

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



EL DIDYMO: ESPECIE INVASORA, CONSECUENCIAS AMBIENTALES
EN AREAS PROTEGIDAS DE CHILE

CRISTIAN BENJAMIN SEPÚLVEDA SUAZO

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

CHILLAN-CHILE

2022

**DIDYMO: ESPECIE INVASORA, CONSECUENCIAS AMBIENTALES EN
AREAS PROTEGIDAS DE CHILE**

Aprobado por:

Mónica Montory González
Bioquímica, Ph. D.
Profesor Asistente

Profesor Guía

Javier Ferrer Valenzuela
Ingeniero Civil Químico, Ph. D.
Profesor Asociado

Profesor Co-Guía

Jacqueline Salvo Pereira
Biólogo Marino, Ph. D.
Evaluador Externo

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Asistente

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.
1. INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. METODOLOGIA.....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSION	12
4.1. Requisitos ambientales de <i>D. geminata</i>	12
4.1.1. Características generales de <i>Didymosphenia geminata</i>	12
4.1.2. Requisitos ambientales	14
4.2. Caracterización espacio-temporal de los ríos afectados con <i>D. geminata</i>	22
4.2.1. Información general del estado del Didymo en Chile	22
4.2.2. Criterios para la selección de cuerpos de agua	23
4.2.3. Resultados de la selección de cuerpos de agua 2¡Error! Marcador no definido.	
4.2.4. Resultados obtenidos de los cuerpos de agua seleccionados	30
4.2.5. Río Bio-Bio (XVII/IX).....	31
4.2.6. Lago Villarrica (cuenca río Tolten) (IX).....	33
4.2.7. Río Cisnes (XI)	35
4.2.8. Río Simpson (cuenca del río Aysen) (XI).....	37
4.2.9. Características que comparten las zonas estudiadas	38
4.3. Áreas protegidas	41
4.3.1. Selección de las áreas protegidas asociadas a los ríos con presencia de <i>D. geminata</i>	41
4.3.2. Resultados selección de áreas protegidas.....	45
4.3.3. Mapas de los ríos afectados por <i>D. geminata</i> dentro de las áreas protegidas seleccionadas.....	46
4.4. Efectos ecológicos de <i>Didymosphenia geminata</i>	48

4.4.1. Analisis de los efectos de <i>D. geminata</i> en los ecosistemas	48
5. CONCLUSION.....	59
6. LITERATURA CITADA	61
7. ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1. Parámetros físico-químicos pertenecientes a ríos de varios países, con presencia de floraciones de <i>D. geminata</i>	20
Tabla 2. Resultados de la selección de ríos y cuerpos de agua de acuerdo a los criterios establecidos anteriormente, los ríos destacados en color amarillo son los seleccionados	27
Tabla 3. Resumen de las características físicas, químicas y económicas generales de las cuencas de los ríos seleccionados.....	40
Tabla 4. Resultados de selección de áreas protegidas de acuerdo a los criterios establecidos anteriormente, las áreas seleccionadas se destacaron como color amarillo.....	45
Tabla 5. Lista de especies de Diatomeas encontradas en bibliografía, junto a su presencia en los ríos seleccionados y su relación con <i>D. geminata</i>	51
Tabla 6. Lista de familias, órdenes y filo de macroinvertebrados encontrados en bibliografía, junto a su presencia en los ríos seleccionados y su relación con <i>D. geminata</i>	55
Tabla 7. Lista de especies de peces encontrados en los ríos seleccionados según bibliografía, junto a su presencia específica en cada río y su relación con <i>D. geminata</i>	58

Tabla 8.	Resultados selección de ríos junto a todos los transectos con presencia de <i>D. geminata</i>	74
----------	---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto	Página
Figura 1. Metodología a utilizar para cumplir los objetivos planteados.....	11
Figura 2. Célula de <i>D. geminata</i> y su pie mucilaginoso.....	13
Figura 3. Ejemplos del rango de tamaños que puede tener la célula de <i>D. geminata</i>	13
Figura 4. Diagrama de respuestas de división celular junto a formación de mucilago y biomasa de <i>D. geminata</i> en respuesta a cambios de DRP (fosforo reactivo disuelto) y DIN (nitrógeno inorgánico disuelto)	16
Figura 5. Línea de tiempo de aparición de <i>D. geminata</i> en los ríos y cuerpos de agua de Chile.....	22
Figura 6. Estado de las secciones de la cuenca del río Bio-Bio infectadas con <i>D. geminata</i> a lo largo del periodo 2012-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en el año 2012, posteriormente “B” representa el estado de la cuenca del río en el año 2014 y finalmente “C” muestra el estado desde el año 2016 al 2021.....	31
Figura 7. Estado de las secciones de la cuenca del río Toltén infectadas con <i>D. geminata</i> a lo largo del periodo 2013-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en los ríos Toltén y Pucón en el año 2013, posteriormente en “B” se suma el lago Villarrica en el 2014 y finalmente en “C” se aprecia la adición de un sector del río Curaco y el río Trancura en el año 2020.....	33
Figura 8. Estado de las secciones de la cuenca del río Cisnes infectadas con <i>D. geminata</i> en el periodo 2013-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en el año 2013 en un sector del río Cisnes, posteriormente en “B” se ve su segunda aparición en el año	35

	2017 en dos sectores más del río Cisnes.....	
Figura 9.	Estado de las secciones de la cuenca del río Simpson infectadas con <i>D. geminata</i> en el periodo 2010-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en el año 2010 en sectores de los ríos Aysén, Simpson, Mañiguales, Coyhaique, E. Guillermo y Pollux. Posteriormente en “B” se ve su segunda aparición en el año 2011 en sectores de los ríos Ñirehuao Pangal, Riesco. Finalmente, en “C” se aprecia el avance hacia un sector del río Picaflor en 2019.....	37
Figura 10.	Límite del Parque Nacional Conguillio con los ríos Traful Traful y Lonquimay destacados en color rojo por contar con presencia de <i>D. geminata</i>	46
Figura 11.	Límite del Parque Nacional Villarrica con el Río Trancura destacado por contar con presencia de <i>D. geminata</i>	47
Figura 12.	Límite de la Reserva Nacional Río Simpson con el río del mismo nombre resaltado en color rojo por presentar <i>D. geminata</i>	47
Figura 13.	Diagrama conceptual de los efectos ecológicos que tiene <i>D. geminata</i> en las especies de diatomeas, invertebrados y peces.....	50
Figura 14.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en las regiones de Ñuble y Maule.....	78
Figura 15.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en las regiones de Bio-Bio y parte de la Araucanía.....	79
Figura 16.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en las regiones de la Araucanía y la región de los Ríos.....	80
Figura 17.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la región de Los Lagos.....	81
Figura 18.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la región de Los Lagos y parte de la región de Aysén.....	82
Figura 19.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la región de Aysén.....	83
Figura 20.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la	84

	región	de	
	Aysén.....		
Figura 21.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la		
	región	de	
	Magallanes.....		85
Figura 22.	Mapa de los ríos con presencia de <i>D. geminata</i> en parte de la		
	región	de	
	magallanes.....		86

**DIDYMO: ESPECIE INVASORA, CONSECUENCIAS AMBIENTALES EN
AREAS PROTEGIDAS DE CHILE**

DIDYMO: INVASIVE SPECIES, ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES IN
PROTECTED AREAS OF CHILE

Palabras claves: Especies invasoras, *Didymosphenia geminata*, áreas protegidas, ecosistemas.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de analizar los requerimientos para la aparición de floraciones algales de *Didymosphenia geminata*, junto a su avance en los cuerpos de agua de Chile y su posible efecto en los ecosistemas de una selección de áreas protegidas. Para lograrlo se realizó una investigación bibliográfica en la que se analizaron las características físico-químicas de ríos de distintos lugares del mundo con presencia de *D. geminata*, así como estudios hechos en esas zonas. Se obtuvo información sobre el avance del Didymo en los cuerpos de agua de Chile de fuentes oficiales y se utilizó para confeccionar mapas con información espacio-temporal de las zonas más importantes de acuerdo a ciertos criterios de selección. Se realizó otra selección para determinar las áreas protegidas de mayor interés y vulnerabilidad al Didymo y se realizó una búsqueda de las especies de flora y fauna presentes, junto a los posibles efectos que puede tener el Didymo a nivel de grupos de especies y de ecosistema, así como

también mención a los posibles impactos en el uso humano de los cuerpos de agua por parte del Didymo.

DIDYMO: INVASIVE SPECIES, ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES IN PROTECTED AREAS OF CHILE

Keywords: Invasive species, *Didymosphenia geminata*, protected areas, ecosystems.

SUMMARY

The present work was made with the objective of analyzing the requirements for the appearance of algal blooms of *Didymosphenia geminata*, its advance in Chilean water bodies and the possible effects on the ecosystems of a selection of protected areas. This was made possible with bibliographical research about the physical-chemical characteristics of rivers from different countries around the world with *D. geminata* presence, as well as studies about those areas. Information on the advance of Didymo in Chilean water bodies was obtained from official sources and was used to make maps with spatio-temporal information of the most important areas according to certain selection criteria. Another selection was made to determine the protected areas of greatest interest and vulnerability to Didymo, then a search was made of the species of flora and fauna living in the selected areas and the possible effects that Didymo could have on them, in a group and ecosystem level, as well as mention of the possible impacts on the human use of the water bodies by Didymo.

1. INTRODUCCION:

Los sistemas ecológicos naturales funcionan gracias al equilibrio que mantienen las especies nativas en ellos, pero la introducción de especies invasoras puede alterar ese delicado balance y provocar estragos en las cadenas tróficas existentes (Pereira & Pérez, 2019). Se puede definir a una especie invasora como aquella cuyo crecimiento, dispersión o propagación, produce un impacto negativo a las especies nativas, hábitats y ecosistemas que invaden (Beggs et al., 2011). En Comparación con las especies nativas, las especies invasoras deben poseer rasgos de historia de vida particulares que les permitan establecerse de manera eficaz en el nuevo hábitat, pudiendo extenderse, encontrarse e interactuar con la biota nativa mediante mecanismos de interferencia, predación o competencia (León & Vargas, 2009). De acuerdo a Ríos (2003), algunas de las características que comúnmente tienen las especies invasoras son:

- Altas tasas reproductivas, lo que les permite generar rápidamente grandes poblaciones bajo condiciones favorables, esto puede ser acompañado de reproducción sexual y asexual para algunas especies.
- Rápido crecimiento desde su etapa inicial hasta la madurez sexual.
- Rango amplio en cuanto a dieta y hábitat, lo que les permite encontrar más fácilmente las condiciones adecuadas para vivir y alimentarse.
- Buena capacidad de dispersión, para poder desplazarse fácilmente a nuevas áreas encontrando así hábitats alejados de su distribución

original, esto acompañado de una buena capacidad de adaptación al estrés ambiental.

En cuanto al origen de las invasiones de especies no nativas, para lograr llegar a un nuevo hábitat estas deben superar primero ciertas barreras naturales como cordilleras, océanos o desiertos (León & Vargas, 2009), aunque la llegada natural de especies a sitios diferentes a su lugar de origen se da gracias a eventos geológicos que pueden romper las barreras antes mencionadas y permiten la entrada de individuos a un nuevo ecosistema (Lockwood et al., 2013). Sin embargo, la principal causa de invasiones es por transporte casual e intencional generado por actividades de origen antropogénico. Esto debido a que, gracias a sus múltiples medios de transporte, los humanos tienen la capacidad de superar con facilidad las barreras naturales que impiden que los organismos se desplacen por sí mismos (Havel et al., 2015). Las introducciones accidentales más comunes son de invertebrados, semillas de plantas, microorganismos y agentes patógenos, estos generalmente llegan en cargamentos de productos, víveres, equipajes, prendas, aguas de lastre o adheridos a los medios de transporte terrestres y acuáticos (León & Vargas, 2009). Otro factor de proliferación de origen antrópico que se debe mencionar es el cambio climático, ya que este altera las condiciones ambientales en algunas zonas y las estructuras de las comunidades nativas, lo que puede generar los requisitos necesarios para que

algunas especies invasoras puedan proliferar (Capdevila-Argüelles et al., 2011).

Cuando una especie foránea es introducida a un nuevo hábitat y logra establecerse, esta inevitablemente tendrá un efecto en su nuevo ecosistema, aunque sea de manera muy pequeña (Havel et al., 2015). Los efectos son mayoritariamente negativos como, por ejemplo: depredación de especies nativas, competición por recursos, alteración de hábitats, transmisión de patógenos, modificación de las relaciones tróficas y la alteración de servicios ecosistémicos (Ríos & Vargas, 2003). Estos efectos son especialmente potentes en ambientes de alto endemismo y en especies de baja adaptabilidad a especies competitivas o depredadores eficientes (MMA, 2017). Por lo mencionado anteriormente es que las especies invasoras son una amenaza para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, llegando a un punto en el que pueden alterar la economía de los países. Se considera que después de la destrucción y fragmentación de hábitats, la invasión de especies exóticas es el segundo factor asociado a la extinción de especies a nivel mundial (León & Vargas, 2009).

Un ejemplo de especie invasora a nivel mundial es el Didymo ó por su nombre científico "*Didymosphenia geminata*", comúnmente llamado "moco de roca" es un alga diatomea unicelular de agua dulce. Posee la cualidad de poder actuar de manera solitaria o formando colonias. Esta especie tiene la capacidad de cubrir completamente la superficie del sustrato en los lechos de ambientes

acuáticos con sus floraciones algales, lo que provoca grandes alteraciones fisicoquímicas y biológicas en los cuerpos de agua que coloniza (Betancurt et al., 2017).

Es necesario conocer los antecedentes históricos de la distribución de *D. geminata*, para tener una mayor perspectiva de su proceso de expansión. De acuerdo a un reporte técnico de la administración de Parques Nacionales de Argentina, la distribución original de *D. geminata* correspondía a las aguas continentales del hemisferio Norte, en los ríos de Europa, Asia y América del Norte cuyas regiones tienen la particularidad de ser de clima templado o frío de características boreales o alpinas (Betancurt et al., 2017). Entre los países que cumplen con las características mencionadas y en los que además se encontró esta diatomea de manera nativa son Noruega, Escocia, Irlanda, Suecia, Finlandia, Francia, España, Suiza y Canadá (Blanco et al., 2009). Los registros fósiles e históricos muestran que *D. geminata* estuvo presente al menos por los últimos 8.000 a 120.000 años en las zonas mencionadas (Uyua, 2017).

Uno de los primeros lugares donde se observó esta especie fue la isla de Vancouver en Canadá (Cleve, 1894), posterior a este primer encuentro fue registrada en el Estado de Virginia en Estados Unidos en el año 1975 (Uyua, 2017) . En el año 1989 se registró nuevamente en Vancouver debido a un repentino resurgimiento y acumulación en las rocas a lo largo de muchos kilómetros en los ríos (Bothwell et al., 2014).

En el año 2004 fue encontrada en Nueva Zelanda y fue catalogado de manera errónea como el primer registro de *Didymo* en dicho país, pero posteriormente se reportó que el primer registro en realidad había sido hecho en 1957 (Chapman *et al.*, 1957). Mas tarde a partir del registro del año 2004 hasta el año 2007 el *Didymo* colonizó 12 ríos de Nueva Zelanda en el corto periodo de tiempo de 18 meses y fue catalogada como especie invasiva con un alto potencial de dispersión.

El primer hallazgo de *Didymo* en Latino América fue en el año 1964 en el río Cisnes en el sur de Chile (Uyua, 2017), pero no fue hasta 2010 que fue nuevamente reportada en la cuenca del Río Futaleufú, río que es compartido con Argentina, país donde también fue identificado el *Didymo* en el mismo año (Uyua, 2017; SERNAPESCA, 2021), desde ese momento es catalogada como especie invasora en Chile y Argentina. Desde el año 2010 el *Didymo* ha extendido su rango de distribución desde la VII región del Maule hasta la XII región de Magallanes (Montecino *et al.*, 2016; SERNAPESCA, 2021). Esto ha traído consigo una serie de alteraciones en los ambientes donde se ha encontrado esta alga, lo que ha provocado pérdidas a nivel paisajístico y turístico. En Chile se han hecho intentos por prevenir el esparcimiento de esta alga, pero aun así se ha visto un aumento en la extensión territorial de la especie (SERNAPESCA, 2021). Actualmente no existe un estudio que recopile múltiples fuentes de información de manera ordenada sobre las condiciones necesarias para la proliferación del *Didymo*. Por lo mencionado anteriormente

es que se plantea el estudio de las características fisicoquímicas que promueven la proliferación del Didymo, así como los principales efectos que tiene en los ecosistemas presentes en algunas de las áreas protegidas definidas por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) de Chile.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la alteración del Didymo sobre los ecosistemas acuáticos de las cuencas de Chile de importancia ecosistémica.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características del alga y los requisitos ambientales que permiten su desarrollo.
- Realizar un levantamiento de información espacio-temporal sobre los cuerpos de agua con presencia de Didymo que crucen o sean adyacentes a parques o reservas nacionales.
- Establecer las alteraciones ecológicas más significativas que ha producido el Didymo en una selección de áreas protegidas de Chile.

3. METODOLOGÍA

Con la finalidad de llevar a cabo el objetivo general y los objetivos específicos, es necesario realizar ciertas actividades de carácter investigativo, las cuales serán representadas en la figura 1.

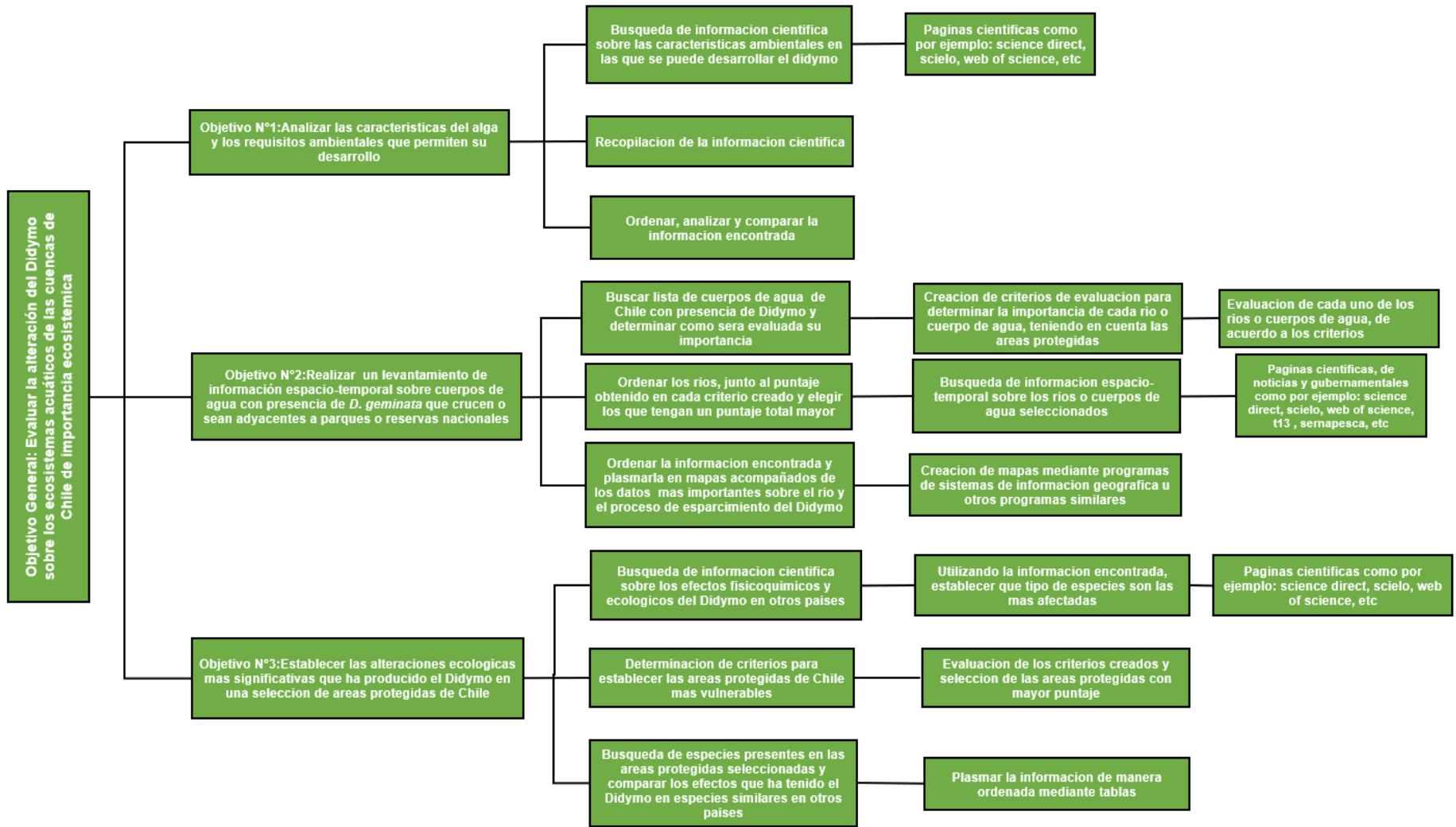


Figura 1: Metodología a utilizar para cumplir los objetivos planteados.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Requisitos ambientales de *D. geminata*

4.1.1 Características generales de *Didymosphenia geminata*:

Didymosphenia geminata es un organismo unicelular, fotosintético, eucariota, perteneciente al grupo bacillariophyta, más conocido como las diatomeas (Betancurt *et al.*, 2017). Una de las principales características de este grupo es la presencia de una cobertura de sílice (Aguirre *et al.*, 2007; Betancurt *et al.*, 2017) que se encuentra dividida en dos mitades, la cual es denominada frústulo (Aguirre *et al.*, 2007; Whitton *et al.*, 2009). En particular el frústulo de las células de *D. geminata* tiene una forma similar a la de una botella, lo cual es una de las principales maneras de identificar a este organismo (Betancourt *et al.*, 2017). Las células de *D. geminata* tienen un tamaño de entre 0.06 mm y 0.16 mm de largo y 0.03 mm y 0.04 mm de ancho (Betancurt *et al.*, 2017), lo que la diferencia de otras diatomeas, ya que las otras tienden a ser más pequeñas (Betancurt *et al.*, 2017). Otra de sus principales características es un pie mucilaginoso o pedúnculo, el cual está compuesto principalmente de carbohidratos y proteínas, lo que lo hace muy resistente a la degradación (Whitton *et al.*, 2009; Betancurt *et al.*, 2017) y es gracias a este que la célula puede sujetarse al sustrato, además este pie tiene la capacidad de crecer en tamaño para elevar a la célula del sustrato y darle mayor acceso a la luz, nutrientes e intercambio de gases (Betancurt *et al.*, 2017; Kunza, 2018). Cabe destacar que *D. geminata* presenta una gran variabilidad genética, esto se

puede observar en los distintos tamaños de células que han sido registrados en estudios (Whitton *et al.*, 2009) en distintos lugares del mundo.



