentro del seguimiento histórico del cuerpo de agua.

4.2 Caracterización antrópica de las cuencas del Río Yelcho

4.2.1 Análisis de la presencia de *D. geminata* y su posible relación con la actividad antrópica

De la caracterización antrópica se extrae que, en general, los ríos de la cuenca Yelcho poseen actividades de pesca recreativa, navegabilidad de ríos y deportes náuticos como kayaking y rafting (anexo 9). El desarrollo masivo de estas actividades, se da principalmente en los períodos de verano y la pesca recreativa en los meses de pesca.

En la sección 3.1.9.1. se muestra la relación entre la presencia de *Didymo* y las actividades antrópicas. Esto arrojó que de todas las actividades de los ríos, la pesca recreativa y los deportes náuticos tienen mayor ocurrencia de *Didymo* (Tabla 14). Esto se correlacionaría con las suposiciones que hay sobre la introducción no intencional de *D. geminata* (en aparejos de pesca y deportes náuticos) a ríos de nuestro país, por lo que de acuerdo a las exigencias del D.S. 345/2005, los organismos públicos involucrados, tales como SERNAPESCA y SUBPESCA, tomaron medidas y desarrollaron el PVDC. Este plan ha resultado ser exitoso en el control de la plaga, ya que han aumentado la fiscalización en las entradas extranjeras (pasos transfronterizos), ha aumentado el control carretero, y se han dispuesto aproximadamente 357 millones de pesos para esfuerzos de mitigación (SERNATUR, 2012).

Tabla 14. Actividades antrópicas asociadas a la dispersión de *D. geminata*

| | |
|---|---|
| RESUMEN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS ASOCIADAS A LA PRESENCIA DE DIDYMO | El uso principal de los cuerpos de agua de interés corresponde a pesca recreativa y/o deportiva , lo que considera la ubicación de lodges, caminos, rutas y senderos de acceso a los cuerpos de agua |
| | Existencia y funcionamiento de lugares de uso recreacional no consuntivo de laderas de ríos |
| | Lugares habituales de kayaking, rafting u otras actividades náuticas fluviales en cauces y/o tramos de ellos adecuados para realizar dichas actividades. |

En general, los ríos de la cuenca Yelcho son ríos de gran atractivo turístico y deportivo que, debido a su gran belleza, son frecuentados por miles de visitantes anualmente que podrían ser vectores de dispersión del alga. Esto reafirma la necesidad de:

- a) Informar permanentemente a los usuarios
- b) Mantener un control estricto y constante de los puntos infectados y,
- c) Minimizar el acceso a ríos de alto riesgo.

4.2.2 Rangos de condiciones fisicoquímicas de ríos afectados por la presencia de *D. geminata* en Chile y otros países⁷

De acuerdo a los análisis estadísticos realizados, se evidenció que los sistemas donde ha desarrollado *D. geminata* son heterogéneos. Si observamos los registros fotográficos de ríos con Didymo (anexo 1) nos podemos dar cuenta que se ha detectado Didymo en ríos bajo lagos, con alta luminosidad, con baja luminosidad, con turbiedad y transparentes; en general, en distintas condiciones que hacen imposible encasillar, hasta la fecha, a la diatomea en un hábitat físico y químico específico. Por otra parte, se compararon las condiciones físicas y químicas de los distintos lugares del mundo donde se ha registrado la presencia de Didymo, en la que ocurrió algo similar a la comparación en nuestro país, por lo que se quedaría en evidencia que *D. geminata* no tendría condiciones óptimas de sobrevivencia (Kilroy, 2004), ya que puede vivir y proliferar en un amplio rango.

- **Condiciones físicas**
- **Zona del río muestreada:** Tanto en EEUU como en Nueva Zelanda y Argentina, la proliferación de *D. geminata* se ve favorecida en zonas de aguas autorreguladas, es decir, bajo lagos y embalses. Y por el contrario, lagos alimentados por ríos, también son zonas vulnerables.

⁷ Las variables analizadas en esta sección son solamente variables físicas y algunas variables químicas, ya que existe poca información. Esto ocurre debido a que, en las prospecciones y seguimientos de *D. geminata*, tanto en Chile como en otros países no se prioriza medir variables químicas, por ser una variable biológica.

- **Tipo de sustrato:** Tanto en EEUU como en Nueva Zelanda y Chile, cualitativamente, se ha observado que *D. geminata* tiene mayor tendencia a proliferar en ríos con sustrato de tipo rocoso y bolones de rocas (POCH-U. Chile 2011 a y c). Se ha observado menor porcentaje de Didymo en ríos con sustrato de arenoso y limoso.
- **Caudal y Velocidad:** En Chile, Nueva Zelanda, Argentina y EEUU, se ha observado que el crecimiento del alga se ve favorecido en períodos de bajo caudal. La razón de esto es que debido a que *D. geminata* vive adherida al sustrato, habitar en un ambiente muy torrencioso le impediría una proliferación efectiva.
- **Temperatura:** Existen muchos registros donde *D. geminata* se ha registrado en temperaturas muy variables. En Nueva Zelanda, se ha detectado Didymo en ríos alpinos y fríos (0-10°C) y en estaciones del río Waitaki, se ha registrado a 16°C. En Chile, los ríos más afectados por Didymo, tienen temperaturas del orden de los 14-15°C. En la Figura 31 se ilustran las temperaturas del agua de algunos ríos, de Chile y otros países, en los cuales se ha detectado Didymo y el rango de temperatura es de 7-23°C, lo que es muy amplio.

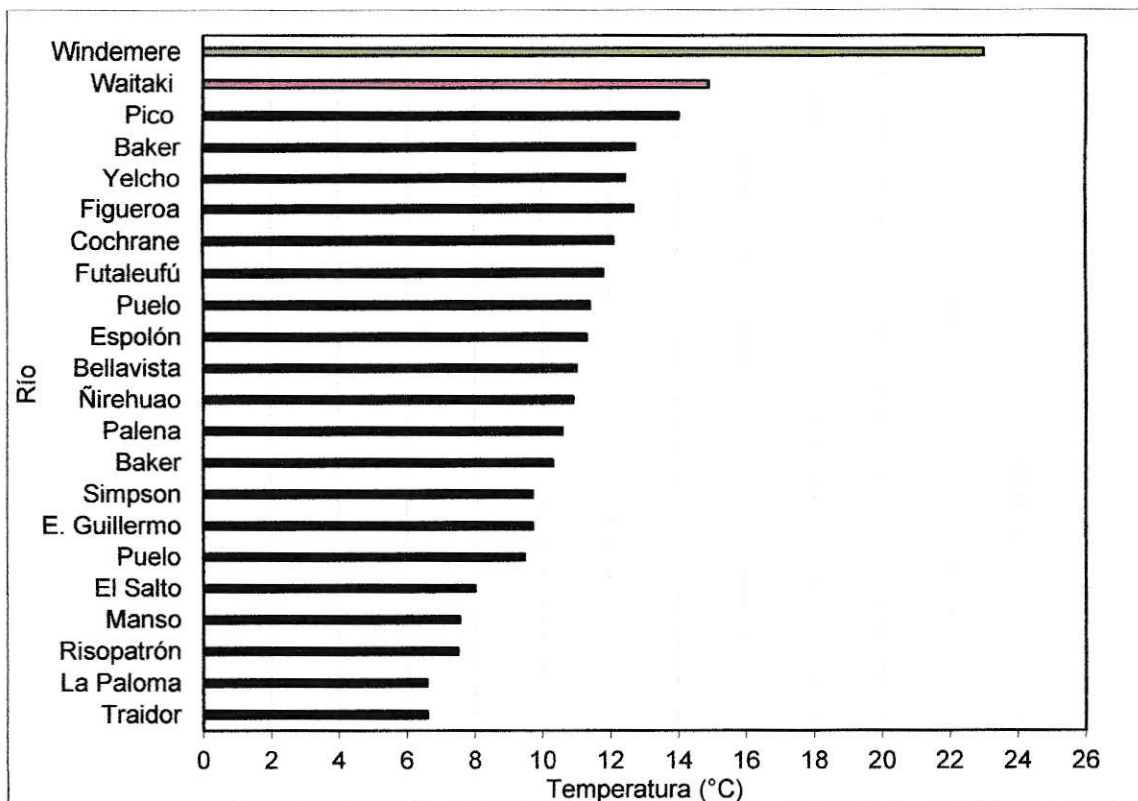


Figura 31. Temperaturas a las cuales se ha registrado *D. geminata* en Chile, Nueva Zelanda (río Waitaki en rojo) e Inglaterra (Lago Windemere en verde)

- **Condiciones Químicas**
- **pH:** En Chile, *D. geminata* se ha observado en un amplio rango de pH: 5,2-9,1. Esto implica una diferencia en casi cuatro órdenes de magnitud, lo que ejemplifica un amplio rango de sobrevivencia. En la Figura 32 se ilustra el rango de pH donde se ha detectado *D. geminata* en Chile.

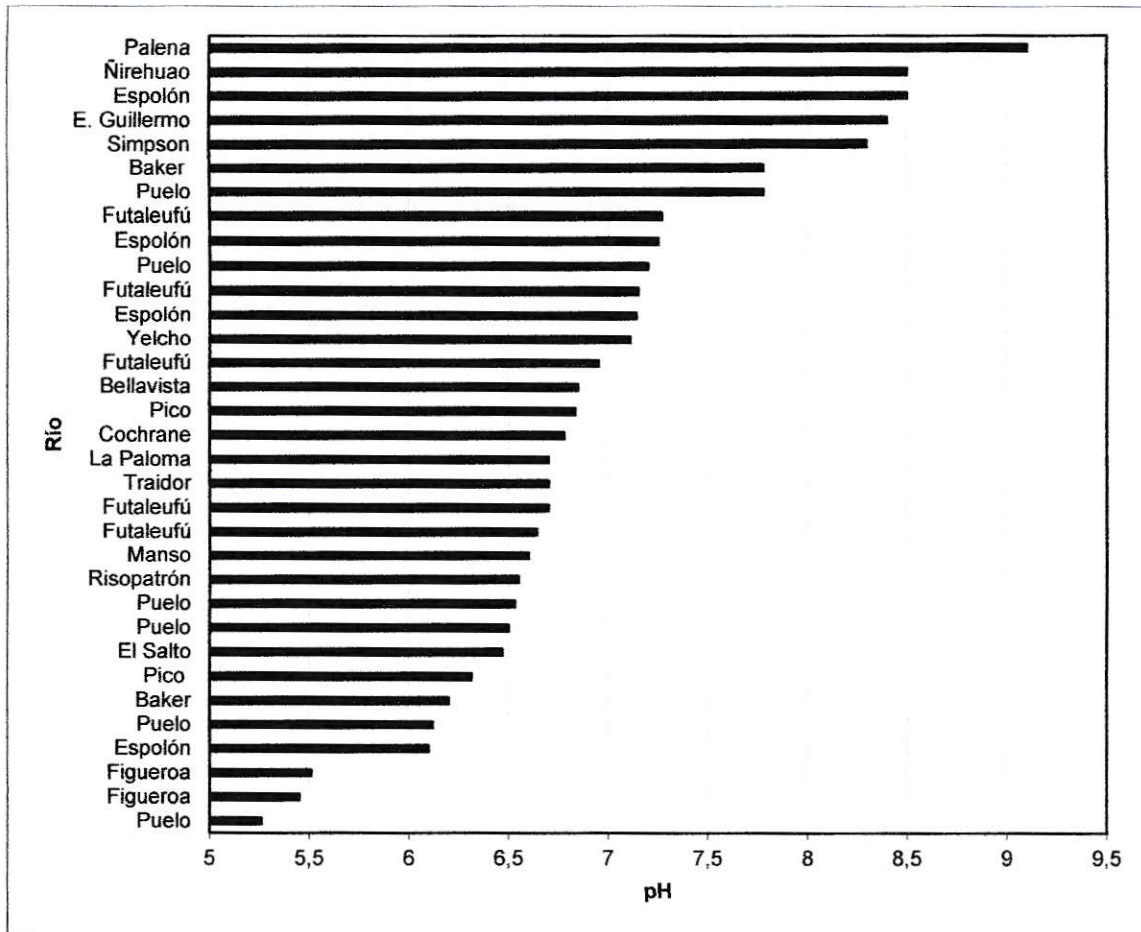


Figura 32. pH de ríos en los que se ha registrado *D. geminata* en Chile

- Conductividad Eléctrica:** Existen registros donde *D. geminata* se ha registrado en conductividades eléctricas muy variables, siendo éste, el parámetro que más varía en ríos con Didymo (Figura 33), por lo que la concentración de sales disueltas en los ríos no serían muy relevantes en la proliferación de Didymo. Existe un rango muy amplio, de casi 2 órdenes de magnitud de diferencia, de 20-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

