



INFORME FINAL

Convenio Desempeño 2016:
Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata*
en cuerpos de agua de la zona centro sur austral,
Etapa I 2016-17
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2017



INFORME FINAL

Convenio Desempeño 2016:
Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata*
en cuerpos de agua de la zona centro sur austral,
Etapa I 2016-17

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2017

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Natalia Piergentili Domenech

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación en Acuicultura
Leonardo Guzmán Méndez

JEFE PROYECTO

Jacqueline Salvo Pereira



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2017

AUTORES

Jacqueline Salvo Pereira
Alejandra Oyanedel Pérez



RESUMEN EJECUTIVO

Este documento corresponde al informe final del estudio “Monitoreo de la Especie Plaga *Didymosphenia geminata* en Cuerpos de Agua de la Zona Centro Sur Austral, Etapa I 2016-2017”. Se adjuntan los datos generados, además de comentarios acerca de la gestión sobre los acontecimientos más relevantes que ocurrieron durante el desarrollo del estudio. El período considerado comprende desde el 1 de septiembre de 2016 hasta el 31 de agosto de 2017.

El objetivo general de este estudio fue ampliar, analizar y difundir información respecto a la presencia/ausencia de *D. geminata* en aquellos ríos de importancia para la acuicultura y pesca recreativa de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes.

Se definieron siete objetivos específicos que contemplan prospectar la presencia/ausencia de *D. geminata* en ríos seleccionados pertenecientes a subsubcuencas no considerados en estudios anteriores. También se contempló la recopilación de estudios previos para determinar el desarrollo y/o evolución de *D. geminata* en cuencas donde didymo está presente. Junto con el registro de datos biológicos, se registraron los parámetros físicos y químicos en cada uno de ríos prospectados. Además, se identificaron posibles vectores y fómites que propician su introducción y dispersión, para proponer una metodología que permita evaluar su impacto y jerarquizar su importancia. Se analizó la información histórica de cada río prospectado respecto a parámetros físico-químicos y a la presencia/ausencia de la especie a fin de establecer una asociación con *D. geminata*. Se compararon comunidades bentónicas entre cuerpos de aguas con y sin la presencia de didymo, para estimar efectos de esta plaga sobre el ecosistema fluvial y finalmente se desarrolló difusión de la plaga en las regiones donde se realiza el monitoreo.

La primera etapa del monitoreo tuvo una duración de 12 meses, la cual se inició en septiembre de 2016 y finalizó en agosto de 2017. Esta etapa contempló dos campañas de muestreo, la primera fue ejecutada entre octubre y diciembre de 2016 y la segunda campaña desde marzo a julio de 2017. En la primera campaña fueron considerados 180 sitios de muestreo abarcando cuerpos de agua distribuidos entre la Región del Biobío y la Región de Magallanes. En tanto, que durante la segunda campaña se redujo a 150 estaciones de muestreo con el objetivo de ampliar la cobertura geográfica del estudio a la Región del Maule y a Tierra del Fuego. En este documento se informan todos los resultados asociados a ambas campañas de muestreo.

La selección y distribución de las estaciones estuvo sujeta a los requerimientos de SUBPESCA y la totalidad de las estaciones estuvieron incluidas en monitoreos previos, ejecutados por instituciones consultoras. Con el fin de aumentar la cobertura geográfica y obtener información representativa, algunas estaciones fueron relocalizadas o eliminadas de esta etapa debido, a que no cumplieron los criterios de selección establecidos por SUBPESCA e IFOP, o debido a que entregaban información replicada como es el caso de estaciones separadas por menos de 5 km de distancia.



Para el periodo que se informa, septiembre 2016–septiembre 2017, se entrega la información recabada a partir de 180 sitios muestreados durante la primera campaña de muestreo correspondiente a la época de primavera-verano, y de 150 sitios de muestreos considerados para la segunda campaña correspondiente a la época de otoño-invierno. La campaña de primavera-verano fue organizada en 4 subcampañas de muestreo, realizadas entre el 10 de octubre y el 23 de diciembre. La primera subcampaña fue ejecutada entre el 10 y el 27 de octubre, la segunda subcampaña fue ejecutada entre el 6 y el 13 de noviembre, la tercera subcampaña fue ejecutada entre el 14 de noviembre y 4 de diciembre de 2016, la subcampaña 4 fue ejecutada entre el 14 y el 23 de diciembre. En tanto que la campaña correspondiente a la época de otoño-invierno, se ejecutó en una sola campaña de muestreo que extendió desde el 13 de marzo de 2017 hasta el 4 de julio de 2017.

	N° de sitios muestreados primavera-verano	Fecha inicio de muestreo primavera-verano	Fecha termino de muestreo primavera-verano	N° de sitios muestreados otoño-invierno	Fecha inicio de muestreo otoño-invierno	Fecha termino de muestreo otoño-invierno
Cuencas						
Costeras e Islas entre R Hollelberg Golfo Alte. Laguna Blanca	1	07-11-2016	07-11-2016	1	24-05-2017	24-05-2017
Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aysén	9	25-11-2016	27-11-2016	9	20-06-2017	23-06-2017
Costeras entre Río Hollelberg y Río Golondrina				1	24-05-2017	24-05-2017
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente	9	08-11-2016	11-11-2016	8	21-05-2017	23-05-2017
Cuencas e Islas entre R.Bueno y R. Puelo	6	22-12-2016	23-12-2016	5	04-07-2017	06-07-2017
Río Aysén	23	20-11-2016	24-11-2016	23	08-06-2017	19-06-2017
Río Baker	6	18-11-2016	19-11-2016	6	03-06-2017	06-06-2017
Río Biobío	34	16-10-2016	24-10-2016	21	19-03-2017	27-04-2017
Río Bueno	11	17-12-2016	19-12-2016	9	13-03-2017	04-07-2017
Río Imperial	7	19-10-2016	23-10-2016	4	21-03-2017	24-03-2017
Río Itata	14	11-10-2016	14-10-2016	5	28-04-2017	01-05-2017
Río Maule				5	02-05-2017	03-05-2017
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	13	29-11-2016	03-12-2016	13	23-06-2017	26-06-2017
Río Puelo	10	20-12-2016	22-12-2016	8	06-07-2017	08-07-2017
Río Toltén	14	19-10-2016	26-10-2016	9	17-03-2017	22-04-2017
Río Valdivia	14	14-12-2016	17-12-2016	7	15-03-2017	16-03-2017
Río Yelcho	7	03-12-2016	04-12-2016	7	27-06-2017	28-10-2017
Tierra del Fuego				7	13-05-2017	16-05-2017
Vertiente del Atlántico	2	07-11-2016	07-11-2016	2	24-05-2017	24-05-2017

Durante la ejecución de la segunda campaña de muestreo la calendarización original de las actividades debió ser modificada, producto de la tramitación de la Resolución de Permiso de Pesca de Investigación entregado por Subpesca. La tramitación de esta Resolución no se realizó oportunamente, debido a que tanto la parte ejecutora como la contraparte técnica, no contaban con los antecedentes que indicaban claramente que este tipo de monitoreo requiere de dicha



Resolución. Bajo este contexto, durante el mes de marzo de 2017 se suspendieron las actividades de terreno, hasta contar con la R.EX. N° 1257 del 13 de abril de 2017 que autoriza al Instituto de Fomento Pesquero a efectuar pesca de investigación en ríos de importancia para la acuicultura y pesca de recreativa en las regiones del Maule, Biobío, Araucanía, Los Lagos, Los Ríos, Aysén y Magallanes por un plazo de 5 años.

En relación al número de estaciones por región y cuenca, durante la primera campaña en la región del Biobío se incluyeron las cuencas de los ríos Itata y Biobío en las que se muestrearon 15 y 34 estaciones respectivamente. En la Región de La Araucanía, se muestrearon las cuencas Río Imperial y Río Toltén con 7 y 14 estaciones respectivamente. También se incluyó parte de la cuenca del río Biobío que administrativamente pertenece a esta región. En la Región de los Ríos se incluyeron las cuencas de los ríos Valdivia y Bueno con 14 y 11 estaciones respectivamente. En la Región de los Lagos se incluyó la cuenca del río Puelo y la Cuenca del Río Yelcho con 10 y 7 estaciones. En la Región de Aysén, se incluyeron las cuencas del río Aysén, Baker, Palena y Costeras entre el río Palena y río Aysén, con 23, 6, 18 y 4 estaciones respectivamente. Finalmente, en la Región de Magallanes, se incluyó las cuencas Costeras entre Río Andrew y Río Hollemberg (río Serrano y Sarmiento), Costeras entre Río Hollemberg y Laguna Blanca, y Cuencas de la Vertiente Atlántica con un total de 11 estaciones.

Durante la segunda campaña, el número de estaciones en algunas cuencas disminuyó en función al aumento de la cobertura geográfica del estudio. De este modo, en la Región del Maule se incluyó la cuenca del Río Maule con 5 estaciones. En la región del Biobío se incluyeron las cuencas de los Río Itata y Biobío con 6 y 20 estaciones respectivamente. En la Región de La Araucanía se incluyeron las cuencas de los Ríos Imperial y Toltén con 6 y 8 estaciones respectivamente. En la Región de Los Ríos se incluyeron las cuencas de los ríos Valdivia y Bueno con 7 y 9 estaciones respectivamente. En la región de los Lagos se incluyeron las cuencas del Río Puelo y Yelcho 8 y 14 estaciones respectivamente. En la Región de Aysén, se incluyeron las cuencas del río Aysén, Baker, Palena y Costeras entre el río Palena y río Aysén, con 23, 6, 16 y 4. En la Región de Magallanes se incluyó las cuencas Costeras entre Río Andrew y Río Hollemberg (río Serrano y Sarmiento), Costeras entre Río Hollemberg y Laguna Blanca, y Cuencas de la Vertiente Atlántica con un total de 11 estaciones, a la cuales se suman 7 estaciones monitoreadas en Tierra del Fuego.

En cada una de las cuencas se obtuvieron muestras de microalgas (fitoplancton y perifiton) y macroinvertebrados bentónicos. El análisis de microalgas obtenidas durante la primera campaña fue encargado al laboratorio Amakaik. Los análisis de microalgas obtenidas durante la segunda campaña fueron encargadas el laboratorio AquaEcos. En tanto, las muestras de macroinvertebrados fueron analizadas en IFOP Base Puerto Montt. Las muestras de agua para análisis químico obtenidas durante la primera campaña fueron encargado al laboratorio Hidrolab, mientras que para la segunda campaña fue encargado a Laboratorio ANAM. Finalmente se registraron variables *in situ* a partir de la columna de agua, del hábitat fluvial y hábitat ribereño.



En relación a la metodología aplicada, la obtención de muestras de fitoplancton se ejecutó empleando una red de plancton de 37 μm la cual fue instalada a contra corriente por 10 o 5 minutos en profundidades entre 0.3-1 metro de profundidad. A partir de esta muestra se verificó la presencia de didymo en la columna de agua y la composición de la comunidad fitoplanctónica. A partir del perifiton se obtuvieron muestras para el análisis de la comunidad perifítica completa, muestras para el análisis de diatomeas y muestras de floraciones, cuando estuvieron presentes. Las tres muestras son de tipo cuantitativo e integradas provenientes de un área conocida (2 cm^2) de 5 rocas seleccionadas al azar. Para el caso de las floraciones se obtuvo un volumen de 2 cc. Las muestras de macroinvertebrados se obtuvieron con una red surber con un área de 30 cm^2 y una abertura de 250 μm . Se obtuvieron 3 réplicas en cada sitio para integrar una muestra cuantitativa de un área aproximada de 3 m^2 . Las muestras de agua para análisis químico se obtuvieron directamente desde la columna de agua para su posterior análisis en laboratorio de variables como Nitrógeno, Calcio, Fósforo, Sílice y Turbiedad.

En relación a los datos *in situ* de la columna de agua, se registraron variables como la temperatura del agua, conductividad, sólidos suspendidos totales y pH con equipos multiparámetros portátiles. La velocidad de corriente fue registrada en 2 puntos del tramo seleccionado con un caudalímetro Global-Water a 3 profundidades distintas. Para la descripción del hábitat fluvial se registró el tipo de flujo, la cobertura de sustrato (roca madre, bloques y piedras, bolones, gravas, arena, fango, macrófitas, residuos leñosos, camas de hojas, sustratos artificiales), diámetro de bolones, grado de enfangamiento de bolones y características geomorfológicas generales (tipo de tramo, forma del canal, entre otras). Para el ambiente ribereño se registraron variables relacionadas con las actividades del entorno, junto con condiciones meteorológicas locales.

En este documento se reportan los avances de la primera y segunda campaña de muestreo y se entregan los datos que, relacionados con el número de estaciones muestreadas por región, por cuenca y subcampaña, datos bibliográficos y datos de parámetros de la columna de agua obtenidos *in situ*.



ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE GENERAL	v
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
METODOLOGÍA	6
Área de estudio	6
Metodología Objetivo Específico 1 y 2	7
Metodología Objetivo Específico 3	13
Metodología Objetivo Específico 4	13
Metodología Objetivo Específico 5	14
Metodología Objetivo Específico 6	14
Metodología Objetivo Específico 7	14
RESULTADOS	15
Objetivo Específico 1	15
Objetivo Específico 2:	30
Objetivo Específico 3:	47
Objetivo Específico 4:	69
Objetivo Específico 5	77
Objetivo Específico 6	99
Objetivo Específico 7	136
DISCUSIÓN	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
ANEXOS	
ANEXO 1. MAPAS	
ANEXO 2. TABLAS	
ANEXO 3. DIFUSIÓN	
ANEXO 4. FOTOGRAFÍAS	
ANEXO 5. DOCUMENTOS (Gestión del Proyecto)	



INTRODUCCIÓN

Durante el año 2010 se detectó la presencia en Chile de la microalga *D. geminata*, conocida comúnmente como didymo. Esta especie nativa del hemisferio norte, reconocida por sus características invasoras, fue declarada plaga en nuestro país en 2010 manteniendo esta condición hasta la fecha. Desde esa fecha la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), mandatados por el Reglamento Sobre Plagas Hidrobiológicas (D.S. N°345/2005 y sus modificaciones), mantienen una constante actividad de prospección en nuevos sectores, y el seguimiento y vigilancia de áreas con presencia de la microalga. En este sentido se requiere continuar la prospección y seguimiento a fin de no descuidar los sectores que limitan con las áreas declaradas plaga, y así identificar prontamente nuevos brotes o nuevas áreas de distribución de la microalga. Además, mantener una vigilancia con frecuencia estacional de las variaciones de la abundancia relacionadas con su proliferación, analizar su efecto sobre ecosistemas con su presencia y mantener un programa de difusión de resultados, además de la aplicación de medidas de bioseguridad para el control de la misma.

Debido que a *D. geminata* produce proliferaciones masivas mucilaginosas que cubre el sustrato fluvial y zonas litorales lacustres, es considerada plaga en países como Estados Unidos, Polonia, Noruega, Nueva Zelanda y Chile. En los últimos 10 años y en los países afectados por la plaga, distintas organizaciones gubernamentales han dirigido esfuerzos para contener su dispersión y generar conocimiento sobre los impactos económicos y sobre los factores que condicionan su dispersión y colonización. Algunas evidencias sugieren efectos sobre las comunidades bentónicas de macroinvertebrados, al modificar la composición taxonómica y abundancia de individuos (Gillis & Chalifour 2010; Kilroy et al. 2009). También se han identificado efectos sobre especies ícticas de interés para la acuicultura y pesca recreativa, como *Salmo salar* y *Salmo trutta*, sobre las cuales didymo interfiere en la activación y movilidad de los gametos, así como en la dieta y crecimiento de los peces (James & Chipps 2016; Olivares et al. 2015). En relación a los impactos económicos, no existen estudios acabados al respecto. Sin embargo, se ha señalado, que las proliferaciones masivas de didymo degradan la estética de los ríos y lagos, reduciendo el interés por la pesca deportiva, impactando el turismo y el comercio asociado a esta actividad (Beville et al. 2012).

Entre las variables que condicionan la distribución de esta plaga, la baja concentración de fósforo ha sido identificada como una de las variables químicas más relevantes (Bothwell et al. 2009; Lindstrøm & Skulberg 2008). Por ejemplo, en ríos de Nueva Zelanda se ha observado que las proliferaciones masivas ocurren en concentraciones de Fósforo Soluble Reactivo menores a 5 mg m^{-3} . La capacidad de *Didymosphenia geminata* de proliferar en aguas con estas características se relaciona con la presencia de una enzima monofosfoesterasa en los tallos mucilaginosos. Esta enzima le otorga una ventaja comparativa a *D. geminata*, ya que le permite obtener fósforo inorgánico a partir de fósforo orgánico disuelto, promoviendo su proliferación y dominancia en la comunidad perifítica (Ellwood & Whitton 2007; Whitton et al. 2009).



En relación a la dispersión de la plaga, el equipamiento para pesca deportiva e.g. waders de neopreno, botas de vadeo con suela de fieltro, han sido identificados como los vectores primarios más importantes (Bothwell et al. 2009). Las actividades de pesca recreativa se desarrollan principalmente en ríos y esteros de aguas frías, con sustrato rocoso, flujo constante y baja concentración de nutrientes (Bergey et al. 2010). Estas condiciones definen en parte el hábitat ocupado por salmones, por tanto, esta superposición de hábitats sustenta la hipótesis de la dispersión de didymo a través de la indumentaria para pesca recreativa. Sin embargo, entre los agentes dispersores de didymo, también se encuentran vectores como el *Neovison vison* que podría constituir un vector natural para dispersión de esta diatomea, al menos, en los ríos de la Patagonia Chilena (Leone et al. 2014)

El presente estudio contempla el monitoreo, prospección, identificación de vectores y los eventuales efectos que las proliferaciones masivas de didymo pudieran representar para las actividades de pesca y acuicultura en territorio nacional. Para esto, se dispuso una red de monitoreo con una cobertura geográfica que abarca desde la Región del Biobío hasta la Región de Magallanes. El número y distribución de estaciones ha sido acordado entre IFOP y SUBPESCA, siguiendo los criterios indicados en el "Manual de Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*" (SUBPESCA 2012), así como por criterios científicos-técnicos propuestos por IFOP. Sin embargo, el número definitivo depende de aspectos logísticos que están siendo evaluados en las actividades de campo.

El monitoreo considera un total de 180 estaciones para la primera campaña de muestreo y un total de 150 para la segunda campaña. Esta diferencia obedece a la solicitud de la contraparte técnica de ampliar el monitoreo a la región de Maule y Tierra del Fuego, por tanto, durante la segunda campaña de muestreo se redujo el número de estaciones, pero se amplió la cobertura geográfica. Entre el total de estaciones, se identifican estaciones de monitoreo, seguimiento y prospección. Las estaciones de monitoreo, corresponden aquellas donde se ha detectado la presencia de didymo en monitoreo previos, y permitirán evaluar la evolución de la plaga en las áreas afectadas. Las estaciones de seguimiento, corresponden a estaciones distribuidas en cuencas contaminadas, y que no han registrado florecimiento masivo de didymo. Permitirán evaluar o estimar los patrones de distribución de la plaga. Finalmente, las estaciones de prospección corresponden a estaciones o áreas sin antecedentes previos y que son definidas en base a los requerimientos de SUBPESCA y sugerencias de IFOP.

Se espera que el estudio proporcione información respecto a cuencas sin información respecto al estado de la plaga, información referente a las condiciones ambientales donde se desarrolla *D. geminata*, información que permita identificar diferencias entre los ríos con y sin la presencia de la plaga, generar bases de datos y difundir los resultados del estudio entre la comunidad, autoridades y usuarios de los ecosistemas dulceacuícolas continentales del país.



ANTECEDENTES

La microalga *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmith 1899, es una diatomea bentónica conocida comúnmente como “didymo” y por generar proliferaciones masivas que afectan el sustrato fluvial. Fue descrita por primera vez en las Islas Faroe al Norte de Escocia (Spaulding & Elwell 2007) y es nativa de ríos montañosos de la región circumboreal. Según colecciones algales históricas, didymo se distribuye en todos los continentes excepto África, Australia y Antártica (Taylor & Bothwell 2014).

Históricamente esta microalga ha sido descrita en cuerpos de aguas frías, pobres en nutrientes y aguas claras, donde crece adherida sobre el sustrato fluvial a través de un pie o tallo de mucílago. Bajo condiciones favorables, *i.e.* de aguas frías, con sustrato rocoso, flujo constante y baja concentración de nutrientes, la producción celular es estimulada y los tallos de mucílago forman extensas masas que cubren el sustrato y afectan el bentos fluvial. Aún no existe claridad respecto a los factores que gatillan las proliferaciones de didymo, sin embargo, se relaciona con bajos niveles de nutrientes, específicamente de fósforo. Se han identificado efectos sobre las comunidades bentónicas de invertebrados y peces, y su dispersión estaría relacionada con la actividad de pesca deportiva.

Las proliferaciones de didymo fueron registradas por primera vez en los años 90 en la Isla de Vancouver Columbia Británica en Norteamérica. A partir de este episodio, comenzaron a registrarse nuevas proliferaciones masivas en Polonia en 1990, en Estados Unidos en 2002, en la Isla Sur de Nueva Zelanda en 2004 y en la Patagonia Chilena en 2010 (Kawecka & Sanecki 2003; Kilroy & Unwin 2011; Larson & Carreiro 2008; Reid & Torres 2014).

En relación a Chile, la primera proliferación de didymo fue registrada en los Ríos Futaleufú y Río Espolón en la Región de Los Lagos. De acuerdo al Reglamento Sobre Plagas Biológicas DS N°345 de 2010, la SUBPESCA declara como “Área de Plaga” por Res. Ex. N°3064 de 2010, ambos sectores afectados. A partir de este año, la plaga muestra una dispersión agresiva dentro de la región y comenzaron a registrarse nuevas proliferaciones entre la Región del Biobío y la Región de Magallanes. Desde esa fecha se han declarado como Áreas de Emergencia de Plaga o Riesgo de Plaga diferentes sectores de las cuencas afectadas desde el año 2010: Res.Ex. N° 3110-07/07/2017, Res.Ex.N°83-13/01/2017, Res.Ex. N° 8695-20/10/2016, Res.Ex. N°1039-06/03/2015, Res.Ex. N° 960-03/03/2015, Res.Ex. N° 5-07/01/2015, Res.Ex. N° 4928-09/12/2014, Res.Ex.N° 4468-13/11/2014, Res.Ex.N° 301-24/02/2014, Res.Ex. N° 3417-30/12/2013, Res.Ex. N° 669-26/03/2013, Res.Ex.N° 113-22/01/2013, Res.Ex. N° 3074-19/11/2012, Res.Ex. N° 2634-16/11/2012, Res.Ex. N° 50 de 2012, Res.Ex. N° 57 de 2011, Res.Ex. N° 531 de 2011, Res.Ex. N° 1/753 de 2010.

Desde la declaración de Áreas Plaga en territorio nacional, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), han desplegado



esfuerzos constantes para monitorear la dispersión de la didymo. Es así como desde 2011 SUBPESCA ha encargado diferentes estudios y programas de investigación a instituciones como Poch, Amakaik, Fundación CEQUA; iniciativas que han dado como principales resultados la adaptación de protocolos de muestreos, protocolos de seguridad, manuales de monitoreo y actividades de difusión.

A partir del año 2016 la prospección, monitoreo y vigilancia de la plaga es ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), cuyo estudio contempla la prospección en ríos de cuencas prospectadas en estudios anteriores y ríos de cuencas donde no se tenga certeza de la presencia de la microalga. A fin de lograr resultados comparables con estudios previos, se utilizará la metodología indicada en el "Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microlaga Bentónica *Didymosphenia geminata*" de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA 2012). En cada punto de muestreo se establecerá la presencia/ausencia de la especie, su cuantificación cuando esté presente, determinación de características fisicoquímicas del agua, monitoreo de macro-invertebrados, caracterización visual del hábitat y de las características fluviales de los cursos de agua a muestrear. Se realizará un análisis de las características que propicien la aparición o mantención de la especie en sectores con presencia de didymo, para lo cual se utilizarán herramientas de análisis estadístico o de modelación. En el análisis de la información se considerarán los resultados de estudios previos y las metodologías utilizadas en estudios de similares características, no obstante que la metodología final será consensuada con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.



OBJETIVOS

Objetivo general

Ampliar, analizar y difundir información respecto a la presencia/ausencia de *D. geminata*, en aquellos ríos de importancia para la acuicultura y pesca recreativa de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes.

Objetivos específicos

- i) Prospeccionar la presencia/ausencia de *D. geminata* en ríos seleccionados pertenecientes a subcuencas no considerados en estudios anteriores.
- ii) Determinar el desarrollo y/o evolución de *D. geminata* en cuencas positivas y otras prospectadas en ocasiones anteriores.
- iii) Determinar parámetros físico y químicos en cada uno de los ríos prospectados.
- iv) Identificar posibles vectores y focos de transporte de la especie plaga que propicien su introducción y dispersión, y proponer una metodología para evaluar su impacto y jerarquizar en orden de importancia.
- v) Analizar información histórica de cada río prospectado respecto a parámetros físico-químicos y a la presencia/ausencia de la especie a fin de establecer una asociación con *D. geminata*.
- vi) Analizar de manera comparativa el efecto de la especie plaga *D. geminata* en cuerpos de agua con y sin su presencia.
- vii) Desarrollar difusión de la plaga dentro de las regiones donde se realiza el monitoreo.



METODOLOGÍA

El estudio considera un total de 180 estaciones durante la primera campa1a y 150 estaciones durante la segunda campa1a (Tabla 1 en ANEXO 2), localizadas en ríos selectos de importancia para la acuicultura y pesca recreativa de las regiones de Maule del Biobío (cuencas del río Biobío y río Itata), La Araucanía (cuencas de río Toltén y río Imperial), Los Ríos (cuencas de río Valdivia y río Bueno), Los Lagos (cuencas de río Yelcho, río Puelo y río Palena), Aysén (cuencas de río Aysén y río Baker) y Magallanes, incluida Tierra del Fuego (ver Figura 1).

El trabajo de campo se ejecutó en 2 campa1as de muestreo (180 la primera campa1a y 150 la segunda), siendo la primera entre los meses de octubre a diciembre 2016, y la segunda, entre marzo y julio 2017 (Tabla 2 en ANEXO 2).

La duraci3n del estudio es de 12 meses y la fecha de inicio corresponde a septiembre de 2016 y la de término el 21 de agosto de 2017.