Figura 2. Célula de *D. Geminata* y su pie mucilaginoso.

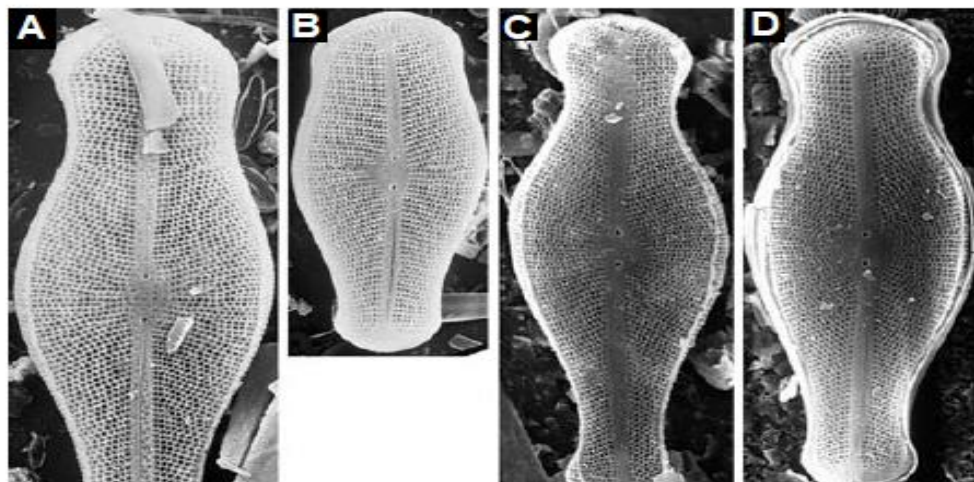


Figura 3. Ejemplos del rango de tamaños que puede tener la célula de *D. Geminata*.

(A, B): *D. Geminata* de Sliudianka, Rusia.

(C, D): *D. Geminata* de Montes Tatras, Polonia.

La principal característica que hace de esta especie una con tanto potencial de invasión, es su capacidad de generar floraciones algales de gran volumen (Kilroy & Bothwell, 2011; Sundareshwar et al., 2011), a diferencia de las floraciones algales de otras especies, la biomasa de las de *Didymo* está compuesta en promedio más de un 91% de mucilago, similar a al pedúnculo, teniendo menos de un 9 % de células de *D. geminata* (Bray et al., 2017; Bray et al., 2019). A continuación, se mostrarán las principales características físico-químicas que requiere *D. geminata* para su proliferación.

4.1.2 Requisitos Ambientales

De acuerdo a múltiples estudios el *Didymo* se desarrolla en ambientes pobres de nutrientes, con una concentración de fósforo necesaria para la aparición de floraciones algales que debe ser menor a $2 \mu\text{g L}^{-1}$, (Kilroy & Bothwell, 2011; Guimond et al., 2014; Kilroy & Larned, 2016), el cual es utilizado por las células en forma de fosfato (PO_4^{3-}) (Fernández, 2014), y una concentración de nitrógeno que va de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ a $250 \mu\text{g L}^{-1}$, (Kilroy & Larned, 2016; Hix & Murdock, 2019), en forma de nitrato (NO_3^-) (Fernández, 2014). Se sabe que cuando las concentraciones de ambos nutrientes aumentan, ocurre un incremento en la división celular, sin generación de floraciones mucilaginosas, hasta que ocurra una disminución en el fósforo de manera específica. (Sundareshwar et al., 2011; Kilroy & Bothwell, 2011; Guimond et al., 2014; Kilroy & Larned, 2016; Taylor & Bothwell, 2017; Kunza, 2018; Hix & Murdock,

2019). En cuanto al comportamiento individual de cada nutriente, múltiples estudios apuntan a que una adición de nitrógeno por si sola, lleva a un aumento de división celular, pero no sostenida en el tiempo, en cambio una adición de fosforo por si sola, lleva a un aumento de división a largo plazo, lo cual se ve potenciado si es acompañado de nitrógeno (Kilroy & bothwell, 2011; Bray et al., 2017), por lo que se puede decir que *D. geminata* es limitado por el fosforo.

Los valores mencionados anteriormente son el consenso general, ya que como se puede ver en la dispersión que hay en los valores de fosforo de la Tabla 1. y en variados estudios, se ha visto desarrollo de floraciones de mucilago en ambientes con una concentración de fosforo mayores, (Bray et al., 2017; Kunza et al., 2018; Kilroy & Larned, 2016), esto indica que los valores no son conclusivos y solo deben ser tomados como una aproximación. Lo que se puede concluir de ellos es que una cantidad inicial de fosforo y nitrógeno es necesaria para una división celular y una posterior disminución en los niveles de fosforo es necesaria para el establecimiento de las colonias bentónicas.

En la figura 5, se presenta un esquema resumen de los efectos del fosforo y el nitrógeno:

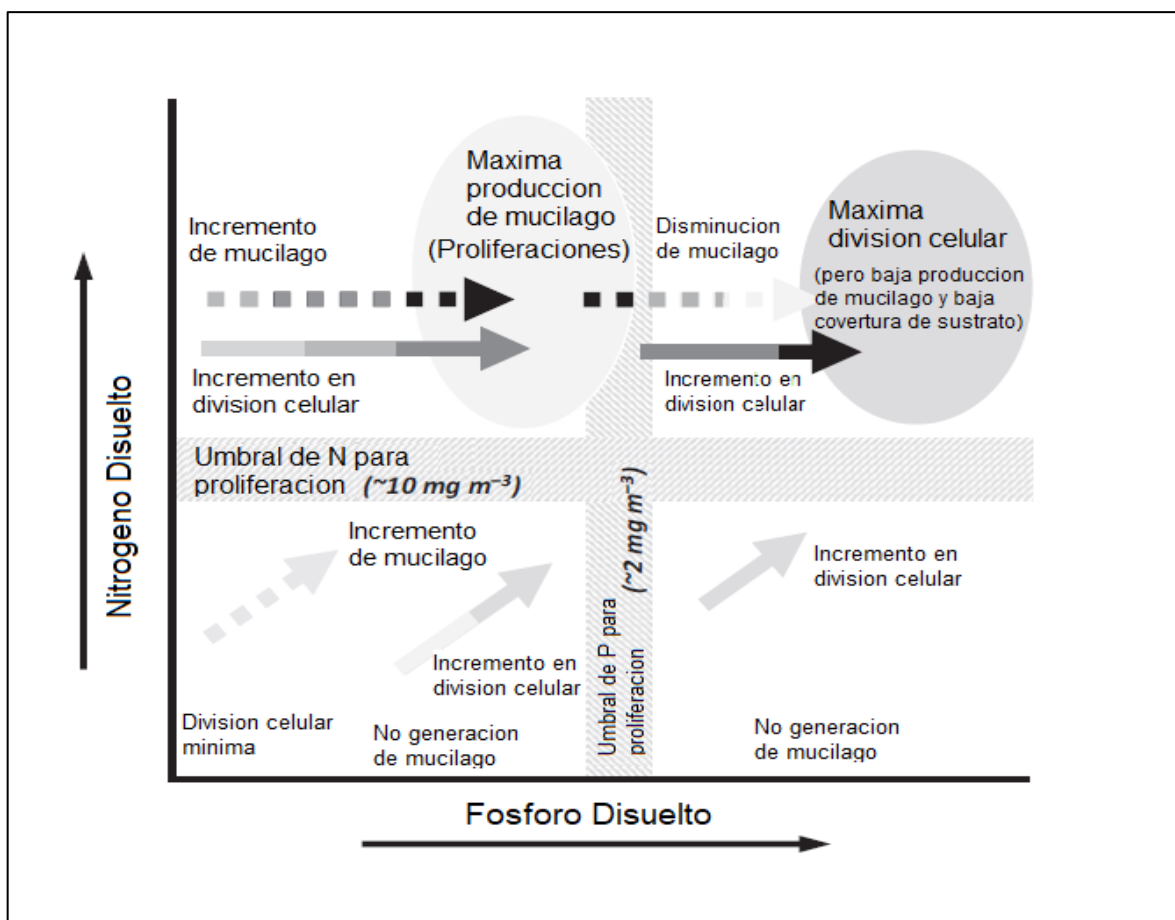


Figura 4. Diagrama de respuestas de división celular junto a formación de mucilago y biomasa de *D. geminata* en respuesta a cambios en DRP (fosforo reactivo disuelto) y DIN (nitrógeno inorgánico disuelto). Nota. Adaptado de “Contrasting effects of low-level phosphorus and nitrogen enrichment on growth of the mat-forming alga *Didymosphenia geminata* in an oligotrophic river”, por K. Kilroy & S. Larned, 2016, *Freshwater Biology* (8).

Lo ya mencionado implica que existen otros factores ambientales que influyen en su desarrollo, como por ejemplo el pH, ya que como se ha mencionado en distintos estudios y como se puede confirmar al observar los valores de pH en

la Tabla 1., el *Didymo* se ve beneficiado en ambientes de pH neutro, con una ligera tendencia hacia un pH alcalino (Whitton *et al.*, 2009; James *et al.*, 2014; Bray *et al.*, 2015). Otro de estos factores es la luz, ya que de acuerdo Kilroy & bothwell (2011), Cullis *et al.*, (2015), Bray (2017), Uyua *et al.*, (2020), las floraciones de *D. geminata* ocurren cuando este tiene acceso a una mayor cantidad de luz solar y disminuyen en lugares donde esta se ve obstruida por árboles o lugares con profundidades muy elevadas para la entrada de luz. Al analizar la tabla 1. Se puede ver que todos los ríos son de régimen pluvio-nival, lo que implica la ocurrencia de dos crecidas en el cauce del río al año, lo que durante el invierno, provoca movimiento en el sustrato por la corriente alta, fenómeno conocido como acarreo de fondo (Añon & Albariño, 2020) , lo que de acuerdo Cullis *et al.*, (2015), Bray (2017), Añon & Albariño (2020), impide el establecimiento de las colonias de *D. geminata* y desprende las existentes, además se puede inferir que a medida que estos caudales bajan debido al aumento de las temperaturas y la evaporación del agua, ocurre un aumento en las concentraciones de nutrientes, especialmente en fosforo y nitrógeno, lo que permite un aumento en la división, posteriormente, al llegar la primavera, ocurre un derretimiento de las nieves, lo que provoca otro aumento en el caudal, pero no al nivel de los aumentos repentinos del invierno, esto disminuiría la concentración de nutrientes de forma gradual y provocaría estrés en el *Didymo*, el cual de acuerdo a Bray *et al.*, (2017) sería un factor con incidencia en la formación de floraciones, ya que es mediante la generación de mucilago que las células de *D. geminata* pueden alcanzar lugares con mejor

posibilidad de captación de nutrientes, especialmente fósforo, esto explicaría que la baja en los niveles de fósforo sea un factor determinante para la aparición de floraciones como se ha dicho en múltiples estudios (Kilroy & Bothwell, 2011 ; Guimond et al., 2014 ; Bray., 2017 ; Sundareshwar *et al.*, 2011), lo cual sumado al aumento en los niveles de radiación solar por los meses cálidos, llevarían a *D. geminata* al establecimiento en los lechos. En cuanto al oxígeno disuelto, al analizar los datos de la tabla 1., no se puede apreciar una tendencia en los valores de oxígeno disuelto listados, por lo que no se encuentran efectos de este factor sobre la aparición de *Didymo*. En cambio, se ha visto que es *D. geminata* quien afectaría las concentraciones de oxígeno, provocando fluctuaciones constantes, con una disminución drástica durante la noche debido al proceso de respiración (Reid & Torres, 2014; Bray et al., 2017).

En cuanto a factores físicos, como se ha mencionado las floraciones de *D. geminata* deben recibir una perturbación directa en el sustrato para ser eliminadas, esto se debe a que posee una buena resistencia a las corrientes (Cullis *et al.*, 2015), además de que las floraciones pueden disminuir la velocidad de la corriente cerca del fondo (Añón & Albariño, 2020), por lo que se puede desarrollar en ambientes con altos caudales mientras estos no provoquen acarreo de sustrato en el fondo, en cuanto a las velocidades de caudal, de acuerdo a Bray et al., (2017), velocidades de más de 0,5 m/s podrían provocar un aumento en los volúmenes de las floraciones, esto podría ser interpretado como otro factor de estrés ambiental, que hace necesaria la

generación de más mucilago para mantenerse fijo al lecho del río y disminuir la velocidad del agua. Otro factor que se puede apreciar en la Tabla 1. es la altitud, se puede ver que *D. geminata* prefiere ambientes elevados, mayores a los 200 metros, aproximadamente, con lo que se puede intuir que *D. geminata* se ve mejor adaptado para nacimientos de ríos en las zonas más altas, esto va de la mano con el tipo de régimen que tienen los ríos listados en la tabla 1., ya que estas alturas son propicias para la formación de nieve.

Cabe mencionar que Guimond *et al.*, (2014), menciona que el efecto invernadero puede tener una incidencia en la aparición de *D. geminata*, ya que puede llevar a una aceleración del crecimiento de las plantas terrestres, lo que podría aumentar el consumo del fósforo de la tierra y en consecuencia una disminución en el fósforo de los cuerpos acuáticos adyacentes. Además de lo mencionado se puede inferir que el aumento de las temperaturas provocado por el efecto invernadero también provoca un derretimiento más temprano de las nieves, lo que, al aumentar el caudal de los ríos, podría disminuir las concentraciones de fósforo. Estos factores combinados, podrían estar creando las condiciones necesarias para que se den las floraciones algales de *D. geminata* en zonas donde antes no estaban.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos pertenecientes a ríos de varios países, con presencia de floraciones de *D. geminata*.

País	Río	T (°C)	Q (m ³ /s)	pH	D.O. (mg/L)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	σ (μS/cm)
Canadá	Río Matapedia	6,5	-	7,8	12,3	0,3	-	180
Nueva Zelanda	Río Waitaki	6,31	356	7,5	13,8	0,7	4.0	310
Reino Unido	Río Coquet	11,58 (7,8 a 16,5)	134	7,8 (7,42 a 8,16)	11,68 (10,1 a 13,7)	-	3,29 (4,3 a 2)	161,1 (195 a 64)
Estados Unidos	Río Tuckasegee	14,55	44,9	7,35	10,55	13,9	20,9	44
Estados Unidos	Arroyo Rapid	11,3 (8,8 a 16,5)	12,25	8,5 (8,5 a 8,7)	12,6 (9,9 a 14,3)	1,1 (0,6 a 1,6)	-	42
Polonia	Río Wislok	3,8 a 24,2	24,5	7,3 a 8,4	7,85 a 11,18	-	-	165 a 500
España	Río Porma (León)	9,9	14,17	8,1	7,28	-	-	154
Canadá / Estados Unidos	Río Kootenay	11,84 (2,5 a 17,9)	868	7,97 (7,5 a 8,4)	9,19 (3,2 a 12,3)	2,2	-	202,88 (122 a 245)
Noruega	Río Drammenselva	10,1	581	7,15 (6,99 a 7,15)	-	12	-	39,3
Nueva Zelanda	Río Clutha	12,85 (7,39 a 17,2)	614	8,82 (7,22 a 9,9)	10,6	3,5	43	68

Continuación tabla anterior.

País	Río	P (µg/L)	N (µg/L)	Régimen	Altitud (m)	Longitud (km)	Coordenadas
Canadá	Río Matapedia	23	430	pluvio-nival	277	112,7	48.492222, -67.449167
Nueva Zelanda	Río Waitaki	15 (1 a 90)	630 (8 a 3405)	pluvio nival	230	209	-44.35, 170.2
Reino Unido	Río Coquet	34,4 (5 a 210)	680 (140 a 2000)	pluvio-nival	440	90	55.3625, -2.3548
Estados Unidos	Río Tuckasegee	48,5 (20 a 120)	150 (50 a 270)	pluvio-nival	1210	97	35.434722, -83.584444
Estados Unidos	Arroyo Rapid	5,2 (0,9 a 26,5)	198 (138 a 276,3)	pluvio-nival	744	138,4	44.1310946, -103.7360302
Polonia	Río Wislok	15 a 172	124 a 2020	pluvio-nival	-	228,5	50.205833, 22.533333
España	Río Porma (León)	200	440	pluvio-nival	1627	85	42.48739, -5.47677
Canadá / Estados Unidos	Río Kootenay	34,42 (4 a 230)	61,08 (9 a 170)	pluvio-nival	2261	780	51.039167, -116.4425
Noruega	Río Drammense lva	9 (3 a 27)	512 (365 a 1180)	pluvio-nival	-	308	59.733333, 10.233333
Nueva Zelanda	Río Clutha	7	120	pluvio-nival	1540	338	-46.35, 169.8

Fuentes: DEQ, 2006; Pollock, 2010; USGS, 2007; NCDEQ, 2011; NIVA, 2014; Noga et al., 2014; CHD, 2017; ECAN; 201?; USGS, 2020; ORC, 2020; Environment Agency (UK), 2022

4.2 Caracterización espacio-temporal de los ríos afectados con *D. geminata*

4.2.1 Información general del estado del Didymo en Chile

Actualmente en Chile, el Didymo se extiende desde la VII región del Maule, hasta la XII región de Magallanes, rango que posee una gran variedad de cuencas y subcuencas comprometidas, como se muestra en la figura 5.

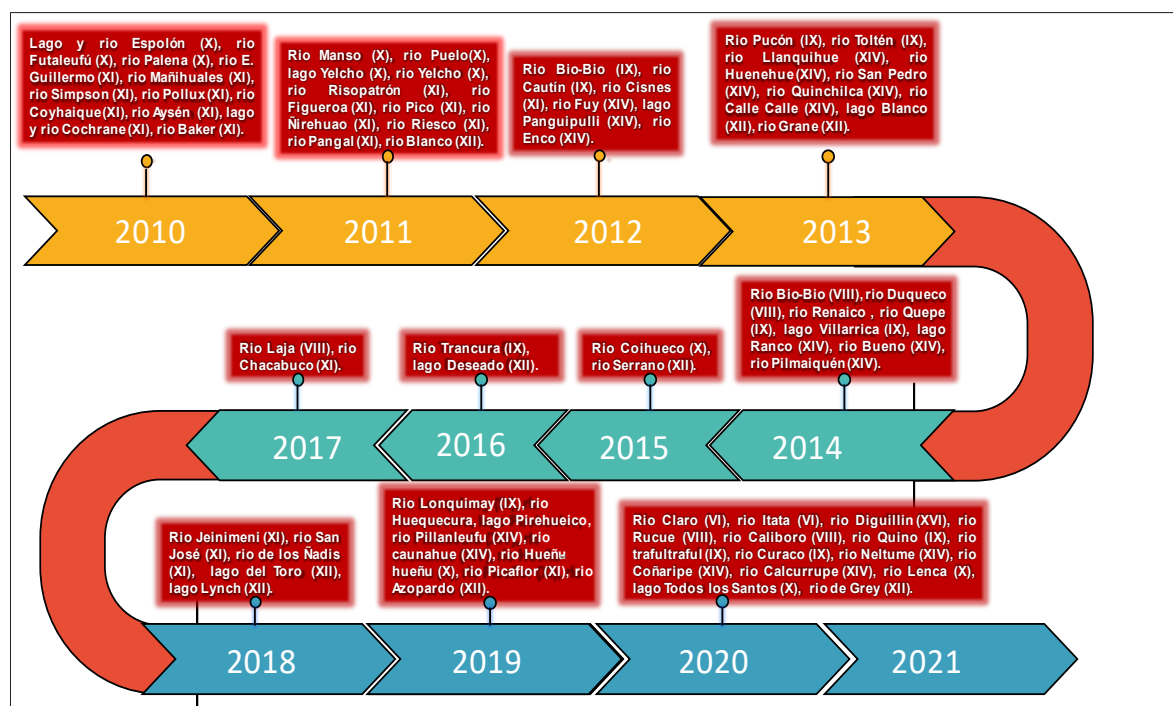


Figura 5: Línea de tiempo de aparición de *D. geminata* en los ríos y cuerpos de agua de Chile. Fuente: Elaboración propia.