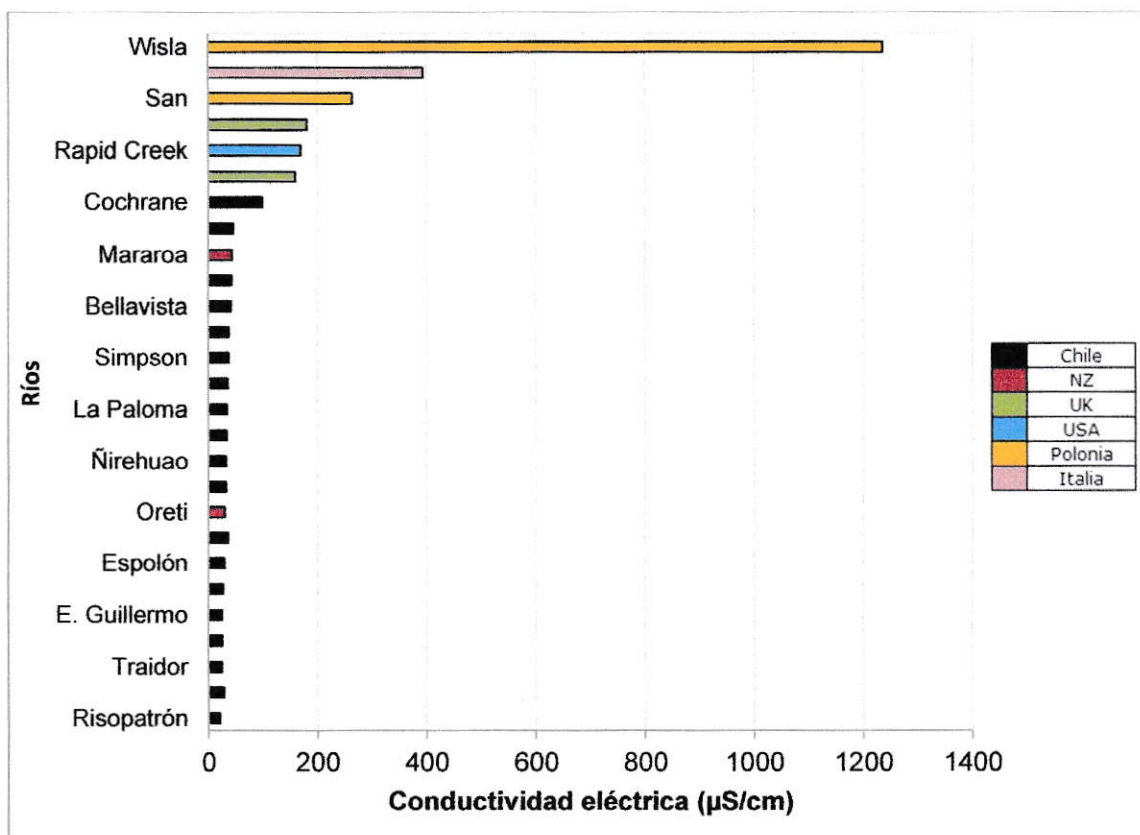


Figura 33. Conductividades eléctricas de ríos donde se ha registrado *D. geminata* en Chile y otros países

- **Oxigenación:** *D. geminata* también se ha desarrollado en ambientes de distinta oxigenación. En Chile, se han realizado prospecciones donde se ha medido la oxigenación del río (Figura 34) y el rango de oxigenación es de 92-140%. Esto implicaría que *D. geminata* si bien se desarrolla en un amplio rango de oxigenación, este debe ser un valor alto.

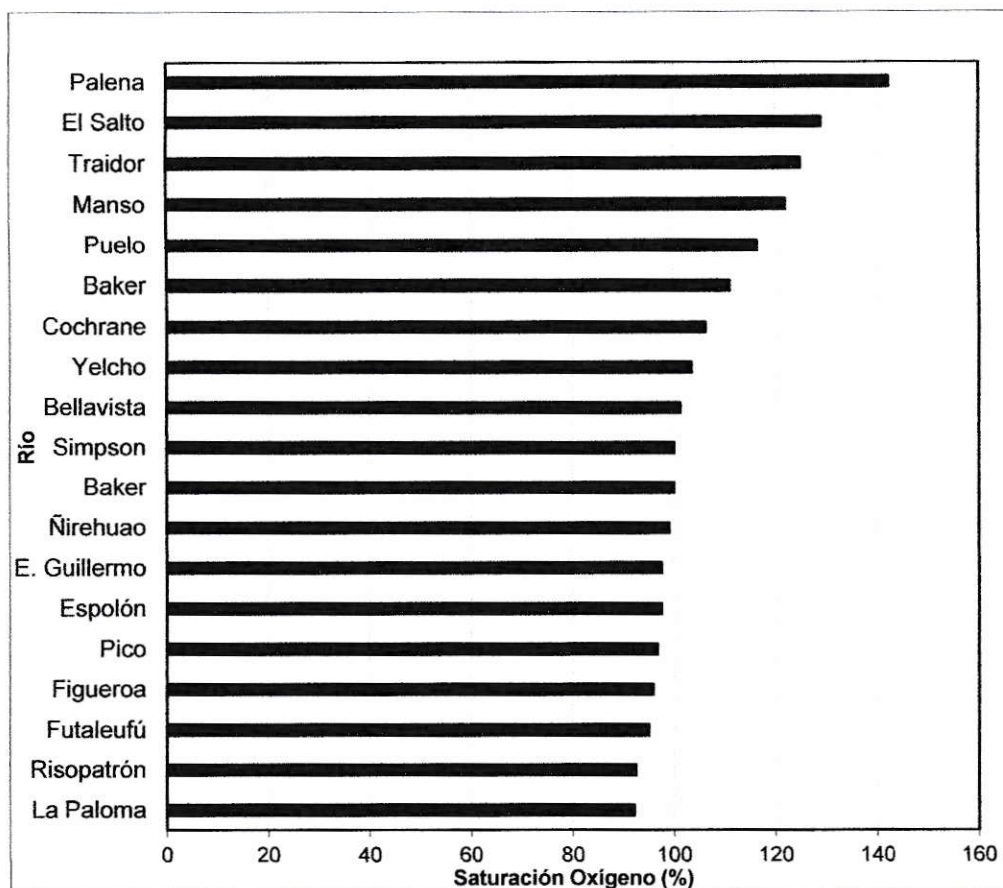


Figura 34. % de saturación de oxígeno de ríos de Chile donde se ha registrado *D. geminata*

- Nutrientes:** Para la cantidad de nutrientes existe una gran inconsistencia entre lugares del mundo con *Didymo*: En Nueva Zelanda y USA, el *Didymo* ha sido observado en aguas con bajas concentraciones de fosfato y nitratos, y a su vez, en Chile, *D. geminata* se ha observado que en los puntos de muestreo donde hay mayor ocurrencia de *Didymo*, hay una menor cantidad de NO_3^- (Muñoz, 2012). Sin embargo, registros de la Subsecretaría de Pesca (Informe técnico N°2064/2010) también han registrado *Didymo* en zonas con aumento de cargas por contaminación antrópica en Chile (Tabla 10). Y además, existen registros de ríos

con Didymo, tanto chilenos como de otros países, donde la cantidad de nitratos es muy variable (Figura 35). De acuerdo a la Figura 35, el rango aproximado de nitratos en el cual Didymo puede desarrollarse es de 0,7-14 mg/L, lo cual es muy amplio.

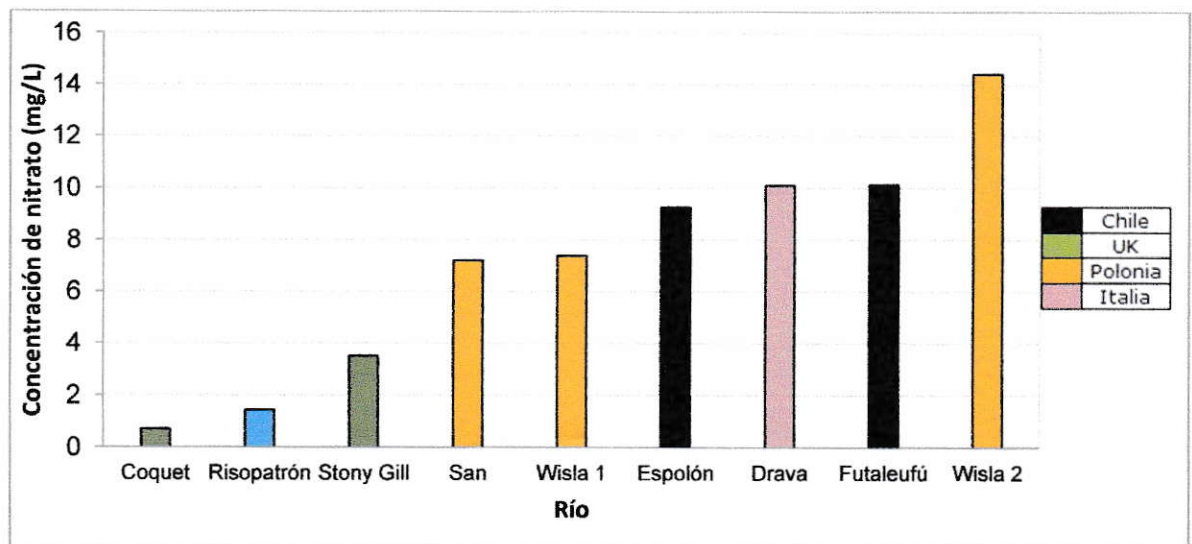


Figura 35. Concentraciones de nitrato de ríos donde se ha registrado *D. geminata* en Chile y otros países

La información disponible de condiciones físicas y químicas donde Didymo se ha desarrollado deja entrever la gran plasticidad ambiental que presenta (Figura 36). Este amplio rango de condiciones donde puede proliferar se encuentra a lo largo de todo nuestro país, por lo que se podría aseverar que esta diatomea podría dispersarse fácilmente a cuerpos de agua fuera del área de plaga.