Área de estudio

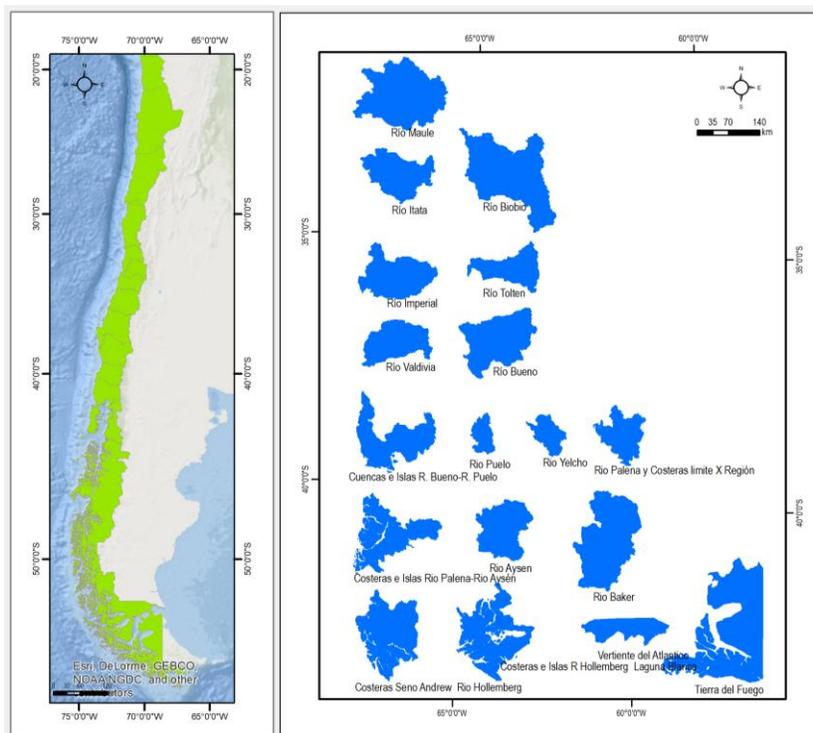


Figura 1. Área de estudio de la I etapa del Monitoreo.



La metodología se presenta por objetivo específico.

Metodología Objetivo Específico 1 y 2

- i) Prospeccionar la presencia/ausencia de *D. geminata* en ríos seleccionados pertenecientes a subsubcuencas no considerados en estudios anteriores.
- ii) Determinar el desarrollo y/o evolución de *D. geminata* en cuencas positivas y otras prospectadas en ocasiones anteriores.

Estaciones y frecuencia de muestreo

El desarrollo de ambos objetivos se relaciona con el muestreo biológico y obtención de muestras para análisis químico de agua en cuencas en que ha habido resultados positivos y negativos de *D. geminata* durante estudios previos y en cuerpos de agua aún no prospectados y que, por lo tanto, se carece de información.

El número total de estaciones y la ubicación de los sitios de muestreo fueron acordadas entre Subpesca e IFOP, previo establecimiento de criterios científico-técnicos y financieros asociados a la ejecución del proyecto. Sin perjuicio de ello se consideró como número total 180 estaciones de muestreo.

El muestreo biológico se realizó de acuerdo al manual para el “Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*” (SUBPESCA 2012). En general las actividades durante los muestreos fueron las siguientes: inspección visual y desarrollo de una ficha de terreno, muestreo bentónico y planctónico con colecta de muestras biológicas, registro de variables físicas y químicas *in situ*, toma de muestras de agua superficial para la determinación de variables químicas (fosfato, nitrato y sílice) y procedimiento de bioseguridad.

Durante la inspección visual para la selección de sitios de muestreo se consideró la representatividad de los tramos, la accesibilidad al sitio de muestreo, actividades antrópicas, entre otros. En cada sitio se fijaron transectos los que fueron debidamente georreferenciados. Adicionalmente, cada transecto fue descrito en términos de presencia o ausencia de masa mucilaginosa, cobertura (%) según color y profundidad, tipo de hábitat, escala de crecimiento del alga de acuerdo a su espesor, características hidro-morfológicas del canal, condiciones climáticas, columna de agua, tipo de flujo, distancia naciente al punto de muestreo, pendiente, iluminación del lugar de muestreo, clasificación del sustrato, conectividad, actividad del entorno, zona del río muestreada y presencia de lugares de conservación.

Las muestras de fitoplancton fueron recolectadas mediante red estándar (37 μ m) suspendida en forma horizontal contra la corriente (Kilroy & Dale 2008) por 10 o 5 minutos según manual y las características sedimentológicas de la columna de agua en el transecto seleccionado. Estas muestras fueron fijadas



con lugol, etiquetadas y trasladadas al laboratorio. En relación a las microalgas bentónicas el Manual recomienda obtener una muestra integrada compuesta por 5 réplicas. A partir de este muestreo se obtuvieron dos muestras. Una para analizar la comunidad completa de microalgas bentónicas y otra para analizar específicamente el grupo de las diatomeas bentónicas con el fin de caracterizar la comunidad acompañante de la especie plaga, así como para detectar la presencia de otras especies pedunculadas. La muestra para el análisis de la comunidad completa fue fijada en Lugol hasta obtener “color té” hasta su identificación taxonómica en laboratorio. Mientras que la muestra para el análisis de la comunidad de diatomeas bentónicas fue fijada en formalina 4% hasta su identificación taxonómica en laboratorio. Los análisis de laboratorio estuvieron a cargo de las especialistas de las consultoras Amakaik (Dra. Carolina Diaz) y AquaEcos (Dra. Karina Diaz) y estuvo basada en literatura específica para cada grupo, los cuales se basan principalmente en el sistema de clasificación basado en clases (Parra 2006).

El material algológico analizado se encuentra almacenado en dependencias del Instituto de Fomento Pesquero ubicado en Balmaceda 252 en la ciudad de Puerto Montt.

Tratamiento de las muestras de microalgas

Comunidad de microalgas bentónicas

Equipos y materiales de laboratorio

- Microscopio invertido con objetivos de 20x y 40x
- Microscopio óptico con objetivo de 40x
- Micropipeta P1000 (volumen variable)
- Cámara Sedgewick-Rafter (para análisis cuantitativo)
- Puntas azules para micropipeta P1000
- Tubos plásticos 15 mL
- Piseta con agua destilada
- Portaobjetos y cubreobjetos limpios y desengrasados

Procedimiento

Para el análisis de la comunidad completa de microalgas bentónicas se aplicaron dos tipos de análisis: cualitativo y cuantitativo. Para definir la presencia/ausencia de *Didymosphenia* y los géneros de microalgas acompañantes, se realizó un análisis de tipo cualitativo. En cambio, para describir la comunidad acompañante de la diatomea plaga se realizó un análisis de tipo cuantitativo.

Análisis cualitativo: Para este análisis se obtuvo una submuestra representativa del total del contenido de la muestra recolectada en terreno, la cual fue homogeneizada y depositada rápidamente entre un porta y un cubreobjetos utilizando la micropipeta con punta azul. La submuestra fue analizada con un microscopio óptico con objetivo de 40x.



Análisis cuantitativo: Al igual que en el análisis cualitativo, se obtuvo una submuestra de 1 mL la cual fue homogeneizada y depositada en su totalidad en una cámara Sedgewick-Rafter, cuidando de no dejar burbujas al llenarla. La muestra fue analizada con microscopio invertido a 40x.

Comunidad de microalgas planctónicas

En el contexto de este Monitoreo el análisis de fitoplancton se limitó diagnosticar la presencia o ausencia de *D. geminata* aguas arriba del tramo muestreado, así como describir la comunidad fitoplanctónica acompañante de la especie plaga.

Equipos y materiales de laboratorio

- Microscopio invertido con objetivos de 20x y 40x
- Microscopio óptico con objetivo de 40x
- Micropipeta P1000 (volumen variable)
- Cámara Sedgewick-Rafter (para análisis cuantitativo)
- Puntas azules para micropipeta P1000
- Frascos plásticos 50 mL
- Piseta con agua destilada
- Portaobjetos y cubreobjetos limpios y desengrasados

Procedimiento

El procedimiento para la observación de la muestra de fitoplancton fue similar al análisis cualitativo de la muestra de la comunidad completa de microalgas bentónicas. La muestra de fitoplancton recolectada en terreno fue homogeneizada, de la cual se obtuvo una submuestra. Esta fue depositada entre un porta- y un cubreobjetos la cual fue analizada con un microscopio óptico de 40x.

Comunidad de diatomeas bentónicas

Mediante el análisis de diatomeas bentónicas se determinó la densidad de *D. geminata*, en términos de células/cm². Por otra parte, permitió identificar la comunidad de diatomeas acompañante de ésta, así como determinar la presencia de otras microalgas pedunculadas.

La Clase Bacillariophyceae se caracteriza por presentar una cubierta celular compuesta fundamentalmente por sílice, cuyos patrones de ornamentación y perforaciones son la base principal para la taxonomía de géneros y especies. Esta particularidad determina el procedimiento de preparación y análisis de la muestra, diferente del análisis de fitobentos en general.



Debido que las características de la morfología de los frústulos de diatomeas son imprescindibles para su identificación taxonómica, fue necesario eliminar toda la materia orgánica existente en la muestra con el fin de visibilizar tales características en el análisis bajo microscopio. Para, ello se realizó la oxidación de las muestras.

En el proceso de oxidación es posible identificar dos etapas el tratamiento **pre-oxidación** de las muestras y la **oxidación** de las muestras propiamente tal, ambas etapas se describen a continuación.

Equipos y materiales de laboratorio

- Campana extractora de gases
- Microscopio óptico, objetivos de 40x y 100x
- Baño termostático
- Centrifuga 4000 rpm
- Agitador vórtex
- Dispensador de ácido
- Micropipeta P1000 (volumen variable)
- Delantal para el trabajo con ácidos
- Mascarillas de seguridad para el trabajo con ácidos
- Antiparras
- Guantes descartables resistentes a los ácidos
- Puntas azules para micropipeta P1000
- Gradillas para tubos de 15 mL
- Tubos de polipropileno, punta cónica, graduados,
- Pissetas plásticas
- Agua destilada
- Papel pH
- Portaobjetos con bordes esmerilados
- Cubreobjetos de 18x18 mm
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄)
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

Tratamiento pre-oxidación de las muestras

El objetivo de la oxidación de las muestras es eliminar toda la materia orgánica que impida reconocer las especies de diatomeas presentes en ella. Sin embargo, este procedimiento también elimina información relevante que podría aportar, por ejemplo, la morfología de los cloroplastos. Por



otra parte, es fundamental mantener un registro del volumen de muestra recibido en laboratorio, ya que este dato es imprescindible para la realización de los cálculos posteriores.

Para esta etapa fue analizada la totalidad de la muestra contenida en los tubos falcon de 15 ml obtenidos en terreno. Esta muestra fue centrifugada por 3 minutos a 4000 rpm y posteriormente se eliminó el sobrenadante, para luego rellenar el tubo. La operación se repite hasta trasvasar la totalidad de la muestra al tubo. Este mismo procedimiento fue aplicado para las muestras de floraciones.

Tratamiento de oxidación de muestras

La metodología en adoptada en este Monitoreo corresponde a la propuesta por Battarbee (1986), la cual consiste en el tratamiento las muestras de diatomeas con H_2O_2 . Específicamente, a cada muestra de diatomeas bentónicas se agregó 30% de H_2O_2 , la cuales fueron calentadas en un baño termostático por 1 hora a $80^\circ C$, las que posteriormente fueron neutralizadas. Con objetivo de obtener resultados óptimos se realizó una segunda oxidación, agregando a la muestra 1 mL de H_2SO_4 por 1 hora. La neutralización de las muestras se logró a través de lavados consecutivos y centrifugando la muestra a 4000 rpm por 3 minutos. Al concentrado obtenido, se eliminó el sobrenadante y se agregó agua destilada hasta que se logró llegar al pH neutro.

Análisis taxonómicos

Comunidad de microalgas (fitoplancton y fitobentos)

Tanto para la comunidad fitoplanctónica así como la comunidad fitobentónica, la determinación taxonómica para las clases Chlorophyceae, Cyanobacteria, Chrysophyceae y Bacillariophyceae, se obtuvo hasta el nivel de género debido las restricciones impuestas por la metodología utilizada. Dado que los análisis taxonómicos están enfocados en la comunidad completa del fitoplancton y fitobentos, las diatomeas también fueron identificadas solo a nivel de género debido a que este tipo de muestras no fueron oxidadas. El sistema de clasificación estuvo basado en la clasificación de clases (Parra 2006) basado en los siguientes trabajos Parra & Bicudo (1996) y Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Parra & Bicudo (1995), Cox (2015), Gerrath (2003), Guiry (2013), Hegewald *et al.* (2010), Wynne & Tsarenko (2014), Kociolek & Spaulding, (2003), Lowe (2003), Nozaki (2003), Stoermer & Julius (2003), Sant'Anna *et al* (2006), Tsarenko (2011).

Diatomeas bentónicas

Tal como ya se ha expuesto, la taxonomía de diatomeas se basa en caracteres morfológicos del frústulo, que no son distinguibles con la metodología utilizada para la observación de fitobentos en general. Por ello, para determinación taxonómica de esta comunidad de diatomeas se utilizó un microscopio óptico de aumento 100X para la observación de los caracteres de importancia



taxonómica del grupo que permitieron la determinación hasta el menos nivel taxonómico posible. En la mayoría de los casos hasta el nivel de especie, previa oxidación de las muestras.

La bibliografía utilizada para la identificación específica de las muestras de diatomeas bentónicas correspondió a Rivera (1983), Rumrich *et al.* 2000, Krasske 1939; Archibald 1983; Krammer & Lange-Bertalot 1986- 1986b- 1991; Simonsen 1987, Lange-Bertalot & Krammer 1989, Round *et al.* 1990, Lange-Bertalot 1993, Lange-Bertalot & Metzeltin 1996, Hartley 1996, Round & Bukhtiyarova 1996, Krammer 1997, Lange-Bertalot 1999- 2000- 2001, Kellogg & Kellogg 2002, Metzeltin *et al.* 2005.

