

## Comunidad fitobentónica en las floraciones de *Didymosphenia geminata* en la cuenca del río Futaleufú

### Phytobenthic community in the blooms of *Didymosphenia geminata* in the Futaleufú river basin

Norma H Santinelli<sup>1\*</sup>, Alicia V Sastre<sup>1</sup>, Noelia M Uyua<sup>1</sup>, Gabriela Ayestaran<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación de Hidrobiología, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Gales 48. Trelew, Chubut, Argentina.

\* normasn@hotmail.com

#### Resumen

*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt es una diatomea de agua dulce, originaria del hemisferio norte, que genera proliferaciones mucilaginosas en aguas oligotróficas. *D. geminata* se ha expandido rápidamente con éxito fuera de su rango de distribución nativo en la última década, invadiendo ríos y lagos de Nueva Zelanda, Argentina y Chile. En el caso de Argentina todas las cuencas invadidas son de gran importancia recreativa, y en la mayoría de los casos pertenecen a Áreas Protegidas. La primera cuenca invadida en Argentina fue la del río Futaleufú. El objetivo de este estudio fue analizar la composición de la comunidad durante el período comprendido entre el mes de julio 2010 y noviembre de 2013 y evaluar el efecto de la presencia de *D. geminata* en la composición de la comunidad fitobentónica y especies de hábitat fitoplanctónico presentes. Se identificaron 59 taxa de Bacillariophyta, 10 taxa de Chlorophyta, 6 taxa de Charophyta, 2 taxa de Euglenozoa, 1 taxón de Miozoa, 2 taxa de Ochrophyta, y 6 taxa de Cyanobacteria. Durante la presencia de floraciones de *D. geminata*, se observa una disminución en la presencia de Divisiones Algales. Se destaca en este trabajo la detección de floraciones de la diatomea bentónica *Gomphoneis patagoniana* en sitios específicos del tramo inferior del río y la coexistencia de estas floraciones cuando se produce la invasión de *D. geminata*. En cuanto a la riqueza específica y al índice de diversidad de Shannon-Wiener, la comunidad presenta una menor riqueza en especies y una disminución del índice de diversidad durante el periodo en los que ya está instalada la invasión de didymo. Este trabajo constituye el primer reporte de la composición del fitobentos en este tramo del río antes de su ingreso a territorio chileno.

**Palabras Clave:** Fitobentos, *Didymosphenia geminata*, *Gomphoneis patagoniana*, Patagonia, cuenca río Futaleufú, invasión

## Abstract

*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt is a freshwater diatom, native to the northern hemisphere, that generates mucilaginous proliferations in oligotrophic waters. It has rapidly expanded successfully outside its native range in the last decade, invading rivers and lakes in New Zealand, Argentina, and Chile. In Argentina, all the invaded basins are of great recreational importance, and in most cases they belong to Protected Areas. The first basin invaded in Argentina belongs to the Futaleufú River. The objective of this study was to analyze the composition of the microalgae community, between July 2010 and November 2013 and to evaluate the effect of the presence of *D. geminata* on the community of microalgae. 59 Bacillariophyta taxa, 10 Chlorophyta taxa, 6 Charophyta taxa, 2 Euglenozoa taxa, 1 Dinzoa taxón, 2 Ochrophyta taxa, and 6 Cyanobacteria taxa were identified. During the presence of *D. geminata* blooms, a decrease in the presence of Algal Divisions is observed in terms of the structure of the benthic microalgae community, with only diatoms and some chlorophyte represented. The detection of the benthic diatom *Gomphoneis patagoniana* blooms and the coexistence of these blooms when the invasion of *D. geminata* occurs is highlighted in this work. Regarding the specific richness and the Shannon-Wiener diversity index of the community, they show lower species richness and a decrease in the diversity index during the period in which the invasion is already installed. This study constitutes the first report of the composition of the microalgae community for this section of the river, before moving to Chilean territory.

**Keywords:** Phytobentos, *Didymosphenia geminata*, *Gomphoneis patagoniana* Patagonia, Futaleufú river basin, invasion

## Introducción

*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt es una diatomea de agua dulce, originaria del hemisferio norte, que genera proliferaciones mucilaginosas en aguas oligotróficas (Kilroy y Novis, 2018). *D. geminata* se ha expandido rápidamente con éxito fuera de su rango de distribución nativo en la última década, invadiendo ríos y lagos de Nueva Zelanda, Argentina y Chile (Reid *et al.*, 2012). Los sistemas

invadidos tienen agua transparente y fría con concentraciones de nutrientes reducidos y bajos o medios niveles de intervención antropogénica en la Patagonia. Todas las cuencas invadidas son de gran importancia recreativa, muchas de ellas se encuentran dentro de áreas protegidas como los Parques Nacionales Los Alerces, Lago Puelo, Nahuel Huapi, y Lanín, (Lamaro *et al.*, 2018) y más recientemente del Parque

Nacional Los Glaciares (Uyua *et al.*, 2020). La dispersión de esta diatomea se asocia principalmente con el transporte humano por el uso de equipos de pesca recreativa y deportiva, mientras que el desarrollo de un gran número de pedúnculos se ha asociado principalmente con fósforo reactivo soluble en concentraciones por debajo de 2 ppb (Kunza *et al.*, 2018). Sin embargo, durante las últimas dos décadas, grandes floraciones de *D. geminata* fueron confirmadas para una amplia gama de ambientes prístinos, pero también de alta concentración de nutrientes en cientos de ríos en Europa, América del Norte y del Sur, India y Nueva Zelanda (Gillis *et al.*, 2018; Kawecka y Sanecki, 2003; Reid *et al.*, 2012; Bothwell *et al.*, 2014). La proliferación consiste en el desarrollo masivo de pedúnculos mucilaginosos de células de *D. geminata*, que cubren extensas áreas de sustrato bentónico. En consecuencia, favorece la creación de hábitats más homogéneos con bajos niveles de hidráulica en el que surgen tensiones que promueven el intercambio de solutos y favorecen la proliferación y expansión de las masas mucilaginosas (Bray *et al.*, 2017 a y b). Los cambios en el hábitat físico pueden desplazar o favorecer ciertas especies del bentos (Figueroa *et al.*, 2018), modificando la estructura trófica del ecosistema acuático,

alterando los patrones de diversidad alfa y beta en diferentes escalas espaciales (Gillis & Chalifour, 2010). En la actualidad la presencia de *D. geminata* está confirmada desde los 38° a los 56° Latitud Sur y desde los 73° a los 67° Longitud Oeste, lo que no significa que su distribución no pueda ser más amplia (Lamaro *et al.*, 2019).

Para comprender el proceso de invasión de *D. geminata* es crucial comprender sus efectos en las comunidades bentónicas y el hábitat fluvial, y así dilucidar sus impactos en la integridad de los ecosistemas de agua dulce. *D. geminata* ha sido descrita como la única diatomea de agua dulce que produce grandes cantidades de material mucilaginoso (Blanco & Ector, 2009), lo que puede alterar las condiciones físicas y biológicas de los sistemas acuáticos (Spaulding & Elwell, 2007). Este claro impacto negativo de *D. geminata* sobre la salud de los ecosistemas y, por lo tanto, la sustentabilidad ambiental de la cuenca, tiene implicancias ecológicas, económicas, sociales y estéticas (Kilroy *et al.*, 2005; Kilroy & Dale, 2006; Campbell, 2005; Branson, 2006; Cullis *et al.*, 2012). Dentro de los estudios realizados en la cuenca del Futaleufú, referidos a comunidades fitoplanctónicas se pueden mencionar a Pizzolon *et al.* (1995) y Santinelli *et al.* (1998). Con posterioridad a estos trabajos no se han realizado

estudios referidos a microalgas, hidroquímica y zooplancton en esta cuenca.