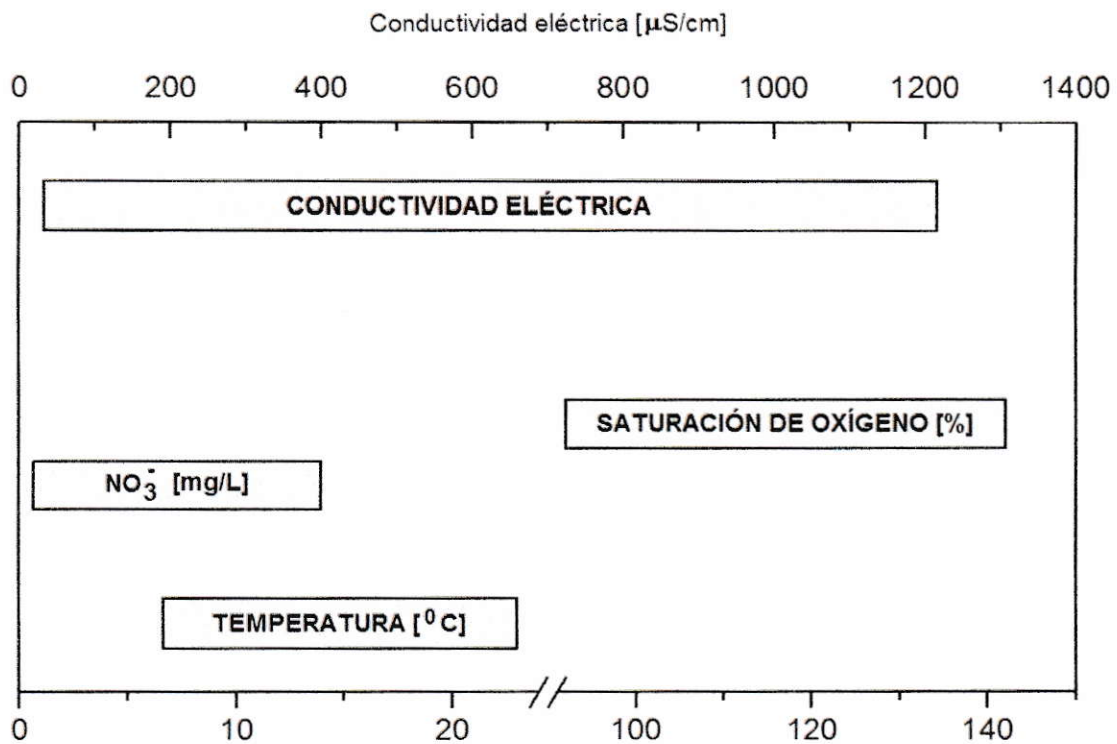


Figura 36. Representación gráfica del rango de algunas condiciones en las cuales puede desarrollarse *D. geminata*. El eje inferior cuantifica las variables nitrato, temperatura y % de saturación de O₂, y el eje superior cuantifica la conductividad eléctrica

4.3 Análisis de la evolución de *D. geminata* en ríos de la cuenca del Yelcho

La evolución de *D. geminata* en la cuenca del Yelcho, e incluso en el país, aún es desconocida debido a que interpretar una evolución implica tener un mayor número de registros y la plaga de *D. geminata* es más bien reciente (sólo 2 años). Sin embargo, a pesar de eso, se pueden destacar puntos de muestreo que se analizaron el año 2010 y el 2011 que presentan claras diferencias con respecto al porcentaje de cobertura del alga. En Tabla 15, se ilustra la evolución de Didymo en la cuenca, y se

evidencia que ha habido una proliferación en lugares que antes no había *D. geminata*, o simplemente no había proliferado. Considerando la gran capacidad de invasión de *D. geminata* en la cuenca Yelcho, apremia su estudio y seguimiento, para evitar consecuencias en los sistemas fluviales y pérdidas económicas atribuibles a esta causa.

Tabla 15. Evolución de presencia de *Didymosphenia geminata* en el periodo 2010-2012 en la cuenca del Río Yelcho

| Sub-cuenca | R. Prospectado | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------|----------------|--|--|--|
| Futaleufú | R. Azul | No se observó Didymo | S/I | No presenta <i>D. geminata</i> en muestreo visual, bentónico y fitoplancton |
| | R. Espolón | Alta presencia de Didymo: 90% de la zona afectada, forma capa densa en aguas poco profundas (<50 cm) | Alta presencia de Didymo: 28% de abundancia de <i>D. geminata</i> para R. Espolón | Alta presencia de Didymo: En muestreo visual, de bentos y fitoplancton |
| | R. Futaleufú | Alta presencia de Didymo: En el bentos. Alta cobertura a 1 km de la desembocadura del Río Espolón y después de la confluencia con el Río Azul | Alta presencia de Didymo: 60% de abundancia de <i>D. geminata</i> | Alta presencia de Didymo: En muestreo visual, de bentos y fitoplancton |
| | R. Malito | No se registró Didymo | No se registró Didymo | No presenta de <i>D. geminata</i> en muestreo visual, bentónico y fitoplancton |
| | R. Noroeste | Presencia abundante: máxima cobertura está después de la confluencia con el río Espolón | Alta presencia de Didymo: En la ribera del río | Alta presencia de Didymo: En muestreo visual, de bentos y fitoplancton |
| Yelcho | R. Yelcho | No se registró <i>D. geminata</i> aislada ni con mucílago | No se registró <i>D. geminata</i> en bentos ni fitoplancton | Presencia abundante: en bentos y fitoplancton |

Si bien la solución para ríos afectados, aún no se ha dilucidado, entidades públicas como SERNAPESCA, SUBPESCA, SERNATUR, SAG, entre otros, han destinado gran cantidad de recursos para efectuar prospecciones y desarrollar el

PVDC. El plan de Vigilancia, Prevención y Control de plaga de *D. geminata* de SERNAPESCA, aún no ha logrado que el tema sea una preocupación por la comunidad afectada y para los turistas que utilizan los recursos hídricos para recrearse (POCH S.A., 2012). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, la capacidad de invasión de la diatomea ha superado las expectativas y se ha registrado *D. geminata* en ríos con alta vigilancia, por lo que se hace cada vez más urgente desarrollar métodos para evitar la introducción de la diatomea en cuerpos de agua ya no sólo en las regiones patagónicas, sino en otras regiones aledañas también.

V. CONCLUSIONES

La hidrología de la cuenca consta de dos subcuencas: Yelcho y Futaleufú, donde la mayoría de los ríos son de régimen nivo-pluvial, de lechos bien estabilizados y drenan sin dificultad. Desde el punto de vista geomorfológico, la cuenca se encuentra en un sector cordillerano oriental de zona volcánica activa y suelos de origen volcánico. La geología de la zona central está compuesta principalmente por rocas de minerales de silicatos, mientras que la zona este, cercana a la frontera con Argentina (aprox. en la latitud $71^{\circ}44'$), está compuesta de rocas de minerales carbonatados, lo que explicaría la alta concentración de calcio en las aguas del río Futaleufú.

De acuerdo a la físicoquímica, se caracterizó la cuenca con datos de la estación DGA del río Futaleufú. Los datos indicaron que el río Futaleufú es un río caudaloso ($252-522 \text{ m}^3/\text{s}$) y de temperaturas templadas ($6-12^{\circ}\text{C}$). Químicamente, es de pH neutro, de alta oxigenación (todo el año se mantiene el pH y la oxigenación en 10 años nunca bajó de los 7 mg/L , óptimos para la vida acuática) y de conductividad eléctrica baja ($50-89 \text{ }\mu\text{S/cm}$), lo que implica baja concentración de sales disueltas. Estas características son propias de los ríos patagónicos. Por otra parte, esta estación de la cuenca Yelcho, es la única estación de calidad de la cuenca y los datos mensuales son muy escasos por lo que se recomienda a la DGA aumentar las estaciones, mayor temporalidad en las mediciones e incluir P y N total como variables.

Antrópicamente, la cuenca del Yelcho tiene las actividades de pesca recreativa y deportes náuticos asociada a los ríos, donde, a su vez, los ríos que

desarrollan estas actividades tienen la mayor ocurrencia de *Didymo*, por lo que se considerarían como las actividades antrópicas asociadas a su dispersión.

Con relación a *D. geminata*, la hipótesis de este estudio no se cumple, es decir, no existe aún ningún patrón de distribución de *Didymo* asociada a las características físicoquímicas en la cuenca Yelcho. Esto explica las amplias condiciones físicas y químicas donde se ha desarrollado, tanto en la cuenca del Yelcho como en el mundo, lo que implica que *D. geminata* no tiene condiciones óptimas acotadas de proliferación, sino que puede darse en un amplio rango de condiciones, propio de su alta capacidad invasiva. Esta gran plasticidad ambiental de *Didymo* hace imprescindible su estudio, seguimiento y control, para evitar la introducción de la diatomea en cuerpos de agua por la pesca recreativa y los deportes náuticos en otras regiones aledañas y prevenir las consecuencias ecológicas, biológicas y económicas.

VI. REFERENCIAS

- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Alvear F. (2003), "El entorno socioeconómico y laboral de la X región de Los Lagos", Dirección del Trabajo, Gobierno de Chile
- Blanco, S., and L. Ector. 2009. Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: A literature review. *Nova Hedwigia* 88:347–422.
- Branson J. 2006. *Didymosphenia geminata* economic impact assessment: Wellington, New Zealand, New Zealand Institute of Economic Research Report: 1-22.
- Börgel, R 1983. Geografía de Chile. Geomorfología. Instituto Geográfico Militar, Santiago, 182 p
- Bothwell M.L. & Kilroy C.. (2011). Phosphorous limitation of the freshwater benthic diatom *Didymosphenia geminata* determined by the frequency of dividing cells. *Fresh. Wat.* 56, 565-578.
- Bukhtiyarova, L.N., 1999, Classification of diatom algocoenoses as a useful tool in river biomonitoring. In: Whitton, B.A., Prygiel, J., and Bukowska, J., eds., Use of algae for monitoring rivers III. Agence de l'Eau Artois-Picardie. p. 114—121
- Campbell, M.L., 2005, Organism impact assessment (OIA) for potential impacts of *Didymosphenia geminata*: Blairgowrie, Victoria, Australia, All Oceans Ecology, p. 1-92.
- Chaparro A., Marín R., 2005, Alteración de ecosistemas forestales en Chile Austral. Caso de estudio Cuenca Superior Río Futaleufú-Espolón, X región, Tesis de Pregrado, Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile.
- CIEN Austral. 2010a. Monitoreo de *Didymosphenia geminata* Informe I. Río Futaleufú. Agosto

- CIEN Austral. 2010b. Monitoreo de *Didymosphenia geminata* Informe II. Yelcho. Septiembre
- CIEN Austral. 2010c. Monitoreo de *Didymosphenia geminata* Informe III. Río Espolón. Octubre
- CIEN Austral. 2011a. La distribución de diatomea *Didymosphenia geminata* en las cuencas de los ríos Aisén y Baker en la región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Informe final. Agosto 2011, 32 p.
- CIEN Austral. 2011b. Prospección de la presencia de la especie *Didymosphenia geminata* (Lynbye) M. Schmidt 1899, en ríos de la cuenca del Futaleufú y Palena en la región de Los Lagos, 2010. Informe final, Abril 2011. 62 p.
- CIEN Austral, Diciembre 2011c. Análisis preliminar de la especie de diatomea *Didymosphenia geminata* en los ríos Futaleufú y Espolón en la región de los lagos y ríos aledaños. En revisión
- Conzonno V. 2009. Limnología Química. Universidad Nacional de la Plata. 1° edición. 220 p.
- D.S. MINECON. N° 345/2005. Reglamento sobre Plagas hidrobiológicas.
- Errázuriz A. Manual de geografía de Chile, Editorial Andrés Bello, 1998
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), River Fisheries technical paper 262. Rome, 1985
- Fraume N. 2007. Diccionario Ambiental. ECOE Ediciones, 3° edición. 465 p.
- Fuentes F., Massol-Deyá A, 2002. Manual de Laboratorios: Ecología de microorganismos, Universidad de Puerto Rico.
- Gnanadesikan R., 2008. Discriminant Analysis and clustering. National Research Council (U.S.), National Academies, 105 p.