Muchos de los ríos y cuerpos de agua mostrados cruzan áreas protegidas definidas por él, entre las que se encuentran los parques, reservas y monumentos nacionales.

Considerando lo dicho, se realizó la revisión y selección de los ríos y cuerpos de agua contaminados con *D. geminata* que presentan la mayor relevancia, con el fin de recopilar su información espacial y temporal, para lo cual se

realizó el análisis de todos los ríos y cuerpos de agua que presentan Didymo en Chile de acuerdo a la lista oficial que se presenta en la resolución exenta N° 719 del 2021 y se crearon ciertos criterios para realizar la selección de los cuerpos de agua más adecuados.

4.2.2 Criterios para la selección de los cuerpos de agua

Para realizar la selección de los ríos y cuerpos de agua, se eligieron cuatro criterios, bajo los cuales se asignó un puntaje a cada río, los sistemas de puntuación dependen del parámetro, pero todos los puntos fueron sumados y se seleccionaron a los 4 cuerpos de agua que obtuvieron los mayores puntajes. Los criterios son los siguientes:

1. Cantidad de noticias encontradas:

Para este criterio se tuvo en consideración la cantidad de noticias encontradas en internet, la cuales sean pertenecientes a medios chilenos, en las que se hable sobre la plaga de *D. geminata* y se haga mención del río o cuerpo de agua en cuestión. Para este proceso se asignaron puntos que van desde 0 a 4 puntos, los cuales se asignaron de acuerdo al número de noticias encontradas, ya que la recurrencia de aparición de información sobre una zona en particular, brinda conocimiento sobre la relevancia que esta tiene para el público general.

El sistema de puntuación se explica a continuación:

- 0 puntos: 0 noticias
- 1 punto: 1 noticia

- 2 puntos: 2 a 3 noticias
- 3 puntos: 4 a 6 noticias
- 4 puntos: 7 a 10 noticias

2. Cercanía del cuerpo de agua a áreas silvestres protegidas:

Se tiene en consideración la cercanía o contacto aparente en los mapas (figuras de la 6 a la 9) entre el cuerpo de agua que presenta *D. geminata* y áreas que entran en la categoría de protegidas, tales como monumentos, parques, reservas y santuarios nacionales. La importancia de este punto radica en los efectos que puede tener *D. geminata* en los ecosistemas de las zonas protegidas y como esto puede afectar el turismo asociado a estos sectores. Los puntos fueron asignados de la siguiente manera:

- 0 puntos: El río o cuerpo de agua no se encuentra en la cercanía de ninguno de los lugares que entran en las categorías mencionada.
- 1 punto: El río o cuerpo de agua está en cercanía de una zona que entra en las categorías mencionadas.
- 2 puntos: El río o cuerpo de agua atraviesa un punto que entra en alguna de las categorías mencionadas o está en cercanía de más de una.
- 3 puntos: El río o cuerpo de agua está en cercanía de un punto y además atraviesa otro que entra en alguna de las categorías mencionadas
- 4 puntos: El río o cuerpo de agua atraviesa más de un punto que entra en alguna de las categorías mencionadas.

3. Cantidad de artículos científicos, tesis y documentos de entidades del gobierno encontrados:

Se tuvo en consideración la cantidad de artículos científicos, tesis y documentos gubernamentales encontrados en los motores de búsqueda: Google, Google Scholar, Science Direct, Scielo y bibliotecas Udec. Esto da a conocer la importancia que se le da en la comunidad científica a los cuerpos de agua con *D. geminata* de Chile. Los puntos fueron asignados de la siguiente manera:

- 0 puntos: 0 artículos, tesis o documentos gubernamentales.
- 1 punto: 1 a 2 artículos, tesis o documentos gubernamentales.
- 2 puntos: 3 a 5 artículos, tesis o documentos gubernamentales.
- 3 puntos: 5 a 6 artículos, tesis o documentos gubernamentales.
- 4 puntos: 7 o más artículos, tesis o documentos gubernamentales.

4. Cercanía del cuerpo de agua a asentamientos humanos:

Se observaron los mapas (figuras de la 6 a la 9) y se tuvo en consideración la cercanía aparente, de acuerdo a Google maps, del cuerpo de agua a asentamientos humanos, llámese aldeas, pueblos o ciudades, siendo estas últimas las que más puntos se llevan por su mayor población y las aldeas un puntaje menor.

La acción humana es el principal medio por el cual la plaga de *D. geminata* se expande, por lo que la cercanía de asentamientos humanos aumenta las probabilidades de acercamiento de seres

humanos y en consecuencia de crecimiento del área afectada por esta alga. Los puntos fueron asignados de la siguiente manera:

- 0 puntos: El río o cuerpo de agua no se encuentra en cercanía de ningún asentamiento humano.
- 1 punto: El río o cuerpo de agua se encuentra en cercanía de al menos un asentamiento humano de tipo “aldea” o “pueblo”.
- 2 puntos: El río o cuerpo de agua se encuentra en cercanía de más de dos asentamientos humanos entre los que se encuentra al menos uno de tipo “pueblo”.
- 3 puntos: El río o cuerpo de agua se encuentra en cercanía de dos asentamientos humanos de tipo “aldea” o “pueblo” o un solo asentamiento de tipo “Ciudad”.
- 4 puntos: El río o cuerpo de agua se encuentra en cercanía de más de dos asentamientos humanos entre los que se encuentra al menos uno de tipo “Ciudad”.

4.2.3 Resultados de la selección de los cuerpos de agua

Los resultados obtenidos luego de aplicar los criterios mencionados a cada uno de los ríos y cuerpos de agua se pueden apreciar en la tabla 2:

Tabla 2. Resultados de selección de ríos y cuerpos de agua de acuerdo a los criterios establecidos anteriormente, los ríos destacados en color amarillo son los seleccionados.

Región	Rio	Criterios de selección				
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Final
VI	Rio Claro	4	2	1	0	7
XVI	Rio Itata	0	1	1	4	6
XVI	Rio Diguillin	0	0	1	3	4
VIII/IX	Rio Bio	3	4	4	3	14
VIII	Rio Duqueco	0	0	0	4	4
IX	Rio Lonquimay	0	4	0	1	5
VIII/IX	Rio Huequecura	1	0	1	0	2
VIII/IX	Rio Renaico	1	0	0	1	2
XVI/VIII	Rio Laja	3	3	0	4	10
VIII	Rio Rucue	1	1	0	1	3
VIII	Rio Caliboro	0	0	1	1	2
IX	Rio Quino	0	2	0	4	6
IX	Rio Cautín	0	4	0	4	8
IX	Rio Quepe	0	2	0	2	4
IX	Rio Trafultraful	0	4	0	1	5
IX	Rio Curaco	0	4	0	4	8
IX	Rio trancura	2	4	0	1	7
IX	Rio Pucón	2	4	1	2	9
IX	Lago Villarrica	4	4	1	4	13
IX	Rio Toltén	1	2	0	1	4
XIV	Desagüe Lago	1	0	0	0	1
XIV	Rio Fuy	3	2	1	0	6
XIV	Rio Neltume	0	1	1	0	2
XIV	Rio Llanquihue	3	2	2	1	8
XIV	Rio Coñaripe	2	2	0	1	5
XIV	Lago Panguipulli	3	1	2	1	7
XIV	Rio Huenehue	2	0	0	1	3
XIV	Rio Enco	3	2	1	1	7
XIV	Rio San Pedro	2	0	1	2	5
XIV	Rio Quinchilca	0	0	0	1	1

Continuación tabla anterior.

XIV	Rio Calle Calle	2	0	1	4	7
XIV	Rio Pillanleufu	0	2	1	0	3
XIV	Rio Caunahue	1	2	1	0	4
XIV	Rio Calcurrupe	1	0	1	1	3
XIV	Lago Ranco	3	2	1	2	8
XIV	Rio Bueno	3	2	1	4	10
XIV	Rio Pilmaiquén	0	0	0	4	4
X	Rio Coihueco	0	1	0	1	2
X	Rio Lenca	0	2	0	0	2
X	Costeras Entre Rio Chilco y Rio Petrohue	0	1	0	0	1
X	Lago Todos los Santos	2	4	1	1	8
X	Rio Hueñu	1	3	1	0	5
X	Rio Manso	2	0	1	0	3
X	Rio Puelo	3	2	2	0	7
X	Rio Espolón	4	1	2	1	8
X	Rio Futaleufú	4	2	4	1	11
X	Rio Yelcho	4	3	2	1	10
X/XI	Rio Palena	2	3	1	4	10
XI	Rio Risopatrón	0	1	1	4	6
XI	Rio Figueroa	2	3	2	0	5
XI	Rio Pico	1	1	0	1	3
XI	Rio Cisnes	3	2	3	4	12
XI	Rio Ñirehuao	1	1	1	1	4
XI	Rio Picaflor	0	1	0	0	1
XI	Rio Emperador Guillermo	2	3	1	0	6
XI	Rio Mañihuales	3	2	0	2	7
XI	Rio Simpson	4	4	2	4	14
XI	Rio Pollux	1	1	1	4	7
XI	Rio Coyhaique	2	3	1	2	8
XI	Rio Aysén	3	2	2	4	11
XI	Rio Riesco	1	2	1	4	8
XI	Rio Pangal	0	1	0	2	3
XI	Costeras ríos murta y delta	0	2	0	1	3
XI	Rio Jeinimeni	0	2	0	0	2
XI	Costeras entre Rio Jeinimeni y Rio San José	0	2	0	1	3
XI	Rio San José	0	2	0	0	2
XI	Rio Chacabuco	0	4	0	1	5
XI	Rio Cochrane	1	3	1	1	6

Continuación tabla anterior.

XI	Rio del Salto	0	1	0	1	2
XI	Rio Baker	3	4	2	1	10
XI	Rio de los Ñadis	0	1	0	0	1
XII	Lago del Toro	3	3	0	0	6
XII	Rio de Grey	2	3	2	0	5
XII	Rio Serrano	2	3	2	0	7
XII	Rio Azopardo	0	3	0	0	3
XII	Rio Grande	2	0	1	0	3
XII	Lago Lynch	0	0	0	0	0
XII	Lago Blanco	3	0	1	0	4
XII	Rio Cochrane	1	0	1	0	2
XII	Rio Rasmussen	0	0	0	0	0
XII	Lago Deseado	1	3	0	0	4

De acuerdo a los puntajes obtenidos se seleccionó el Rio Bio-Bio, el lago Villarrica junto a sus afluentes, el rio Cisnes y el Rio Simpson, los cuales fueron destacados en color amarillo. Los resultados obtenidos del análisis de cada rio se aprecian en las figuras de la 6 a la 9.

4.2.4 Resultados obtenidos de los cuerpos de agua seleccionados

Desde la llegada del Didymo en el año 2010, este ha expandido su área de influencia en varias regiones de Chile. Se debe mencionar que el origen exacto de las invasiones de Didymo para todas las cuencas estudiadas es incierto, pero se propone que el origen más probable de estas invasiones es el ser humano. Se presume que las primeras invasiones surgieron de los implementos y ropas de personas que llegaron del extranjero a Chile a practicar deportes acuáticos como el kayak o la pesca deportiva, posteriormente a través de los ríos ya contaminados y de otras visitas de extranjeros, la plaga se ha expandido a otras regiones.

En las figuras 6, 7, 8 y 9, se presentan mapas confeccionados mediante S.I.G. (sistemas de información geográfica), utilizando el software ARCGIS, en estos mapas se aprecian los 4 ríos y cuerpos de agua seleccionados con anterioridad, junto a sus cuencas respectivas, por cada zona seleccionada se crearon mapas en distintos años, de acuerdo a los cambios que se presentan en el avance del área ocupada por el Didymo, además de su cercanía con zonas urbanas y parques o reservas nacionales. La simbología de todos los mapas es la misma, con las zonas rojas representando el área infectada con Didymo, el área azul representa la zona no infectada de la cuenca, los puntos morados son áreas urbanas y las zonas verdes son los parques y reservas nacionales.

La zona del río Bio-Bio se vio afectada inicialmente en el año 2012, al ser detectada en las cercanías de su nacimiento en el lago Galletue y en la zona del alto Bio-Bio, como se aprecia en “A” de la figura 6. Como se mencionó, su origen tanto en este río, como en los demás estudiados es incierto, pero la fuente más aceptada es por transmisión humana mediante deportes acuáticos, lo que se confirma ya que es precisamente esta, una zona en la que predomina la realización del kayak, lo que puede explicar su origen. Como se aprecia en “B” de la figura 6, para el año 2014 el *Didymo* había cruzado a la región del Bio-Bio, pasando las reservas Altos del Pemehue y Ralco, lugar cercano al embalse Ralco y más adelante al embalse Pangué. La presencia de estos embalses implica un estancamiento del agua, disminución de su velocidad de flujo y movimiento en dos grandes transectos del río, lo que puede brindar las características necesarias para la generación de floraciones de *D. geminata* y así contribuir a su dispersión. Para el año 2016, el *Didymo* se encontró casi llegando a la ciudad de Los Ángeles, que se aprecia de color morado en “C” de la figura 6, en la cercanía de la zona se encuentra el embalse Angostura, que provoca el mismo efecto mencionado anteriormente. Existen otras características de la cuenca que promueven la proliferación del *Didymo*, pero ya que estas son compartidas con todas las cuencas seleccionadas, serán detalladas de manera posterior.

4.2.6 Lago Villarrica (cuena rio Toltén) (IX)

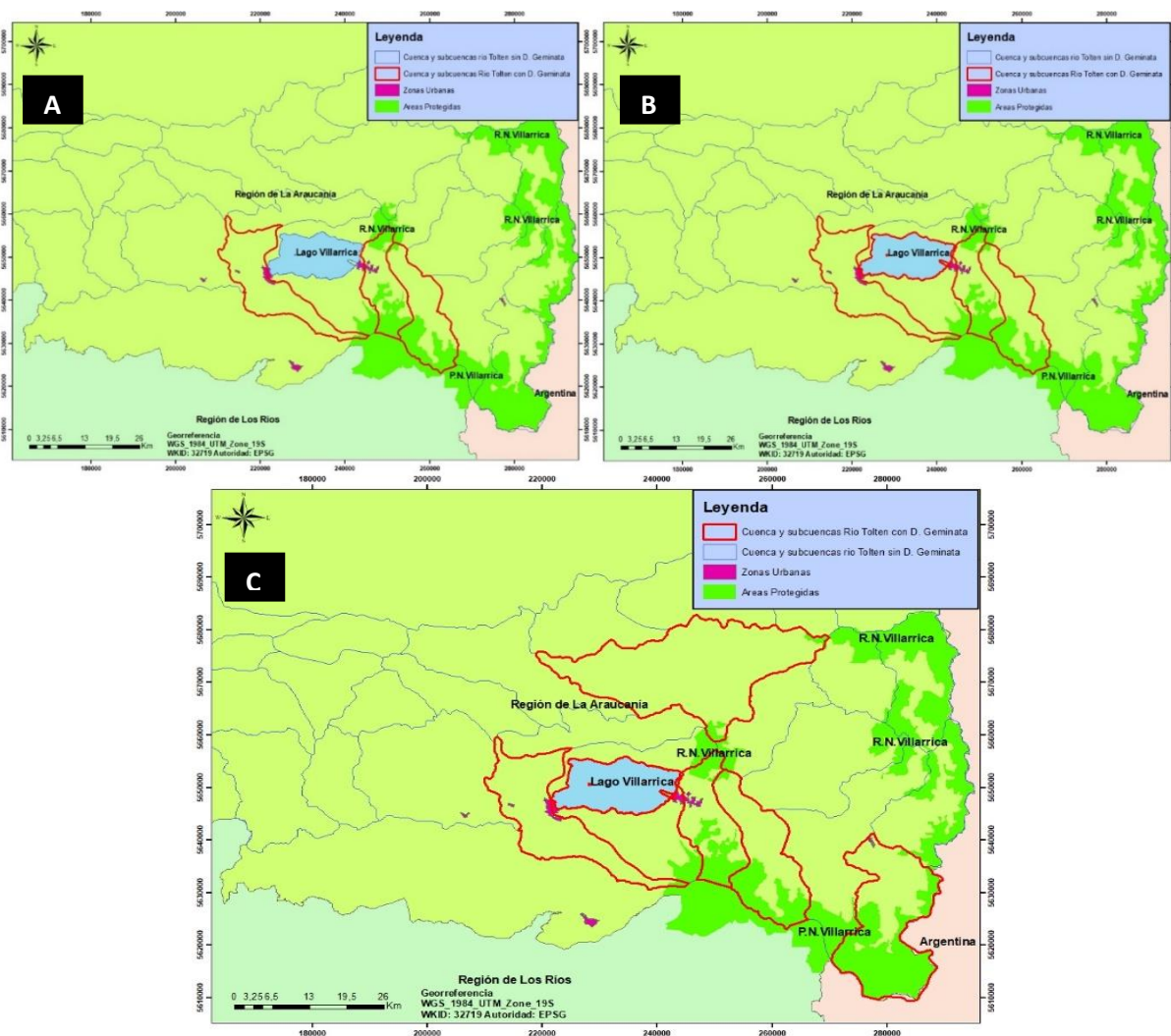


Figura 7. Estado de las secciones de la cuena del río Toltén infectadas con *D. geminata* a lo largo del periodo 2013-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en los ríos Toltén y pucón en el año 2013, posteriormente “B” se suma el lago Villarrica en el 2014 y finalmente en “C” se aprecia la adición de un sector del río Curaco y el río Trancura en el año 2020.

La zona del lago Villarrica, representa un destino turístico muy importante para el país, la cuena del río Toltén, en específico el lago Villarrica, los ríos Toltén

y Pucón, son puntos que cada año reciben una gran cantidad de turistas que practican la pesca deportiva, llegando no solo desde Chile, si no que de todo el mundo. Lo anterior es clave, ya que podría ser la causa de la aparición de *D. geminata* en las zonas del río Toltén y Pucón en el año 2013, tal y como se indica en “A” de la Figura 7 y su posterior aparición en el lago Villarrica en el año 2014, como se aprecia en “B” de la figura 7, el cual de acuerdo al decreto N°43 del M.M.A. (Ministerio del Medio Ambiente) del año 2017, es una zona saturada de fosforo disuelto, lo que promueve la división celular de *D. geminata* y posteriormente al haber aumentos en el volumen del lago por lluvias o derretimiento de nieves, pueden provocar la disminución de concentración de nutrientes necesaria para la aparición de las colonias, a esto se le suma que el lago, al ser un cuerpo de agua más estático, facilita aún más la aparición de *D. geminata*. Para el año 2020 el Didymo se expandió a los ríos Trancura y Curaco, como se aprecia en “C” de la figura 7, ambos ríos muy utilizados para la práctica de rafting y kayak, la tardanza en su aparición puede deberse en los esfuerzos de Sernapesca en dar a conocer la plaga de *D. geminata* y las medidas de prevención para evitar su esparcimiento, sin embargo, por la recurrencia de visitas que reciben estos ríos, las probabilidades de que llegara traído de alguno de los cuerpos que lo poseían con anterioridad era alta.