El objetivo de este estudio fue analizar la composición de la comunidad de fitobentos, durante el período comprendido entre el mes de julio 2010, es decir, desde la detección de la floración de *D. geminata* en el río Espolón en Chile y la posterior invasión en el tramo inferior del río Futaleufú en Argentina, y evaluar el efecto de la presencia de *D. geminata* en la comunidad fitobentónica.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

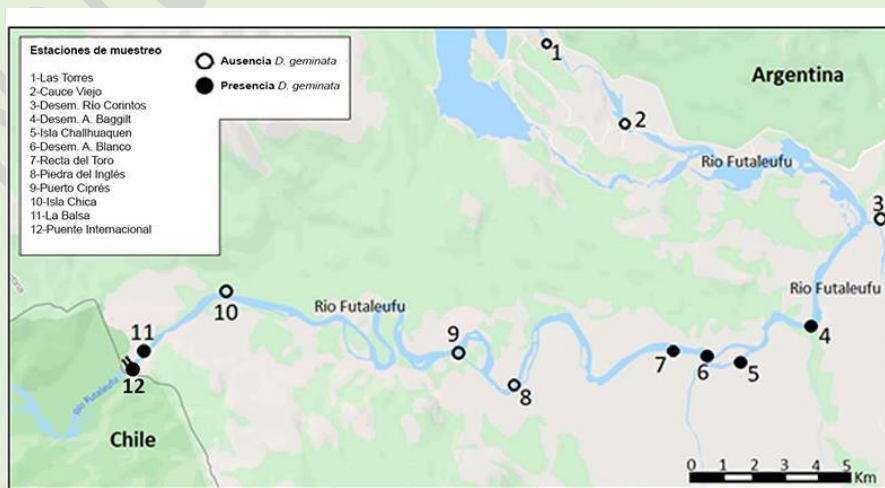
Las cabeceras del río Futaleufú son alimentadas por glaciares. Una gran cantidad de afluentes fluyen a través de una serie de lagos conectados que regulan el régimen del río. Los flujos aumentan durante la primavera debido a la lluvia al

comienzo del invierno y al derretimiento de nieve en primavera.

El río Futaleufú o río Grande, regulado por la presa de Futaleufú, es el final de este sistema que fluye hacia el sureste desde el extremo sur del embalse Amutui Quimey hacia su desembocadura al Océano Pacífico (IGN, 2018).

A lo largo de su curso recibe, desde la izquierda, la afluencia del río Corintos y algunos arroyos como el Baggilt y el Blanco, todos ellos en territorio argentino. Luego, continúa a lo largo de un amplio valle, cruza la frontera argentino-chilena, recibe como afluente al río Espolón y finalmente vierte sus aguas en el lago Yelcho, ya en territorio chileno (Sastre *et al.*, 2013).

El siguiente mapa (Figura 1) muestra el río Futaleufú y sus tributarios con los sitios de muestreo.



**Figura 1:** Estaciones de muestreo, ubicadas en el río Futaleufú.

**Figure 1:** Sampling stations, located on the Futaleufú river.

Se analizaron 110 muestras correspondientes a campañas realizadas en el marco del Programa de Monitoreo de la Diatomea Invasora *D. geminata* en la Provincia de Chubut.

En cada ambiente, se procedió a la toma de las muestras de fitobentos, comenzando desde aguas arriba hacia aguas abajo, evitando de esta manera transportar diferentes organismos desde aguas abajo hacia aguas arriba en un mismo ambiente. En cada sitio se realizó primeramente una exploración visual en busca de floraciones algales que pudieran corresponder a *D. geminata*. Luego se procedió a la toma de muestras epifíticas (raspado de sustrato vegetal) y/o epilíticas (raspado de sustrato rocoso). Se realizó un registro fotográfico y de georreferenciación de todos los sitios.

Al cambiar de ambiente se procedió a la desinfección de los equipos empleados en los muestreos (botas, waders, guantes y los elementos utilizados para la toma de la muestra), con una solución hipersalina (10%) de cloruro de sodio. Los elementos utilizados para la obtención de las muestras (embudos, cepillos etc.) fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio al 10% para evitar la contaminación en muestreos posteriores.

Las muestras obtenidas fueron colocadas en envases plásticos, fijadas con formol al 5% y rotuladas.

En laboratorio, las muestras fueron tratadas para eliminar la materia orgánica siguiendo el método descrito en Hasle y Fryxell (1970). Las destinadas a microscopía óptica (MO) se montaron en Naphrax® entre porta y cubreobjeto; y para microscopía electrónica de barrido (MEB) se montaron en tacos de vidrio y se recubrieron con oro-paladio.

Para la observación e identificación de las especies se utilizó un MO Olympus CX41 con contraste de fases. De cada muestra se analizaron tres submuestras. Para la posterior identificación de especies pertenecientes a las demás divisiones algales, se realizaron distintos tratamientos, siguiendo los protocolos descritos en Alveal *et al.* (1995). Para realizar el cálculo de abundancia relativa de las especies presentes se identificaron hasta 200 individuos en cada muestra con un microscopio óptico de 400X y 1000X (Bate y Newall 1998) por triplicado para dar un rango de abundancia relativa. Se registraron todas las especies presentes en las muestras, identificando las de hábitat bentónico como así también las de hábitat planctónico.

Las especies que presentaron dificultades en su identificación

taxonómica, fueron observadas con MEB Jeol JSM-6360LV en el Servicio de Microscopía Electrónica del Museo de La Plata. Las identificaciones taxonómicas se realizaron siguiendo a Ayestarán y Sastre (1995), Echenique & Guerrero (2003), Ferrario (1975), Ferrario *et al.* (1989), Gómez (1991), Gómez (1999), Hakkansson & King (1990), Krammer & Lange Bertalot (1991), Parra *et al* (1982a), Parra *et al* (1982b), Parra *et al* (1982c), Patrick & Reimer (1966), Patrick & Reimer (1975), <https://diatoms.org>.

La nomenclatura taxonómica siguió la página web <https://www.algaebase.org/>.

La especie que primeramente había sido identificada como *Gomphoneis minuta* (Sastre, 2010) es renombrada en este trabajo como *G. patagoniana* (Kociolek *et al.*, 2017).

Como parámetros de descripción de las comunidades, se utilizó la composición de las divisiones algales, calculando la abundancia relativa de cada división a la comunidad de microalgas bentónicas y especies fitoplanctónicas que aparecieron en las muestras. Se determinó la riqueza en especies y el índice de diversidad de Shannon-Wiener. Se calculó el % de frecuencia de las taxa presentes para cada una de las campañas realizadas. Se realizó un test no paramétrico de Kruskal Wallis para estimar si existían diferencias significativas en la riqueza en especies, en los sitios colonizados por *D.geminata* y los no colonizados.

## Resultados

La Tabla I muestra los taxa identificados

**Tabla I:** Taxa identificadas en el río Futaleufú y tributarios

**Table I:** Taxa identified in the Futaleufú river and tributaries

**BACILLARIOPHYTA**

*Discostella stelligera* (Cleve & Grunow)  
Houk & Klee

*Melosira varians* C.Agardh  
*Urosolenia eriensis* (H.L.Smith) Round  
& R.M.Crawford

*Stephanodiscus* sp. Ehrenberg  
*Asterionella formosa* Hassall  
*Diatoma anceps* (Ehrenberg) Kirchner  
*Diatoma elongata* (Lyngbye) C.Agardh  
*Diatoma vulgare* Bory

*Fragilaria crotonensis* Kitton  
*Fragilaria construens* (Ehrenberg)  
Grunow  
*Fragilariforma bicapitata* (A.Mayer)  
D.M.Williams & Round  
*Eunotia glacialis* F.Meister  
*Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M.Patrick  
*Meridion circulare var constrictum*  
(Ralfs) Van Heurck

*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère  
*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Cymbella affinis* Kützing  
*Cymbella cistula* (Ehrenberg) O.Kirchner

*Cymbella cymbiformis* C.Agardh  
*Encyonema leibleinii* (C.Agardh)  
W.J.Silva, R.Jahn, T.A.V.Ludwig, &  
M.Menezes

*Encyonema ventricosum* (C.Agardh)  
Grunow  
*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann

*Amphora ovalis* (Kützing) Kützing  
*Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve  
*Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve  
*Frustulia romboides* (Ehrenberg) De  
Toni  
*Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni  
*Brachysira serians var. acuta* (Hustedt)

Vyverman  
*Gomphonema olivacea* (Hornemann)  
Rabenhorst  
*Gomphonema pseudotenellum* Lange-  
Bertalot  
*Gomphonema truncatum* Ehrenberg

*Gomphonema gibba* J.H.Wallace  
*Gomphonema* sp.  
*Gomphoneis patagoniana* Kociolek &