Macroinvertebrados bentónicos

Teniendo presente que la presencia de didymo puede tener repercusiones sobre el ecosistema se recolectaron muestras de zoobentos mediante lavados del sustrato del lecho del río en un área de 0,09 m², los organismos serán arrastrados por la corriente hasta una red tipo Surber de 250 µm. Las muestras fueron fijadas en alcohol (70%) hasta su identificación.



Metodología Objetivo Específico 3

- iii) Determinar parámetros físico y químicos en cada uno de ríos prospectados.

Se registraron variables *in situ* en cada sitio de muestreo como pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y velocidad de la corriente.

Se recolectaron muestras de agua superficial para la determinación de variables químicas del agua, entre ellas, calcio, nitrato, nitrógeno total, fosfato, fósforo total y silicato, además de turbidez. Se considerarán límites de detección para aguas oligotróficas o de alta sensibilidad analítica en los parámetros a evaluar, en conocimiento de que las concentraciones de nutrientes y otros analitos en los sistemas acuáticos estudiados son bajas. Para el caso del fósforo disuelto se considerará un límite de detección de 0,5 ppb.

Metodología Objetivo Específico 4

- iv) Identificar posibles vectores y fómites de transporte de la especie plaga que propicien su introducción y dispersión, y proponer una metodología para evaluar su impacto y jerarquizar en orden de importancia.

Se contempla recabar información referida al uso de los suelos de las subcuencas consideradas en el estudio (reservas, ciudades, plantaciones, uso deportivo, etc.) mediante consultas en los servicios públicos, clubes, lodges de pesca, kayaking, u otras fuentes de información y se analizará según la bibliografía disponible los eventuales vectores y fómites del transporte de la especie.

Asimismo, se está ejecutando una revisión bibliográfica orientada a conocer la avifauna y otros vectores potenciales, según la respectiva ubicación geográfica de las distintas cuencas a considerar en este estudio



Metodología Objetivo Específico 5

- v) Analizar información histórica de cada río prospectado respecto a parámetros físico-químicos y a la presencia/ausencia de la especie a fin de establecer una asociación con *D. geminata*.

Se contempla recopilar y ordenar toda la información biológica, física, química y hidromorfológica de las subcuencas contenida en los informes de estudios anteriormente ejecutados sobre *D. geminata* en las diferentes áreas consideradas con el propósito de establecer comparaciones, identificar patrones de distribución de esta especie y otros aspectos sobre la distribución y abundancia de esta microalga.

Metodología Objetivo Específico 6

- vi) Analizar de manera comparativa el efecto de la especie plaga *D. geminata* en cuerpos de agua con y sin su presencia.

Mediante análisis discriminante se contempla realizar comparaciones entre ríos con presencia de didymo y sin su presencia. Para este efecto deben tabularse todos los datos registrados para cada río y si es necesario, para un mejor análisis se confeccionaron mapas temáticos de cada subcuenca.

Metodología Objetivo Específico 7

- vii) Desarrollar difusión de la plaga dentro de las regiones donde se realiza el monitoreo.

Con el fin de difundir los resultados obtenidos se ha participado en reuniones para difundir los principales alcances del proyecto entre autoridades regionales y/o municipales, a diferentes grupos de personas, organizaciones y empresas que tengan interés en el estado de los cuerpos de agua y Didymo en particular, así como en instancias para el fortalecimiento de las competencias técnicas de los profesionales asociados al monitoreo.



RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la primera Etapa del presente monitoreo ejecutado entre octubre-diciembre 2016 y marzo-julio 2017 entre la Región del Maule y la Región de Magallanes:

Objetivo Específico 1

Prospectar la presencia/ausencia de D. geminata en ríos seleccionados pertenecientes a subsubcuencas no considerados en estudios anteriores.

El presente monitoreo incluyó 203 sitios de muestreo distribuidos en 7 regiones administrativas, 18 cuencas, 61 subcuencas y 136 subsubcuencas hidrográficas entre la Región del Maule y la Región de Magallanes incluida Tierra del Fuego. A partir de éstos se obtuvieron muestras de fitobentos, fitoplancton, diatomeas bentónicas, floraciones algales, macroinvertebrados bentónicos, muestras para calidad de agua y datos de hábitat. El 90% de los sitios considerados en este estudio fueron incluidos en monitoreos previos ejecutados por las consultoras POCH (2010—2011), AMAKAIK (2012-2016) y la Fundación CEQUA (2014-2016).

En relación a este monitoreo, los datos obtenidos durante la campaña de primavera-verano se obtuvieron a partir de 180 sitios de muestreo distribuidos entre la Región del Biobío y la Provincia de Última Esperanza en la Región de Magallanes. Durante la campaña de otoño-invierno, el número de sitios se redujo a 150 con el objetivo de ampliar la cobertura geográfica a la región del Maule y Tierra del Fuego (Región de Magallanes) y cubrir en un solo monitoreo la totalidad de cuencas con detecciones positivas para la plaga en monitoreo previos.

Por primavera vez, se integra la región del Río Maule al monitoreo de la plaga, en la cual se definieron 5 sitios de muestreo incluyendo 5 nuevas subsubcuencas y 3 subcuencas. En el caso de Tierra del Fuego, se definieron 7 nuevos sitios de muestreo incluyendo 4 subsubcuencas y 1 subcuencas todas ellas pertenecientes a la cuenca Tierra del Fuego. Los 7 sitios de muestreo formaron parte de la red monitoreo del Programa Didymo Magallanes ejecutado por la Fundación CEQUA (2014-2016).

Es importante destacar que este corresponde al primer monitoreo de la plaga *D. geminata* que integra en un solo esfuerzo de muestreo, desde la Región del Maule hasta Magallanes incluida Tierra del Fuego, y aborda todas las cuencas donde se ha reportado la presencia de didymo en su fase macroscópica y microscópica.

A continuación, se describe la cobertura geográfica abordada por el presente monitoreo:



i. Regi3n del Maule

En esta regi3n se muestrearon 5 sitios distribuidos en la cuenca del R3o Maule (Figura 1 en ANEXO 1). La totalidad de los sitios fueron incluidas durante la segunda campaa de muestreo y en ninguno de 3stos se registr3 la presencia de *D. geminata* ni el fitoplancton, fitobentos o diatomeas bent3nicas.

ii. Regi3n del Biob3o (incluida la actual Regi3n del 3uble)

En esta regi3n se muestrearon dos cuencas: las cuencas del R3o Itata (Figura 2 en ANEXO 1) y cuenca del r3o Biob3o (Figura 3 en ANEXO 1). En la cuenca del r3o Itata se muestrearon 15 sitios durante la primera campaa y 9 durante la segunda campaa. Se distribuyeron principalmente en las cercan3as de la ciudad de Chill3n en la subcuenca del R3o 3uble. Mientras que para cuenca del r3o Biob3o se muestrearon un total 33 sitios durante la primera campaa y 13 durante la segunda. Del total, 24 sitios se distribuyeron en la Regi3n del Biob3o, y 9 sitios en el resto de la Regi3n de la Araucan3a.

S3lo en la cuenca del r3o Biob3o se registr3 *D. geminata* como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bent3nicas, tanto para la 3poca de primavera-verano y o3o3o-invierno (Figura 2).

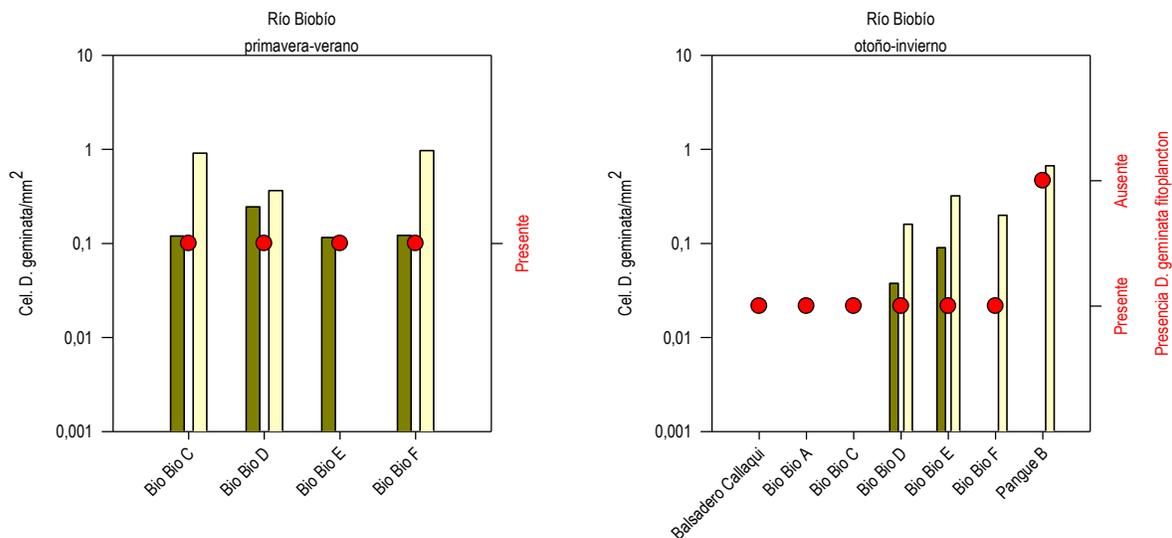


Figura 2. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bent3nicas en la cuenca del r3o Biob3o para las 3pocas de primavera-verano y o3o3o-invierno. Los 3rculos indican presencia de c3lulas de *D. geminata* en el fitoplancton



iii. Regi3n de la Araucanía

En esta regi3n se muestrearon parte de la cuenca del rí0 Biobío, cuenca del Rí0 Toltén (Figura 4 en ANEXO 1) y Cuenca del Rí0 Imperial (Figura 5 en ANEXO 1). En el á0rea de la cuenca del Rí0 Biobío que pertenece a la Regi3n de la Araucanía, se distribuyeron 9 sitios en las cercanías de Lonquimay. En la cuenca del Rí0 Imperial se muestreó un total de 7 sitios durante la primera campaa y 6 durante la segunda. En la cuenca del Rí0 Toltén un total de 14 sitios durante la primera campaa y 8 durante la segunda.

La presencia de *D. geminata* se registró en la cuenca del rí0 Biobío y Cuenca del rí0 Toltén registró *D. geminata* como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bent3nicas (Figura 3). Los resultados de la cuenca del Rí0 Biobío se muestran en el apartado anterior.

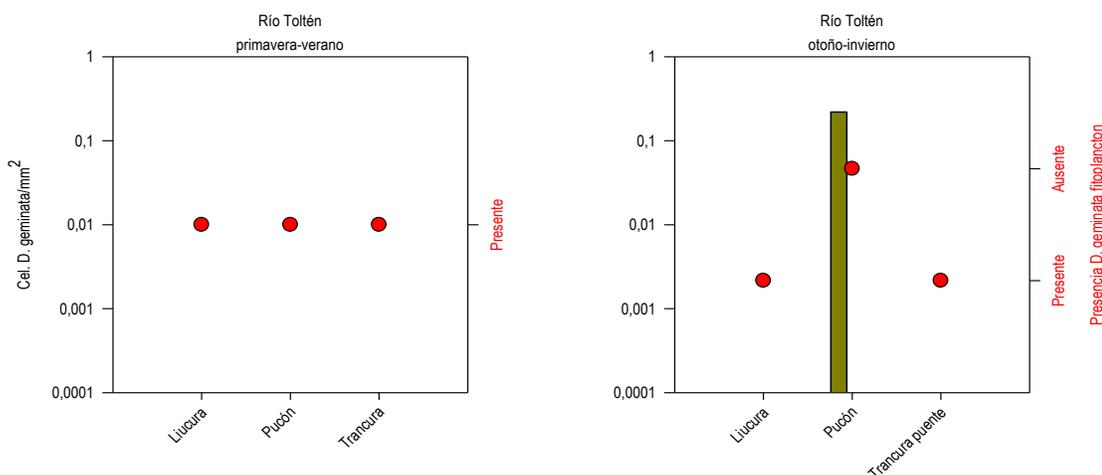


Figura 3. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bent3nicas en la cuenca del rí0 Toltén para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. Los círculos indican presencia de células de *D. geminata* en el fitoplancton

iv. Regi3n de Los Ríos

En esta regi3n se muestrearon las cuencas del Rí0 Valdivia (Figura 6 en ANEXO 1) y Cuenca del Rí0 Bueno (Figura 7 en ANEXO 1). Durante la primera campaa se incluyeron 14 sitios en la cuenca del Rí0 Valdivia y 11 en la cuenca del Rí0 Bueno. Durante la segunda campaa se incluyeron 7 y 9 sitios respectivamente

De acuerdo a los datos recopilados por el presente Monitoreo, solo en la cuenca del rí0 Valdivia se registró *D. geminata* como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bent3nicas (Figura 4). Sin embargo, existen evidencias de la presencia de la especie en la cuenca del Rí0 Bueno, para la época de primavera-verano 2016.