Informe Técnico D.A.C. 2064/2010. Presencia de *Didymosphenia geminata* en Río Espolón y Río Futaleufú, Región de Los Lagos. Propuesta de Área de Plaga.

Informe técnico d. Ac. N°1622 /2011. Propuesta reemplaza resolución Ex. N°3064/2010 y modificaciones. Reemplaza y amplía área plaga de *Didymosphenia geminata* incluyendo cuencas de la X y XI Región, SUBPESCA 23p.

Kawecka B. & Sanecki. 2003. *Didymosphenia geminata* in running waters of southern Poland—symptoms of change in water quality? *Hydrobiology* 495: 193–201.

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

Kilroy, C., Biggs, B., Blair, N., Lambert, P., Jarvie, B., Dey, K., Robinson, K. & Smale, D. 2005a. Ecological studies of *Didymosphenia geminata*: National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand, Client Report CHC2005-123, NIWA Project: MAF05505.

Kilroy C. 2005b. Test to determine the effectiveness of methods for decontaminating materials that have been in contact with *Didymosphenia geminata*: National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand, Client Report, CHC2005-005, NIWA Project MAF05501.

Kilroy C., A comparison of sampling methods for the detection of the invasive alga *Didymosphenia geminata* in New Zealand rivers, 2006. Biosecurity New Zealand. NIWA Project: MAF06509. NIWA Client Report: CHC2006-078.

Kilroy C., Biosecurity New Zealand, 2006, NIWA Client Report: CHC2006-078

Kilroy C., Studies on the survivability of the invasive diatom *Didymosphenia geminata* under a range of environmental and chemical conditions, 2007. NIWA Client Report CHC2006-116

Kumar, S., Spaulding S., 2009. Potential habitat distribution for the freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in the continental US, *Front. Ecol. Environ*, 7, 415–420.

Larned S., B. Biggs, N. Blair, C. Burns, B. Jarvie, D. Jellyman, C. Kilroy, J. Leathwick, K. Lister, J. Nagels, M. Shallenberg, S. Sutherland, J. Sykes, W. R Thompson, K. Vopel, Y B. Wilcock. (2006). *Ecology of Didymosphenia geminata* in New Zealand. Habit and ecosystem effects-Phase 2. National Institute of Water and Atmospheric Research. Client Report CHC2006-086, NIWA Project MAF06507

Lindstrom, E.A., 1991, Use of periphyton for monitoring rivers in Norway. Application of previously obtained data to evaluate impacts of acid precipitation. In: Whitton, B.A., Rott, E., and Friedrich, G., eds., *Use of Algae for Monitoring Rivers*: Innsbruck, Austria, Universität Innsbruck, Institut für Botanik, p. 139–144.

Lindstrøm, E.-A. & O. Skulberg, 2008. *Didymosphenia geminata*—a native diatom species of Norwegian rivers coexisting with the Atlantic salmon. In Bothwell, M. L. & S. A. Spaulding (eds), *Proceedings of the 2007 International Workshop on Didymosphenia geminata*. Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences 2795: 35–40.

Lowe, R. 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. EPA-670/4-74-005. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Mapa geológico de Chile, Publicación Geológica Digital, N°4, 2003, Base geológica escala 1:1.000.000, SERNAGEOMIN.

Marín R., 2003. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos. 336 pp.

Marín, J.M., 2006. Notas de Clase. Análisis de Componentes Principales. Departamento de Estadística Universidad Carlos III de Madrid. España.

Maucha, R. 1932. Hydrochemiasche Methoden in der Limnologie. *Binnengewasser*, 12:173p.

Molina, X., Vila, I., 2006. Manual de evaluación de la calidad del agua. 1ª .Ed. Santiago: SAG-CENMA. 97 p.

Muñoz P. 2012. Presencia de la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton de los ecosistemas fluviales chilenos de las regiones XIV, X, XI y XII. Facultad de ciencias, Universidad de Chile.

Niemeyer & Cereceda, Información meteorológica de Chile. Fasc. 1, Gobierno de Chile, 1961.

Oyarzo P. 2006. Distribución especial de la carga de nutrientes en la Cuenca hidrográfica del río Aysén.

Peralta M. 1980 Geomorfología, Suelos, Erosión y Uso del Suelo en la Región de Futaleufú X Región, Facultad de ciencias Forestales, Universidad de Chile.

Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), Municipalidad de Futaleufú, 2004

POCH Ambiental S.A. - U. de Chile 2011^a. 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. Informe final 75p. 13 anexos.

POCH Ambiental S.A. - U. de Chile 2011^b. Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones de La Araucanía y Los Ríos

POCH Ambiental S.A. - U. de Chile 2011^c. Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones de Los Lagos y Aisén

POCH Ambiental S.A. - U. de Chile 2012. Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las cuencas de los ríos Yelcho, Palena y Baker

POCH Ambiental S.A. 2012. Evaluación socioeconómica del impacto potencial de la presencia y propagación de *Didymosphenia geminata* en macrozona declarada plaga. 229p

Reid B., Montero P. & Martínez M. 2010. Evaluación preliminar sobre la diatomea invasora exótica *D. geminata* en cuencas de Futaleufú y Palena, Provincia de Palena, Región de Los Lagos, Chile, CIEP.

Reid, B., Montero P. & Martínez M; O'Kuingttons J. & Barrios J. 2010. Evaluación preliminar sobre la diatomea invasora exótica *Didymosphenia geminata* en cuencas de Aisén y Baker, región de Aisén, Chile. CIEP Chile, Agosto 2010. 19 p.

Resolución Exenta 3064/2010. Declara área de plaga sector río Espolón y Futaleufú, SUBPESCA

Spaulding S.A. & Elwell. 2007. Increase in Nuisance Blooms and Geographic Expansion of the Freshwater Diatom *Didymosphenia geminata*. USGS. Open-File Report 2007-1425

Sundareshwar, P.V., S. Upadhyay, M. Abessa, S. Honomichi, B. Berdanier, S. A. Spaulding, C. Sandvik, and A. Trennepohl. 2011. *Didymosphenia geminata*: Algal blooms in oligotrophic streams and rivers. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38.

Térradez M., Análisis de Componentes Principales, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Proyecto e-Math.

Oyanedel, A., Valdovinos, C., Azócar, M., Moya, C., Mancilla, G., Pedreros, P. y R. Figueroa, 2008. Patrones de Distribución Espacial de los Macroinvertebrados Bentónicos de la Cuenca del Río Aysén (Patagonia Chilena). *Gayana* 72(1), 105-121

Vergara Y., Rendón M., Chacón A., Bernal F., Rosas C. Dinámica de nutrientes del Lago de Zirahuén, Michoacán, México. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales-UMSNH.

Villardón J.L., Departamento de Estadística, Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca.

Wetzel R. *Limnology, Lake and River Ecosystems*, 3^o Edition, 2001

Wetzel, R. G. 1992. *Limnology*. 2nd Edition. Hungarian Academy of Sciences.

Whitton B., Ellwood N. & Kawecka B. 2009. Biology of the freshwater diatom *Didymosphenia*: a review. *Hydrobiology Springerlink*.630:1-37.

Sitios Web

Biosecurity New Zealand, <<http://www.biosecurity.govt.nz>>,

Dirección de Aeronáutica Civil, < <http://www.dgac.cl>>

Información Patagonia, <<http://www.patagonia.com/us/home>>

The United States Geological Survey (USGS). <<http://didymosa.blogspot.com>>

Municipalidad de Futaleufú, <<http://www.futaleufu.cl/locales/crionespolon.html>>

Turismo Chile

<http://www.turismochile.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=432&Itemid=186>

Sernatur, <http://www.patagoniaverde.com/es/comunas/alto_palena.html>

Etur, <<http://www.etur.cl> >

El Pangue Lodge, <<http://www.elpangue.cl/rio-figueroa.html>>

Gobernación Provincia de Palena,

<http://www.gobernacionpalena.gov.cl/info_turismo.html>

Planeamiento estratégico Provincia de Chubut, Gobierno Argentino

http://www.chubut.gov.ar/infraestructura/documentos/Infraestructura_Hidrica.pdf

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Registro fotográfico de ríos con presencia de *Didymosphenia geminata* en la cuenca del río Yelcho