S.E.Sala  
*Gyrosigma acuminatum* (Kützing)  
Rabenhorst  
*Achnanthes* sp.  
*Navicula capitatoradiata* H.Germain e  
Gasse  
*Navicula peregrina* (Ehrenberg)

Kützing

*Navicula tripunctata* (O.F.Müller) Bor  
*Navicula walkeri* Sovereign  
*Navicula cryptocephala* Kützing

*Navicula* sp. Bory  
*Pinnularia* sp. Ehrenberg  
*Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh)  
Lange-Bertalot

*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson  
*Epithemia sorex* Kützing  
*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O.Müll  
*Rhopalodia gibberula var. vanheurckii*  
O.Müller

*Nitzschia acicularis* (Kützing) W.Smitl  
*Nitzschia vermicularis* (Kützing)

Hantzsch  
*Nitzschia linearis* W.Smith

*Nitzschia* sp.  
*Surirella librile* (Ehrenberg) Ehrenberg  
*Surirella splendida* (Ehrenberg)

Ehrenberg

*Surirella* sp Turpin  
*Pennadas* n/i

**CHLOROPHYTA**

*Actinastrum* sp. Lagerheim  
*Cladophora* sp. Kützing  
*Microscopora* sp. Thuret  
*Pandorina morum* (O.F.Müller) Bory  
*Pediastrum* sp.Meyen  
*Planktosphaeria gelatinosa* G.M.Smitl  
*Scenedesmus* sp. Meyen  
*Stigoeclonium* sp. Kützing

*Cloroficeas Oedogoniales*  
*Cloroficea Ulotrichales*

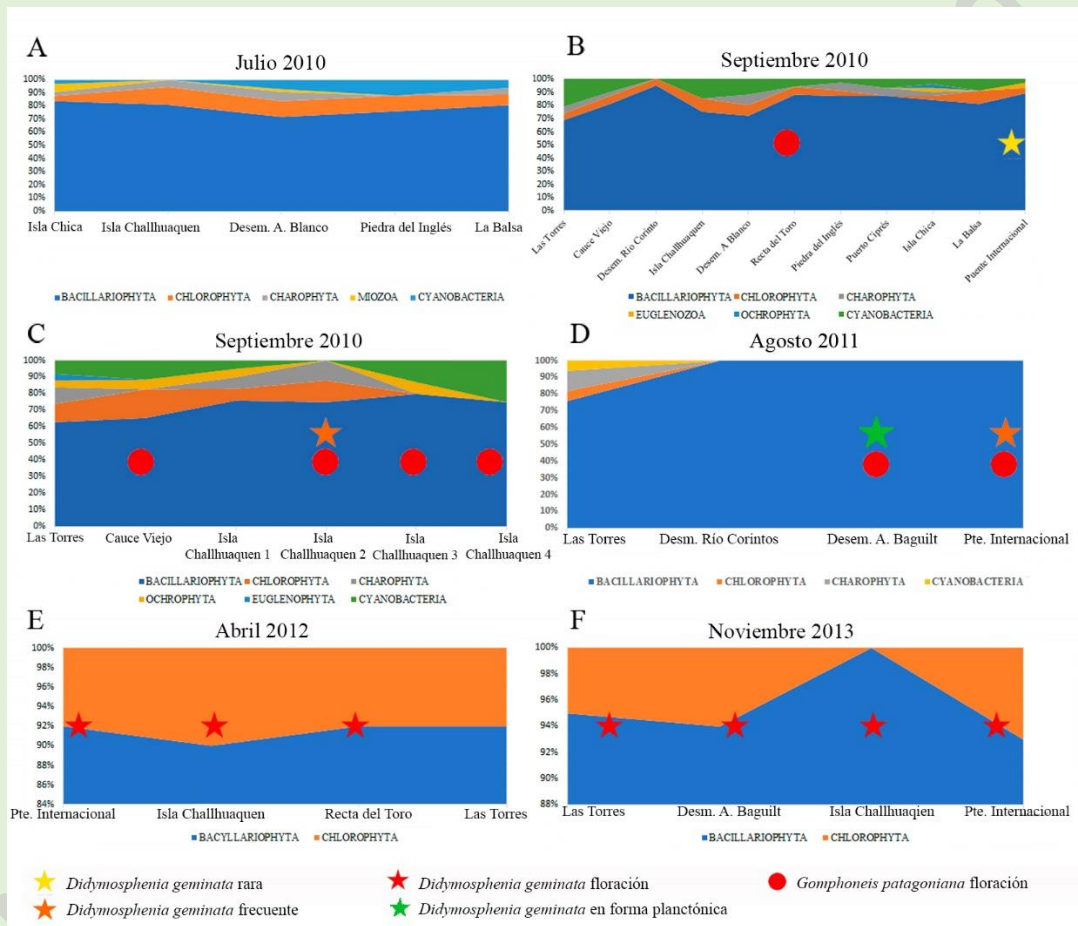
**CHAROPHYTA**

*Closterium ehrenbergii* Meneghini ex  
Ralfs

Se identificaron un total de 59 Bacillariophyta (diatomeas), 10 Chlorophyta (clorofitas), 6 Charophyta (carofitas), 2 Euglenozoa (euglenozoa), 1 Miozoa (dinoflagelado), 2 Ochrophyta (ocrofitas) y 6 Cyanobacteria (cianobacterias).

### Composición de la comunidad

La fig. 2 agrupa los resultados obtenidos referidos a la composición de la comunidad de en el río Futaleufú A) Julio 2010, B) Setiembre 2010, C) Diciembre 2010, D) Agosto 2011, E) Abril 2012 y F) Noviembre 2013.



**Figura 2:** Porcentaje de especies y/o taxa de la comunidad de fitobentós y especies de hábitat fitoplanctónico, presentes en el tramo inferior del río Futaleufú.  
**Figure 2:** Percentage of species and/or taxa of the phyto-benthic community and species of phytoplankton habitat present in the lower section of the Futaleufú river.

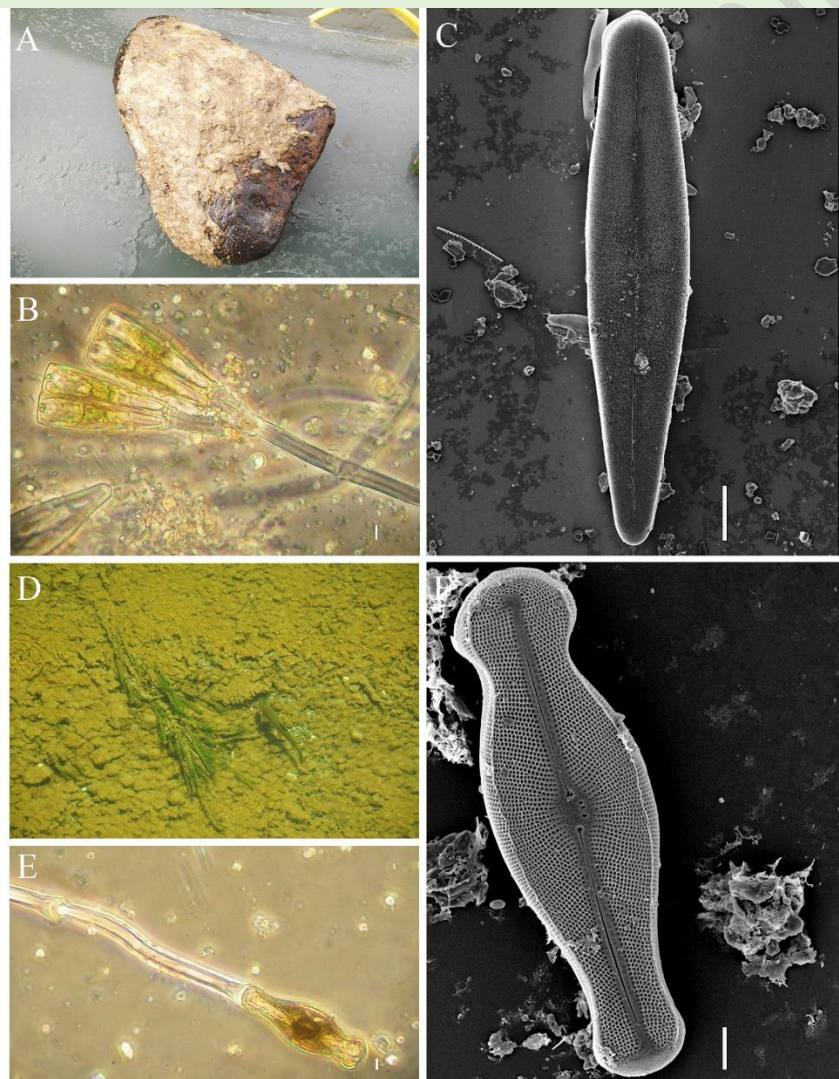
Durante el muestreo realizado en el mes de julio de 2010, antes del inicio de la invasión, la comunidad fitobentónica estuvo dominada por diatomeas y en menor proporción se registró la