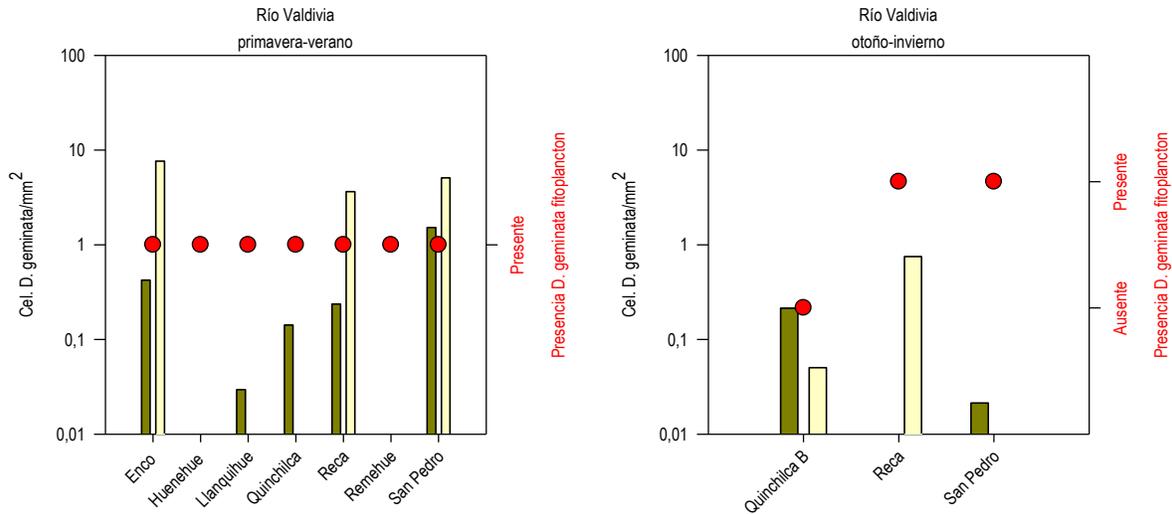


Figura 4. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bentónicas en la cuenca del río Valdivia para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. Los círculos indican presencia de células de *D. geminata* en el fitoplancton

v. Región de Los Lagos

En esta región se muestrearon las Cuenca e Islas entre R. Bueno y R. Puelo (Figura 8 en ANEXO 1), Río Puelo (Figura 9 en ANEXO 1), Río Yelcho (Figura 10 en ANEXO 1) y Río Palena y Costeras Limite Décima Región (Figura 11 en ANEXO 1). En total, en la Región de Los Lagos se muestrearon 16 sitios.

La presencia de *D. geminata* se registró como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bentónicas en las 3 cuencas antes mencionadas (Figura 5).

vi. Región de Aysén

En esta región se muestrearon las cuencas Costeras entre el río Palena y Río Aysén (Figura 12 ANEXO 1), Río Aysén (Figura, 13 en ANEXO 1), Río Baker (Figura 14 en ANEXO 1). En las cuencas Costeras se muestrearon 4 sitios, en el río Aysén 18 y en el río Baker se muestrearon un total de 6 sitios.

La presencia de *D. geminata* se registró como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bentónicas en las 3 cuencas antes mencionadas (Figura 6).



vii. Región de Magallanes

En esta región y durante la primera campaña de muestreo se muestrearon los ríos de la Cuenca Costera entre Río Andrew y Río Hollemberg al Oriente (Figura 15 en ANEXO 1), Cuenca de la Vertiente del Atlántico (Figura 16 en ANEXO 1). Durante la segunda campaña se incluyó la cuenca de Tierra del Fuego (Figura 17 en ANEXO 1), donde se incluyeron 7 nuevos sitios, alcanzando un total de 16 sitios en la Región de Magallanes.

La presencia de *D. geminata* se registró como componente del fitoplancton, fitobentos y diatomeas bentónicas, en Cuenca Costera entre Río Andrew y Río Hollemberg al Oriente y Tierra del Fuego (Figura 7).

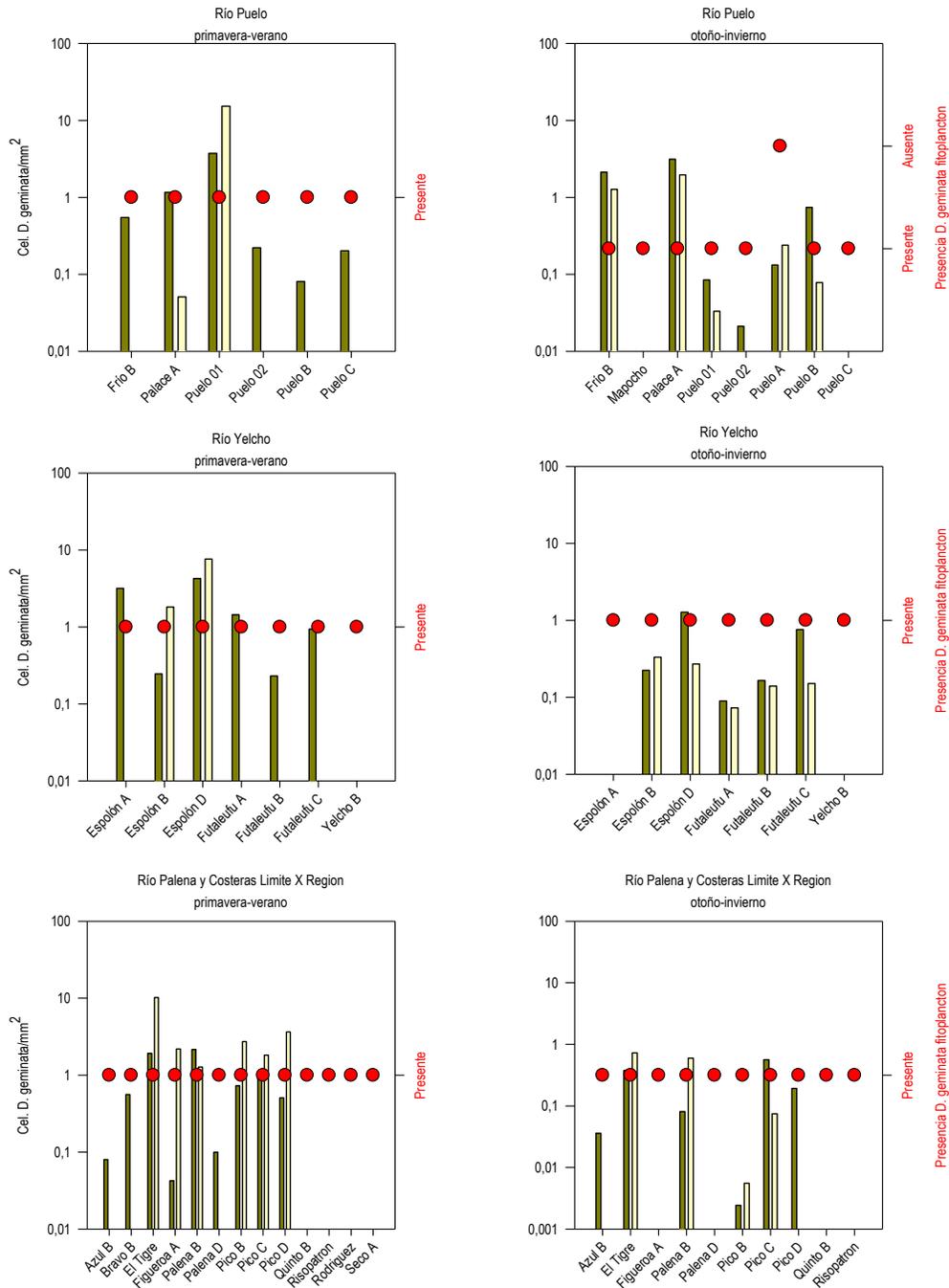


Figura 5. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bent3nicas en la cuenca del río Puelo, río Yelcho y río Palena Costeras y límite X Regi3n para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. Los círculos indican presencia de células de *D. geminata* en el fitoplancton

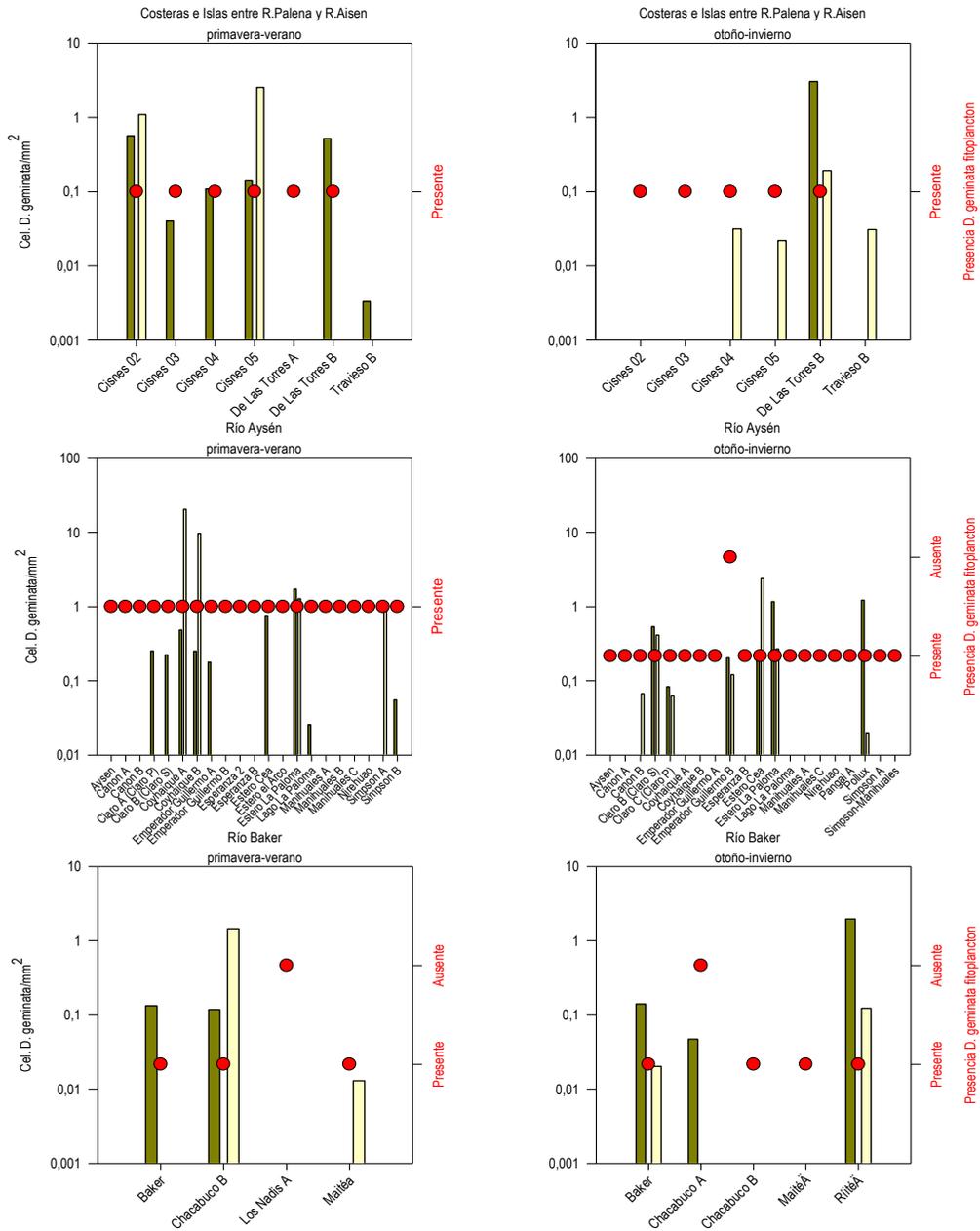


Figura 6. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bentónicas en cuencas costeras e Islas entre río Palena y Río Aysén, Río Aysén y Río Baker para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. Los círculos indican presencia de células de *D. geminata* en el fitoplancton.

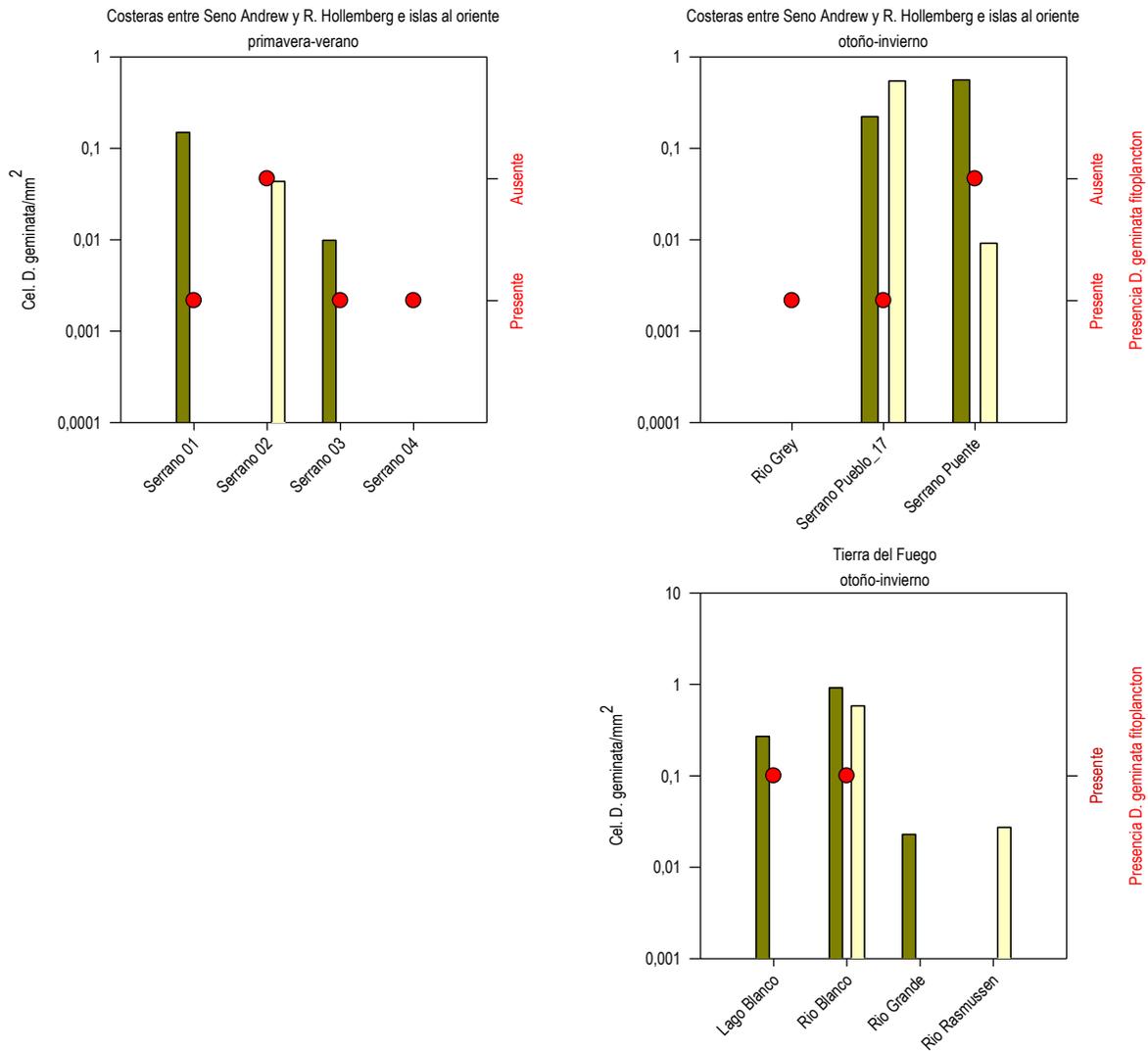


Figura 7. Densidad de *D. geminata* (cel/mm²) para fitobentos y diatomeas bent3nicas en cuencas costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e Islas al Oriente y Tierra del Fuego, para las 3pocas de primavera-verano y otoño-invierno. Los c3rculos indican presencia de c3lulas de *D. geminata* en el fitoplancton.