4.2.7 Rio Cisnes (XI)

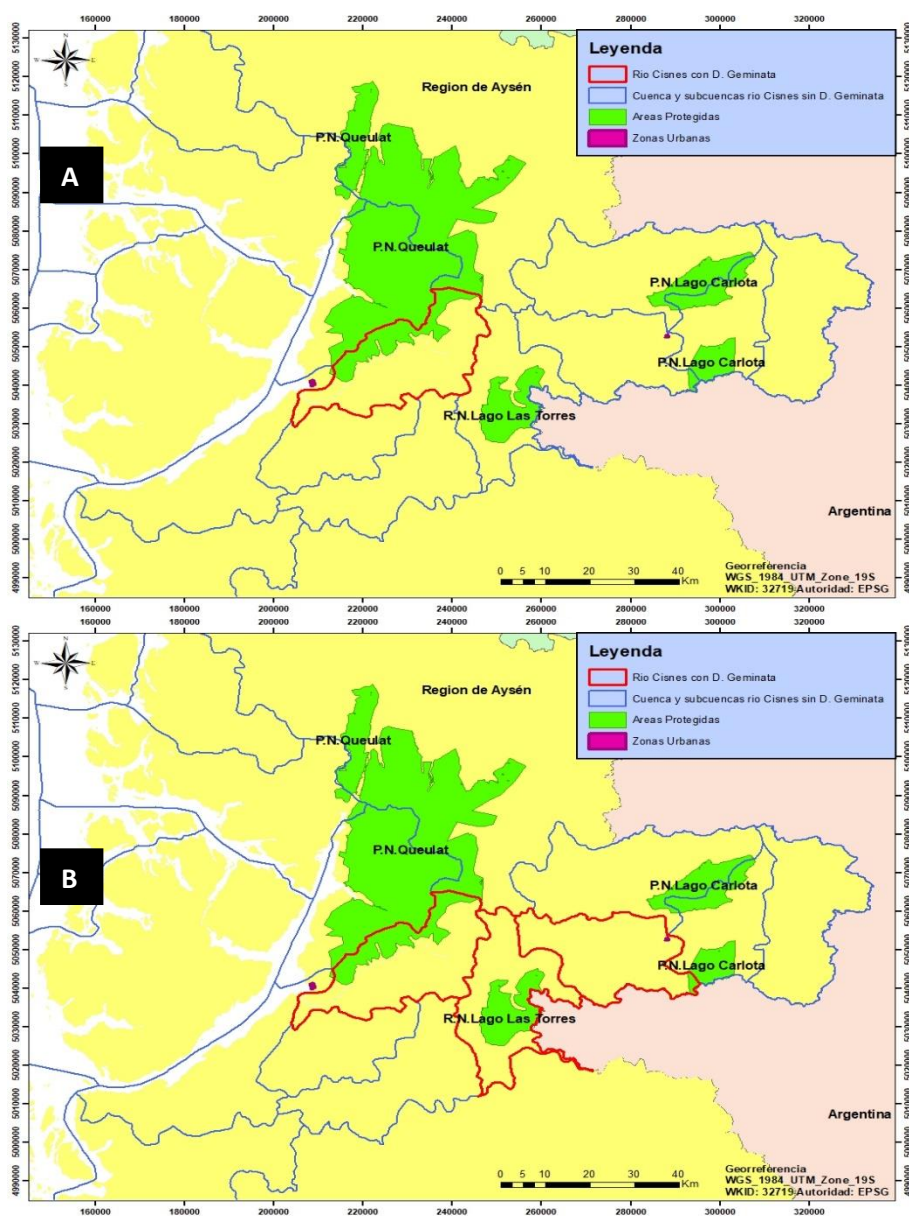


Figura 8. Estado de las secciones de la cuenca del rio Cisnes infectadas con *D. geminata* en el periodo 2013-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en el año 2013 en un sector del rio Cisnes, posteriormente en “B” se ve su segunda aparición en el año 2017 en dos sectores más del rio Cisnes.

La zona del río cisnes presenta un gran atractivo turístico, especialmente debido a su cercanía a varias reservas, siendo el principal atractivo la del lago las torres, además de ser una zona famosa por la práctica del kayak y la pesca recreativa, todo esto sumado a la presencia de la central hidroeléctrica nuevo reino en la desembocadura del río, provocaron la aparición del *Didymo* en el año 2013 en el sector más cercano a la desembocadura, como se aprecia en “A” en la figura 8. La posterior aparición en el año 2017, como se aprecia en “B” de la figura 8, se debe a los factores mencionados con anterioridad, pero su tardanza puede tener relación con los esfuerzos de sernapesca por informar y dar a conocer las medidas de prevención de la plaga.

4.2.8 Rio Simpson (cuenca del rio Aysén) (XI)

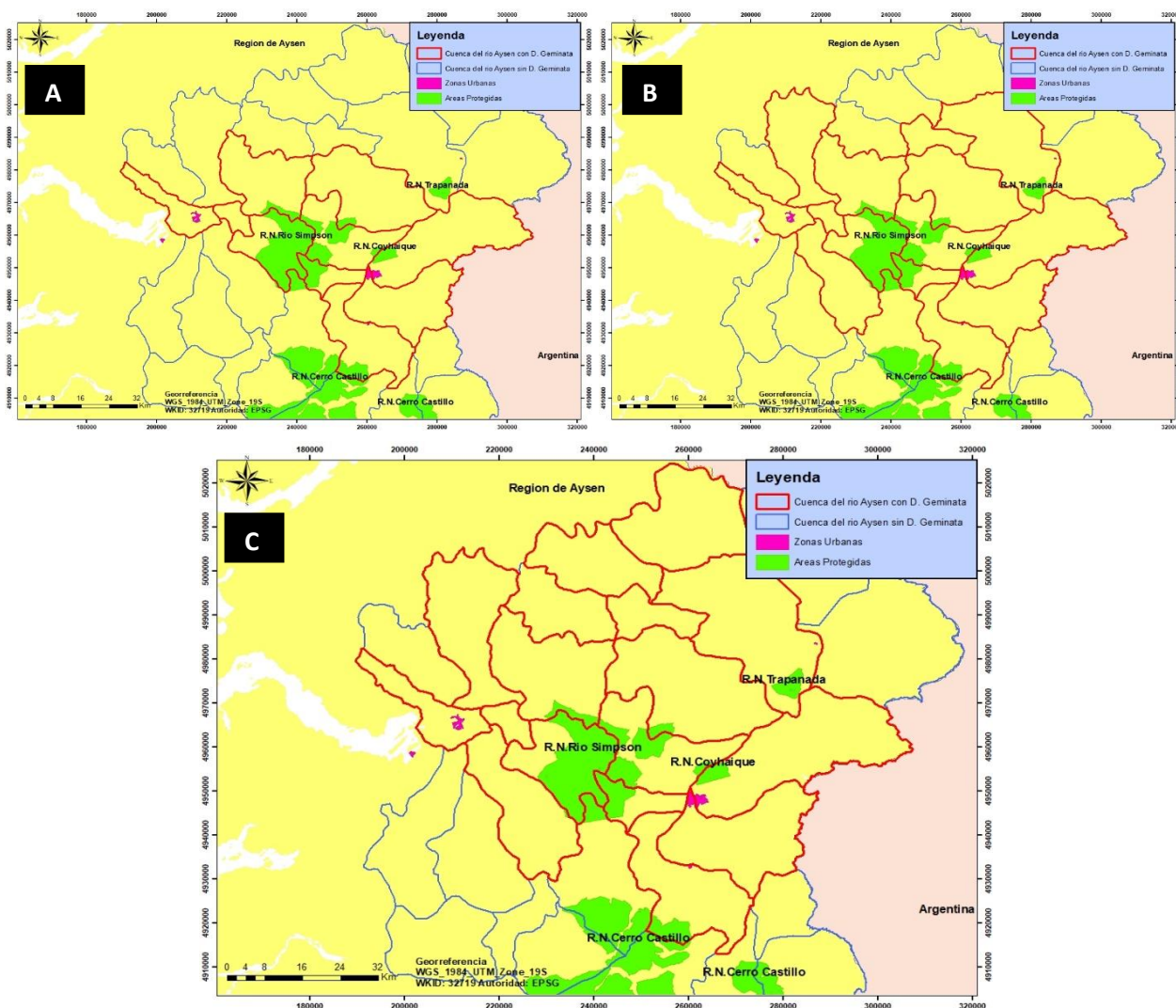


Figura 9. Estado de las secciones de la cuenca del río Simpson infectadas con *D. geminata* en el periodo 2010-2021. La primera aparición se aprecia en “A” en el año 2010 en sectores de los ríos Aysén, Simpson, Mañiguales Coyhaique, E. Guillermo y Pollux. Posteriormente en “B” se ve su segunda aparición en el año 2011 en sectores de los ríos Ñirehuao, Pangal, Riesco. Finalmente, en “C” se aprecia el avance hacia un sector del río Picaflor en 2019.

La zona de la cuenca del río Aysén es un lugar que, por lo que se pudo observar al investigar para la selección de los cuerpos de agua, recibe muchas visitas para la práctica de la pesca deportiva y el kayak, además de su cercanía a múltiples reservas como se aprecia en la figura 9, lo que explicaría su aparición masiva en el año 2010 como indica "A" en la figura 9, la tardanza en los avances al resto de los ríos que se ven en "B" y "C" pueden deberse a las campañas de prevención de sernapesca, pero la acción humana y la cercanía a la ciudad de Coyhaique pueden haber influido negativamente, por el aumento en el flujo de personas y la mayor facilidad de acceso.

4.2.9 Características que comparten las zonas estudiadas.

Se puede apreciar que todos los ríos analizados presentan un régimen mixto, esto quiere decir que tienen ocurrencia de crecidas dos veces al año, en invierno y en verano, las crecidas implican un aumento del caudal significativo, lo que en invierno lleva al desprendimiento de las colonias de *D. geminata* debido a los volúmenes y movimientos de los lechos de los ríos. En consecuencia, estos desprendimientos expanden las células río abajo, lo que puede expandir el territorio de la plaga si las condiciones son adecuadas. En cuanto a las crecidas de verano por el derretimiento de los hielos, al ser más graduales y en menor volumen que las de invierno, en su mayoría no logran extraer las colonias bentónicas de *D. geminata* y como fue mencionado con anterioridad, al aumentar el caudal, disminuyen la concentración de nutrientes, específicamente el fósforo, el cual como fue mencionado con anterioridad, provoca el establecimiento de las células de *D. geminata* en el Bentos, por lo que esta característica que poseen en común los ríos analizados, podría ser un factor clave en la presencia de colonias de *D. geminata*.

Las zonas presentadas tienen temperaturas promedio muy similares, como indica la tabla 3, lo que brinda confirmación sobre la preferencia de temperaturas bajas de *D. geminata*, además esto puede reforzar la idea de que los ríos con régimen mixto son los preferidos de *D. geminata*, ya que estos presentan temperaturas más bajas en sus aguas.

Tabla 3. Resumen de las características físicas, químicas y económicas generales de las cuencas de los ríos seleccionados.

Río	Río Bio-Bio	Lago Villarrica (cuenca río Toltén)	Río Cisnes	Río Simpson (cuenca río Aysén)
Caudal promedio	899 m ³ /s	572 m ³ /s	217 m ³ /s	60,08 m ³ /s
Tamaño cuenca o subcuenca	24.029 km ²	8.398 km ²	5.169 km ²	3712 km ²
Longitud cuenca o subcuenca	380 km	201 km	160 km	80 km
Régimen hidrológico	Régimen mixto (pluvio-nival)	Régimen mixto (pluvio-nival)	Régimen mixto (pluvio-nival)	Régimen mixto (pluvio-nival)
Zonas intervenidas	Central Pangué, Ralco y Angostura	-	Central Nuevo Reino	-
Principales actividades económicas	Turismo, agricultura, generación de energía eléctrica y actividad industrial	Turismo, agricultura, actividad industrial	Turismo, crianza de ovinos y generación de energía eléctrica	Extracción de áridos, turismo y agricultura y actividad industrial
Uso del agua	Pesca deportiva, riego, captación para agua potable, generación de energía eléctrica, actividad industrial y minera	Pesca deportiva, agua de riego, agua potable, actividad industrial	Pesca deportiva, riego, captación para agua potable, generación de energía eléctrica	Pesca deportiva, captación para agua potable, actividad industrial y minera
Reservas que cruza el tramo con <i>D. geminata</i>	R.N. Ralco, R.N. Altos de Pemehue, R.N. Malleco, P.N. Tolhuaca, R.N. Nalcas, R.N. Malalcahuello, P.N. Conguillio, R.N. China Muerta, R.N. Alto Bio-Bio	R.N. Villarrica, P.N. Villarrica	P.N. Queulat, P.N. Lago Carlota, R.N. Lago Las Torres	R.N. Trapanada, R.N. Coyhaique, R.N. Río Simpson, R.N. Cerro Castillo
Temperatura promedio	11,48 (4,1 a 18,5)	11,01 (7,1 a 15)	11,62 (6,6 a 18,1)	11,91 (5,5 a 20,6)
oxígeno disuelto (mg/L)	11,34 (8,8 a 12,59)	11,45 (9,7 a 13,9)	10,89 (8,16 a 14,6)	10,58 (7,52 a 14,11)
pH	8,03 (6,3 a 9,2)	7,98 (6,2 a 11,0)	8,37 (7,42 a 10,15)	8,17 (7,69 a 8,17)
Conductividad (µS/m)	68,63 (18,9 a 349,4)	53,99 (25,8 a 89,1)	28,73 (15,2 a 41,2)	50,71 (20,4 a 96)
Velocidad media superficial (m/s)	0,65 (2,0 a 0,1)	0,85 (3,3 a 0,1)	0,79 (1,67 a 0,2)	0,79 (4,1 a 0,1)
Fosforo inorgánico(µg/L)	34 a 2,0	29,02 (92,02 a 1,96)	3,14 (10,12 a 0,33)	5,23 (55,15 a 0,33)
Sílice (µg/L)	4,26 a 15,4	5,41 a 13,08	3,18 (5,88 a 0,45)	5,81 (20,25 a 2,52)

Fuentes: Cade-Idepe, 2004.

4.3 Áreas protegidas

4.3.1 Selección de áreas protegidas asociadas a los ríos con presencia de *D. geminata*

Para realizar la selección de las áreas protegidas, primero se diferenciaron a los dos tipos que serán analizados, de acuerdo a las definiciones dadas por el decreto supremo N°531 del Ministerio de Relaciones Exteriores del año 1967. Los parques nacionales están pensados para la conservación y protección de flora, fauna y bellezas naturales, con la intención de que el público pueda acceder a estas bajo vigilancia oficial. En cambio, las reservas están hechas para la conservación de riquezas o recursos naturales, para su utilización bajo vigilancia oficial y con protección a la fauna y flora presentes.

Para la selección de las áreas protegidas más importantes que se hayan visto afectadas por la plaga de *D. geminata*, se crearon ciertos criterios de selección, bajo los cuales se evaluó cada área protegida. Las áreas protegidas evaluadas, son las pertenecientes a los análisis realizados en los ríos mostrados con anterioridad en las figuras de la 6 a la 9. Los criterios de selección utilizados son los siguientes:

1. Cantidad de ríos o transectos de ríos con presencia de *D. geminata* que cruzan el área protegida:

Para este criterio se tuvo en consideración la cantidad de ríos que cruzan o forman parte de los cursos de agua presentes dentro del área

protegida en cuestión. Para la realización de este análisis se revisó la información oficial encontrada en la página de la CONAF sobre el área protegida, junto a lo que se aprecia sobre esta en Google maps. Este parámetro indica que tanta influencia puede estar ejerciendo *D. geminata* dentro del área del parque o reserva. El sistema de puntuación fue el siguiente:

- 0 puntos: ningún río cruza el área.
- 1 punto: 1 río cruza el área.
- 2 puntos: 2 ríos cruzan el área.
- 3 puntos: 3 ríos cruzan el área.

2. Nivel de vulnerabilidad del área protegida:

Se tuvo en consideración el nivel de vulnerabilidad del área protegida en cuestión, para esto se determinaron parámetros de vulnerabilidad. Los puntos fueron brindados de acuerdo a la cantidad de parámetros que son cumplidos por el área protegida en cuestión, en caso de no poseer ninguno se brindan 0 puntos y en caso de cumplirlos todos se brindan 3. Los parámetros de vulnerabilidad son los siguientes:

- Cercanía a áreas urbanas: se entiende como la cercanía que tiene el área a zonas urbanas de cualquier tipo, ya sea ciudades, pueblos, etc. Ya que esto aumenta la probabilidad de visita humana y en consecuencia de daños a la zona.

- Cercanía a actividad antrópica: se refiere a la cercanía del área protegida a industrias, represas, actividades extractivas, etc. Ya que este tipo de actividades tienen el riesgo de afectar de manera negativa a las zonas que rodean el área protegida, pudiendo influir en el área misma.
- Cercanía a actividades que cambien el uso del suelo: Cercanía a plantaciones forestales y agricultura a gran escala, ya que el cambio en la vegetación puede afectar las zonas y los cursos de agua circundantes, cambiando sus propiedades.

3. Número de visitantes promedio por año:

Para este criterio se calculó el promedio de la cantidad de visitantes que tuvo cada área protegida por año en el periodo 2015-2020 (se omite el año 2019, ya que no hay información disponible). La información fue obtenida de fuentes oficiales del sitio web de la CONAF. La importancia de este punto radica en que mientras más personas vayan a los parques y reservas, más posibilidades hay de esparcimiento del *Didymo*, tanto dentro como fuera del área protegida. Si bien, este punto tiene relación con los parámetros de vulnerabilidad mencionados en el punto anterior, este criterio se dejó aparte, debido al nivel de importancia que tiene por sí mismo. Los puntos se asignaron de la siguiente manera:

- 0 puntos: 0 a 500 personas por año.

- 1 punto: Entre 500 y 10.000 personas por año.
- 2 puntos: Entre 10.000 y 50.000 personas por año.
- 3 puntos: Mas de 50.000 personas por año.

4.3.2 Resultados selección de áreas protegidas

Los resultados obtenidos luego de aplicar los criterios mencionados a cada una de las áreas protegidas se pueden apreciar en la tabla 4:

Tabla 4. Resultados de selección de áreas protegidas de acuerdo a los criterios establecidos anteriormente, las áreas seleccionadas se destacaron con color amarillo.

Región	Área protegida	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Total
VIII	R.N. Ralco	0	0	1	1
VIII	R.N. Altos de Pemehue	2	2	0	4
IX	R.N. Malleco	0	1	0	1
IX	P.N. Tolhuaca	0	1	1	2
IX	R.N. Nalcas - Malalcahuello	0	2	3	5
IX		P.N. Conguillio	2	3	3
IX	R.N. China Muerta	1	2	0	3
IX	R.N. Alto Bio-Bio	0	2	0	2
IX	R.N. Villarrica	1	3	1	5
IX	P.N. Villarrica	1	3	3	7
XI	P.N. Queulat	0	1	2	3
XI	P.N. Lago Carlota	0	3	0	3
XI	R.N. Lago Las Torres	1	1	0	2
XI	R.N. Trapanada	0	3	0	3
XI	R.N. Coyhaique	0	3	2	5
XI	R.N. Rio Simpson	1	3	2	6
XI	R.N. Cerro Castillo	1	2	1	4

De acuerdo a los puntajes obtenidos se seleccionaron las áreas destacadas en color amarillo, las cuales corresponden al Parque Nacional Conguillio, el Parque Nacional Villarrica y la Reserva Nacional Rio Simpson.

4.3.3 Mapas de los ríos afectados por *D. geminata* dentro de las áreas protegidas seleccionadas.

A continuación, se presentan mapas en las figuras de la 10 a la 12, los cuales pertenecen a las 3 áreas protegidas seleccionadas, los mapas fueron obtenidos del sitio web “Go Chile” y editados en color rojo para resaltar los cursos de agua afectados por *D. geminata*.

Se puede apreciar que en el Parque Nacional Conguillío están afectados los ríos Lonquimay y Triful Triful, en el Parque Nacional Villarrica el río Trancura y en la Reserva Nacional Río Simpson el río homónimo.

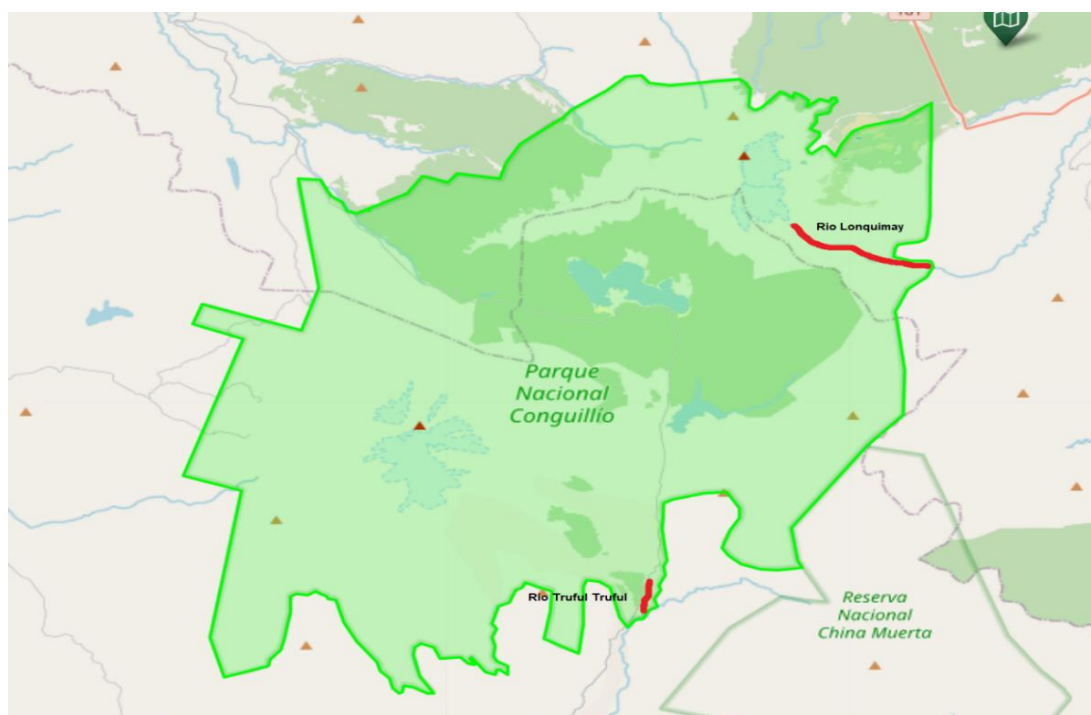


Figura 10. Límite del Parque Nacional Conguillío con los ríos Triful Triful y Lonquimay destacados en color rojo por contar con presencia de *D. geminata*.