presencia de clorofitas, charofitas, dinoflagelados y cianobacterias (Fig. 2A). La estación Isla Challhuaquen fue tomada especialmente en cuenta, dado que se observaron rocas cubiertas por



matas mucilaginosas que, macroscópicamente, mostraban tener un aspecto que hacía sospechar de la probable presencia de la diatomea *D. geminata*. Sin embargo, observadas microscópicamente, se constató que la cubierta macroscópica estaba formada por otra diatomea epilítica del género *Gomphoneis*, identificada como *G.*

*patagoniana*. La Fig.3 muestra el aspecto macroscópico de las floraciones y microfotografías de las células de ambas especies al MO y al MEB. Pueden observarse, en ambas especies, los pedúnculos de mucílago secretados por las células que les permiten adherirse a los diferentes sustratos.



**Figura 3:** *Gomphoneis patagoniana*. A: aspecto macroscópico de la floración, B: fotomicrografía MO y C: fotomicrografía MEB (Escala 10  $\mu$ m) y *Didymosphenia geminata* (D: aspecto macroscópico de la floración, E: fotomicrografía MO y F: fotomicrografía MEB (Escala 10  $\mu$ m).

**Figure 3:** *Gomphoneis patagoniana*. A: macroscopic appearance of the bloom, B: photomicrography LM y C: photomicrography SEM (Scale bar 10  $\mu$ m) y *Didymosphenia geminata* (D: macroscopic appearance of the bloom, E: photomicrography LM y F: photomicrography SEM (Scale bar 10  $\mu$ m).

En esta campaña se registró el mayor número de taxa, con el máximo en la estación Desemb. Arroyo Blanco, con un total de 39, de las cuales 4 corresponden a clorofitas, 3 a carofitas y 3 a cianobacterias, el resto fueron diatomeas.

La campaña del mes de setiembre de 2010 (Fig.2B) abarcó un tramo mayor, llegando hasta el límite internacional sobre el puente del río Futaleufú. Las microalgas representadas fueron, en mayor proporción, las diatomeas, seguidas por clorofitas, carofitas y cianobacterias, una euglenozoa en Puente Internacional y en Isla Chica y una ocofita sólo en esta última estación. Las muestras con mayor cantidad de taxa, fueron las correspondientes a las estaciones Isla Chica y Cauce Viejo con 31 y 30 respectivamente y la que presentó menor cantidad coincidentemente con la floración de *G. patagoniana*, fue Recta del Toro con sólo 14. Se señala la detección de *D. geminata* en la estación Puente Internacional y la floración de *G. patagoniana* en la estación Recta del Toro (Fig.2B).

Las especies que se presentaron en las muestras con un % de ocurrencia > del 60%, fueron 20 taxa de diatomeas, entre ellas, *D. anceps*, *D. elongatum*, *D. vulgare*, *U. ulna*, *T. flocculosa*, *G.*

*patagoniana*, *N. capitatoradiata*, *N. peregrina*, *E. adnata* y *E. sorex*, que se mantuvieron presentes a lo largo del curso inferior del río, algunas clorofitas y carofitas como *P. gelatinosa* y *Cosmarium* sp. y la cianobacteria *Oscillatoria* sp. (Tabla II).

La campaña del mes de diciembre de 2010, abarcó la cuenca baja del río Futaleufú desde Las Torres a la Isla Challhuaquen. En general las muestras estuvieron dominadas por diatomeas, clorofitas y carofitas. También se observaron en menor proporción las ocofitas, euglenozos y cianobacterias (Fig.2C).

La muestra con mayor riqueza específica fue la correspondiente a Las Torres con 21 taxa y la de menor riqueza específica fue una de las de la Isla Challhuaquen con 8 especies. En esta oportunidad la especie que produce floraciones prácticamente alrededor de toda la isla es *G. patagoniana*, comenzando *D. geminata* a hacerse frecuente en la mayoría de las estaciones, cubriendo el sector oeste de la isla. Las especies que fueron características en la mayoría de las estaciones fueron *G. patagoniana*, *D. geminata*, *C. placentula*, *U. ulna* con un % de presencia mayor del 80% (Tabla 2). En el mes de agosto de 2011 se tomaron muestras bentónicas en cinco sitios del río, desde las Torres hasta el Puente

Internacional (Fig. 2D). Las diatomeas son las más abundantes seguidas por las carofitas, clorofitas y las cianobacterias. No se observaron otras clases algales. La desembocadura del arroyo Baggilt, presentó el mayor número de especies, *D. anceps*, *D. elongatum*, *D. vulgare*, *U. ulna* y *G. patagoniana* fueron las especies con un % de presencia > del 80%. *D. geminata* se presentó con un 30% (Tabla II).

En abril del 2012 se tomaron cuatro muestras sobre el río Futaleufú en el sector que abarcó la floración de *D. geminata*, entre Las Torres y Puente Internacional (Fig. 2E). En esta oportunidad se detectaron 11 especies de

diatomeas y 1 clorofita. La composición fue del 92% de diatomeas y 8% de clorofitas. La flora acompañante durante la época de floración se observa en la tabla 2. En el mes de noviembre de 2013 con la invasión ya instalada sobre el río, se realizó un muestreo en sitios ocupados por las matas de *D. geminata* (Fig. 2F). La composición de la comunidad fue entre el 93 y el 100 % de diatomeas y un porcentaje que no superó el 5% de clorofitas. La cantidad de taxa registradas en esta oportunidad fue de 20, el máximo en Las Torres y 15 en Isla Challhualquen. La tabla 2 muestra las especies que coexistieron con las matas de *D. geminata*.

**Tabla II:** Especies y/o taxa con % de ocurrencia > del 60%, en los muestreos realizados en el río Futaleufú  
**Table II:** Species and / or taxa with% occurrence> 60%, in the samplings carried out in the Futaleufú river