Figura 37. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Futaleufú

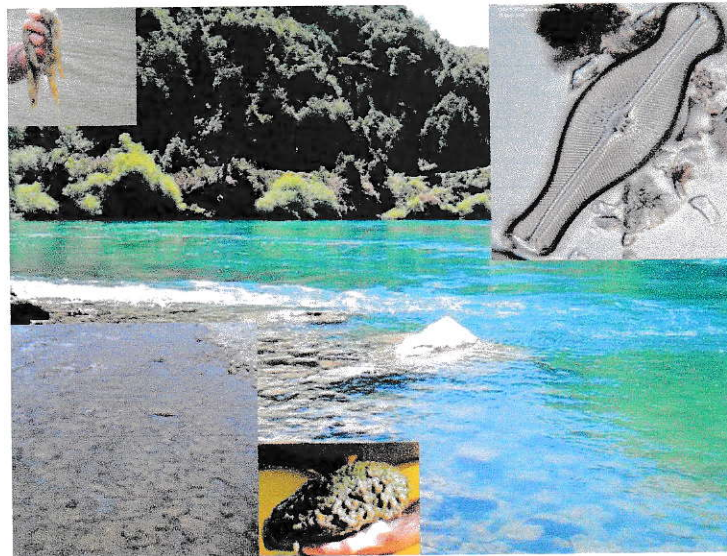


Figura 38. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Noroeste



Figura 39. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el río Espolón

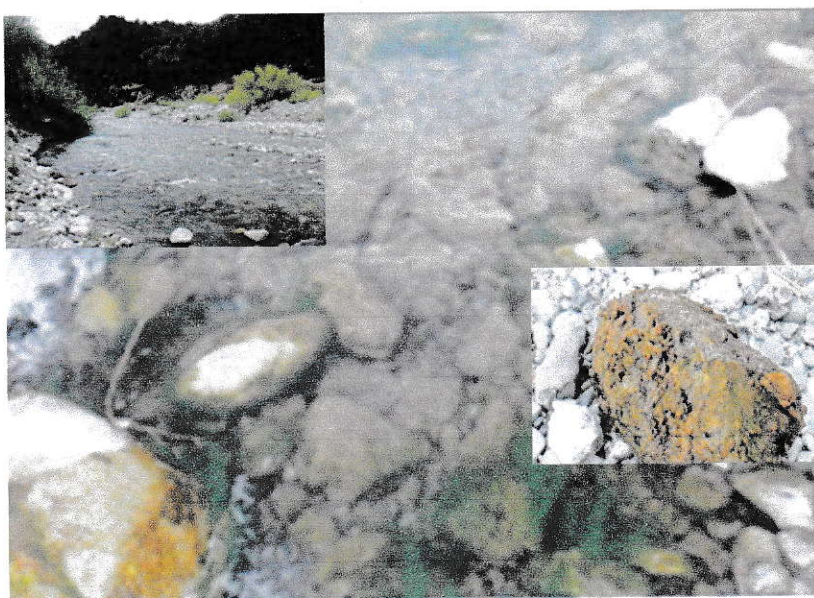


Figura 40. Registros fotográficos de la presencia de Didymo en el Estero Bellavista

ANEXO 2: Importancia Ambiental de los parámetros elegidos para caracterizar la cuenca del Yelcho

Tabla 16. Importancia ambiental, efectos y mecanismos de las variables elegidas para la caracterización del río Futaleufú

| Variable | Efecto sobre las aguas |
|-------------------------------|---|
| Q | Se relaciona con la erosión y movimiento de agua por lo que influncia la dilución de sales y la oxigenación de la superficie (Molina X, Vila I., 2006, CENMA-SAG) |
| T° | Factor físico que afecta principalmente la dinámica y magnitud de liberación de nutrientes en sedimentos (Andaur, 2008), además de asociarse a la solubilidad del oxígeno, potenciar la proliferación de microorganismos y aumento de problemas de sabor, olor, color y corrosión (OMS, 2006). |
| pH | Rol importante en la solubilidad y precipitación de metales, ya que determina las formas químicas y su movilidad |
| CE | Se relaciona con la mineralización del agua y la concentración de las sales disueltas. (POCH Ambiental S.A., 2010) |
| OD | La temperatura y oxígeno disuelto influyen en la solubilidad de metales y por lo tanto su distribución en el sistema acuático. (POCH Ambiental S.A., 2010) |
| Cl ⁻ | Es el anión responsable mayoritariamente junto con sulfato de la CE. Sus mediciones se utilizan como trazador de contaminación antrópica en estudios de evaluación ambiental. Concentraciones altas de este parámetro interfiere en el desarrollo de la flora. En general, un alto contenido de cloruro en las aguas está relacionado con altos niveles de sodio. (POCH Ambiental S.A., 2010) |
| NO ₃ ⁻ | Nutriente que en exceso puede favorecer la eutroficación de un cuerpo de agua por aumento en la proliferación de microorganismos y algas |
| SO ₄ ⁻² | Anión inorgánico muy abundante en la naturaleza. Los niveles de concentración de sulfato pueden ser muy variables, dependiendo del pH, potencial redox y fuentes locales. Los sulfatos del sodio, potasio y magnesio son rápidamente solubles en agua, en cambio el sulfato de calcio es relativamente menos soluble que los sulfatos anteriores, por lo que puede formar precipitados con calcio |
| HCO ₃ ⁻ | A pH 7 a 8,5 esta especie es predominante en la alcalinidad. Este ión es muy importante ya que no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis |

| Variable | Efecto sobre las aguas |
|-------------------------------|--|
| Ca ⁺² | El calcio es uno de los elementos más comunes en aguas naturales. Se forma por la disolución del mineral calcita. Este equilibrio depende de la concentración de CO ₂ que se disuelve en el agua; a mayor cantidad de CO ₂ , mayor disolución de carbonato de calcio. Esto último indica que organismos que tienen carbonato de calcio en su estructura se pueden ver amenazados y en riesgo (Harris D., Análisis químico cuantitativo, 2007, Réverte) |
| Mg ⁺² | En los sistemas acuáticos se disuelven numerosas sales y sustancias, principalmente Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ . Su concentración depende de la presencia de diferentes materiales en el terreno y su geología y son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales, los que nos permiten caracterizar un cuerpo de agua |
| K ⁺ | |
| Na ⁺ | |
| PO ₄ ⁻³ | En aguas oligotróficas el P orgánico es mucho mayor que el P inorgánico, y se hace más significativo que éste último. Sin embargo, sólo es un indicador de la biomasa presente en el agua, más que un indicador de calidad. |

ANEXO 3: Matriz de datos para el Análisis Estadístico

Tabla 17. Matriz de datos utilizada para el Análisis de Componentes Principales y de Conglomerados⁸

| Estación | Presencia /Ausencia de Didymo | Velocidad [m/s] | Altitud [m] | Ancho río [m] | Pendiente [m] | Longitud río [m] | Índice Sinuosidad | Temperatura [°C] | Saturación O ₂ (%) | Oxígeno Disuelto [mg/L] | pH | Conductividad eléctrica [µS/cm] |
|------------|-------------------------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|------|---------------------------------|
| Petrohué | A | 1,70 | 91 | 93,9 | 2,19 | 36 | 1,01 | 7,3 | 86,0 | 10,7 | 8,6 | 30 |
| Puelo | A | 0,60 | 3 | 149,3 | 0,18 | 120 | 1,11 | 11,1 | 95,0 | 10,7 | 8,5 | 33 |
| Gol-Gol | A | 1,10 | 202 | 31,6 | 0,56 | 62,36 | 1,08 | 10,5 | 107,5 | 12,1 | 8,5 | 23 |
| Rahue | A | 1,80 | 57 | 34,8 | 0,66 | 120 | 1,01 | 12,9 | 99,0 | 10,6 | 8,2 | 40 |
| Butalcura | A | 0,70 | 15 | 16,3 | 0,63 | 53,9 | 1,23 | 16,3 | 92,0 | 9,2 | 8,2 | 56 |
| Pilmaiquén | A | 1,11 | 16 | 85,0 | 0,23 | 68 | 1,05 | 13,43 | 102,6 | 10,5 | 6,07 | 45,43 |
| Golgol | A | 0,66 | 321 | 45,0 | 0,56 | 62,36 | 1,08 | 7,57 | 110,2 | 13,13 | 6,76 | 26,6 |
| Rahue 1 | A | 1,13 | 54 | 23,0 | 0,66 | 120 | 1,01 | 15,31 | 95,8 | 9,5 | 6,82 | 38,17 |
| Rahue 2 | A | 0,67 | 12 | 90,0 | 0,66 | 120 | 1,01 | 12,57 | 83,0 | 8,72 | 5,32 | 30,85 |
| Coyhueco | A | 1,26 | 82 | 20,0 | 0,64 | 21,5 | 2,11 | 9,8 | 96,5 | 10,8 | 6,34 | 37 |
| Las Nalcas | A | 1,62 | 117 | 15,0 | 1,10 | 9,69 | 1,55 | 7,3 | 99,5 | 11,66 | 5,95 | 39,67 |
| Negro | A | 1,31 | 151 | 55,0 | 0,26 | 39,1 | 1,60 | 13 | 98,2 | 11,19 | 8,5 | 20 |
| Peulla | A | 1,02 | 207 | 33,0 | 0,32 | 19,6 | 1,09 | 9,15 | 94,1 | 10,87 | 8,5 | 61 |
| Blanco | A | 1,14 | 188 | 20,0 | 3,68 | 16,9 | 1,39 | 8,2 | 98,6 | 11,76 | 7 | 8,2 |
| Pescado | A | 1,11 | 105 | 12,0 | 0,02 | 18 | 1,44 | 8,9 | 101,5 | 11,52 | 5,8 | 13 |
| Mauflín | A | 1,25 | 15 | 30,0 | 0,14 | 85 | 1,07 | 13,35 | 87,3 | 9,04 | 7,32 | 71 |
| Chamiza | A | 0,94 | 12 | 27,0 | 0,42 | 30,5 | 1,38 | 8,7 | 93,6 | 10,83 | 6,6 | 17 |
| Cochemó | A | 0,74 | 47 | 30,0 | 0,84 | 12,1 | 1,08 | 8,5 | 96,6 | 11,31 | 7,8 | 9 |
| Puelo 2 | A | 0,58 | 6 | 140,0 | 0,15 | 120 | 1,13 | 10,25 | 88,4 | 9,8 | 7,85 | 28 |
| Manso | A | 1,06 | 50 | 70,0 | 0,16 | 40,6 | 1,07 | 8,65 | 104,2 | 12,17 | 6,4 | 15 |
| Puelo 1 | A | 0,54 | 15 | 55,0 | 0,30 | 120 | 1,78 | 9,6 | 98,0 | 11,59 | 6,73 | 16 |