En 124 de los 203 sitios de muestreo monitoreados durante esta etapa del Monitoreo se registr3 la presencia de *D. geminata* en el fitobentos, fitoplancton o ensamble de diatomeas bent3nicas (Tabla 1, Figura 8).



En relaci3n a los nuevos sitios de prospecci3n, 3stos se distribuyeron exclusivamente en la Cuenca del R3o Maule los cuales fueron definidos a partir de denuncias recibidas por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura las cuales advirtieron crecimiento algal sospechoso. Los sitios se distribuyeron en 5 subsubcuencas: R3o Maule entre R3o Melado y Muro Embalse Colb3n (sitio Pte. Armerillo), R3o Ancoa (sitio R3o Ancoa), R3o Achibueno Entre Estero de Pejerreyes y R3o Ancoa (sitio Achibueno), R3o Perquilauqu3n Entre R3o Niquen y Estero Sin Nombre (sitio Perquilauqu3n), R3o Longav3 bajo junta R3o Bullileo (sitio Pte. Malcho) (Tabla 2). En ninguna de estas subsubcuencas se detect3 la presencia de *Didymosphenia geminata* en el plancton o bentos. Las floraciones registradas durante las actividades de terreno estuvieron dominadas por *Fragilaria* spp., *Gomphoneis* spp., *Melosira* spp., *Diatoma* spp., *Nitzschia* spp. (Figura 9).

De forma preventiva, se obtuvieron muestras prospectivas a partir de r3os donde se detect3 la presencia de crecimiento algal sospechoso durante las actividades de terreno. Los r3os prospectados correspondieron a los r3os Turbina (Subsubcuenca R3o Enco, Regi3n de los R3os) y Cabeza de Indio (Subsubcuenca R3o Triful Triful, Regi3n de la Araucan3a) (Tabla 2). El r3o Turbina es un tributario del R3o Enco y la floraci3n registrada estaba compuesta por *Didymosphenia geminata*, acompa3ada por *Ulothrix* sp. Mientras que en r3o Cabeza de Indio no se registr3 la presencia de *D. geminata*. La floraci3n registrada en este r3o, estuvo compuesta por *Gomphoneis* spp., *Nitzschia* spp., *Frustulia* spp., *Cymbella* spp. y *Melosira* spp.



Tabla 1. Densidad de *D. geminata* detectada en el fitobentos, diatomeas bentónicas y presencia en fitoplancton para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno

Sitio	Época primavera-verano			Época otoño-invierno		
	Cell/mm2 <i>D. geminata</i> fitobentos	Cell/mm2 <i>D. geminata</i> diatomeas	Presencia <i>D. geminata</i> fitoplancton	Cell/mm2 <i>D. geminata</i> fitobentos	Cell/mm2 <i>D. geminata</i> diatomeas	Presencia <i>D. geminata</i> fitoplancton
Pte Armerillo	-	-	0	0	0	0
Río Ancoa	-	-	0	0	0	0
Achibueno	-	-	0	0	0	0
Perquillauquén	-	-	0	0	0	0
Pte Malcho	-	-	0	0	0	0
Ñuble 2A	0	0	0	0	0	0
Cato B	0	0	0	-	-	0
Ñuble 1B	0	0	0	0	0	0
Ñuble 1A	0	0	0	-	-	0
Niblinto A	0	0	0	0	0	0
Itata	0	0	0	-	-	0
Chillán B	0	0	0	-	-	0
Chillán A	0	0	0	0	0	0
Diguillín A	0	0	0	0	0	0
Diguillín B	0	0	0	-	-	0
Danicalqui B	0	0	0	-	-	0
Danicalqui A	0	0	0	-	-	0
Cholguán B	0	0	0	-	-	0
Cholguán A	0	0	0	-	-	0
Caliboro	0	0	0	0	0	0
Laja	0	0	0	0	0	0
Polcura	0	0	0	0	0	0
Laja B	0	0	0	0	0	0
Rucúe B	0	0	0	0	0	0
Guaqui B	0	0	0	-	-	0
Nicodahue B	0	0	0	-	-	0
Cañicura A	0	0	0	0	0	0
Tavoleo B	0	0	0	-	-	0
Duqueco A	0	0	0	-	-	0
Duqueco B	0	0	0	0	0	0
Huequecura	0	0	0	0	0	0
Estero Calbuco	0	0	0	-	-	0
Bureo B	0	0	0	-	-	0
Mulchén A	0	0	0	-	-	0
Lirquén	0	0	0	0	0	0
Bureo A	0	0	0	0	0	0
Estero Coihueco	0	0	0	-	-	0
Renaico B	0	0	1	-	-	0
Mininco B	0	0	0	-	-	0
Mininco A	0	0	0	-	-	0
Quepe B	0	0	0	0	0	1
Biobío B	0	0	1	0	0	0
Biobío A	0	0	0	0	0	1
Balsadero Callaqui	0	0	1	0	0	1
Malleco B	0	0	0	-	-	0
Pangue B	0	0	0	0	67	0
Biobío C	12	91	1	0	0	1



Malleco A	0	0	0	0	0	0
Quino A	0	0	0	0	0	0
Biobío D	24,4	36,4	1	3,8	16	1
Quillén	0	0	0	0	0	0
Quino D	0	0	0	-	-	0
Biobío E	11,6	0	1	9	32	1
Indio B	0	0	0	0	0	0
Biobío F	12,2	97,1	1	0	19,9	1
Nirreco A	0	0	0	0	0	0
Vilcún A	0	0	0	-	-	0
Miraflores	0	0	0	-	-	0
Queuco A	0	0	0	0	0	0
Quepe D	0	0	0	0	0	0
Truful Truful	0	0	0	0	0	0
Allipén A	0	0	0	0	0	0
Allipén B	0	0	0	-	-	0
Trafanpulli A	0	0	0	0	0	0
Trafanpulli B	0	0	0	-	-	0
Namoncahue	0	0	0	-	-	0
Donguil B	0	0	0	-	-	0
Liucura	0	0	1	0	0	1
Pucón	0	0	1	22	0	0
Huiscapi A	0	0	0	-	-	0
Donguil A	0	0	0	0	0	0
Voipir	0	0	0	0	0	0
Trancura	0	0	1	-	-	0
Cruces	0	0	0	-	-	0
Quillehue	0	0	0	-	-	0
Huenehue	0	0	0	0	0	0
Putregal	0	0	0	-	-	0
Puñir	0	0	0	-	-	0
Reca	23,7	364	1	0	75,1	1
San Pedro	152,3	509,6	1	2,1	0	1
Llanquihue	2,9	0	1	0	0	0
Fuy	0	0	0	0	0	0
Quinchilca B	0	0	0	21,4	5	0
Calle Calle	0	0	0	-	-	0
Blanco	0	0	0	-	-	0
Quinchilca	14,2	0	1	-	-	0
Enco	42,4	764,4	1	0	0	0
Remehue	0	0	1	-	-	0
Quimán A	0	0	0	0	0	0
Calcurrupe	0	0	0	0	0	0
Lago Maihue	0	0	0	0	0	0
Puerto Lapi	0	0	0	0	0	0
Bueno	0	0	0	0	0	0
Pilmaiquén B	0	0	0	0	0	0
Carrileufu	0	0	0	0	0	0
Pilmaiquén Puyehue	0	0	0	-	-	0
Rahue	0	0	0	0	0	0
Forrahue	0	0	0	-	-	0
Coihueco A	0	0	0	0	0	0
Petrohué	0	0	0	0	0	0
Hueñu Hueñu A	0	0	0	0	0,2	0



Mauñín	0	0	0	-	-	0
Del Este A	0	0	0	0	0	0
Rollizo A	0	0	0	0	0	0
Chaica B	0	0	0	0	0	0
Puelo A	0	0	0	13,2	24	0
Puelo 01	373,3	1528,8	1	8,5	3,3	1
Frío B	54,7	0	1	213	127,3	1
Puelo B	8,1	0	1	74,2	7,8	1
Palace A	116,1	5,1	1	312,5	196,1	1
Puelo 02	22,1	0	1	2,1	0	1
Negro B	0	0	0	-	-	0
Mapocho	0	0	0	0	0	1
Puelo C	20,3	0	1	0	0	1
Correntoso	0	0	0	-	-	0
Futaleufú A	144,2	0	1	9	7,3	1
Espolón A	318	0	1	0	0	1
Yelcho B	0	0	1	0	0	1
Espolón D	426,2	764,4	1	127,4	27,1	1
Espolón B	24,6	182	1	22,4	33,2	1
Futaleufú B	23,1	0	1	16,5	14	1
Futaleufú C	93,9	0	1	76,1	15,1	1
El Tigre	191,5	1019,2	1	37,6	72,5	1
Palena B	215,2	127,4	1	8,1	59,7	1
Azul B	8	0	1	3,6	0	1
Rodríguez	0	0	1	0	0	0
Quinto B	0	0	1	0	0	1
Palena D	10	0	1	0	0	1
Seco A	0	0	1	0	0	0
Risopatrón	0	0	1	0	0	1
Bravo B	56	0	0	0	0	0
Figueroa A	4,2	218,4	1	0	0	1
Pico C	91,4	182	1	56,4	7,5	1
Pico D	50,8	364	1	19,3	0	1
Pico B	72,7	273	1	0,2	0,6	1
Queulat B	0	0	0	0	0	0
Cisnes 01	0	0	0	-	-	0
Cisnes 02	56,7	109,2	1	0	0	1
Cisnes 03	4	0	1	0	0	1
De Las Torres B	52,2	0	1	305	19,3	1
De Las Torres A	0	0	1	0	0	0
Travieso B	0,3	0	0	0	3,1	0
Cisnes 04	10,9	0	1	0	3,1	1
Cisnes 05	13,9	254,8	1	0	2,2	1
Mañihuales C	0	0	1	0	0	1
Mañihuales A	0	0	1	0	0	1
Mañihuales B	0	0	1	0	0	0
Ñirehuao	0	0	1	0	0	1
Cañón A	1	0	1	0	0	1
Cañón B	0	0	1	0,6	6,7	1
Emperador Guillermo A	17,8	0	1	0	0	1
Esperanza 2	0	0	1	-	-	0
Esperanza B	0,5	0	1	0	0	1



Emperador Guillermo B	0	0	1	20,3	12,1	0
Pangal A	0	0	0	0	0	1
Claro A	25,2	0	1	-	-	0
Aysén	0	0	1	0	0	1
Simpson A	0	109,2	1	0	0	1
Coyhaique A	48,3	2038,4	1	0	0	1
Coyhaique B	25,1	970,7	1	0,7	0	1
Claro B	22,3	0	1	53,5	41,4	1
Estero Cea	73,9	0	1	22,9	239,3	1
Pollux	0	0	0	122,3	2	1
Simpson B	5,5	0	1	0	0	0
Estero el Arco	0	0	1	0	0	0
Lago La Paloma	2,6	0	1	0	0,7	1
Estero La Paloma	172	127,4	1	116,5	26,8	1
Maitén	0	1,3	1	0	0	1
Chacabuco B	11,9	145,6	1	0	0	1
Chacabuco A	0	0	0	4,7	0	0
Los Ñadis B	0	0	0	-	-	0
Los Ñadis A	0	0,1	0	0	0	0
Baker	13,3	0	1	14	2	1
Las Chinas	0	0	0	0	0	0
Estero Sarmiento	0	0	0	0	0	0
Lago Sarmiento	0	0	0	0	0	0
Serrano 01	14,9	0	1	-	-	0
Serrano Pueblo_16	0	0	0	-	-	0
Serrano 02	0	4,3	0	-	-	0
Lago Maravilla	0	0	0	0	0	0
Serrano 04	0	0	1	-	-	0
Serrano 03	1	0	1	-	-	0
Río Tranquilo	0	0	0	-	-	0
Río Rubens	0	0	0	0	0	0
Penitente	0	0	0	0	0	0
Río Moneta	-	-	0	0	0	0
Río Russfin	-	-	0	0	0	0
Río Grande	-	-	0	2,3	0	0
Río Blanco	-	-	0	91,7	58,1	1
Río Catalina	-	-	0	0	0	0
Lago Blanco	-	-	0	27	0	1
Río Rasmussen	-	-	0	0	2,7	0
Lago Toro	-	-	0	0	0	0
Río Grey	-	-	0	0	0	1
Serrano Puente	-	-	0	55,9	0,9	0
Serrano Pueblo_17	-	-	0	22,2	54,5	1
Tranquilo Palenque	-	-	0	0	0	0
Río Holleberg	-	-	0	0	0	0
Cisnes-Moro	-	-	0	0	0	0
Simpson-Mañihuales	-	-	0	0	0	1
Claro C	-	-	0	8,3	6,2	1
Río Del Salto	-	-	0	196,2	12,3	1
Trancura puente	-	-	0	0	0	1