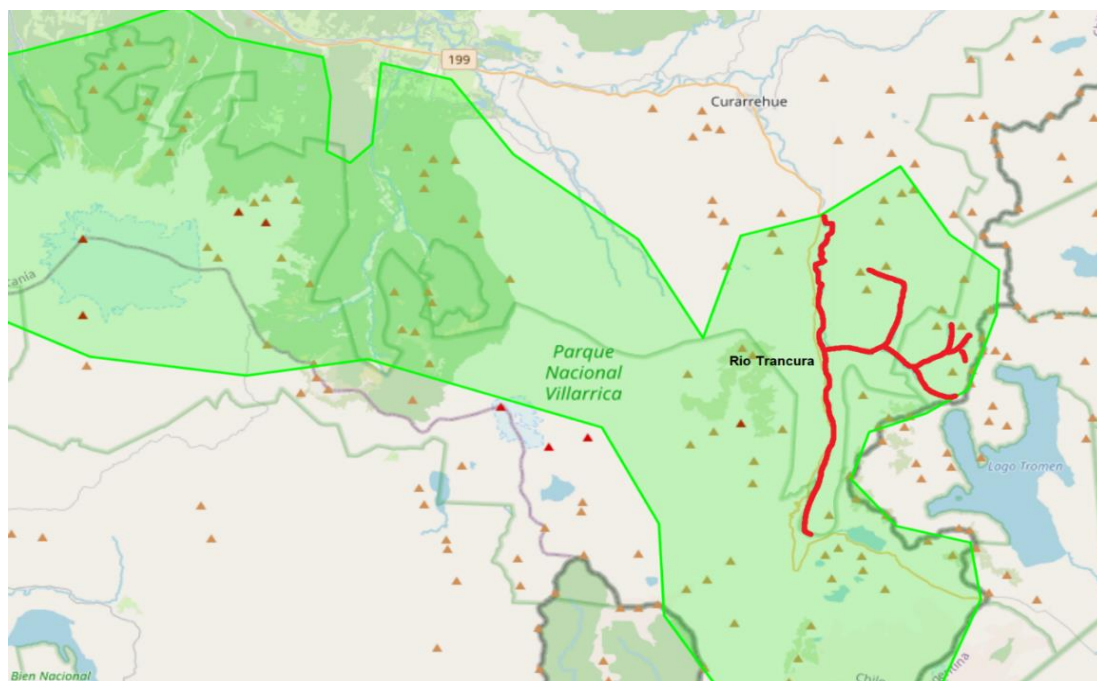


Figura 11. Límite del Parque Nacional Villarrica con el río Trancura destacado en color rojo por contar con presencia de *D. geminata*.

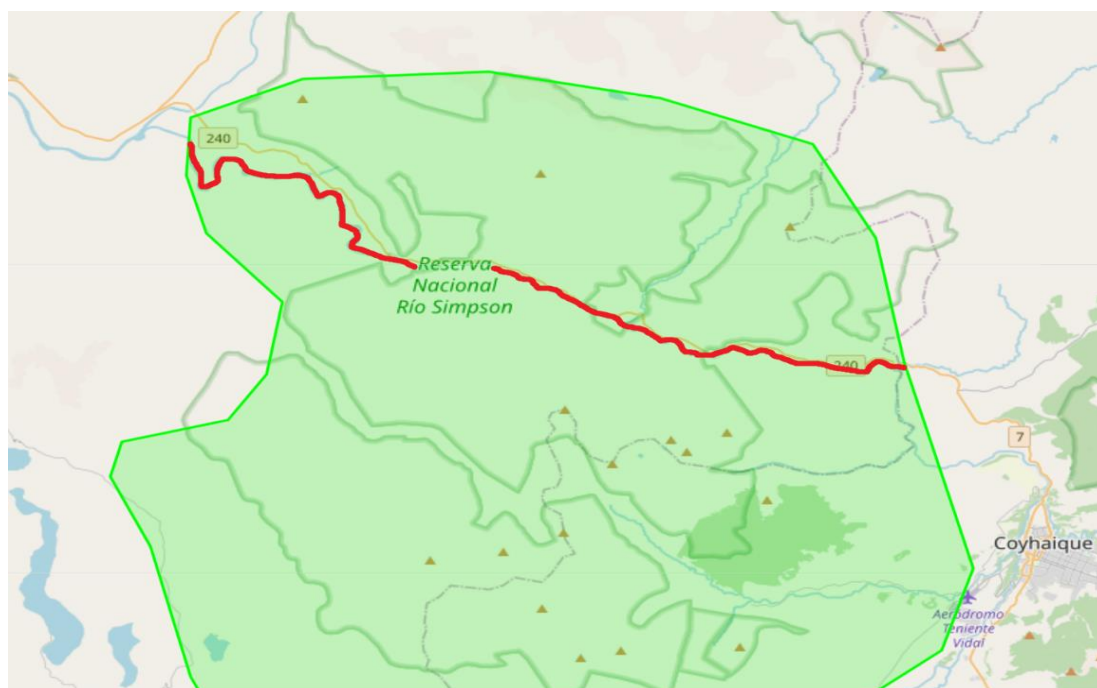


Figura 12. Límite de la Reserva Nacional Río Simpson con el río del mismo nombre resaltado en color rojo por presentar *D. geminata*.

4.4 Efectos ecológicos de *Didymosphenia geminata*.

4.4.1 Análisis de los efectos de *D. geminata* en los ecosistemas

Para el análisis de los posibles efectos que tiene de *D. geminata* en los ríos seleccionados, se recopiló material bibliográfico sobre su interacción con ecosistemas de otros países, el cual se presenta mediante un mapa conceptual en la figura 13, que resume los efectos que tiene *D. geminata* en los ecosistemas acuáticos. Se añadieron, además, tablas con las especies, familias o unidades taxonómicas respectivas, encontradas en la bibliografía, junto a la presencia o ausencia de estas especies en los ríos seleccionados a partir de las áreas protegidas.

En la figura 13 se puede apreciar que la presencia de *D. geminata* tiene efectos tanto positivos, como negativos en las especies acuáticas. En cuanto a los efectos positivos para las diatomeas se tiene un aumento en las de tamaño pequeño, para la diferenciación entre diatomeas pequeñas y grandes se consideró como grandes todas las que tengan rangos de tamaño similares a *D. geminata*, el cual va desde 0.06 mm y 0.16 mm de largo y 0.03 mm y 0.04 mm de ancho (Betancurt et al., 2017) y como pequeñas las menores a este rango. Las diatomeas pequeñas fueron encontradas en mayor cantidad en los lugares con alta presencia de floraciones de Didymo (Sanmiguel et al., 2016; Figueroa et al., 2018; Ladrera et al., 2018; Bray et al., 2019), la razón de esto es que las diatomeas pequeñas tienen la capacidad de colonizar y utilizar los filamentos de las floraciones como sustrato, además de que el microhábitat

creado actúa como trampa de nutrientes y partículas solubles, lo que los deja disponibles para que la comunidad tenga acceso a estos (Sanmiguel et al., 2016; Figueroa et al., 2018; Bray et al., 2019), otra razón de su afinidad con *D. geminata* es que son tolerantes a niveles bajos de oxígeno, por lo que no se ven afectadas por las fluctuaciones producidas por las colonias de *D. geminata* (Reid & Torres, 2014; Sanmiguel et al., 2016; Bray et al., 2017), las especies más mencionadas de diatomeas pequeñas encontradas se aprecian en la tabla 5. En cuanto a las Diatomeas perjudicadas, estas fueron principalmente las de tamaño grande, debido a la presión ejercida por la competencia directa con *D. geminata*, ya que tienen requisitos ecológicos similares, pero tienen menor capacidad para ocupar espacios por su crecimiento más lento (Figueroa et al., 2018; Labrera et al., 2018), a esto se suman, diatomeas pequeñas con preferencia por establecerse directamente en el sustrato (Figueroa et al., 2018). Otro factor para las diatomeas de mayor tamaño es el aumento el número de individuos de la familia Chironomidae por la presencia de *Didymo* (Gillis & Chalifour, 2010; Sanmiguel et al., 2016; Jellyman & Harding, 2016; Labrera et al., 2018; Bray et al., 2019; Brand & Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy et al., 2020) los cuales se alimentan de diatomeas grandes (Labrera et al., 2018), lo que las perjudica aún más debido a la depredación. La lista de especies afectadas más mencionadas se encuentra en la tabla 5.

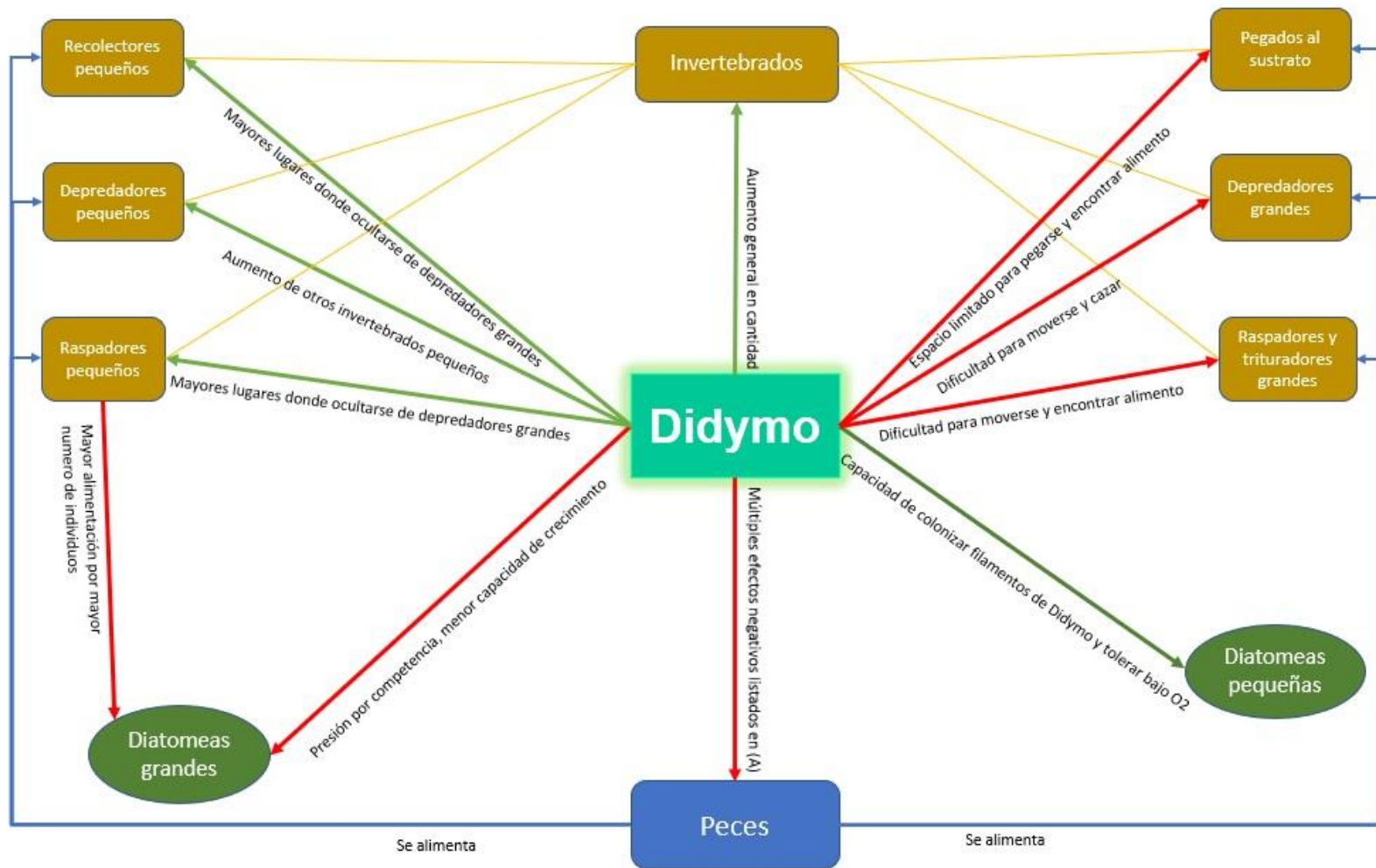


Figura 13. Diagrama conceptual de los efectos ecológicos que tiene *D. geminata* en las especies de diatomeas, invertebrados y peces. (A): Disminución en camuflaje por cambio de sustrato, dificultad para captura de presas, disminución de lugares para ocultarse de depredadores, disminución en nacimientos exitosos de huevos por cubierta de mucilago.

Tabla 5. Lista de especies de Diatomeas encontradas en bibliografía, junto a su presencia en los ríos seleccionados y su relación con *D. geminata*.

Nombre	rio Trifultruful	rio Lonquimay	rio Trancura	rio Simpson	Relación con <i>D. geminata</i>
Achnanthisdium minutissimum	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Brachysira neoexilis	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Delicata delicatula	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Encyonema silesiacum	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Sellaphora stroemii	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Encyonema ventricosum	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Navicula radiosa	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Navicula capitatoradiata	(x)	(x)	(x)	(x)	Positiva
Fragilaria capucina	x	x	x	x	Positiva
Rossithidium linearis	x	x	x	x	Positiva
Rhopalodia gibba	x	x	x	x	Positiva
Melosira varians	x	x	x	x	Positiva
Aulacoseira granulata	x	x	x	x	Positiva
Fragilaria acus	x	x	x	x	Positiva
Cocconeis placentula	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Gomphoneis minuta	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Hannaea arcus	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Cymbella affinis	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Gomphonema decussis	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Gomphonema lateripunctatum	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa
Gomphonema micropus	(x)	(x)	(x)	(x)	Negativa

Fuentes: Sanmiguel et al., 2016, Figueroa et al., 2018, Ladrera et al., 2018, Bray et al., 2019.
 x: Presencia confirmada, (x): Se asume presencia por cualidad cosmopolita de la distribución de diatomeas (Bray et al., 2019).

En el caso de los invertebrados bénticos, se aprecia un aumento general en la densidad de las comunidades en las zonas con alta biomasa de *D. geminata*, lo que se puede explicar por los recursos alimenticios que brindan las floraciones (Gillis & Chalifour, 2010; Jellyman & Harding, 2016; Brand & Grech, 2020). A pesar de lo mencionado, se ve una disminución en la proporción de los órdenes Ephemeroptera (Gillis & Chalifour, 2010; Sanmiguel et al., 2016; Jellyman & Harding, 2016; Ladrera et al., 2018; Bray et al., 2019; Brand &

Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy *et al.*, 2020), Plecoptera (Gillis & Chalifour, 2010; Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018; Bray *et al.*, 2019; Brand & Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy *et al.*, 2020) y Trichoptera (Gillis & Chalifour, 2010; Jellyman & Harding, 2016; Bray *et al.*, 2019; Brand & Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy *et al.*, 2020), lo que indica una disminución en la calidad de las aguas, ya que estos organismos son utilizados como un bioindicador para este parámetro, debido a que son sensibles a la contaminación (Jellyman & Harding, 2016). Los organismos de la orden Ephemeroptera corresponden a raspadores grandes, los cuales se ven perjudicados por la gran biomasa de *Didymo*, ya que estos se encuentran adaptados a vivir en el sustrato grueso, lo que dificulta su capacidad para moverse y encontrar alimento en el nuevo sustrato creado por los filamentos de *Didymo* (Blanco, *et al.* 2015; Ladrera *et al.*, 2018). La orden Plecoptera corresponde a los depredadores grandes, los cuales, debido a su tamaño, ven dificultada la tarea de capturar presas en las floraciones de *D. geminata*, ya que estas dificultan su movimiento, además de servir de refugio para los invertebrados pequeños de los que se alimenta (Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020). La orden Trichoptera pertenece a consumidores primarios, estos se alimentan de diatomeas grandes, entre las que se encuentra *D. geminata*, pero a pesar de esto, su proporción se ve reducida debido a la dificultad de movimiento (Blanco, *et al.*, 2015; Ladrera *et al.*, 2018), el bajo porcentaje de células que tiene el mucilago de *D. geminata* (Bray *et al.*, 2019) y la baja general de diatomeas grandes por los efectos mencionados con anterioridad.

La familia Simuliidae, la cual corresponde a filtradores que viven fijos al sustrato, también se vio perjudicada (Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020; Clancy *et al.*, 2020), esto, principalmente por la pérdida del área del sustrato en la que pueden mantenerse fijos y en la que pueden alimentarse, debido a las floraciones (Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020). La lista de los conjuntos taxonómicos ya mencionados, junto a su distribución en los ríos seleccionados se encuentra en la tabla 6.

Para el caso de los invertebrados beneficiados, en primer lugar, está el caso de la familia Chironomidae (Gillis & Chalifour, 2010; Sanmiguel *et al.*, 2016; Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018; Bray *et al.*, 2019; Brand & Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy *et al.*, 2020), la cual corresponde a raspadores de tamaño pequeño. Como fue mencionado, estos organismos, pueden alimentarse de diatomeas grandes (Ladrera *et al.*, 2018) aunque no de *Didymo* (Bray *et al.*, 2019). De acuerdo a Ladrera (2018), se ven beneficiados debido a su gran capacidad de adaptación y a la disminución de depredadores y raspadores grandes, lo que baja la competencia por alimento. También se debe a que pueden soportar calidades de agua pobres y estrés ambiental (Sanmiguel *et al.*, 2016). Además de esto se agrega su tamaño pequeño, lo que implica que no presenta las dificultades de los organismos grandes para desplazarse por los filamentos de *D. geminata* e incluso puede protegerse de depredadores gracias a ellos (Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020). Otra familia que se vio beneficiada es Hydridae (Ladrera *et al.*, 2018), los cuales

son depredadores de tamaño pequeño, la principal razón es que poseen la capacidad de pegarse a estructuras macrofitas como las de *D. geminata* y al ser de tamaño pequeño, tiene buena movilidad en dichos ambientes, además verse beneficiado por el aumento de Chironomidae, ya que se alimenta de estos (Ladrera *et al.*, 2018). La subclase, Oligochaeta también se vio favorecida (Sanmiguel *et al.*, 2016; Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018; Bray *et al.*, 2019; Brand & Grech, 2020), corresponde en su mayoría a lombrices, las cuales se ven beneficiadas por la disminución de la velocidad del agua en el fondo, producida por las floraciones (Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020), además de la acumulación de materia orgánica que sirve de alimento y la disminución de depredadores de mayor tamaño (Ladrera *et al.*, 2018). Además de los ya mencionados, existen otros grupos de invertebrados que se han visto beneficiados de manera más general, debido a las ventajas que les brinda su tamaño más pequeño y a la mayor abundancia de alimento, los más mencionados son el filo Nematoda (Jellyman & Harding, 2016; Bray *et al.*, 2019; Clancy *et al.*, 2020) y el suborden Cladocera (Jellyman & Harding, 2016; Bray *et al.*, 2019).

En cuanto a los invertebrados de mayor tamaño, como es el caso del orden Decapoda, el cual corresponde a cangrejos y camarones de río, de acuerdo a Añón & Albariño (2020) no se aprecia efecto de las floraciones algales sobre la distribución de las especies de este orden.

Tabla 6. Lista de familias, órdenes y filo de macroinvertebrados encontrados en bibliografía, junto a su presencia en los ríos seleccionados y su relación con *D. geminata*.

Clasificación	Nombre	rio Trifultruful	rio Lonquimay	rio Trancura	rio Simpson	Relación con <i>D. geminata</i>
Familia	Chironomidae	x	x	x	x	Positiva
Familia	Simuliidae	x	x	x	x	Negativa
Familia	Hydridae	x	x	x	x	Positiva
Orden	Ephemeroptera	x	x	x	x	Negativa
Orden	Plecoptera	x	x	x	x	Negativa
Orden	Trichoptera	x	x	x	x	Negativa
Orden	Decapoda	x	x	x	x	Neutra
Filo	Nematoda	x	x	x	x	Positiva
Suborden	Cladocera	x	x	x	x	Positiva
Subclase	Oligochaeta	x	x	x	x	Positiva

Fuentes: Gillis & Chalifour, 2010; Sanmiguel et al., 2016; Jellyman & Harding, 2016; Ladrera et al., 2018; Bray et al., 2019; Brand & Grech, 2020; Clancy, 2020; Clancy et al., 2020.

Como se puede apreciar, la presencia de *Didymo*, provoca una clara tendencia en los ecosistemas hacia el beneficio de los organismos pequeños y que los organismos de mayor tamaño se vean perjudicados, lo que finalmente lleva a que la comunidad vea empequeñecido el tamaño promedio de sus organismos y sea más homogénea. Esto confirma la mención de *D. geminata* como un “ingeniero de ecosistemas” (Ladrera *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020), por su gran capacidad de alterar las redes tróficas de los ríos, mediante cambios físicos y modificación de recursos, como fue mencionado con anterioridad.

Para el caso de los peces, de acuerdo a Jellyman & Harding (2016), el único efecto positivo indirecto que se aprecia es el aumento en la cantidad de

macroinvertebrados, lo que brinda más alimento, sin embargo, estos efectos no son del todo positivos, ya que de acuerdo a Ladrera (2018) y a Jellyman & Harding (2016), la reducción que se aprecia en el tamaño de las especies más frecuentes y mejor adaptadas para ambientes con alta presencia de *D. geminata*, disminuye la cantidad de energía y nutrientes obtenidos con cada cacería, además de esto se suma el hecho de que las floraciones de *D. geminata* sirven de refugio a estos invertebrados, lo que aumenta los tiempos de búsqueda y disminuye los intentos de captura exitosos (Ladrera., *et al.*, 2018; Brand & Grech, 2020). Los efectos directos de *D. geminata* en los peces son negativos, entre ellos se encuentra la pérdida de camuflaje por el cambio de color de los lechos de los ríos, lo que aumenta su potencial de depredación por aves de rapiña, dificultad para escapar de depredadores ingresando a los espacios entre las rocas debido a la presencia de la capa mucilaginosa y a esto se suma la disminución en los lugares para desovar y descenso de los nacimientos exitosos, debido a que el *Didymo* cubre el sustrato necesario para poner huevos e impide que las crías salgan de estos si aparece después de que han sido puestos(Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018).