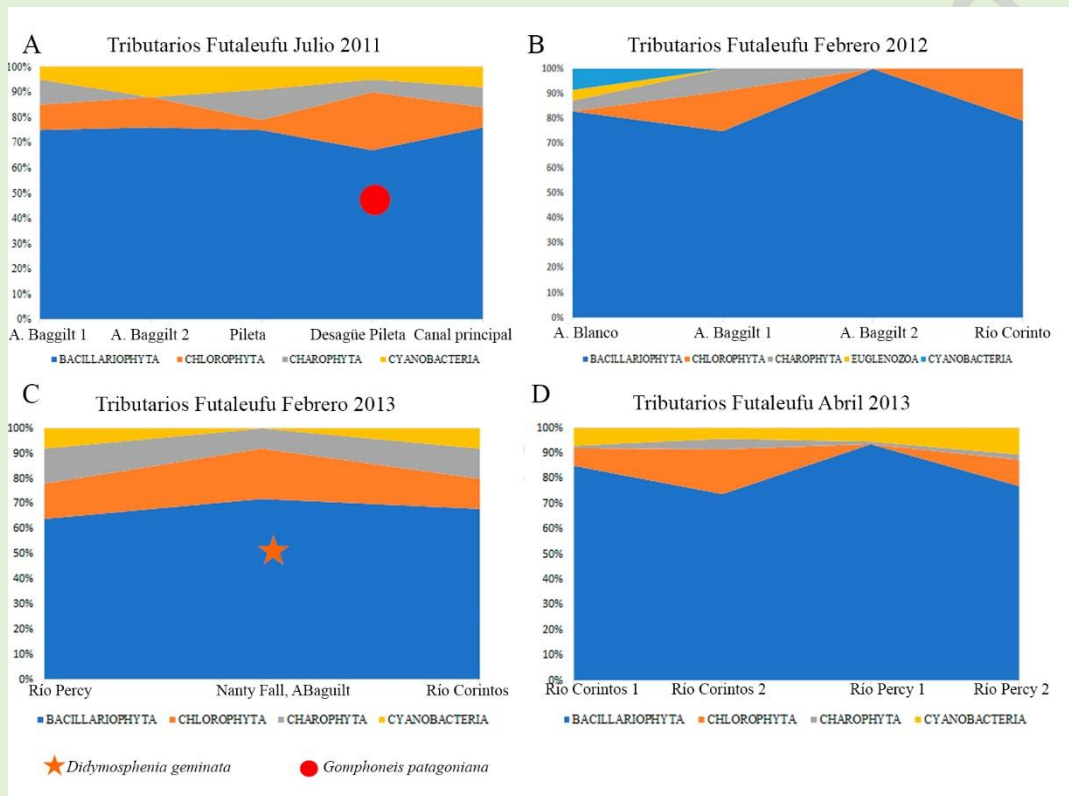
| Taxa                              | julio-10 (n:5) | sep-10 (n:11) | dic-10 (n:6) | ago-11 (n:4) | abr-12 (n:4) | nov-13 (n:4) |
|-----------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Melosira varians</i>           | A              |               |              |              |              |              |
| <i>Odontidium anceps</i>          |                |               |              |              | A            |              |
| <i>Diatoma elongata</i>           |                |               |              |              | A            | A            |
| <i>Diatoma vulgare</i>            |                |               | A            |              | A            |              |
| <i>Ulnaria ulna</i>               |                |               |              |              | A            |              |
| <i>Tabellaria flocculosa</i>      |                |               | A            |              |              |              |
| <i>Tabellaria fenestrata</i>      | A              | A             | A            |              | A            |              |
| <i>Hannaea arcus</i>              |                |               | A            | A            | A            |              |
| <i>Cocconeis placentula</i>       |                |               |              |              | A            |              |
| <i>Encionema leibleinii</i>       |                |               | A            | A            | A            | A            |
| <i>Cymbella affinis</i>           | A              |               | A            | A            | A            | A            |
| <i>Cymbella cymbiformis</i>       |                |               |              | A            |              | A            |
| <i>Frustulia vulgaris</i>         |                |               | A            |              | A            | A            |
| <i>Gomphonema pseudotenellum</i>  | A              |               |              |              | A            | A            |
| <i>Gomphonema truncatum</i>       | A              | A             | A            | A            |              | A            |
| <i>Gomphonema olivaceum</i>       |                |               | A            |              | A            |              |
| <i>Gomphoneis patagoniana</i>     |                |               |              |              |              |              |
| <i>Didymosphenia geminata</i>     | A              |               |              |              |              |              |
| <i>Amphipleura</i> sp.            | A              |               |              | A            | A            | A            |
| <i>Navicula capitatoradiata</i>   |                |               | A            |              |              |              |
| <i>Navicula peregrina</i>         |                |               | A            |              |              | A            |
| <i>Epithemia adnata</i>           |                |               |              |              | A            |              |
| <i>Epithemia sorex</i>            |                |               |              |              | A            |              |
| <i>Rhopalodia gibba</i>           |                |               |              |              |              | A            |
| <i>Nitzschia acicularis</i>       |                |               |              |              | A            | A            |
| <i>Nitzschia vermicularis</i>     |                |               |              |              | A            | A            |
| <i>Surirella minuta</i>           |                |               | A            | A            | A            | A            |
| <i>Surirella splendida</i>        |                |               | A            |              | A            | A            |
| <i>Surirella ovalis</i>           | A              |               | A            |              | A            |              |
| <i>Surirella</i> sp.              | A              | A             |              | A            | A            | A            |
| <i>Cymatopleura solea</i>         | A              |               |              |              | A            | A            |
| <i>Cosmarium</i> sp.              |                |               |              | A            | A            | A            |
| <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> |                | A             |              | A            | A            | A            |
| <i>Spirogyra</i> sp.              | A              | A             |              | A            | A            | A            |
| Cloroficeas Ulotrichales          |                |               |              |              |              |              |
| <i>Dinobryon divergens</i>        | A              | A             |              | A            | A            | A            |
| <i>Oscillatoria</i> sp.           | A              |               |              |              | A            | A            |

Referencias : 100-80 % Ocurrencia 80-60 % de ocurrencia < 60 % Ocurrencia A Ausente *Didymosphenia geminata*

### Tributarios del río Futaleufú

En el mes de julio de 2011 se realizó un muestreo en el arroyo Baggilt, tributario del río Futaleufú, y en instalaciones de la piscicultura provincial ubicada en el mismo cuerpo de agua. La composición de las Divisiones Algaes para todos los tributarios analizados se muestra en la

Fig. 4A, en la que se observa la mayor proporción de diatomeas en relación a las otras divisiones, pero el aporte de las clorofitas y carofitas es interesante en este período y la persistencia de las cianobacterias a lo largo de todas las estaciones de muestreo.



**Figura 4:** Porcentaje de especies y/o taxa de comunidad de fitobentos y especies de hábitat fitoplanctónico presentes en los Tributarios del Río Futaleufu (Río Percy-Corintos, Arroyo Blanco, Arroyo Bagguilt)  
**Figure 4:** Percentage of species and/or taxa of the phytoplankton community and species of phytoplankton present in the Tributaries Río Futaleufu (Río Percy-Corintos, Arroyo Blanco, Arroyo Bagguilt)

El Canal Principal y la Pileta de Engorde tienen la mayor cantidad de taxa registradas, con un total de 24 y el arroyo Baggilt, la menor, con 17. En la tabla 3 se registran las especies con una frecuencia de aparición mayor del 60%

en todo el muestreo: *M. varians*, *D. elongatum*, *D. hiemale*, *H. arcus*, *U. ulna*, *C. placentula*, *C. cymbiformis*, *F. vulgaris*, *G. patagoniana*, *N. radiosa*, *E. adnata* y *R. gibba*.

**Tabla III:** Especies y/o taxa con % de ocurrencia > del 60%, en los muestreos realizados, en los tributarios del río Futaleufú

**Table III:** Species and / or taxa with % occurrence > 60%, in the samplings carried out, in the tributaries of the Futaleufú river

| Taxa                            | A° Baguilt (abr 2011) | A° Blanco-Baguilt (feb 2012) | Rios Percy-Corinto (feb 2012) | Cascada Nant y Fall (feb 2013) | Rios Percy-Corinto (abr 2013) |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>Stephanodiscus</i> sp.       | A                     | A                            | A                             | A                              | ●                             |
| <i>Melosira varians</i>         | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Diatoma anceps</i>           | A                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Diatoma elongatum</i>        | ●                     | ●                            | ●                             | A                              | A                             |
| <i>Diatoma hiemale</i>          | ●                     | A                            | ●                             | A                              | A                             |
| <i>Diatoma vulgare</i>          | A                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Ulnaria ulna</i>             | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Hannaea arcus</i>            | ●                     | ●                            | ●                             | A                              | A                             |
| <i>Cocconeis placentula</i>     | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Cymbella cymbiformis</i>     | ●                     | ●                            | ●                             | A                              | ●                             |
| <i>Frustulia vulgaris</i>       | ●                     | A                            | A                             | A                              | A                             |
| <i>Gomphonema olivaceum</i>     | A                     | ●                            | A                             | ●                              | A                             |
| <i>Gomphoneis patagoniana</i>   | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Didymosphenia geminata</i>   | A                     | A                            | A                             | ★                              | A                             |
| <i>Amphipleura</i> sp.          | A                     | A                            | A                             | A                              | A                             |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> | ●                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Navicula peregrina</i>       | A                     | A                            | A                             | A                              | A                             |
| <i>Navicula radiosa</i>         | ●                     | A                            | A                             | ●                              | A                             |
| <i>Epithemia adnata</i>         | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Epithemia sorex</i>          | A                     | A                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Rhopalodia gibba</i>         | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| <i>Nitzschia vermicularis</i>   | A                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Nitzschia sigmoidea</i>      | A                     | A                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Surirella</i> sp.            | A                     | ●                            | A                             | A                              | ●                             |
| <i>Cymatopleura solea</i>       | A                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Cosmarium</i> sp.            | ●                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |
| <i>Spirogyra</i> sp.            | ●                     | ●                            | ●                             | ●                              | ●                             |
| Cloroficeas Ulotrichales        | ●                     | ●                            | ●                             | A                              | A                             |
| <i>Euglena</i> sp.              | A                     | ●                            | A                             | A                              | A                             |
| <i>Oscillatoria</i> sp.         | ●                     | ●                            | A                             | ●                              | ●                             |