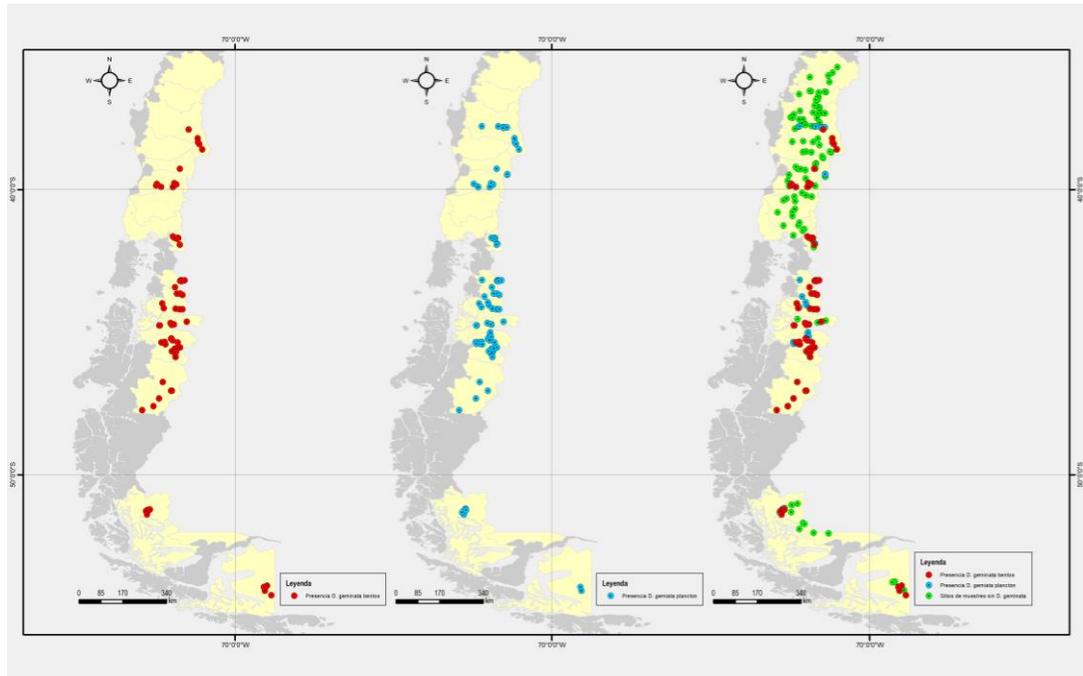


Figura 8 Distribuci3n de *D. geminata* en la amplitud geogr3fica abordada por el Monitoreo. En el mapa de la izquierda se muestran los sitios donde la especie estuvo presente como parte de la comunidad de microalgas bent3nicas. En el mapa del centro se indican los sitios donde *D. geminata* estuvo presente como parte de la comunidad fitoplanct3nica. En el mapa de la derecha se integra la informaci3n del fitobentos y fitoplancton, y adem3s se se3alan los sitios donde no se registr3 la presencia de la plaga



Tabla 2. Cuenca, subcuencas y subsubcuencas de nuevos sitios prospectados durante la Etapa I del Monitoreo

Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca	Estaciones	UTM-E	UTM-S
Río Maule	Maule Medio	Río Maule entre Río Melado y Muro Embalse Colbún	Pte Armerillo	223175	5950540
Río Maule	Río Loncomilla	Río Ancoa	Río Ancoa	271323	5949429
Río Maule	Río Loncomilla	Río Achibueno Entre Estero de Pejerreyes y Río Ancoa	Achibueno	252096	5945471
Río Maule	Perquillauquén Alto	Río Perquillauquen Entre Río Niquen y Estero Sin Nombre	Perquillauquén	251451	5926909
Río Maule	Río Loncomilla	Río Longaví bajo junta Río Bullileo	Pte Malcho	250059	5919117
Río Toltén	Río Allipén	Río Truful Truful	Cabeza de Indio	276893	5705610
Río Valdivia	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	Río Enco	Río Turbina	229495	5576378



Figura 9. Floraci3n registrada en la estaci3n Pte Armerillo en Cuenca del Río Maule durante la época de otoño-invierno 2017. El crecimiento algal estuvo dominado por *Fragilaria* spp., *Gomphoneis* spp., *Melosira* spp., *Diatoma* spp., *Nitzschia* spp.



Objetivo Específico 2

*Determinar el desarrollo y/o evolución de *D. geminata* en cuencas positivas y otras prospectadas en ocasiones anteriores.*

Para el análisis de la evolución y / o desarrollo de la floración de *D. geminata* se consideraron datos de crecimiento algal (espesor cm) y densidad de células de *D. geminata* (cel/mm²) en el perifiton y diatomeas bentónicas, disponibles para el periodo comprendido entre 2010 y 2017. Los datos analizados en este objetivo corresponden a información generada por monitoreos previos ejecutados por POCH (2010-2011), AMAKAIK (2012-2016) y el Instituto de Fomento Pesquero IFOP (2016-2017) para las épocas de primavera-verano y otoño-invierno.

En el periodo señalado se han obtenido muestras de 1140 sitios de muestreo abarcando 23 cuencas 118 subcuencas y 312 subsubcuencas distribuidas entre la Región del Maule y la Región de Magallanes, incluida Tierra del Fuego. En 15 de las 23 cuencas se han registrado resultados positivos para la presencia de *D. geminata* en al menos un evento de muestreo. El análisis histórico fue enfocado en estas 15 cuencas e incluyó 243 sitios de muestreo. Es importante señalar el análisis de la data histórica estuvo limitado por la discontinuidad de los datos, por la variabilidad en el número de sitios por cuenca y por no disponer de datos para las épocas de primavera-verano y otoño de un mismo año.

Los datos fueron tratados con técnicas de análisis multivariado no paramétrico, las cuales revelaron diferencias significativas (Tabla 3) entre las distintas cuencas (Figura 10) y años (Figura 11), considerando totalidad de los datos históricos de densidad de microalgas bentónicas. En relación a las épocas, las diferencias observadas no son significativas (Figura 12). El análisis de similitud y contribución de especies (SIMPER), indica que para todas las cuencas la similitud intragrupo supera el 40%, excepto la cuenca del Río Bueno que alcanza un 36,46%. En relación a los años, la similitud intra-año supera el 40%, excepto para el año 2012 donde se observa una similitud de 39,98%.

En relación al crecimiento algal, se identificaron 5 categorías de crecimiento: Ausente, Inicial (film $\leq 0,2$ cm), Mediana ($0,2 \text{ cm} \leq x \leq 1$ cm), Alta (1-2 cm), Muy Alta (>2 cm) las cuales se registraron al menos una vez en cada cuenca. En relación a la categoría Ausente corresponde a la condición del bentos donde no se observa crecimiento algal evidente y excluye a las formas de crecimiento *film* o *biofilm* el cual es detectable solo por medio de una inspección manual directa. En general se observa, que desde el año 2016 la categoría Muy Alta tiende a ser más frecuente en la cuenca de Río Biobío, Río Aysén (y Río Yelcho, mientras que el resto de las cuencas no es posible identificar un patrón claro.



Tabla 3. Analisis de Similitud (ANOSIM) y Porcentaje y Contribución de Especies (SIMPER) para cuencas, años y épocas considerando datos históricos del monitoreo de *D. geminata*

Año	N° de sitios	ANOSIM	SIMPER % Similitud
Cuenca			
Costeras e Islas entre Río Baker y Río Pascua	1	R _{global} =0,03 p=3,3%	-
Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén	14		45,96
Costeras entre Seno Andrew y Río Hollemberg e islas al oriente	5		52,24
Cuencas e Islas entre Río Bueno y Río Puelo	1		-
Río Aysén	43		44,32
Río Baker	23		42,2
Río Biobío	41		45,04
Río Bueno	6		36,46
Río Imperial	1		-
Río Palena y Costeras Límite Décima Región	28		48,79
Río Puelo	16		54,33
Río Toltén	2		71,25
Río Valdivia	32		50,09
Río Yelcho	25		60,02
Tierra del Fuego	5		54,55
Año			
2010	3	R=0,047 P= 2,7%	89,3
2011	8		58,65
2012	8		39,98
2013	23		54,7
2014	26		45,49
2015	24		41,29
2016	102		45,96
2017	49		56,85
Época			
Primavera-Verano	94	R=0,002 P=38%	45,06
Otoño-Invierno	149		49,23

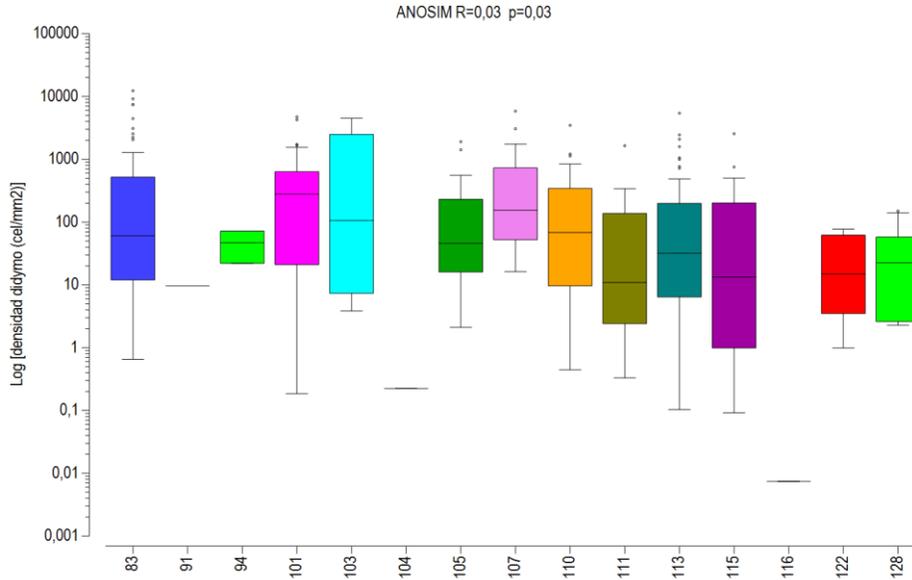


Figura 10. Distribuci3n de la densidad de *D. geminata* en el bentos (fitobentos y diatomeas) en las 15 cuencas donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* en el per3odo 2010-2017. 83: Cuenca R3o Biob3o, 91: Cuenca r3o Imperial, 94: Cuenca R3o Tolt3n, 101: Cuenca R3o Valdivia, 103: Cuenca R3o Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Cuenca R3o Puelo, 107: R3o Yelcho, 110: R3o Palena entre Frontera y R3o Rosselot, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ays3n, 113: Cuenca R3o Ays3n, 115: Cuenca R3o Baker, 116: Costeras entre R3o Hollemberg y R3o Golondrina, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 128: Tierra del Fuego.

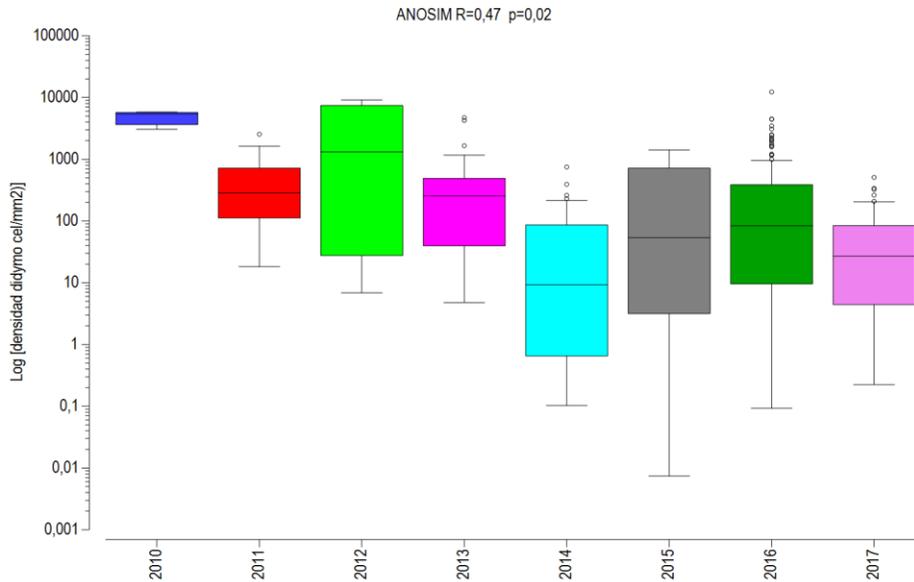


Figura 11. Distribuci3n de la densidad de *D. geminata* en el bentos (fitobentos y diatomeas) a trav3s de los a1os de monitoreo de la especie plaga.