Los efectos mencionados afectan de forma general a todos los peces, pero la gran movilidad de las especies de la familia Salmonidae hace que estos puedan retirarse a zonas más libres de *Didymo* por su capacidad de recorrer grandes distancias (Brand & Grech, 2020), esto se ve contrastado en el caso de la familia trichomycteridae, la cual corresponde a peces gato de tamaño

generalmente pequeño, los cuales no poseen la movilidad de los salmónidos (Brand & Grech, 2020). Otros ejemplos de familias perjudicadas mencionadas en la literatura son Anguillidae, Eleotridae y Galaxiidae (Jellyman & Harding, 2016), los cuales se ven perjudicados de la manera general descrita con anterioridad por la aparición de floraciones de *Didymo*.

Como se mencionó, para algunos peces no es un gran impacto, la presencia de *D. geminata*, debido a su capacidad de retirarse de la zona, pero a pesar de esto, el hecho de que los peces se alejen de una zona en particular, provoca un impacto en el ámbito de la pesca recreacional y el turismo, ya que al no haber peces deseables en la zona, esta deja de tener atractivo, lo dicho, sumado a que el atractivo visual también se ve disminuido por la floraciones de *Didymo*, lleva a un efecto en cadena, en el que a medida que más zonas se ven afectadas por *D. geminata*, menos zonas de pesca y atractivo turístico habrán.

Tabla 7. Lista de Especies de Peces encontrados en los ríos seleccionados según bibliografía, junto a su presencia específica en cada río y su relación con *D. geminata*.

Nombre científico (Nombre común)	Condición en el territorio	Río Trifultrful	rio Lonquimay	rio Trancura	rio Simpson	Relación con <i>D. geminata</i>
<i>Geotria australis</i> (Lamprea de bolsa)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Mordacia lapicida</i> (Lamprea de agua dulce)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Cheirodon galusdae</i> (pocha de los lagos)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Diplomystes nahuelbutaensis</i> (tollo de agua dulce)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Diplomystes camposensis</i> (bagre)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Trichomycterus areolatus</i> (bagre pintado)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Bullockia maldonadoi</i> (bagrecito)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Nematogenys inermis</i> (bagre grande)	Nativo			x		Negativa
<i>Galaxias maculatus</i> (puye)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Galaxias platei</i> (puye)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Brachygalaxias bullocki</i> (puye)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Aplochiton marinus</i> (peladilla)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Aplochiton taeniatus</i> (farionela)	Nativo			x		Negativa
<i>Aplochiton zebra</i> (farionela listada)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Adontesthes mauleanum</i> (pejerrey)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Odontesthes brevianalis</i> (cauque del norte)	Nativo			x		Negativa
<i>Basilichthys australis</i> (pejerrey chileno)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Percichthys trucha</i> (trucha criolla)	Nativo	x	x	x	x	Negativa
<i>Percilia gillissi</i> (carmelita)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Trichomycterus chiltoni</i> (bagrecito)	Nativo	x	x	x		Negativa
<i>Australoheros facetum</i> (chanchito)	introducida	x	x	x		Negativa
<i>Ameiurus nebulosus</i> (pez gato)	introducida	x	x	x	x	Negativa
<i>Cyprinus carpio</i> (carpa común)	introducida	x	x	x		Negativa
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (salmón del pacífico)	introducida				x	Negativa
<i>Salmo trutta</i> (Trucha común)	introducida	x	x	x	x	Negativa
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (salmón Chinook)	introducida	x	x	x	x	Negativa
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoíris)	introducida	x	x	x	x	Negativa
<i>Salmo salar</i> (salmón del atlántico)	introducida				x	Negativa
<i>Gambusia holbrooki</i> (pez mosquito oriental)	introducida	x	x	x		Negativa
<i>Lepomis gibbosus</i> (perca sol)	introducida	x	x	x	x	Negativa

Fuentes: Jellyman & Harding, 2016; Ladrera *et al.*, 2018; Clancy *et al.*, 2020; Brand & Grech, 2020; Froese *et al.*, 2022.

5. CONCLUSIÓN

Las principales características de *D. geminata* son la presencia de un frústulo en sus células, tamaños muy variables, la presencia de un pie de mucilago y la capacidad de generar floraciones algales de gran volumen rápidamente, son estas dos últimas adaptaciones las que le dan su estatus de especie invasora de alto impacto y éxito.

El análisis de las características físico-químicas y de estudios realizados en distintos ríos con presencia de *D. geminata* dio como resultado que su aparición se encuentra limitada principalmente por el fosforo y de menor manera por el nitrógeno, pero que hay otros factores que pueden influir de gran manera. Los factores que presentaron una incidencia fueron el pH, con una preferencia por la alcalinidad, las velocidades moderadamente altas de los cauces y las altitudes mayores a 200m, lo que va de la mano con el tipo de régimen hidrológico de los ríos estudiados, que presentaron el tipo pluvio-nival.

En el análisis de los ríos con presencia de Didymo bajo los criterios establecidos, se encontró que el Rio Bio-Bio, Rio Cisnes, Rio Simpson y el Lago Villarrica junto a sus afluentes, eran los más adecuados para analizar la evolución del avance de la plaga, debido a que son zonas de alta importancia turística, de interés para el público y los medios de comunicación, con zonas urbanas cercanas y con presencia de áreas protegidas. Para los cuerpos de agua seleccionados se confeccionaron mapas que mostraron la evolución temporal del avance del Didymo en todos los tramos presentes en cada río.

En la selección de áreas protegidas se determinó que el Parque Nacional Conguillio, el Parque Nacional Villarrica y la Reserva Nacional Río Simpson, fueron las más adecuadas para investigar por la cantidad de ríos con *Didymo* que presentaron, la cantidad de público que reciben cada año y el nivel general de vulnerabilidad que presentan. En ellas se analizó algunas de las especies presentes tanto de microalgas, invertebrados y peces, en cada río afectado dentro de las áreas protegidas y se mostró como estas especies interactúan con el *Didymo*. De acuerdo a múltiples estudios a nivel mundial, se vio que especies más pequeñas tienen una relación positiva y las de mayor tamaño una negativa y luego mediante un análisis general se vio como el ecosistema se podría transformar a uno con organismos cada vez más pequeños, con menor biomasa y una menor proporción de organismos de mayor tamaño, siendo los peces los que serían afectados mayormente y se alejarían de las zonas con *Didymo*.

6. LITERATURA CITADA

1. Aguirre, C., T. Chávez, P. García y J.C. Raya. 2007. El silicio en los organismos vivos. *Interciencia* 32(8): 504-509.
2. Añón, D.A., R.J. Albariño. 2020. Efecto del establecimiento del alga invasora *Didymosphenia geminata* sobre la abundancia de macrocrustáceos en el Río Limay superior, Patagonia, Argentina [en línea]. *Biol. Acuát.* 34(6).
<<https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/16684869e006/8484>>. [Consulta: 12 junio 2022].
3. Beggs, J.R., E.G. Brockerhoff, J.C. Corley, M. Kenis, M. Masciocchi, F. Muller, Q. Rome and C. Villemant. 2011. Ecological effects and management of invasive alien Vespidae. *BioControl* 56(4): 505-526.
4. Betancurt, R.F., G. Baffico y S.G. Beamud. 2017. Alga Didymo: Una pequeña gran invasora. *Desde la Patagonia* 14(23): 28-34.
5. Blanco, S., L. Ector. 2009. Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: A literature review. *Nova Hedwigia* 88(3-4): 347-422.
6. Bothwell, M.L., B.W. Taylor and C. Kilroy. 2014. The Didymo story: The role of low dissolved phosphorus in the formation of *Didymosphenia geminata* blooms. *Diatom Res.* 29(3): 229-236.

7. Bothwell, M.L., B.W. Taylor. 2017. Blooms of benthic diatoms in phosphorus-poor streams. *Front. Ecol. Environ.* 15(2): 110-111.
8. Brand, C., M. Grech. 2020. Recent invasion of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt in a Patagonian regulated river promotes changes in composition and density of macroinvertebrate community. *Biol. Invasions* 22(3): 1903-1915.
9. Bray, J., J.S. Harding, C. Kilroy, P. Broady and P. Gerbeaux. 2015. Physicochemical predictors of the invasive diatom *Didymosphenia geminata* at multiple spatial scales in New Zealand rivers. *Aquat. Ecol.* 50: 1-14.
10. Bray, J., C. Kilroy, P. Gerbeaux and J.S. Harding. 2017. Ecological eustress? Nutrient supply, Bloom stimulation and competition determine dominance of the diatom *Didymosphenia geminata*. *Freshw. Biol.* 62(8): 1433-1442.
11. Bray, J.P., C. Kilroy, P. Gerbeaux, F.J. Burdon and J.S. Harding. 2019. Ecological processes mediate the effects of the invasive Bloom-forming diatom *Didymosphenia geminata* on stream algal and invertebrate assemblages. *Hydrobiologia* 847: 177-190.
12. Cade-Idepe. 2004a. Cuenca del Río Aysén: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad [en línea].

- Ministerio del Medio Ambiente, Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Aysen.pdf>>. [Consulta: 17 julio 2022].
13. Cade-Idepe. 2004b. Cuenca del Río Bio Bio: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad [en línea]. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/BioBio.pdf>>. [Consulta: 17 julio 2022].
14. Cade-Idepe. 2004c. Cuenca del Río Cisnes: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad [en línea]. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Cisnes.pdf>>. [Consulta: 17 julio 2022].
15. Cade-Idepe. 2004d. Cuenca del Río Toltén: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad [en línea]. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Tolten.pdf>>. [Consulta: 17 julio 2022].
16. Capdevila-Argüelles, L., B. Zilletti y V.Á Suárez. 2011. Cambio climático y especies exóticas invasoras en España: Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impactos y vulnerabilidad [en línea]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/Especies_invasoras_tcm7-197788_tcm30-70263.pdf>. [Consulta: 17 julio 2022].

17. Chapman, V.J., R.H. Thompson and E.C.M. Segar. 1957. Check list of the fresh-water algae of New Zealand. *Trans. Proc. R. Soc. N. Z.* 84(Part 4): 695-747.
18. CHD (España). 2017. Reserva natural fluvial del Alto Porma y Rio Isoba: Propuesta de medidas de gestión. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid, España.
19. Clancy, N.G. 2020. Do *Didymosphenia geminata* blooms affect fishes in the kootenai river basin? Thesis, Master of Science in Ecology. Utah State University. Logan, USA.
20. Clancy, N.G., J. Brahney, J. Curtis and P. Budy. 2020. Consequences of Didymo Blooms in the transnational Kootenay River basin. Utah State University. Logan, USA.
21. Cleve, P.T. 1894. Synopsis of the naviculoid diatoms. P.A. Norstedt & Söner. Stockholm, Sweden.
22. CONAF (Chile). 2022. Parques de Chile [en línea]. CONAF, Chile. <<https://www.conaf.cl/parques-nacionales/parques-de-chile>>. [Consulta: 17 julio 2022].
23. Cullis, J.D.S., D.M. McKnight and S.A. Spauling. 2015. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72(6): 902-914.

24. Decreto N°43. Declara zona saturada por clorofila “A”, transparencia y fósforo disuelto, a la cuenca del Lago Villarrica. Diario Oficial de la República de Chile. 06 agosto 2018. Santiago, Chile.
25. Decreto N°531. Convención para protección de la flora, la fauna y las bellezas escénicas naturales de América. Diario Oficial de la República de Chile. 04 octubre 1967. Santiago, Chile.
26. DEQ (USA). 2006. Assessment of water quality in Kootenai River and Moyie River subbasins (TMDL) [en línea]. Idaho Department of Environmental Quality, USA. <<https://www2.deq.idaho.gov/admin/LEIA/api/document/download/11870>>. [Consulta: 17 julio 2022].
27. ECAN (New Zealand). 2017. SQ10052 Waitaki River haka@river. Downs [en línea]. Environment Canterbury Regional Council, New Zealand. <<https://www.ecan.govt.nz/data/water-quality-data/printsampl/SQ10052/WTK000407>>. [Consulta: 17 julio 2022].
28. Environment Agency. 2022. Sampling Point: Coquet At Bygate [en línea]. Crown, UK. <<https://environment.data.gov.uk/water-quality/view/sampling-point/NE-42300181>>. [Consulta: 17 julio 2022].
29. Fernández, J.M. 2014. Nutrientes y medios de cultivo de microalgas [en línea]. Universidad de Almería, España.

- <<https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-3-nutrientes.html>>. [Consulta: 12 junio 2022].
30. Figueroa, F., P. Pedreros, F. Cruces, R. Abdala-Diaz, V. Hernandez, J. Becerra and R. Urrutia. 2018. Effect of *Didymosphenia geminata* coverage on the phytobenthic community in an Andean basin of Chile [en línea]. Rev. Chil. Hist. Nat. 91: 10(Art. N°). <<https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v91/0717-6317-rchnat-91-10.pdf>>. [Consulta: 15 julio 2022].
31. FishBase. 2022. List of freshwater fishes reported from Chile [en línea]. FishBase, Sweden. <https://www.fishbase.se/country/CountryChecklist.php?what=list&trpp=50&c_code=152&csub_code=&cpresence=Reported&sortby=alpha2&ext_CL=on&ext_pic=on&vhabitat=fresh>. [Consulta: 15 julio 2022].
32. Gillis, C.-A., M. Chalifour. 2010. Changes in the macrobenthic community structure following the introduction of the invasive algae *Didymosphenia geminata* in the Matapedia River (Quebec, Canada). Hydrobiologia 647: 63-70.
33. GoChile. 2011a. Parque Nacional Conguillío [en línea]. GoChile. <<https://www.gochile.cl/es/parque-nacional-conguillio/>>. [Consulta: 18 julio 2022].

34. GoChile. 2011b. Parque Nacional Villarrica [en línea]. GoChile. <<https://www.gochile.cl/es/parque-nacional-villarrica/>>. [Consulta: 18 julio 2022].
35. GoChile. 2011c. Reserva Nacional Río Simpson [en línea]. GoChile. <<https://www.gochile.cl/es/reserva-nacional-rio-simpson/>>. [Consulta: 18 julio 2022].
36. Guimond, E., R. Ferguson, H. Hyatt, G. Graf, M. Lough and M. Sheng. 2014. Assessment of Comox Lake carrying capacity and coho-cutthroat interactions in the Cruickshank and Upper Puntledge River systems [en línea]. Government of British Columbia, Canada. <https://a100.gov.bc.ca/appsdata/acat/documents/r49032/13.PUN.05_1443028641085_3027841086.pdf>. [Consulta: 12 junio 2022].
37. Havel, J.E., K.E. Kovalenko, S.M. Thomas, S. Amalfitano and L.B. Kats. 2015. Aquatic invasive species: Challenges for the future. *Hydrobiologia* 750: 147-170.
38. Hix, L.A., J.N. Murdock. 2019. *Didymosphenia geminata* habitat requirements are unique and variable for cell establishment and mat accumulation. *Hydrobiologia* 828(2): 147-164.
39. James, D.A., K. Mosel and S.R. Chipps. 2014. The influence of light, stream gradient, and iron on *Didymosphenia geminata* bloom development in the Black Hills, South Dakota. *Hydrobiologia* 721: 117-127.

40. Jellyman, P.G., J.S. Harding. 2016. Disentangling the stream community impacts of *Didymosphenia geminata*: How are higher trophic levels affected? *Biol. Invasions* 18(12): 3219-3435.
41. Kilroy, C., M. Bothwell. 2011. Environmental control of stalk length in the Bloom-forming, freshwater benthic diatom *Didymosphenia geminata* (*Bacillariophyceae*). *J. Phycol.* 47(5): 981-989.
42. Kilroy, C., S.T. Larned. 2016. Contrasting effects of low-level phosphorus and nitrogen enrichment on growth of the mat-forming alga *Didymosphenia geminata* in an oligotrophic river. *Freshw. Biol.* 61(9): 1550-1567.
43. Kunza, L.A., C.-A. Gillis, J.Z. Haueter, J. N. Murdock and J.M. O'Brien. 2018. Declining phosphorus as a potential driver for the onset of *Didymosphenia geminata* mats in North American rivers. *River Res. Appl.* 34(8): 1105-1110.
44. Ladrera, R., J. Gomà and N. Prat. 2018. Effects of *Didymosphenia geminata* massive growth on stream communities: Smaller organisms and simplified food structure [en línea]. *PLoS One* 13(3). <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0193545>>. [Consulta: 12 junio 2022].
45. León, O.A., O. Vargas. 2009. Las especies invasoras: Un reto para la restauración ecológica. pp: 19-38. En: O. Vargas, O. León y A. Díaz

- (Eds.). Restauración ecológica en zonas invadidas por retamo espinoso y plantaciones forestales de especies exóticas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
46. Lockwood, J.L., M.F. Hoopes and M. Marchetti. 2013. Invasion ecology. (2nd. ed.). Wiley-Blackwel. Chichester, UK.
47. MMA (Chile). 2017. Estrategia nacional de biodiversidad 2017-2030 [en línea]. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia_Nac_Biodiv_2017_30.pdf>. [Consulta: 12 junio 2022].
48. Montecino, V., X. Molina, M. Bothwell, P. Muñoz, M. Carrevedo, F. Salinas, S. Kumar, M.L. Castillo, G. Bizama and R.O. Bustamante. 2016. Spatio temporal population dynamics of the invasive diatom *Didymosphenia geminata* in central-southern Chilean rivers. Sci. Total. Environ. 568: 1135-1145.
49. NCDEQ (USA). 2011. Little Tennessee River basin: Ambient monitoring system report [en línea]. North Carolina Department of Environmental Quality, USA. <<https://files.nc.gov/ncdeq/document-library/LTN%20River%202010%20Report.pdf>>. [Consulta: 30 mayo 2022].
50. NIVA (Norway). 2014. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 2013 [en línea]. Norwegian Environment Agency.

- <<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M264/M264.pdf>>. [Consulta: 30 mayo 2022].
51. Noga, T., J. Stanek-Tarkowska, A. Pajączek and Ł. Peszek. 2014. Expansion of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt (*Bacillariophyceae*) in running waters in s-e Poland: New records in the Podkarpacie region. *J. Ecol. Eng.* 15(2): 31-39.
52. ORC (New Zealand). 2020. Clutha Delta area: Water quality report card [en línea]. New Zealand Government. <<https://www.orc.govt.nz/media/9084/clutha-delta-pdf.pdf>>. [Consulta: 30 mayo 2022].
53. Pollock, S.J. 2010. Assessing groundwater/surface water connectivity and the effect on groundwater quality in Alexandra, Central Otago. Thesis, Master of Science in Geography. University of Otago, Department of Geology. Dunedin, New Zealand.
54. Reid, B., R. Torres. 2014. *Didymosphenia geminata* invasion in South America: Ecosystem impacts and potential biogeochemical state in Patagonian rivers. *Acta Oecol.* 54: 101-109.
55. Resolución Exenta N°659. Renueva declaración de área de plaga y de riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala en materia de acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 10 marzo 2015. Santiago, Chile.

56. Resolución Exenta N°719. Declara área de plaga y riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala en materia de acuicultura. Deja sin efecto y reemplaza resolución que indica. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 10 marzo 2021. Valparaíso, Chile.
57. Resolución Exenta N°996. Declara área de plaga y de riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala en materia de acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 17 abril 2013. Santiago, Chile.
58. Resolución Exenta N°2412. Renueva declaración de área de plaga y de riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala en materia de acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 25 julio 2017. Santiago, Chile.
59. Resolución Exenta N°2743. Declara área de plaga y riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala en materia de acuicultura. Deja sin efecto y reemplaza resoluciones que indica. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 31 julio 2019. Valparaíso, Chile.
60. Resolución N°3064. Declara área de plaga sectores de cuerpos de agua terrestres que indica. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Secretaría de Pesca y Acuicultura. 06 octubre 2010. Santiago, Chile.

61. Ríos, H.F., O. Vargas. 2003. Ecología de las especies invasoras. *Perez-Arbelaezia* 14: 119-148.
62. Salvo-Pereira, J., A. Oyanedel. 2019. Community signals of the effect of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt on benthic diatom communities in Chilean Rivers [en línea]. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 92:4(Art. N°). <<https://revchilhistnat.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40693-019-0084-2>>. [Consulta: 12 junio 2022].
63. Sanmiguel, A., S. Blanco, A., I. Álvarez-Blanco, C. Cejudo-Figueiras, A. Escudero, M.E. Pérez, G. Noyón and E. Bécares. 2016. Recovery of the algae and macroinvertebrate benthic community after *Didymosphenia geminata* mass growths in Spanish rivers. *Biol. Invasions* 18(5): 1467-1484.
64. Sundareshwar, P.V., S. Upadhyay, M. Abessa, S. Honomichl, B. Berdanier, S.A. Spaulding, C. Sandvik and A. Trennepohl. 2011. *Didymosphenia geminata*: Algal blooms in oligotrophic streams and rivers [en línea]. *Geophys. Res. Lett.* 38(10). <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010GL046599>>. [Consulta: 12 junio 2022].
65. USGS (USA). 2007. Algal and water-quality data for rapid creek and Canyon Lake near Rapid City, South Dakota, 2007 [en línea]. United States Geological Survey.