⁸ Datos: POCH-U. de Chile, 2011 a y c

| Estación | Presencia /Ausencia de Didymo | Velocidad [m/s] | Altitud [m] | Ancho río [m] | Pendiente [m] | Longitud río [m] | Índice Sinuosidad | Temperatura [°C] | Saturación O ₂ (%) | Oxígeno Disuelto [mg/L] | pH | Conductividad eléctrica [µS/cm] |
|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------|
| Alerce | A | 0,39 | 190 | 9,7 | 5,00 | 11,87 | 1,05 | 6,75 | 106,0 | 12,1 | 6,3 | 25 |
| Botapiedra | A | 0,41 | 26 | 13,7 | 4,05 | 9,8 | 1,18 | 7,3 | 125,0 | 14,9 | 6,71 | 27 |
| Mapocho | A | 0,69 | 185 | 7,1 | 5,00 | 3,2 | 1,10 | 12,3 | 113,0 | 11,8 | 6,5 | 47 |
| Negro | A | 0,43 | 175 | 12,4 | 12,42 | 10,4 | 1,04 | 6 | 145,0 | 15,4 | 6,7 | 32 |
| Puelo | A | 1,45 | 51 | 11,9 | 1,11 | 28,2 | 1,06 | 7,95 | 108,0 | 12,7 | 6,17 | 11 |
| Ventisquero | A | 0,81 | 105 | 300,0 | 0,48 | 15,7 | 1,07 | 5,6 | 121,0 | 14 | 5,9 | 21 |
| Blanco 2 | A | 1,04 | 37 | 4,8 | 0,65 | 25,2 | 1,09 | 11,45 | 119,0 | 10,8 | 5,81 | 67 |
| Blanco-Peulla | A | 1,31 | 195 | 6,1 | 1,87 | 16,9 | 1,24 | 7,85 | 110,0 | 10,6 | 5,84 | 37 |
| Del Este | A | 0,18 | 1 | 13,7 | 3,88 | 8,1 | 1,34 | 7,6 | 119,0 | 10,7 | 6,27 | 30 |
| Hueñu-Hueñu | A | 0,37 | 37 | 14,7 | 1,14 | 19,3 | 1,28 | 11,7 | 131,0 | 12,6 | 5,61 | 60 |
| Los Cuarteles | A | 0,06 | 36 | 78,5 | 2,59 | 7,7 | 1,15 | 7,8 | 123,0 | 11,8 | 5,63 | 68 |
| Negro 1 | A | 0,29 | 195 | 45,6 | 0,77 | 10,4 | 1,38 | 7,3 | 117,0 | 12,8 | 6,37 | 31 |
| Petrohué 1 | A | 0,44 | 126 | 66,3 | 0,89 | 36 | 1,05 | 13,9 | 104,0 | 10,6 | 6,74 | 36 |
| Petrohué 2 | A | 0,64 | 122 | 5,8 | 0,89 | 36 | 1,05 | 9,85 | 96,0 | 10,4 | 6,83 | 67 |
| Petrohué 3 | A | 0,27 | 93 | 81,5 | 2,84 | 36 | 1,03 | 14,8 | 96,0 | 9,1 | 5,55 | 62 |
| Petrohué 4 | A | 0,09 | 193 | 43,7 | 2,12 | 36 | 1,08 | 14,5 | 140,0 | 13,8 | 5,86 | 32 |
| Petrohué 5 | A | 0,34 | 13 | 0,7 | 0,44 | 36 | 1,20 | 11,7 | 95,0 | 10,2 | 6,7 | 54 |
| Peulla 1 | A | 0,79 | 330 | 7,5 | 0,63 | 19,6 | 1,03 | 4,2 | 131,0 | 15,2 | 5,95 | 143 |
| Peulla 2 | A | 0,85 | 200 | 22,6 | 0,45 | 19,6 | 1,04 | 7,35 | 133,0 | 12,9 | 5,97 | 102 |
| Reloncaví | A | 0,34 | 11 | 11,3 | 1,06 | 7,2 | 1,03 | 9,3 | 120,0 | 11,2 | 6,8 | 413 |
| Rollizo | A | 0,34 | 8 | 5,2 | 3,09 | 9,2 | 1,17 | 8,45 | 127,0 | 12 | 7,41 | 98 |
| Tronador | A | 0,06 | 240 | 31,1 | 2,39 | 8,7 | 1,01 | 6,9 | 131,0 | 13,01 | 6,11 | 28 |
| Michimahuida 1 | A | 1,69 | 371 | 59,3 | 0,65 | 46 | 1,08 | 7 | 107,6 | 12,925 | 7,05 | 25,1 |
| Amarillo 1 | A | 0,96 | 109 | 30,5 | 1,20 | 27,4 | 1,01 | 9,75 | 105,1 | 12,07 | 7,735 | 43,35 |
| Amarillo 2 | A | 1,06 | 50 | 24,0 | 0,71 | 27,4 | 1,13 | 8,25 | 108,8 | 12,75 | 6,885 | 40,4 |

| Estación | Presencia /Ausencia de Didymo | Velocidad [m/s] | Altitud [m] | Ancho río [m] | Pendiente [m] | Longitud río [m] | Índice Sinuosidad | Temperatura [°C] | Saturación O ₂ (%) | Oxígeno Disuelto [mg/L] | pH | Conductividad eléctrica [µS/cm] |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------|
| Yelcho 2 | A | 1,13 | 51 | 145,3 | 0,22 | 46 | 1,08 | 12,4 | 101,4 | 10,75 | 5,565 | 34,85 |
| Michimahuida 2 | A | 1,00 | 32 | 131,0 | 0,35 | 46 | 1,20 | 8,5 | 111,2 | 12,65 | 7,09 | 43,5 |
| Frío 1 | A | 1,79 | 56 | 61,9 | 0,74 | 18,9 | 1,38 | 8,8 | 111,2 | 12,75 | 6,575 | 24,25 |
| Malito | A | 1,19 | 53 | 39,6 | 0,09 | 21,5 | 1,05 | 11,55 | 104,8 | 11,315 | 5,74 | 34,15 |
| Frío | A | 2,02 | 164 | 82,0 | 0,46 | 41,3 | 1,32 | 10,3 | 105,5 | 11,785 | 7,165 | 20,55 |
| Futaleufú | P | 0,80 | 307 | 42,2 | 0,77 | 246 | 1,37 | 11,8 | 95,0 | 10,3 | 6,7 | 27 |
| Espolón | P | 1,70 | 301 | 88,5 | 0,66 | 13,18 | 1,92 | 11,3 | 97,5 | 10,9 | 8,5 | 29 |
| Islote Castilla | P | 1,11 | 28 | 8,5 | 3,00 | 46,8 | 1,04 | 8 | 129,0 | 14,8 | 6,47 | 25 |
| Manso | P | 0,81 | 34 | 64,5 | 0,44 | 40,6 | 1,08 | 7,55 | 122,0 | 13,5 | 6,6 | 33 |
| Puelo 2 | P | 0,43 | 105 | 68,0 | 0,24 | 120 | 1,05 | 11,4 | 129,0 | 13,8 | 6,5 | 30 |
| Puelo 3 | P | 0,38 | 79 | 92,1 | 0,32 | 120 | 1,07 | 9,55 | 122,0 | 12,1 | 6,12 | 29 |
| Puelo 5 | P | 0,61 | 24 | 153,0 | 0,28 | 120 | 1,68 | 9,15 | 117,0 | 13,5 | 6,53 | 32 |
| Puelo 6 | P | 0,17 | 20 | 174,0 | 0,16 | 120 | 1,24 | 9,05 | 106,0 | 11,5 | 5,26 | 31 |
| Puelo 7 | P | 0,73 | 31 | 98,2 | 0,44 | 120 | 1,05 | 9,95 | 107,0 | 12 | 7,78 | 21 |
| Puelo 9 | P | 0,82 | 12 | 120,0 | 0,09 | 120 | 1,00 | 9,6 | 117,0 | 12 | 7,2 | 24 |
| Traidor | P | 0,47 | 34 | 137,0 | 0,38 | 32,4 | 1,15 | 6,6 | 125,0 | 15 | 6,7 | 24,5 |
| Bellavista | P | 0,96 | 325 | 12,2 | 2,37 | 9,76 | 1,08 | 11 | 101,3 | 11,275 | 6,85 | 41,54 |

A = Ausencia de Didymo; P = Presencia de Didymo

ANEXO 4: Caudales medios mensuales [m³/s] de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA)

Tabla 18. Caudales medios mensuales [m³/s] 2001-2010 para la estación Futaleufú en la frontera

| Mes/Año | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Marzo | | 257,42 | 297,84 | 281,39 | 300,65 | 283,48 | 173,9 | 200,74 | 169,23 | 315 |
| Abril | | 287,37 | 292,13 | 334,53 | 299,63 | 343,73 | 275,47 | 214,57 | 185 | 300,47 |
| Mayo | | 416,32 | 305,71 | 365,16 | 348,03 | 367,1 | 357,32 | | 338,97 | 293,81 |
| Junio | | 410,33 | 309,1 | 379,3 | 406,4 | 424,73 | 402,43 | | 430 | 360,33 |
| Julio | 386,42 | 380,55 | 335,19 | 524,94 | 381,26 | 625,9 | 288,84 | | 399,19 | 433,71 |
| Agosto | 334,26 | 383,36 | 424,77 | 387,45 | 390,26 | 460,13 | 231,58 | 435,29 | 395,07 | 343,77 |
| Septiembre | 383,17 | 387,4 | 364,13 | 408,13 | 368,07 | 372,67 | 228,8 | 335,33 | 502,97 | 232,63 |
| Octubre | 411,5 | 647,36 | 348,26 | 394,81 | 402,45 | 358,81 | 245,52 | 341,45 | 416,65 | 220,16 |
| Noviembre | | 733,33 | 335,2 | 366,47 | 461,67 | 450,13 | 237,5 | 424,77 | 488,77 | 207,57 |
| Diciembre | 294,79 | 480,45 | 315,07 | 309,84 | 483,65 | 437,84 | 223,84 | 352,1 | 473,9 | 214,71 |
| Enero | 278,16 | 409,9 | 291,39 | 300,87 | 537,1 | 398,16 | 232 | 209,04 | 427,13 | 202 |
| Febrero | 266,32 | 410,18 | 255,31 | 303,18 | 327,79 | 243,29 | 225,93 | 172,5 | 319,36 | |

Tabla 19. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú en la frontera. (Datos de la Figura 12)

| Mes/Año | Caudal [m ³ /s] |
|------------|----------------------------|
| Marzo | 253,3 |
| Abril | 281,4 |
| Mayo | 349,1 |
| Junio | 390,3 |
| Julio | 421,2 |
| Agosto | 383,5 |
| Septiembre | 355,6 |
| Octubre | 375,1 |
| Noviembre | 411,7 |
| Diciembre | 365,7 |
| Enero | 334,2 |
| Febrero | 282,2 |

Tabla 20. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú ante junta río malito

| Mes/Año | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Marzo | | 309 | 307,39 | 375,77 | 392,61 | 205,52 | 174,07 | 194,36 | 248,32 |
| Abril | 395 | 270,67 | 518,7 | 335,77 | 443,23 | 346,87 | 302,3 | 292,03 | 347,03 |
| Mayo | 573,81 | 301,45 | 372 | 524,26 | 442,94 | 384,29 | | 460,52 | 365,77 |
| Junio | 487,17 | 510,27 | 545,27 | 585,27 | 565,03 | 423,6 | | 532,3 | 491,6 |
| Julio | 446,39 | 422,71 | 649,9 | 467,45 | 830,29 | 350,81 | | 468,42 | 547,55 |

| Mes/Año | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| Agosto | 508,29 | 584,39 | 422,39 | 475,1 | 524,48 | 245,94 | 534,16 | 632,81 | 415,43 |
| Septiembre | 460,73 | 472,37 | 489,77 | 422,17 | 438,73 | 314,03 | 417,5 | 592,93 | 294,87 |
| Octubre | 908,39 | 501,94 | 480,61 | 498,58 | 434,61 | 365,55 | 415,84 | 544,07 | 308,74 |
| Noviembre | 963,97 | 481,03 | 445,6 | 695,2 | 551,07 | 321,4 | 554,5 | 634,53 | 336,13 |
| Diciembre | 609,26 | 448,52 | 409,1 | 600,94 | 612,87 | 303,58 | 423,13 | 629,58 | 228,5 |
| Enero | 543,58 | 371,48 | 373,58 | 719,45 | 483,94 | 276,13 | 239,81 | 573,55 | |
| Febrero | 495,07 | 283,28 | 315,96 | 388,93 | 270,96 | 209,83 | 199,85 | 446,96 | 162,5 |

Tabla 21. Caudales medios mensuales [m³/s] 2002-2011 para la estación Futaleufú ante junta río malito. (Datos de la Figura 12)

| Mes/Año | Caudal [m ³ /s] |
|------------|----------------------------|
| Marzo | 275,9 |
| Abril | 321,1 |
| Mayo | 428,1 |
| Junio | 517,6 |
| Julio | 522,9 |
| Agosto | 482,6 |
| Septiembre | 433,7 |
| Octubre | 495,4 |
| Noviembre | 553,7 |
| Diciembre | 473,9 |
| Enero | 447,7 |
| Febrero | 308,1 |