Referencias: ● 100-80 % Ocurrencia; ● 80-60 % de ocurrencia; ● < 60 % Ocurrencia; "A" Ausente; ★ *Didymosphenia geminata*

En el mes de febrero de 2012, se realizó un muestreo en los principales tributarios, comprendiendo los arroyos Blanco y Baguilt y el río Corintos. La fig.4B muestra dominancia de especies

de diatomeas seguidas por clorofitas y carofitas. En los arroyos se registró la presencia de euglenozoa. Las cianobacterias están presentes en la mayoría de los sitios de muestreo, siendo

más abundantes en el río Corintos. En cuanto a los taxa identificados, la máxima cantidad se registra en el Arroyo Blanco con 21 y las mínimas en el Arroyo Baggilt con 12.

Las especies con % de ocurrencia > al 60% fueron *M. varians*, *U. ulna* y *H. arcus* (Tabla III).

En el mes de febrero de 2013, se registra la presencia de *D. geminata* en el río Nant y Fall, afluente del río Corintos, pero no se evidenció colonización en el sitio.

En el mes de abril de 2013 se realizó un muestreo sobre el sistema Río Corintos-Río Percy. La figura 4 muestra la estructura de la comunidad, que estuvo representada por diatomeas entre el 71% en el río Corintos y el 89% en el río Percy (fig. 4D). Las clorofitas aportan un porcentaje importante del 25% en el río

Corintos, mientras que el valor más elevado de cianobacterias se presenta en el río Percy, con *Anabaena* sp. y *Oscillatoria* sp.

La tabla III muestra las especies con una ocurrencia > del 60% en esta campaña, siendo las especies características *M. varians*, *U. ulna*, *T. flocculosa*., *C. placentula*, *G. patagoniana*, *N. capitatoradiata*, *N. radiosa*, *E. adnata*, *E. sorex*, *R. gibba*, *N. vermicularis*, *N. sigmoidea* y *Spyrogira* sp.

En la figura 5 se muestran fotomicrografías de algunas de las especies que presentaron un mayor porcentaje de ocurrencia durante todo el estudio, tanto en el río Futaleufú como en sus tributarios, y otras especies características de estos ambientes como el género *Dynobryon*.



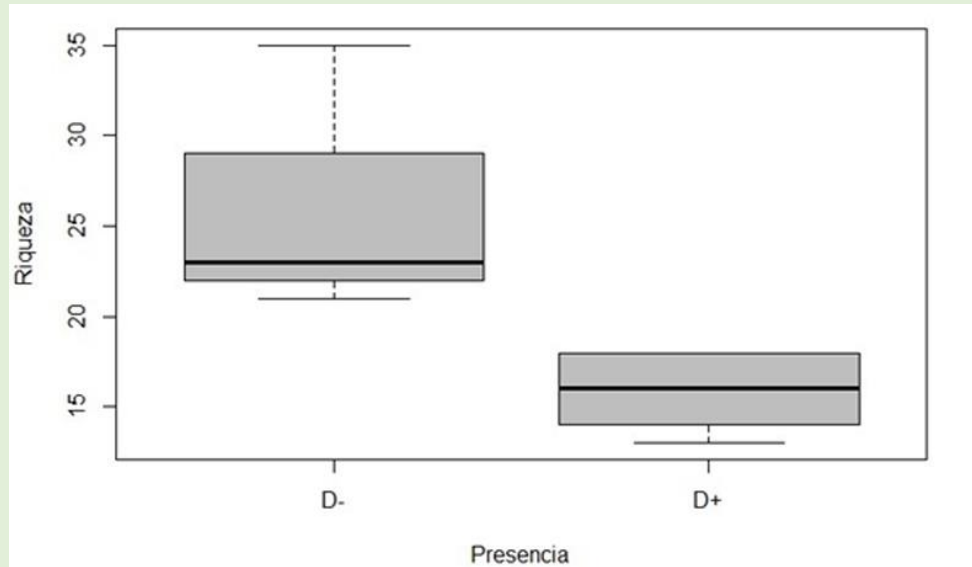
**Figura 5:** Microalgas características del área de estudio. A: *Dinobryon divergens*, B: *Cymbella cymbiformis*, C: *Tabellaria fenestrata*, D: *Melosira varians* (Escala 10  $\mu\text{m}$ ).

**Figure 5:** Characteristic microalgae of study area. A: *Dinobryon divergens*, B: *Cymbella cymbiformis*, C: *Tabellaria fenestrata*, D: *Melosira varians* (Scale bar 10  $\mu\text{m}$ ).

El análisis de parámetros comunitarios mostró que el índice de diversidad de Shannon-Wiener fue más alto antes de que *D. geminata* generara las floraciones (Sh-W 4.954 en setiembre de 2010 contra Sh-W 3.322 en abril de 2012), al igual que la riqueza en especies de la

comunidad de microalgas en los sitios analizados en el río Futaleufú. La figura 6 muestra la riqueza específica en muestras con presencia de *D. geminata* (D+) y muestras sin *D. geminata* (D-) y las medias y sus desvíos respectivos para los dos grupos analizados.





**Figura 6:** Riqueza específica, medias y desvíos en muestras con presencia de *D. geminata* (D+) y muestras sin *D. geminata* (D-).

**Figure 6:** Specific richness, means and deviations in samples with the presence of *D. geminata* D + and samples without *D. geminata* (D-).

En cuanto a la riqueza específica entre el grupo de muestras sin *D. geminata* y con *D. geminata*, se encontraron diferencias significativas, arrojando un  $p = 0,024$  ( $X^2 = 5.06$ ).

### Discusión

Dentro de la flora diatomológica identificada se encuentran especies con capacidad de formar crecimientos conspicuos en las corrientes, en el caso del río Futaleufú, podemos mencionar a *G. patagoniana*, taxón recientemente designado para los cuerpos andino patagónicos, y la invasora mundialmente reconocida *D. geminata*; esta especie se ha convertido rápidamente en ambientes prístinos tanto del sur de Argentina como Chile en una especie invasora con una alta capacidad de dispersión. Dentro de

las especies de *Gomphoneis*, citadas para la Patagonia Argentina, *G. minuta* fue señalada en Argentina por primera vez entre los años 1989 y 1990 en el curso inferior del río Chubut en Patagonia (Ayestarán y Sastre, 1995). Bahls (2007), reconoce a las siguientes especies con capacidad de formar desarrollos masivos que cubren diferentes tipos de sustratos como *G. minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer, *G. eriense* (Grunow) Skvortsov & K.I. Meyer, *G. herculeana* (Ehrenberg) Cleve, *D. geminata* (Lyngbye) M. Schmidt, *Cymbella janischii* (A. Schmidt) De Toni y *C. mexicana* (Ehrenberg) Cleve. Nuestros resultados muestran que también *G. patagoniana* (recientemente identificada por Kociolek *et al.* (2017) para ambientes

chubutenses) tiene la misma capacidad de formar floraciones macroscópicas que crecen en las rocas sumergidas.