- <<https://pubs.usgs.gov/ds/354/pdf/ds354.pdf>>. [Consulta: 30 mayo 2022].
66. USGS (USA). 2022. USGS 12301933 Kootenai River bl Libby Dam nr Libby MT [en línea]. United States Geological Survey. <<https://waterdata.usgs.gov/nwis/uv?12301933>>. [Consulta: 30 mayo 2022].
67. Uyua, N.M. 2017. *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt en el área andina de la Provincia de Chubut: Taxonomía, diversidad morfológica y genética y origen del alga invasora. Tesis, Doctorado en Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Buenos Aires, Argentina.
68. Uyua, N.M., S.E. Sala, N.H. Santinelli, A.V. Sastre, J.I. Cortes, B. Rogel and P. De Carli. 2020. Valve morphology of *Didymosphenia geminata* (*Bacillariophyceae*) from Santa Cruz and Tierra del Fuego provinces, Patagonia, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 55(4): 535-546.
69. Whitton, B.A., N.T.W. Ellwood and B. Kawecka. 2009. Biology of the freshwater diatom *Didymosphenia*: A review. *Hydrobiologia* 630: 1-37.

7. ANEXOS

Tabla 8. Resultados selección de ríos junto a todos los transectos con presencia de *D. geminata*.

Region		Rio		Criterios de selección				Puntaje Final
N°	Nombre	Rio principal	Tramos presentes de este rio	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	
VI	Maule	Rio Claro	Rio Claro	4	2	1	0	7
XVI	Ñuble	Rio Itata	Rio Itata entre Estero Trilaleo y Rio Diguillin	0	1	1	4	6
XVI	Ñuble	Rio Diguillin	Rio Diguillin entre Rio Renegado y bajo junta E. Danquileo	0	0	1	3	4
IX	La Araucania	Rio Bio	Rio Bio-Bio Hasta Bajo Junta Rio Rucanuco	3	4	4	3	14
IX	La Araucania		Rio Bio-Bio Entre Rio Rucañuco y Rio Pehuenco					
IX	La Araucania		Rio Bio-Bio Entre Arriba Junta Rio Pehuenco y Bajo Rio Pichipehuenco					
IX	La Araucania		Rio Bio-Bio entre Rio Pichipehuenco y Rio Lonquimay					
IX	La Araucania		Rio Bio-Bio Entre Rio Lonquimay Y Rio Ranquil					
IX	La Araucania		Rio Bio-Bio Entre Arriba Junta Rio Ranquil y Rio Lamin					
VIII	Biobio		Rio Bio-Bio Entre Rio Ranquil y Baujo Junta Rio Butaco					
VIII	Biobio		Rio Bio-Bio Entre Rio Butaco y Rio Queuco					
VIII	Biobio		Rio Bio-Bio entre Rio Queuco y Rio Lirquen					
VIII	Biobio		Rio Bio-Bio Entre Rio Lirquen y Bajo Estero Pile (Calbuco)					
VIII	Biobio	Rio Duqueco	Rio Duqueco Entre Bajo Rio Coreo y Bio-Bio	0	0	0	4	4
IX	La Araucania	Rio Lonquimay	Rio Lonquimay	0	4	0	1	5
VIII/IX	Biobio	Rio Huequecura	Rio Huequecura	1	0	1	0	2
VIII/IX	Biobio/Araucania	Rio Renaico	Rio Renaico Entre Rio Luanrelun y Rio Mininco	1	0	0	1	2
VIII	Biobio	Rio Laja	Rio Laja Entre Desague Laja y Rio Polcura	3	3	0	4	10
VIII	Biobio		Rio Laja Entre Estero Polcura y Rio Rucue					
XVI/VIII	Ñuble/Biobio		Rio Laja Entre Rio Rucue y Estero Alcapan					
VIII	Biobio	Rio Rucue	Rio Rucue	1	1	0	1	3
VIII	Biobio	Rio Caliboro	Rio Caliboro	0	0	1	1	2
IX	La Araucania	Rio Quino	Rio Quino Bajo Junta Estero Pua	0	2	0	4	6
IX	La Araucania	Rio Cautin	Rio Cautin Bajo Junta Estero Lefuco	0	4	0	4	8
IX	La Araucania		Rio Cautin Entre Estero Collico y Bajo Junta Rio Blanco					
IX	La Araucania		Rio Cautin Entre Rio Blanco y Estero Guacolda					
IX	La Araucania	Rio Quepe	Rio Quepe Bajo Rio Calbuco	0	2	0	2	4
IX	La Araucania		Rio Quepe Entre Rio Calbuco Y bajo Estero Hunaco					
IX	La Araucania	Rio Trafultraful	Rio Trafultraful	0	4	0	1	5
IX	La Araucania	Rio curaco	Rio curaco	0	4	0	4	8
IX	La Araucania	Rio truncura	Rio truncura	2	4	0	1	7
IX	La Araucania		Rio Pucón Entre Rio Cavisani y Rio Curileufu					

Continuación tabla anterior.

Region		Rio		Criterios de selección				
IX	La Araucania	Rio Pucon	Rio Pucon Entre Rio Cavisani y Rio Curileufu	2	4	1	2	9
IX	La Araucania		Rio Pucon Entre Rio Curileufu y Desembocadura Lago Villarrica					
IX	La Araucania	Lago Villarrica	Lago Villarrica	4	4	1	4	13
IX	La Araucania	Rio Tolten	Rio Tolten Entre Desague Lago Villarrica y Rio Pedregoso	1	2	0	1	4
XIV	Los Rios	Desague Lago	Desague Lago Pirehueico	1	0	0	0	1
XIV	Los Rios	Rio Fuy	Rio Fui Entre Desague Lago Pirehueico y Rio Neltume	3	2	1	0	6
XIV	Los Rios	Rio Neltume	Rio Neltume Entre Arriba Rio Reyehueico y Rio Fui	0	1	1	0	2
XIV	Los Rios	Rio Llanquihue	Rio Llanquihue Entre Junta Rios Fui y Neltume y Desembocadura en Lago Panguipulli	3	2	2	1	8
XIV	Los Rios	Rio Coñaripe	Rio Coñaripe en Desembocadura Lago Calafquen	2	2	0	1	5
XIV	Los Rios	Lago Panguipulli	Lago Panguipulli	3	1	2	1	7
XIV	Los Rios	Rio Huenehue	Rio Huenehue Entre Desague Lago Calafquen y Lago Panguipulli	2	0	0	1	3
XIV	Los Rios	Rio Enco	Rio Enco	3	2	1	1	7
XIV	Los Rios	Rio San Pedro	Rio San Pedro Entre Desague Lago Rifiñue y Bajo Rio Mañio	2	0	1	2	5
XIV	Los Rios		Rio San Pedro Entre Rio Mañio y Rio Quinchilca					
XIV	Los Rios	Rio Quinchilca	Rio Quinchilca Entre Rio Remehue y Rio Pichico	0	0	0	1	1
XIV	Los Rios	Rio Calle Calle	Rio Calle Calle Entre Junta Rio San Pedro Y Rio Quinchilca Bajo Rio Cuicuileufu	2	0	1	4	7
XIV	Los Rios	Rio Pillanleufu	Rio Pillanleufu	0	2	1	0	3
XIV	Los Rios	Rio Caunahue	Rio Caunahue	1	2	1	0	4
XIV	Los Rios	Rio Calcurrupe	Rio Calcurrupe	1	0	1	1	3
XIV	Los Rios	Lago Ranco	Lago Ranco	3	2	1	2	8
XIV	Los Rios	Rio Bueno	Rio Bueno Entre Lago Ranco y Bajo Rio Ralitrán	3	2	1	4	10
XIV	Los Rios		Rio Bueno Entre Rio Ralitrán y Rio Illehue					
XIV	Los Rios	Rio Pilmaiquen	Rio Pilmaiquen Entre Rio Chirri y Rio Bueno	0	0	0	4	4
X	Los Lagos	Rio Coihueco	Rio Coihueco Entre Rio Blanco y Rio Rahue	0	1	0	1	2
X	Los Lagos	Rio Lenca	Rio Lenca	0	2	0	0	2
X	Los Lagos	Costeras Entre Rio Chilco y Rio Petrohuee	Costeras Entre Rio Chilco (Excluido) y Rio Petrohue	0	1	0	0	1
X	Los Lagos	Lago Todos	Lago Todos Los Santos	2	4	1	1	8
X	Los Lagos	Rio Hueñu	Rio Hueñu-Hueñu	1	3	1	0	5

Continuación tabla anterior.

Region		Rio		Criterios de selección				
X	Los Lagos	Rio Manso	Rio Manso Entre Rio Steffen y Rio Puelo 338	2	0	1	0	3
X	Los Lagos	Rio Puelo	Rio Puelo Entre Frontera y Rio Ventisquero	3	2	2	0	7
X	Los Lagos		Rio Puelo Entre Arroyo Ventisquero y Bajo Rio Negro					
X	Los Lagos		Rio Puelo Entre Rio Negro y Rio Manso					
X	Los Lagos		Rio Puelo Entre Rio Manso y Desague Laguna Tagua Tagua					
X	Los Lagos		Rio Puelo Entre Desague Laguna Tagua Tagua y Desembocadura					
X	Los Lagos		Costeras Entre Rio Puelo y Punta Trentelhue					
X	Los Lagos	Rio Espolon	Lago Espolon y Rio Espolon en Junta Rio Futaleufu	4	1	2	1	8
X	Los Lagos	Rio Futaleufu	Rio Futaleufu entre frontera y Rio Azulado	4	2	4	1	11
X	Los Lagos		Rio Futaleufu arriba Rio Azulado y Rio Azul					
X	Los Lagos		Rio Futaleufu entre arriba Rio Azul y Lago Yelcho					
X	Los Lagos	Rio Yelcho	Lago Yelcho	4	3	2	1	10
X	Los Lagos		Rio Yelcho entre Desague lago Yelcho y Rio Amarillo					
X	Los Lagos		Rio Yelcho entre Rio Amarillo y Desembocadura					
X	Los Lagos	Rio Palena	Rio Palena entre frontera y bajo Rio Salto o Tigre 782	2	3	1	4	10
X	Los Lagos		Rio Palena entre Rio Salto y Rio Tranquilo 201					
X	Los Lagos		Rio Palena entre arriba Rio Tranquilo y Rio Frio 534					
XI	Aysén		Rio Palena entre Rio Frio y Rio Rosselot					
XI	Aysén		Rio Palena entre Rio Rosselot y Rio Risopatron					
XI	Aysén	Rio Palena entre Rio Risopatron y Rio Sin Nombre						
XI	Aysén	Rio Palena entre Rio Sin Nombre y Desembocadura						
XI	Aysén	Rio Risopatron	Rio Risopatron	0	1	1	4	6
XI	Aysén	Rio Figueroa	Rio Figueroa entre Rio Pico y Rio Rosselot	2	3	2	0	5
XI	Aysén	Rio Pico	Rio Pico entre frontera y Rio Figueroa	1	1	0	1	3
XI	Aysén	Rio Cisnes	Rio Cisnes entre Rio Caceres y bajo Arroyo Quemadas	3	2	3	4	12
XI	Aysén		Rio Cisnes entre Arroyo Quemadas y Rio Grande Esperanza					
XI	Aysén		Rio Cisnes entre Rio Grande Esperanza y Desembocadura					
XI	Aysén	Rio Ñirehuao	Rio Ñirehuao hasta Rio Norte	1	1	1	1	4
XI	Aysén		Rio Ñirehuao entre Rio Norte y Rio Picaflor					
XI	Aysén		Rio Ñirehuao entre Rio Picaflor y Rio Cañon					

Continuación tabla anterior.

XI	Aysén	Rio Picaflor	Rio Picaflor entre arriba Rio turbio y Rio Ñiregua	0	1	0	0	1
XI	Aysén		Rio Picaflor hasta Rio Turbio					
XI	Aysén	Rio Emperador	Rio Emperador Guillermo	2	3	1	0	6
XI	Aysén	Rio Mañihuales	Rio Mañihuales entre Rio Canon y Rio Aisen	3	2	0	2	7
XI	Aysén	Rio Simpson	Rio Simpson entre Rio Blanco y Rio Pollux	4	4	2	4	14
XI	Aysén		Rio Simpson entre Rio Pollux y Rio Coihaique					
XI	Aysén		Rio Simpson entre Rio Coyhaique y bajo Rio Correntoso					
XI	Aysén		Rio Simpson entre Rio Correntoso y Rio Aysen					
XI	Aysén	Rio Pollux	Rio Pollux	1	1	1	4	7
XI	Aysén	Rio Coyhaique	Rio Coyhaique	2	3	1	2	8
XI	Aysén	Rio Aysen	Rio Aysen entre Junta Maniguales - Simpson y Rio Riesco	3	2	2	4	11
XI	Aysén		Rio Aysen entre Rio Riesco y desembocadura					
XI	Aysén	Rio Riesco	Rio Riesco entre Desague Laguna Riesco y Rio Aysen (Rio Guaquer)	1	2	1	4	8
XI	Aysén	Rio Pangal	Rio Pangal en junta Rio de Los Palos	0	1	0	2	3
XI	Aysén	Costeras rios murta y delta	Costeras entre Rio Murta y Rio Delta	0	2	0	1	3
XI	Aysén	Rio Jeinimeni	Rio Jeinimeni a lo largo frontera	0	2	0	0	2
XI	Aysén	Costeras entre	Costeras entre Rio Jeinemeni y Rio San Jose	0	2	0	1	3
XI	Aysén	Rio San	Rio San Jose	0	2	0	0	2
XI	Aysén	Rio Chacabuco	Rio Chacabuco bajo Rio Pedregoso	0	4	0	1	5
XI	Aysén	Rio Chacabuco	Rio Chacabuco entre Rio Pedregoso y Estero baker					
XI	Aysén	Rio Cochrane	Lago y Rio Cochrane	1	3	1	1	6
XI	Aysén	Rio del Salto	Rio del Salto entre Rio Tranquilo y Rio baker	0	1	0	1	2
XI	Aysén	Rio Baker	Rio Baker entre Rio Chacabuco y Rio de la Colonia	3	4	2	1	10
XI	Aysén		Rio Baker entre Rio de la Colonia y Rio de los Ñadis					
XI	Aysén		Rio Baker entre Rio del Paso y desembocadura					
XI	Aysén	Rio de los Ñadis	Rio de los Ñadis entre arriba Estero el Corral y Rio Baker	0	1	0	0	1
XII	Magallanes	Lago del Toro	Lago del Toro	3	3	0	0	6
XII	Magallanes	Rio de Grey	Rio de Grey	2	3	2	0	5
XII	Magallanes	Rio Serrano	Rio Serrano entre Lago del Toro y desembocadura	2	3	2	0	7
XII	Magallanes	Rio Azopardo	Rio Azopardo (L. Faguano o Cami) desde frontera	0	3	0	0	3
XII	Magallanes	Rio Grande	Rio Grande hasta confluencia con Rio Rusphen (incluido)	2	0	1	0	3
XII	Magallanes	Lago Lynch	Lago Lynch y Rio Grande hasta antes Rio Grande	0	0	0	0	0
XII	Magallanes	Lago Blanco	Lago Blanco y Rio Blanco	3	0	1	0	4
XII	Magallanes	Rio Cochrane	Rio Cochrane y grande hasta frontera	1	0	1	0	2
XII	Magallanes	Rio Rasmussen	Rio Rasmussen y sus afluentes hasta frontera	0	0	0	0	0
XII	Magallanes	Lago Deseado	Lago Deseado y afluentes Rio de la Turba o Menende	1	3	0	0	4

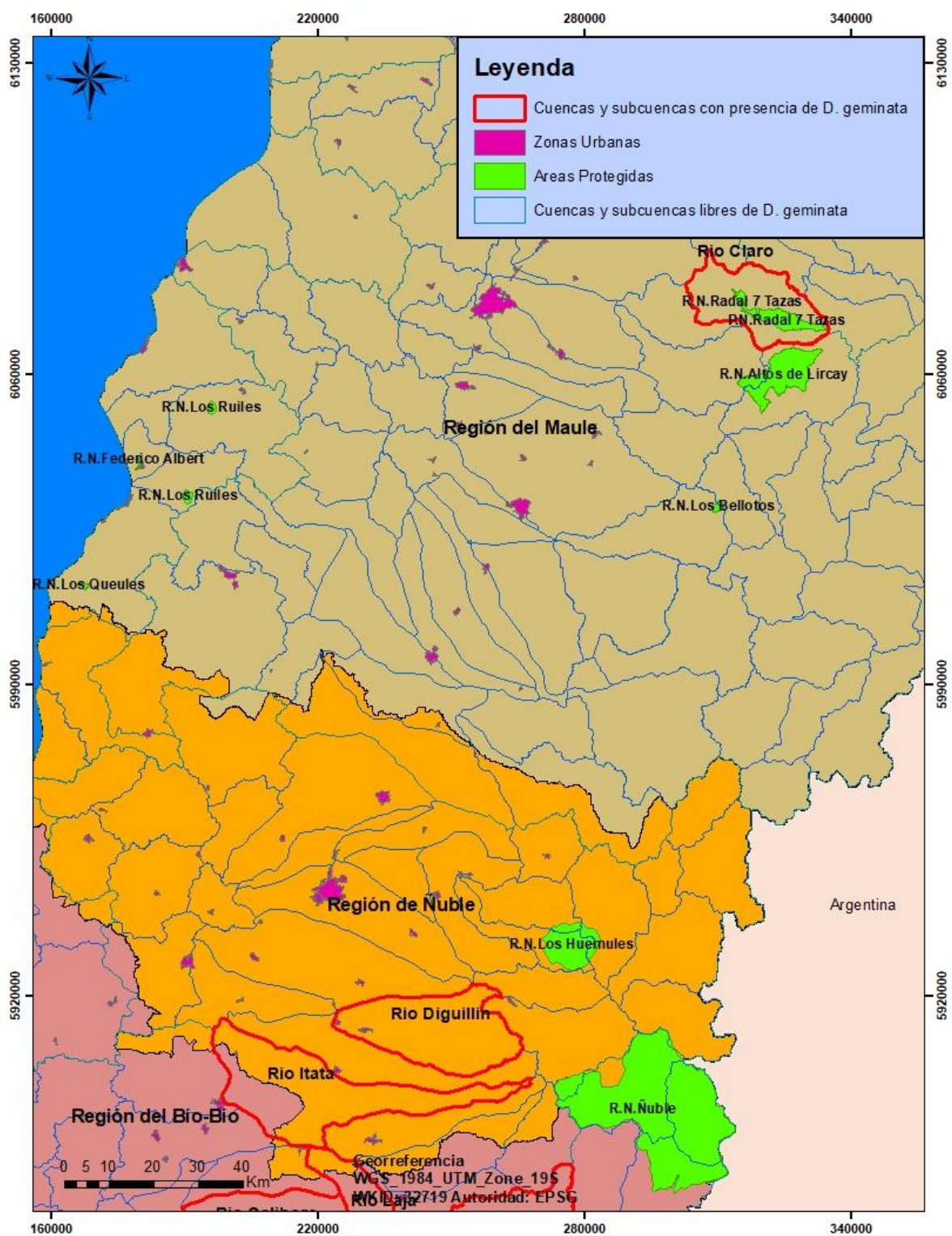


Figura 14. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en las regiones de Ñuble y Maule.