ANEXO 5: Variables y parámetros de calidad de aguas de la estación de la Dirección General de Aguas (DGA) consideradas para la caracterización de la cuenca del río Yelcho

Tabla 22. Valores medios diarios de T°, pH, CE y OD de la estación de calidad de aguas (Datos informados por la CIRH)

| Fecha | Temperatura [°C] | pH | Conductividad [µS/cm] | OD [mg/L] |
|------------|------------------|------|-----------------------|-----------|
| 08/04/2001 | 13,2 | 6 | 96,5 | 10,42 |
| 13/07/2001 | 6,6 | 6,14 | 121,7 | 11,02 |
| 12/10/2001 | 8,7 | 5,92 | 108,5 | 11,82 |
| 13/12/2001 | 14,04 | 7 | 49 | 10,14 |
| 12/04/2002 | 11,44 | 7,14 | 50 | 9,96 |
| 05/06/2002 | 6,99 | 7,95 | 50 | 10,67 |
| 11/10/2002 | 7,23 | 7,42 | 68 | 11,05 |
| 12/12/2002 | 13,34 | 7,18 | 54 | 9,96 |
| 25/04/2003 | 11,3 | 7,09 | 42 | 9,86 |
| 08/07/2003 | 6,41 | 6,65 | 51 | 10,85 |
| 30/09/2003 | 7,58 | 7,1 | 53 | 10,71 |
| 01/04/2004 | 14,47 | 6,32 | 42 | 9,29 |
| 16/07/2004 | 6,11 | 7,48 | 47 | 11,65 |
| 16/12/2004 | 12,95 | 7,66 | 44 | |
| 12/04/2005 | 11,51 | 7,34 | 40,8 | 9,6 |
| 12/07/2005 | 6,1 | 6,98 | 54,5 | 12,08 |
| 15/12/2005 | 11,3 | 7,27 | 426 | 10,57 |
| 18/04/2006 | 12 | 8,06 | 103 | 8,88 |
| 18/07/2006 | 6,9 | 7,42 | 43,2 | 10,21 |
| 14/12/2006 | 11,93 | 7,53 | 43,8 | 10,88 |
| 10/04/2007 | 12,11 | 7,48 | 42,6 | 9,34 |
| 27/07/2007 | 6,13 | 7,28 | 48 | 10,82 |

| Fecha | Temperatura [°C] | pH | Conductividad [μ S/cm] | OD [mg/L] |
|------------|------------------|------|-----------------------------|-----------|
| 19/12/2007 | 12,8 | 7,53 | 45,9 | 10,89 |
| 12/04/2008 | 12,02 | 7,74 | 47 | 9,93 |
| 01/12/2008 | 10,77 | 7,25 | 40,5 | 10,48 |
| 14/05/2009 | 9,96 | 7,32 | 46,8 | 10,73 |
| 07/07/2009 | 7,29 | 7,06 | 52 | 10,78 |
| 03/12/2009 | 9,29 | 7,28 | 48,7 | 11,57 |
| 15/04/2010 | 12,97 | 6,88 | 43 | 8,94 |
| 20/08/2010 | 6,94 | 6,5 | 63 | 11,18 |
| 03/12/2010 | 11,08 | 7,2 | 43 | 11,93 |
| 15/04/2011 | 11,94 | 7,44 | 44 | 9,98 |
| 26/08/2011 | 7,15 | 7,19 | 52 | 12,45 |

Tabla 23. Valores medios diarios de variables químicas [mg/L] de la estación de calidad de aguas (Datos informados por la CIRH)

| | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | N-NO ₃ | P PO ₄ |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 08-04-2001 | 26,1 | 1 | 2,3 | 1,4 | 0,4 | 7,7 | 1 | 0,042 | 0,007 |
| 13-07-2001 | | | | | | | | 0,044 | 0,01 |
| 12-10-2001 | | | | | | | | 0,042 | 0,003 |
| 13-12-2001 | 22,197 | 1 | 2,904 | 2,2 | 0,2 | 6,2 | 0,86 | 0,015 | 0,003 |
| 12-04-2002 | 23,02 | 1 | 2,169 | 1,4 | 0,3 | 6,3 | 0,9 | 0,012 | 0,003 |
| 05-06-2002 | | | | | | | | 0,072 | 0,003 |
| 11-10-2002 | | | | | | | | | |
| 12-12-2002 | | | | | | | | | |
| 25-04-2003 | 17,887 | 0 | 2,325 | 1,26 | 0,315 | 4,668 | 0,878 | 0,025 | 0,003 |
| 08-07-2003 | | | | | | | | 0,017 | 0,029 |
| 30-09-2003 | | | | | | | | 0,01 | 0,008 |

| | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | Cl ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | N-NO ₃ | P PO ₄ |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 01-04-2004 | 22,566 | 1,803 | 1,403 | 1,344 | 0,393 | 5,809 | 0,591 | 0,028 | 0 |
| 16-07-2004 | | | | | | | | 0,029 | 0,004 |
| 16-12-2004 | | | | | | | | 0,004 | 0,009 |
| 12-04-2005 | 19,8 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 0,3 | 5,5 | 0,8 | 0,01 | 0,002 |
| 12-07-2005 | | | | | | | | 0,026 | |
| 15-12-2005 | | | | | | | | 0,049 | |
| 18-04-2006 | 55,213 | 0,594 | 2,137 | 1,174 | 0,334 | 15,907 | 0,993 | 0,026 | 0,071 |
| 18-07-2006 | | | | | | | | | 0,008 |
| 14-12-2006 | | | | | | | | 0,008 | 0,009 |
| 10-04-2007 | | 3 | 4,092 | 1,461 | 0,183 | 6,693 | 0,216 | 0,0072 | 0,004 |
| 27-07-2007 | | 2 | 3,41 | 1,654 | 0,206 | 23,682 | 0,931 | 0,045 | 0,003 |
| 19-12-2007 | | 2 | 2,27 | 1,523 | | 3,395 | 0,828 | | 0,026 |
| 12-04-2008 | | 1 | 2,101 | 1,628 | 0,482 | 5,584 | 0,752 | | 0,003 |
| 01-12-2008 | | 3 | 2,58 | 1,62 | 0,822 | 4,69 | 0,642 | | |
| 14-05-2009 | | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 0,3 | 4,4 | 0,7 | 0,021 | 0,01 |
| 07-07-2009 | | 4,1 | 1 | 1,9 | 0,4 | 4,6 | 1 | 0,029 | 0,006 |
| 03-12-2009 | | 3,134 | 2,334 | 1,872 | 0,293 | 2,848 | 0,9 | 0,019 | 0,01 |
| 15-04-2010 | | 2,828 | 1,638 | 1,645 | 0,452 | 3,066 | 0,698 | | |
| 20-08-2010 | | 4,146 | 1,81 | 2,254 | 0,464 | 6,677 | 1,013 | | |
| 03-12-2010 | | 3,63 | 1,79 | 1,929 | 0,417 | 6,557 | 0,973 | | |
| 15-04-2011 | | | 1,46 | 1,545 | 0,341 | 6,218 | 0,81 | | |
| 26-08-2011 | | | 1,748 | 2,083 | 0,557 | 6,35 | 0,89 | | |

Tabla 24. Valores medios anuales de aniones y cationes [mg/L] de la estación de calidad de aguas⁹.

| Año/Variable | Ca ⁺² | Mg ⁺² | K ⁺ | Na ⁺ | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻² | PO ₄ ⁻³ |
|--------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 2001 | 6,95 | 0,93 | 0,30 | 1,80 | 24,15 | 0,158 | 1,00 |
| 2002 | 6,30 | 0,90 | 0,30 | 1,40 | 23,02 | 0,115 | 1,00 | 0,0140 |
| 2003 | 4,67 | 0,88 | 0,32 | 1,26 | 17,89 | 0,077 | 0,01 | 0,0340 |
| 2004 | 5,81 | 0,59 | 0,40 | 1,34 | 22,57 | 0,090 | 1,80 | 0,0110 |
| 2005 | 5,50 | 0,80 | 0,30 | 1,40 | 19,80 | 0,126 | 1,40 | 0,0068 |
| 2006 | 15,91 | 0,99 | 0,33 | 1,17 | 55,21 | 0,065 | 0,59 | 0,0173 |
| 2007 | 11,26 | 0,66 | 0,20 | 1,55 | 27,11 | 0,092 | 2,33 | 0,0281 |
| 2008 | 5,14 | 0,69 | 0,65 | 1,62 | 27,11 | 0,044 | 2,00 | 0,0077 |
| 2009 | 3,95 | 0,87 | 0,33 | 1,76 | 27,11 | 0,102 | 3,18 | 0,0221 |
| 2010 | 5,43 | 0,89 | 0,44 | 1,94 | 27,11 | 0,044 | 3,54 | 0,0110 |
| 2011 | 6,28 | 0,85 | 0,45 | 1,81 | 27,11 | 0,091 | 1,68 | 0,0077 |

⁹ Los colores de los datos están referidos al tipo de nivel de la información según sección 3.3

| | |
|--|---------|
| | Nivel 1 |
| | Nivel 2 |
| | Nivel 3 |
| | Nivel 4 |

Tabla 25. Temperatura, pH, Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto medio mensual registrada en el período 2001-2011 y su desviación estándar

| Mes | Temperatura [°C] | σ | pH | σ | CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$] | σ | OD [mg/L] | σ |
|-------------------|------------------|----------|------|----------|--------------------------------|----------|-----------|----------|
| Abril | 12,30 | 2,376 | 7,15 | 0,509 | 55,09 | 0,594 | 9,62 | 0,273 |
| Mayo | 9,96 | 0,000 | 7,32 | 0,000 | 46,80 | 0,000 | 10,73 | 0,000 |
| Junio | 6,99 | 0,000 | 7,95 | 0,000 | 50,00 | 0,000 | 10,67 | 0,000 |
| Julio | 6,51 | 2,746 | 7,00 | 0,329 | 59,63 | 0,713 | 11,06 | 0,142 |
| Agosto | 7,05 | 1,942 | 6,85 | 0,233 | 57,50 | 0,504 | 11,81 | 0,101 |
| Septiembre | 7,58 | 0,000 | 7,10 | 0,000 | 53,00 | 0,000 | 10,71 | 0,000 |
| Octubre | 7,97 | 0,247 | 6,67 | 0,919 | 88,25 | 0,127 | 11,44 | 0,000 |
| Diciembre | 11,94 | 1,250 | 7,32 | 0,342 | 88,32 | 0,315 | 10,80 | 0,106 |

ANEXO 6. Resultados del análisis de conglomerados jerárquicos (Cluster)

Se formaron 17 grupos (cluster) con una distancia euclidiana de 50, que es un rango aceptable. Los cluster se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Cluster formados en al análisis de conglomerados de la región de Los Lagos utilizando variables físicoquímicas

| Grupo | Ríos | Grupo | Ríos |
|----------------------------|---------------|--------------|---------------|
| 1 | Petrohué | 4 | Tronador |
| | Butalcura | | Negro |
| | Mauilín | | Petrohué |
| | Coyhueco | | Negro |
| | Las Nalcas | | Mapocho |
| | Amarillo | | Blanco-Peulla |
| | Pescado | | Alerce |
| | Cochamó | | Blanco |
| | Puelo | | Peulla |
| | Manso | | Gol-Gol |
| | Amarillo | 5 | Puelo |
| | Malito | | Puelo |
| | Frío | 6 | Puelo |
| | Manso | | Puelo |
| | Blanco | 7 | Rahue |
| | Hueñu-Hueñu | | Rahue |
| | Botapiedra | 8 | Reloncaví |
| Del Este | 9 | Peulla | |
| El Salto (Islote Castilla) | 10 | Golgol | |
| Chamiza | 11 | Michimahuida | |
| Negro | 12 | Bellavista | |
| Pilmaiquén | 13 | Espolón | |
| Rollizo | 14 | Peulla | |
| 2 | Los Cuarteles | 15 | Ventisquero |
| 3 | Traidor | 16 | Futaleufú |
| | Michimahuida | 17 | Reloncaví |
| | Yelcho | | |

ANEXO 7. Imágenes del Plan de Vigilancia, Detección y Control de la plaga de *D. geminata*



Figura 41. Polígono de Contención Región de Los Lagos

Fuente: "Programa 2011 para la Vigilancia, Detección y Control de la Plaga *Didymosphenia geminata*" Informe Segundo Semestre (2012), Servicio Nacional de Pesca, para Comisión Mixta de Presupuestos del Congreso Nacional.