En ríos chilenos los principales efectos de *D. geminata* incluyen aumento de biomasa de algas, captura de sedimentos y alteración de procesos hidrodinámicos y biogeoquímicos (Reid & Torres, 2014). Los estudios sobre el efecto de *Didymo* han arrojado diversos resultados, sin embargo, la mayoría de éstos indican que la colonización de *D. geminata* produce un fuerte impacto sobre las comunidades biológicas (Larson, 2007; Wyatt *et al.*, 2008), Spaulding *et al.*, 2010, Falasco & Bona, 2013). Por ejemplo, se ha reportado menor diversidad y equitatividad de diatomeas en sitios impactados por blooms de *D. geminata* (Larson y Carreiro, 2008), mientras que en otro estudio se indica que no hay un impacto significativo en la composición o diversidad del ensamble de diatomeas (Beltrami *et al.*, 2008). Sin embargo, otros estudios señalan cambios en la biomasa y estructura comunitaria de perifiton (Kilroy *et al.*, 2009; Gillis & Lavoie, 2014). El aumento en el material mucilaginoso proporcionaría un hábitat para muchas diatomeas pequeñas y otros microorganismos (Domozych *et al.*, 2010) y favorecería la colonización de diatomeas cosmopolitas (Kilroy *et al.*,

2009). De esta forma, *D. geminata* modificaría la estructura del ensamble y aumentaría la diversidad de diatomeas, sin embargo se requieren más muestreos para hacer análisis de mayor robustez (Gillis & Lavoie, 2014).

Los resultados obtenidos en este trabajo, evidencian una reducción en la estructura de la comunidad que tiende a la homogeneidad en las épocas de la instalación de la invasión entre abril 2012 y noviembre 2013. En el río Futaleufú, los sitios con floraciones de *D. geminata* se asociaron significativamente con valores más altos de biomasa de perifiton y clorofila a (Brand & Grech, 2020).

Bray (2014) informó, para ríos de Nueva Zelanda, cambios en la composición de las comunidades de algas y macroinvertebrados, mostrando un aumento local en la diversidad, mientras que la  $\beta$  diversidad evidencio una disminución global de la diversidad, que conduce a la homogeneización de la comunidad (Sax & Gaines, 2003). En este trabajo, se analiza la comunidad de microalgas en un solo tramo de la cuenca del río Futaleufú y se evidencia una disminución de la riqueza en especies y del índice de diversidad de Shannon-Wiener, si bien los resultados obtenidos se basan en datos cualitativos y de presencia-ausencia

## Conclusiones

La invasión de *Didymosphenia geminata* es una de las invasiones biológicas más recientemente documentadas en la Patagonia. Durante la presencia de floraciones de *D. geminata*, en el tramo analizado del río Futaleufú, se observa en cuanto a la composición de la comunidad fitobentónica, una disminución en la presencia de Divisiones Algales, quedando representadas sólo las Bacillariophyta y algunas Chlorophyta y Charophyta. La estructura de la comunidad durante el año 2010, en el curso inferior del río estuvo representada por la mayoría de las divisiones algales, Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Miozoa, Eulenzoozoa, Ochrophyta y Cianobacteria, llegando a su máxima riqueza en especies durante la primavera-verano. Composición similar se encontró en los tributarios del río Futaleufú, río Corintos-Percy, arroyo Blanco, arroyo Baggilt. Las especies que estuvieron presentes en los tributarios del río Futaleufú, con un porcentaje de presencia importante, fueron *M. varians*, *U. ulna*, *G. patagoniana*, *E. sorex*, *R. gibba*. No se detectaron *T. fenestrata*, *T. flocculosa*, *E. leibleinii*, *C. affinis*, *G. pseudotenellum* ni *N. acicularis*. En los tributarios se detectan floraciones de *G.*

*patagoniana* en el invierno 2011 en el Arroyo Baggilt, en el sitio donde se encuentra la piscicultura de salmónidos. Se destaca en este trabajo la detección en sitios específicos del tramo inferior del río, de floraciones de la diatomea bentónica *G. patagoniana* y la coexistencia de estas floraciones con floraciones de *D. geminata* cuando se produce la invasión de esta última especie. En cuanto a la riqueza específica de la comunidad, en particular de las diatomeas bentónicas, es menor en los períodos de la invasión.

Con posterioridad al período analizado en este trabajo, hasta fines de 2015, en ciertos sectores del río las floraciones persistían durante todo el año independientemente de los caudales del río, aunque la superficie que cubrían entre los meses de mayo y agosto era más pequeña. La mayoría de las floraciones se mantienen a lo largo del año y solo algunas disminuyen su tamaño, cubriendo menos metros cuadrados en invierno.

## Agradecimientos

Este estudio fue realizado en el marco del Plan de Prevención y Monitoreo de *Didymosphenia geminata* del Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo

Sustentable de la provincia del Chubut y el PI Dinámica y distribución del alga invasora

*Didymosphenia geminata* en la región andino-patagónica de Argentina Res. 617/16 de la UNPSJB. Queremos agradecer a la Dra Silvia Sala de la División de Ficología de la Universidad Nacional de la Plata, por las determinaciones taxonómicas con el SEM y al Lic. Gabriel Bauer, por todo el apoyo logístico realizado durante los muestreos.

## Bibliografía

- Alveal K., Ferrario, M.E., Oliveira, E.C. & Sar, E. 1995. Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 863 p.
- Ayestarán, M.G. & Sastre, A.V. 1995. Diatomeas del curso inferior del río Chubut (Patagonia Argentina). Pennales I: Naviculaceae. *Bol. Soc. Argent. Bot.* **31**(1-2): 57-68.
- Bahls, L.L. 2007. *Cymbella janischii* - Giant endemic diatom of the Pacific Northwest: morphology, ecology and distribution compared to *Cymbella mexicana*. *Northwest Science*, **81**: 284-292.
- Blanco, S., & Ector, L. 2008. 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, <http://dx.doi.org/10.1127/0029-5035/2009/0088-0347>
- Bothwell, M., Taylor, B.W. & Kilroy, C. 2014. The *Didymo* story: the role of low dissolved phosphorus in the formation of *Didymosphenia geminata* blooms. *Diatom Res.* **29** (3):229-236. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.889041>
- Brand, C. & Grech, M. 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* <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02230-8>.
- Branson, J. 2006. *Didymosphenia geminata* economic impact assessment: Wellington, New Zealand, New Zealand. Institute of Economic Research Report: 1-22
- Bate N, Newall P. Técnicas para el uso de diatomeas en la evaluación de la calidad del agua: ¿cuántas válvulas?. Simposio de diatomeas; 1998. pág. 153-8.
- Beltrami, M. E., Blanco, S., Ciutti, F., Cappelletti, C., Monauni, C., Pozzi, S. & Ector, L. (2008). Distribution and ecology of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt (Bacillariophyta) in Trentino watercourses (Northern Italy). *Cryptogamie Algologie*, **29**, 141-160.
- Bray, J. 2014. The invasion ecology of *Didymosphenia geminata* in New Zealand. PhD Thesis. University of Canterbury.
- Bray, J., Kilroy, C. Gerbeaux, P. & Harding, J.S. 2017a. Ecological eustress? Nutrient supply, bloom stimulation and competition determine dominance of the diatom *Didymosphenia geminata*. *Freshw. Biol.*, **62**(8):1433-42.
- Bray, J., O'Brien, J. & Harding, J.S. 2017b. Production of phosphatase and extracellular stalks as adaptations to phosphorus limitation in *Didymosphenia geminata* (Bacillariophyceae). *Hydrobiologia*, **784**(1):51-63.
- Campbell, M. L. 2005. Organism impact assessment (OIA) for potential impacts of