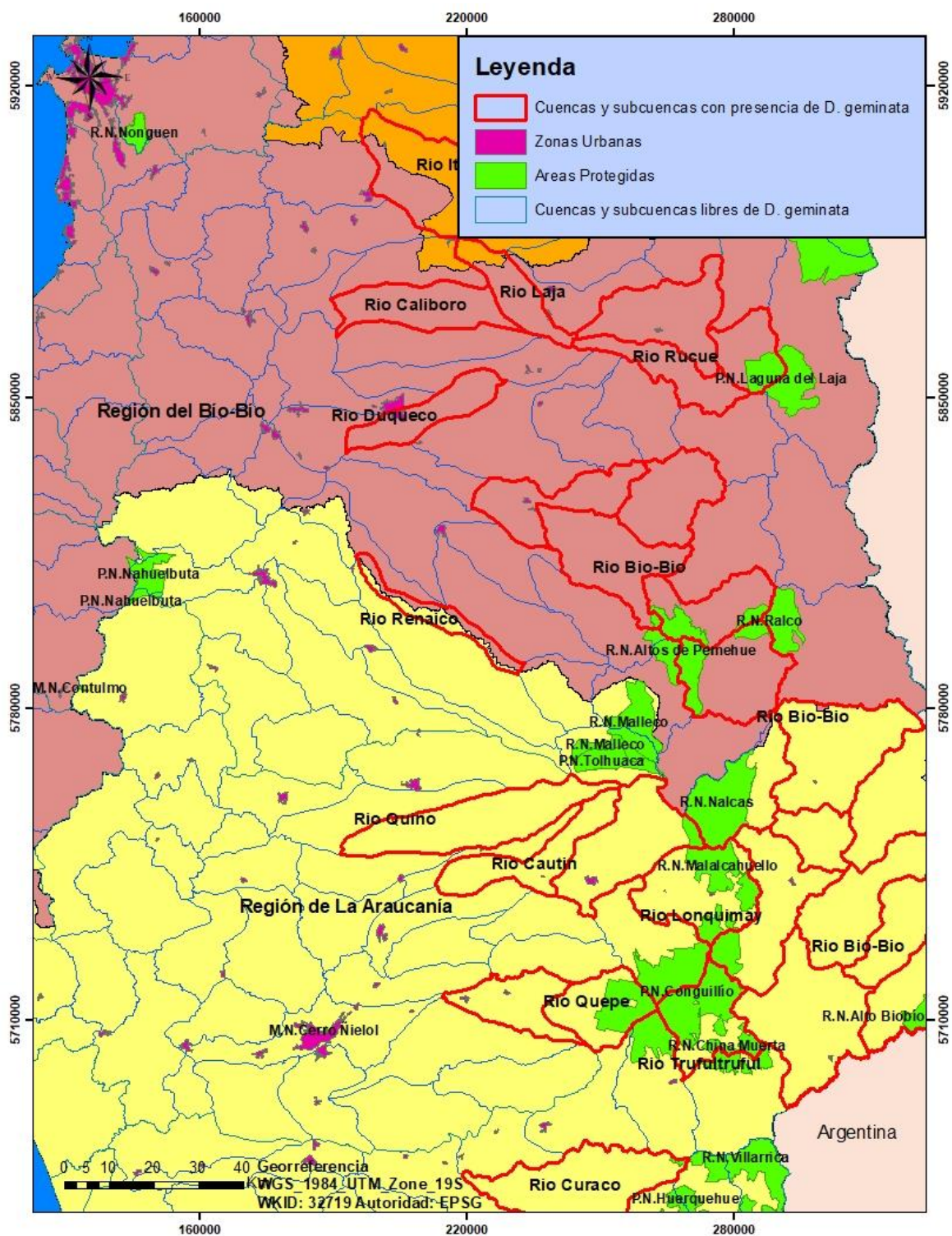


Figura 15. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en las regiones del Bio-Bio y parte de la Araucanía.

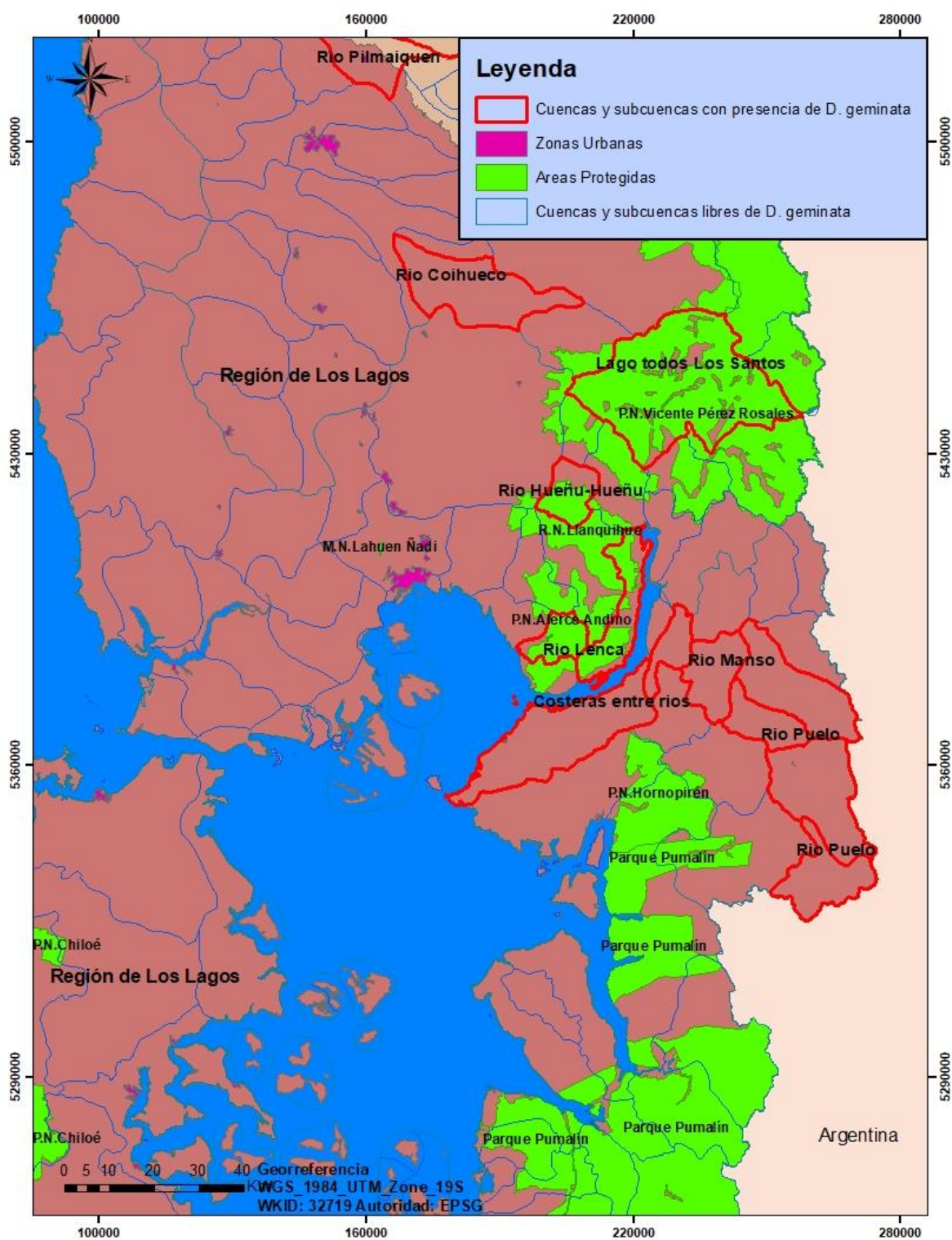


Figura 17. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en parte de la región de Los Lagos.

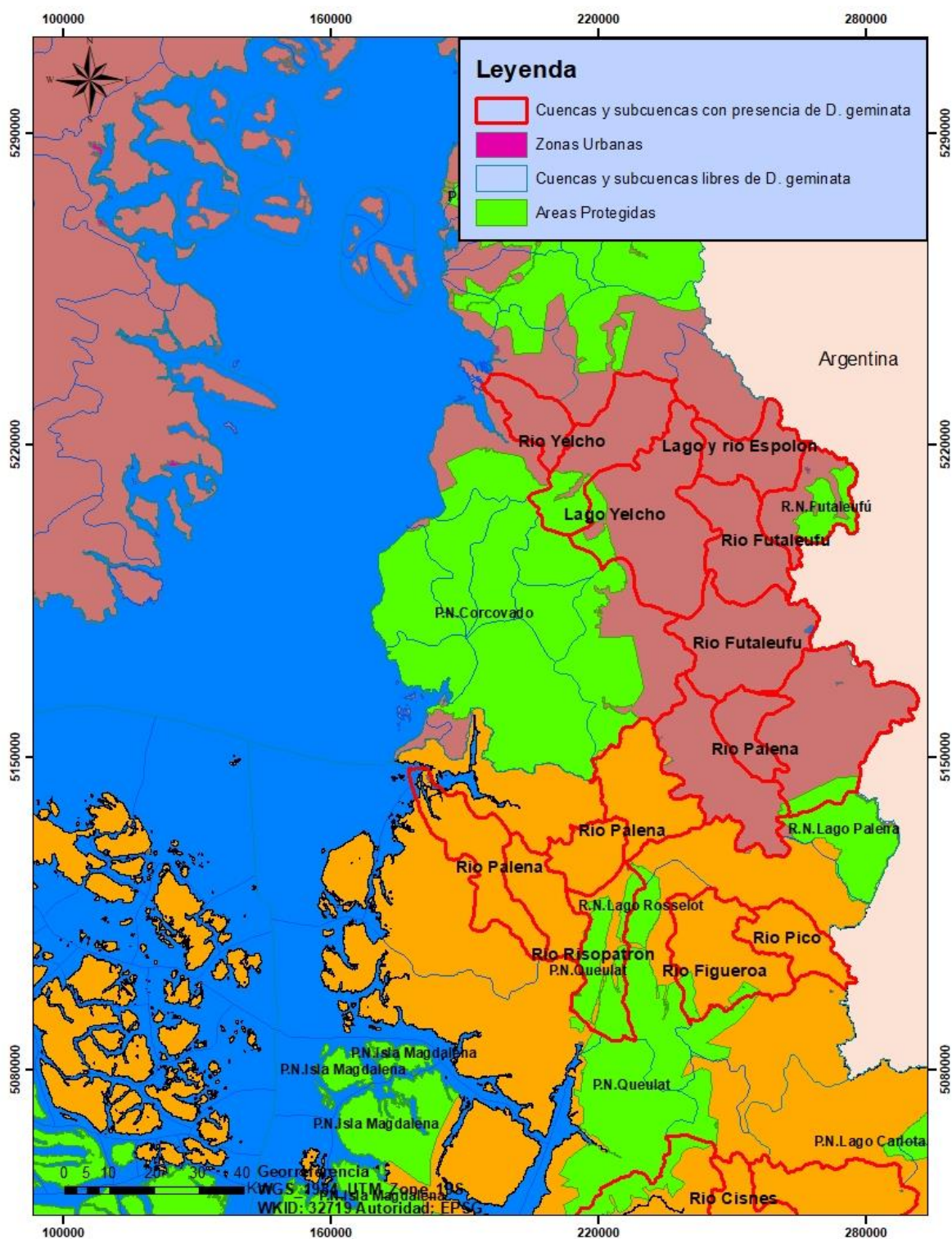


Figura 18. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en parte de la región de Los Lagos y parte de la región de los Aysén.

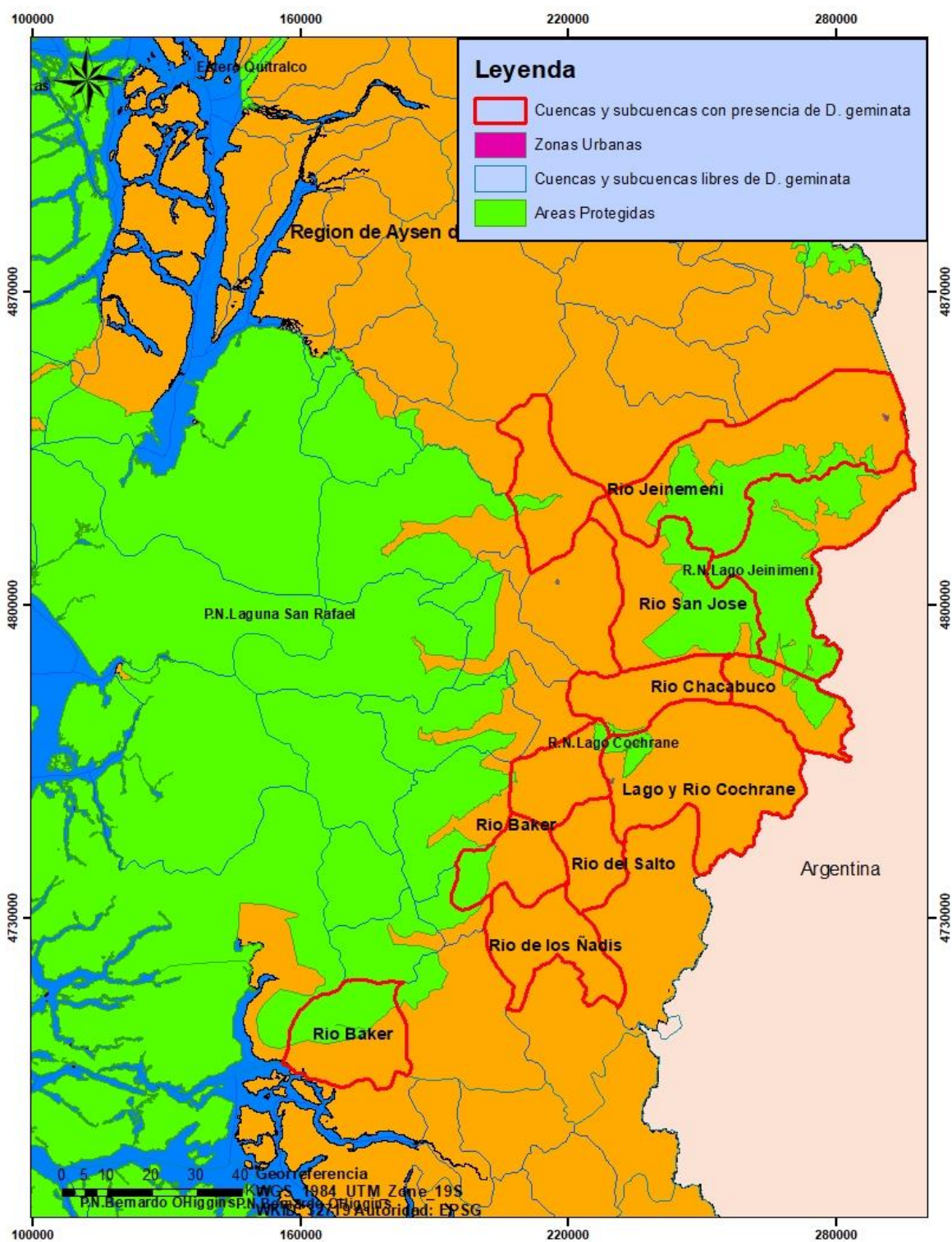


Figura 20. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en parte de la región de Aysén.

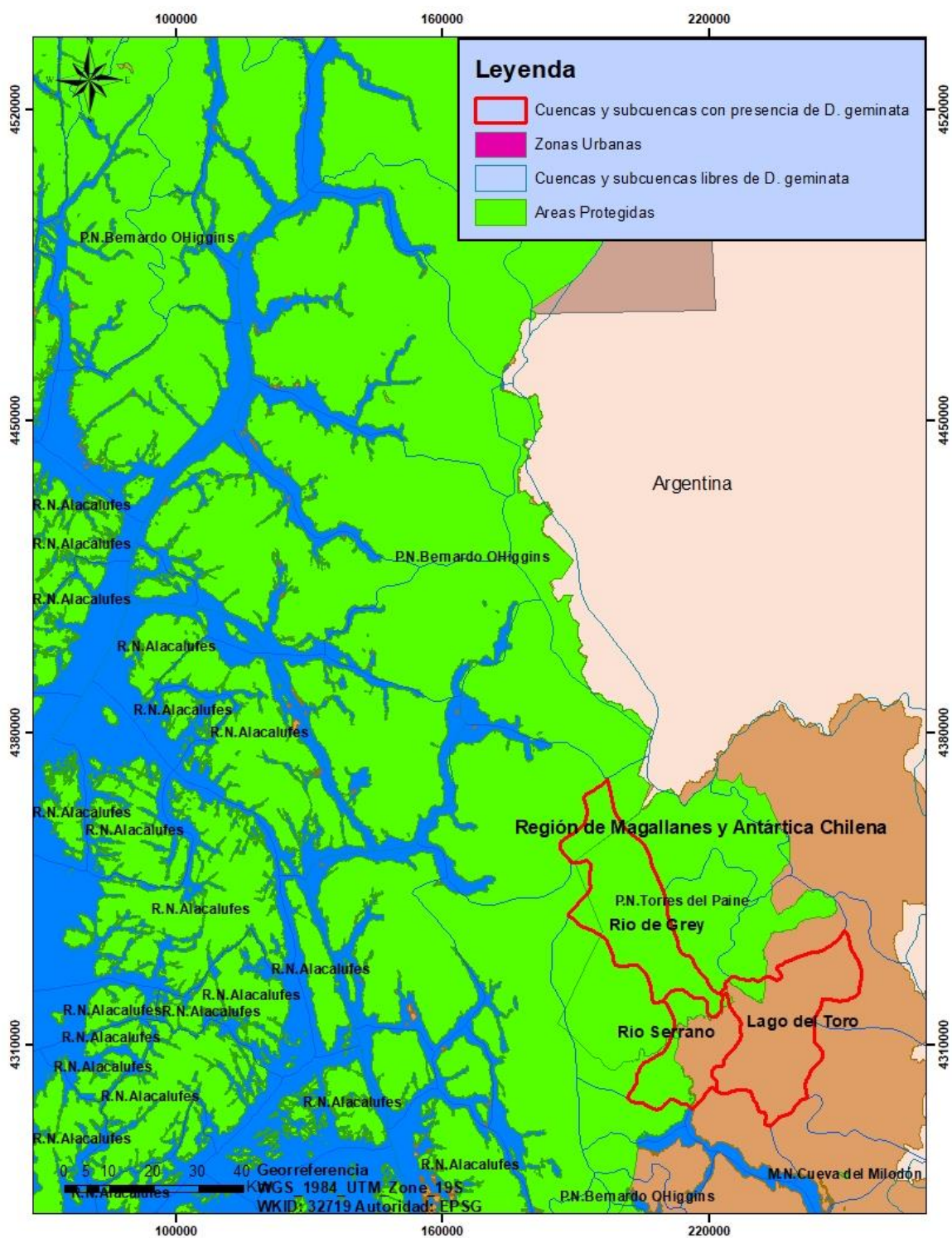


Figura 21. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en parte de la región de Magallanes.

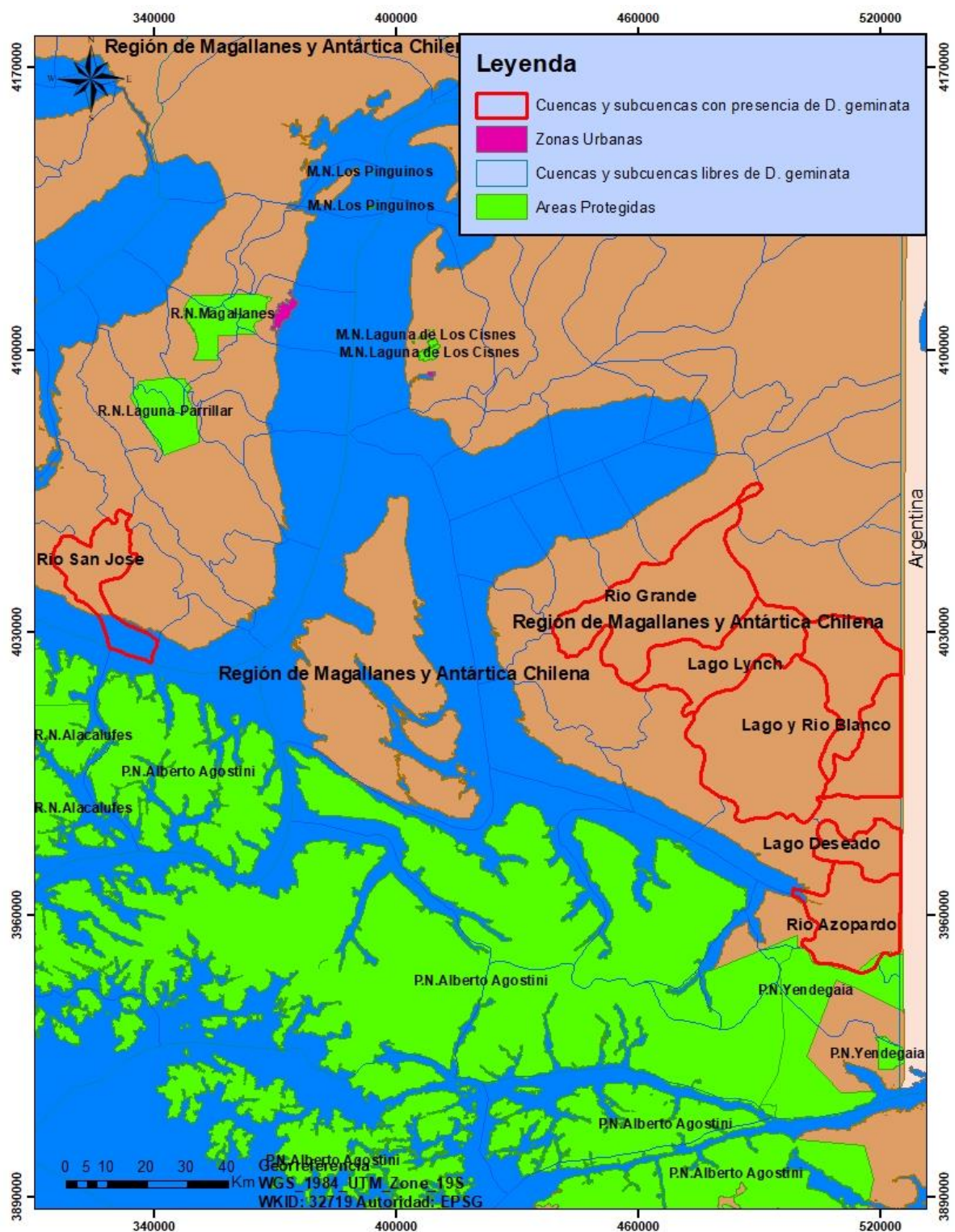


Figura 22. Mapa de los ríos con presencia de *D. geminata* en parte de la región de Magallanes.