Figura 42. Unidades de desinfección de X región. (Workshop CORFO, 2012)

Didymosphenia geminata
(Lyngbye) Schmidt

Didymosphenia geminata is a species of microalgae commonly known as Didymo or "rock spot" that attaches to rocks and forms thick brown mats that cover large areas in the bottoms of rivers and lakes, and tend to persist for several months.

This algae spreads easily, it is highly invasive in a short period of time and rapidly turns into a plague.

The native distribution of Didymo is the cool, temperate regions of the Northern Hemisphere. It was reported on Vancouver Island (since 1984) and in parts of the United States (in South Dakota it was found across an area of 10 km during months). Its presence has caused serious problems in the tourism industry and recreational fishing in New Zealand. It was observed in the Waitai river in 2004, and spread to 26 fishing locations from 2008-2009.

Chile has climatic and water conditions that favor the spread of Didymo. Research carried out in 2010 have reported the distribution of this exotic algae in the basin of the Futaleufú and Espolón rivers in the Los Lagos Region, and in Simpson, Emperador Guillermo and Nihueño rivers in the Aysén Region.

REMOVE
Eliminate any visible presence of algae from equipment that has come in contact with infected water.

CLEAN
Soak your clothes, shoes and equipment for at least one minute in 10 litres of water with one cup of bleach (200 ml) or 2½ cups of dishwashing detergent (500 ml). **DO NOT DISPOSE CLEANING WASTE BACK INTO THE RIVER.**

DRY
Once disinfected, the articles must be completely dry to the touch, and left to dry for at least 48 hours before use.

Figura 43. Tríptico de Difusión Inglés (www.sernapesca.cl)

ANEXO 8. Ríos con presencia de *Didymo* y sus actividades productivas y recreativas asociadas

Tabla 27. Ríos prospectados de *D. geminata* en la región de Los Lagos y sus respectivas actividades productivas y recreativas

| ESTACION | Presencia de <i>Didymo</i> | Ganadería | Agricultura | Acuicultura | Deportes Náuticos | Plantas de tratamiento | Hidroeléctrica | Turismo y camping | Pesca |
|--------------------|----------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|-------|
| Futa | A | | | | | | | x | x |
| Fuy | A | | | | x | | | | |
| San Pedro | A | x | | | | | | x | |
| Cruces | A | x | x | | x | | | x | |
| Bueno | A | x | x | | | | | x | x |
| Nilahue | A | | | | | | | x | x |
| Petrohué | A | | | | | | | x | x |
| Puelo | A | x | x | | | | | | x |
| Gol-Gol | A | | | | | | | x | x |
| Rahue | A | x | x | | | | | x | |
| Futaleufú | P | x | x | | x | | | | x |
| Espolón | P | x | x | | x | | | x | x |
| Butalcura - Chiloé | A | x | x | | | | | | |
| Río Negro | A | | | | | | | x | x |
| Río Peulla | A | | | | | | | x | x |
| Blanco Chico | A | | | | | | | X | x |
| Pescado | A | x | x | | X | | | | X |
| Pilmaiquén | A | x | x | | | | | | |
| Golgol | A | x | X | | X | | | | x |
| Rahue (1) | A | x | X | | | | | | |
| Coyhueco | A | x | X | | | | | | x |

| ESTACION | Presencia de Didymo | Ganadería | Agricultura | Acuicultura | Deportes Náuticos | Plantas de tratamiento | Hidroeléctrica | Turismo y camping | Pesca |
|------------------|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|-------|
| Las Nalcas | A | | | | | | | x | |
| Mauilín | A | x | X | | X | | | | x |
| Chamiza | A | x | X | | | | | | x |
| Cochamó | A | x | X | | X | | | | x |
| Puelo (2) | A | x | X | | | | | | x |
| Manso | A | | | | | | | x | x |
| Puelo (1) | A | x | | | X | | | | x |
| Traidor | A | | | | | | | x | x |
| Risopatrón | P | x | | | | | | | x |
| Figueroa | A | x | | | | | | | x |
| Cacique Blanco | A | x | | | | | | | x |
| Frío | A | x | | | | | | | |
| Bellavista | P | x | | | | | | | |
| Malito | A | x | | | | | | | 1 |
| Palena 1 | A | | | | 1 | | | | 1 |
| Torrente 2 | A | x | | | | | | | |
| Tranquilo 2 | A | x | | | x | | | | x |
| Salto 2 | A | x | | | x | | | | x |
| Yelcho 3 | P | | | x | x | | | x | x |
| Amarillo 2 | A | | | | | | | | |
| Michimahuida 2 | A | | | | | | | x | x |
| Tranquilo 1 | A | | | | | | | x | x |
| Figueroa 2 | P | | | | | | | | x |
| Pico 1 | P | | | | | | | | x |
| Cacique Blanco 2 | A | x | | | | | | | x |

| ESTACION | Presencia de Didymo | Ganadería | Agricultura | Acuicultura | Deportes Náuticos | Plantas de tratamiento | Hidroeléctrica | Turismo y camping | Pesca |
|---------------|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|-------|
| Huemules | A | X | | | | | | | X |
| Dinamarca 2 | A | X | | | | | | | X |
| Correntoso | A | X | | | | | | | X |
| Melinoyu | A | X | | | | | | | X |
| Rossetot 1 | A | X | | | | | | | |
| Quinto 2 | A | X | | | | | | | |
| Claro Solar 1 | A | X | | | | | | | |
| Oeste 2 | A | X | | | | | | | |
| Tigre | A | | | | X | | | | |
| Azul | A | X | X | | | | X | | |
| Diablo | A | | | | | | | | X |
| Noroeste | P | | | | X | | | | X |

x=Presencia de esta actividad en el río; A = Ausencia de Didymo; P = Presencia de Didymo

Tabla 28. Porcentajes de ríos por actividad, y porcentaje de ríos con *Didymo* por actividad. Región de Los Lagos.

| | | |
|-------------------------------|--|-------|
| Ganadería | Ríos con Ganadería | 37 |
| | % Ríos con ganadería | 63,79 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con ganadería | 6,90 |
| Agricultura | Ríos con Agricultura | 17 |
| | % Ríos con Agricultura | 29,31 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con agricultura | 3,45 |
| Acuicultura | Ríos con Acuicultura | 1 |
| | % Ríos con acuicultura | 1,72 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con acuicultura | 1,72 |
| Deportes náuticos | Ríos con Deportes Náuticos | 15 |
| | % Ríos con Deportes Náuticos | 25,86 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con D. náuticos | 6,90 |
| Pesca Recreativa | Ríos con pesca | 41 |
| | % Ríos con pesca | 70,69 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con P. recreativa | 12,07 |
| Plantas de tratamiento | Ríos con plantas de tratamiento | 0 |
| | % Ríos con plantas de tratamiento | 0,00 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con P. de tratamiento | 0,00 |
| Hidroeléctricas | Ríos con hidroeléctricas | 1 |
| | % Ríos con hidroeléctricas | 1,72 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con hidroeléctricas | 0,00 |
| Turismo y camping | Ríos con otras actividades | 18 |
| | % Ríos con otras actividades | 31,03 |
| | % de ocurrencia de <i>Didymo</i> en ríos con turismo y camping | 3,45 |

ANEXO 9. Actividades antrópicas de la cuenca Yelcho

Tabla 29. Actividades antrópicas asociadas a los ríos de la cuenca del Río Yelcho. Los ríos marcados con rojo son aquellos en los que se ha registrado presencia de Didymo

| Cuenca | Sub-cuenca | Sub-subcuenca | Río | Actividades Antrópicas y recreativas | Fuente |
|---------|---------------|---|-----------|--------------------------------------|---------------|
| Yelcho | Futaleufú | R.Futaleufu entre frontera y R.Azulado | Azul | Transporte de pasajeros | ¹⁰ |
| | | | | Central Hidroeléctrica Edelaysen | ¹³ |
| | | | | Predios agrícolas y ganaderos | ³⁵ |
| | | | | Trekking | ¹³ |
| | | Lago Espolon y R.Espolon en junta R.Futaleufu | Espolón | Uso turístico, | ³⁸ |
| | | | | Práctica de kayak | ³⁶ |
| | | | | Pesca con mosca | ³⁶ |
| | | | | Rafting | ³⁶ |
| | | | | Canyoning | ¹³ |
| | | | | Trekking | ¹¹ |
| | | R.Futaleufu entre frontera y R.Azulado | Futaleufú | Turismo | ¹² |
| | | | | Práctica de kayak | ¹² |
| Rafting | ¹² | | | | |

¹⁰ www.etur.cl/turismo_atractivo

¹¹ www.futaleufu.cl

| Cuenca | Sub-cuenca | Sub-subcuenca | Río | Actividades Antrópicas y recreativas | Fuente |
|--------|------------|---|----------|--------------------------------------|---------------|
| | | R.Futaleufu entre arriba R.Azul y Lago Yelcho | Malito | Pesca con mosca | ¹² |
| | | Lago Espolon y R.Espolon en junta R.Futaleufu | Noroeste | Extracción de áridos | ¹³ |
| | | | | Paseos a caballo | ¹³ |
| | Yelcho | Lago Yelcho | Yelcho | Cultivos marinos | ¹² |
| | | | | Pesca de trucha | ¹² |
| | | R.Yelcho Entre Desague Lago Yelcho y R.Amarillo | | Turismo | ¹² |
| | | | | Lodge | ¹² |
| | | R.Yelcho entre R.Amarillo y desembocadura | | Hostales | ¹² |
| | | | | Navegabilidad | ¹² |

¹² www.patagoniaverde.cl

¹³ www.gobernaciónpalena.gov.cl