- Didymosphenia geminata*: Blairgowrie, Victoria, Australia. All Oceans Ecology: 1-92.
- Cullis, J. D.S., Gillis, C. A., Bothwell, M. L., Kilroy, C., Packman, A. & Hassan, M. 2012. A conceptual model for the blooming behavior & persistence of the benthic mat-forming diatom *Didymosphenia geminata* in oligotrophic streams. J Geophys Res-Bioge. 117.
- Diatoms of North America [https:// diatoms.org/](https://diatoms.org/) apoyando a los taxónomos, conectando comunidades. Investigación de diatomeas 36 (4): 291-304. doi:10.1080/0269249X.2021.2006790
- Domozych, D., Toso, M. & A. Snyder. 2010. Biofilm dynamics of the nuisance diatom, *Didymosphenia geminata* (Bacillariophyceae) Vol.136; 249-259. Nova Hedwigia, Beihefte DO I - 10.1127/1438-9134/2010/0136-0249
- Echenique, R.O. & Guerrero, J. M.. 2003. Las algas del Sistema del río Limay (Argentina). III Chrysophyta, Bacillariophyceae. 1: Centrales. Bol. Soc. Argent. Bot. 38 (1-2): 149-163.
- Ferrario, M. E. 1975. Diatomeas del lago Puelo (Prov. del Chubut, Argentina), I. Darwiniana T. 19, No. 2/4 (Mayo 1975), pp. 207-284 (78 pages). Instituto de Botánica Darwinion.
- Ferrario, M. E.; Codina, R. G. & Damborena M. C. 1989. Sobre algunos taxa de Diatomeas Centrales continentales para Argentina. Iheringia Sér. Bot., Porto Alegre. 39: 55-67.
- Figueroa, F., Pedreros, P., Cruces, F., Abdala-Díaz R, Hernández, V., Becerra J, & Urrutia, R. 2018. Effect of *Didymosphenia geminata* coverage on the phytobenthic community in an Andean basin of Chile. Rev Chil Hist Nat., 91(1):10. <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0080-y>.
- Gillis, C. A. & Chalifour, M. 2010. Changes in the macrobenthic community structure following the introduction of the invasive algae *Didymosphenia geminata* in the Matapedia River (Québec, Canada). Hydrobiologia, 647:63-70
- Gillis, C. A., Dugdale, S. J., & Bergeron, N. E. 2018. Effect of discharge and habitat type on the occurrence and severity of *Didymosphenia geminata* mats in the Restigouche River, eastern Canada. Ecohydrology, 11: 959.
- Gómez, N. 1991. Flora diatomológica del Embalse Río III (Prov. Córdoba, Argentina) I. Centrales. Gayana, Bot. 48 (1-4): 3-9.
- Gómez, N. 1999. Epipellic diatoms from the Matanza-Riachuelo river (Argentina), a highly polluted basin from the pampean plain: biotic indices and multivariate analysis. Aquat. Ecosyst. Health Managem. 2: 301-309.
- Hakkansson, H. & H. King. 1990. The current status of some very small freshwater diatoms of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. Diatom Research. 5 (2): 273-287.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot. H. 1991. Bacillariophyceae 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H., J. Gerloff, Heynig & D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3: 1-576, G. Fischer, Stuttgart.
- Hasle, G. & Fryxell, G. 1970. Diatomeas: limpieza y montaje para microscopía óptica y electrónica. Sociedad Trans Am Microsc. 89:469-74.
- Guiry, G.M. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 15 July 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2018. Hidrografía y Oceanografía: Aguas continentales. [http:// www.ign.gob.ar](http://www.ign.gob.ar)
- Kawecka, B. & Sanecki, J. 2003. *Didymosphenia geminata* in running waters of southern Poland: Symptoms of change in water quality? Hydrobiologia, 495:193-201

- Kilroy, C., Biggs, B., Blair, N., Lambert, P., Jarvie, B., Dey, K., Robinson, K. & Smale, D. 2005. Ecological studies on *Didymosphenia geminata*. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd, Christchurch, New Zealand. Client Report: CHC2005-123. 79p.
- Kilroy, C. & Dale, M. 2006. Biosecurity New Zealand A comparison of sampling methods for the detection of the invasive alga *Didymosphenia geminata* in New Zealand rivers. NIWA, New Zealand.
- Kilroy, C. & Novis, P. 2018. Is *Didymosphenia geminata* an introduced species in New Zealand? Evidence from trends in water chemistry, and chloroplast DNA. *Ecol Evol*, **8**:904–19
- Kociolek, J. P. & Stoermer, E. F. 1988. Taxonomy, ultrastructure and distribution of *Gomphoneis herculeana*, *G. eriense* and closely related species. (Naviculales: Gomphonemataceae) Proc. Acad. Nat. Sci. Phila. 140: 24-97.
- Kociolek, J. P., Uyua, N. M., Sala, S. E., Santinelli, N. H. & Cefarelli, A. 2017. New species, new taxon report and biogeography of the diatom genus *Gomphoneis* Cleve (Bacillariophyceae) in Patagonia, Chubut Province, Argentina. *Diatom Research*. DOI: 10.1080/0269249X.2017.1393009
- Kunza, L.A., Gillis, C.A., Haueter, J.Z., Murdock, J. N., & O'brien, J. M. 2018. Declining phosphorus as a potential driver for the onset of *Didymosphenia geminata* mats in north American rivers. *River. Res. Appl.*, **34**(8):1105–10.
- Lamaro, A. A., Pisonero, J., Uyua, N., Sastre, V., Santinelli, N., Muñoz Saavedra, J., & Sala, S.E. 2019. Distribución de la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* (Bacillariophyceae) en cuerpos de agua patagónicos de Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 54:169.
- Larson, A. M. & Carreiro, J. 2008. Relationship between nuisance blooms of *Didymosphenia geminata* and measures of aquatic community composition in Rapid Creek, South Dakota. In Bothwell, M. L. & S. A. Spaulding (eds), Proceedings of the 2007 International Workshop on *Didymosphenia geminata*. Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences 2795: 45–49.
- Parra, O, González, M, Dellarossa, V, Rivera & P, Orellana, M. 1982a. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. I: Cianofíceas. Concepción, Editorial Universidad de Concepción; mil novecientos ochenta y dos.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P. & Orellana, M. 1982b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile, III: Cryptophyceae, Dínophyceae y Euglenophyceae. Concepción, Editorial Universidad de Concepción
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P. & Orellana, M. 1982c. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales: con especial referencia al fitoplancton de Chile. V: Chlorophyceae, Parte 1: Volvocales, Tetrasporales, Chlorococcales y Ulothricales. Concepción, Editorial Universidad de Concepción.
- Patrick, R. & Reimer, C. W. 1966. The Diatom of the United States (exclusive of Alaska and Hawaii). I. Monogr. Acad. Nat. Sci. Phila. 13: 1-688.
- Patrick, R. & Reimer, C. W.. 1975. The Diatom of the United States (exclusive of Alaska and Hawaii). II. Monogr. Acad. Nat. Sci. Phila. 13: 1-213.
- Pizzolon, L.; Santinelli, N.; Marinone, M.C. & Menu-Marque S.A. 1995. Plancton e

- hidroquímica del lago Futalaufquen (Patagonia, Argentina) durante la temporada de crecimiento. *Hydrobiologia*. 316 (1): 63-73
- Reid, B.L., Hernández, K. L., Frangópulos, M., Bauer, G., Lorca, M., Kilroy, C. & Spaulding, S. 2012. The invasion of the freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in Patagonia: prospects, strategies, and implications for biosecurity of invasive microorganisms in continental waters. *Conserv Lett.*, **5**:432–40.
- Reid, B. & Torres, R. 2014. *Didymosphenia geminata* invasion in South America: ecosystem impacts and potential biogeochemical state change in Patagonian rivers. *Acta Oecol.*, **54**:101–9.
- Santinelli N. H., Otaño S. H. & Pizzolon L. (1998) Phytoplankton periodicity and spatial distribution in Futalaufquen Lake, Patagonia, Argentina, *SIL Proceedings*, 1922-2010, 26:4, 1772-1776, DOI: 10.1080/03680770.1995.11901042.
- Sastre, A.V., Santinelli, N. H., Bauer, G. A., Ayestarán M. G. & Uyua, N. M. 2013. First record of the invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt in a Patagonian Andean river of Argentina. *BioInvasions Records*, **2**: 11-17.
- Sax, D.F., & Gaines, S. D. 2003. Species diversity: from global decreases to local increases. *Trends Ecol. Evol.* **18**:561–566.
- Spaulding, S. A., & Elwell, L. 2007. Increase in nuisance blooms and geographic expansion of the freshwater diatom *Didymosphenia geminata*: recommendations for response. White Paper. Joint Publication of the Federation of Fly Fishers and the United States Environmental Protection Agency, Denver, Colorado, USA, 33 pp.
- Uyua, N. M., Sala, S. E., Santinelli, N. H., Sastre, A. V., Cortes, J. I., Rogel, B & De Carli, P. 2020. Valve morphology of *Didymosphenia geminata* (Bacillariophyceae) from Santa Cruz and Tierra del Fuego provinces, Patagonia, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* **55**(4): 1-11. Versión en línea. DOI:10.31055/1851.2372.v55.n4.29634.
- Wyatt, K. H., F. R. Hauer & G. F. Pessoney, 2008. Benthic algal response to hyporheic–surface water exchange in an alluvial river. *Hydrobiologia* 607: 151–161.