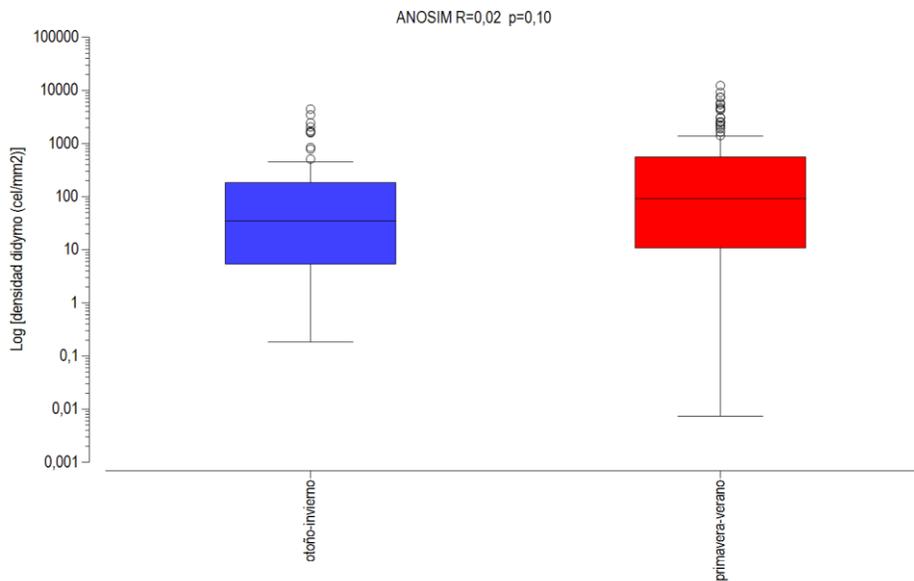


Figura 12. Distribuci3n de la densidad de *D. geminata* en el bentos (fitobentos y diatomeas) a trav3s de la 3poca de primavera-verano y oto1o-invierno considerando el periodo 2010-2017.

Río Bio Bio

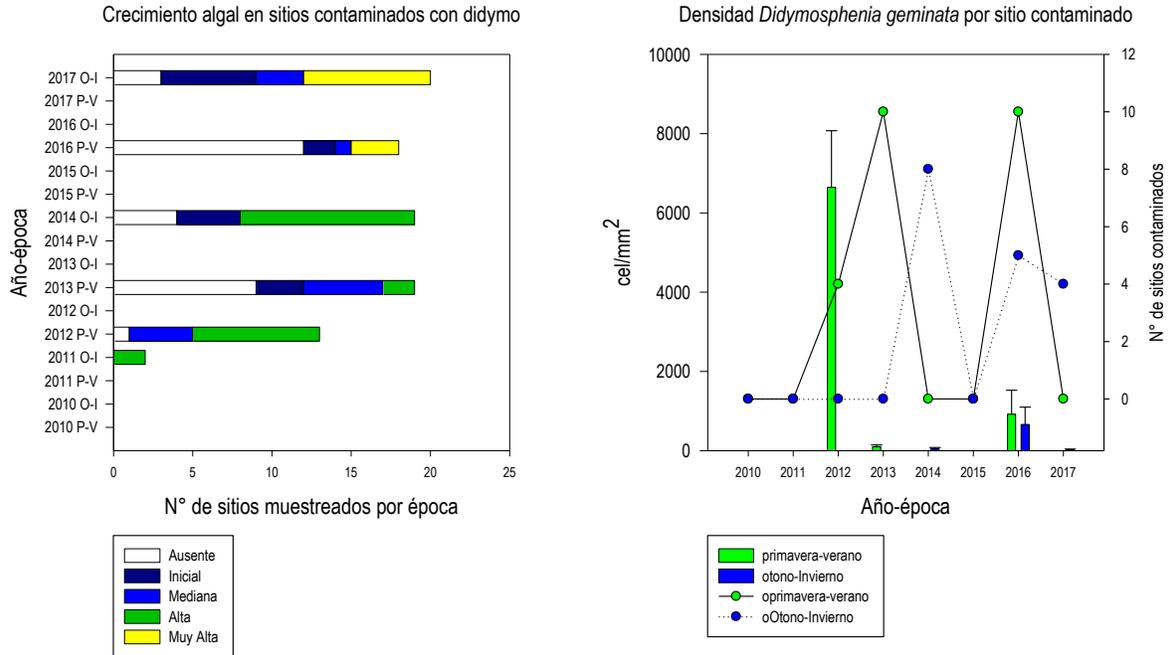


Figura 13. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Biobío donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del río Biobío (Figura 13) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento algal tiende a aumentar evolucionando de categorías Inicial y Mediano a categoría Muy Alta.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, ya que, cuando de se registra alguna categoría de crecimiento algal la especie está tiende a este presente en el bentos. Sin embargo, es posible asociar las categorías de crecimiento sólo con la presencia de *D. geminata*.

Río Imperial

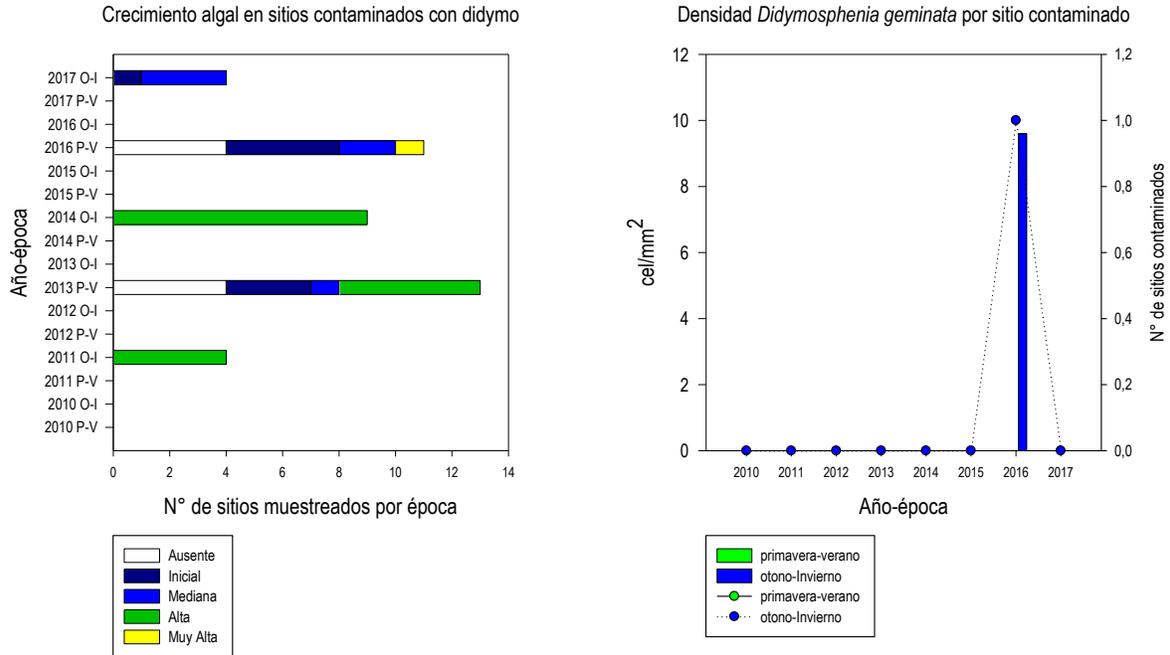


Figura 14. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Imperial donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del río Imperial (Figura 14) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento algal es variable y tiende a disminuir evolucionando de categorías Muy Alta a Inicial a Mediana.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, solo para época de otoño-invierno 2016. El resto el resto de los años, el crecimiento algal registrado no puede asociado a *D. geminata*.



Rio Valdivia

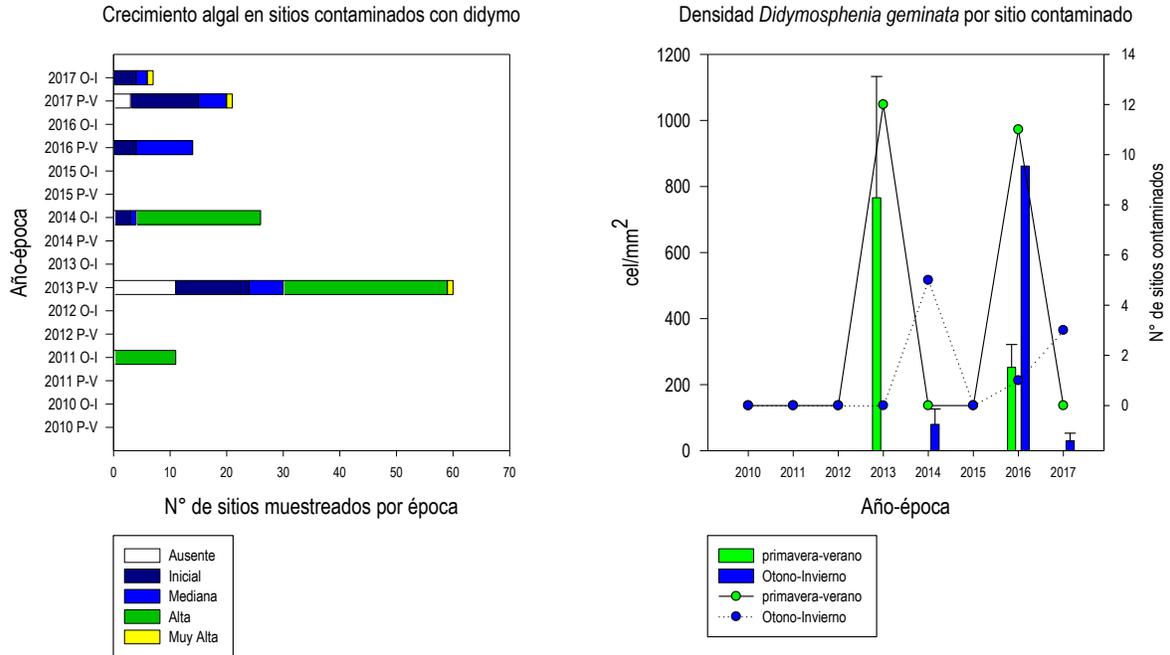


Figura 15. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Valdivia donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del río Valdivia (Figura 15) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento algal es variable y tiende a aumentar evolucionando de categorías Muy Alta a Inicial a Mediana en algunos sitios de muestreo.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, a partir de la época de primavera-verano 2013. El crecimiento algal registrado antes de 2013 no puede ser asociado con *D. geminata*

Río Bueno

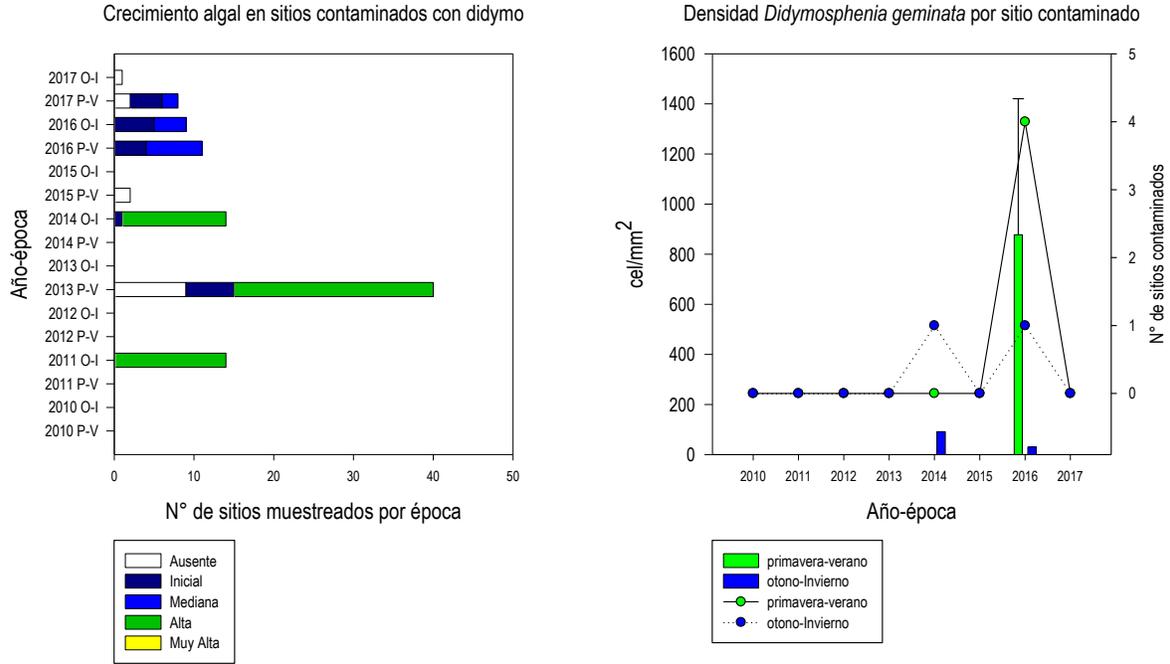


Figura 16. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Bueno donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del río Bueno (Figura 16) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable y tiende a disminuir evolucionando de categorías Inicial y Mediana a Ausente en algunos sitios de muestreo.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, a partir de la época de otoño-invierno 2014. El crecimiento algal registrado antes de 2014 no puede asociado con *D. geminata*.

Cuencas e Islas entre Río Bueno y Río Puelo

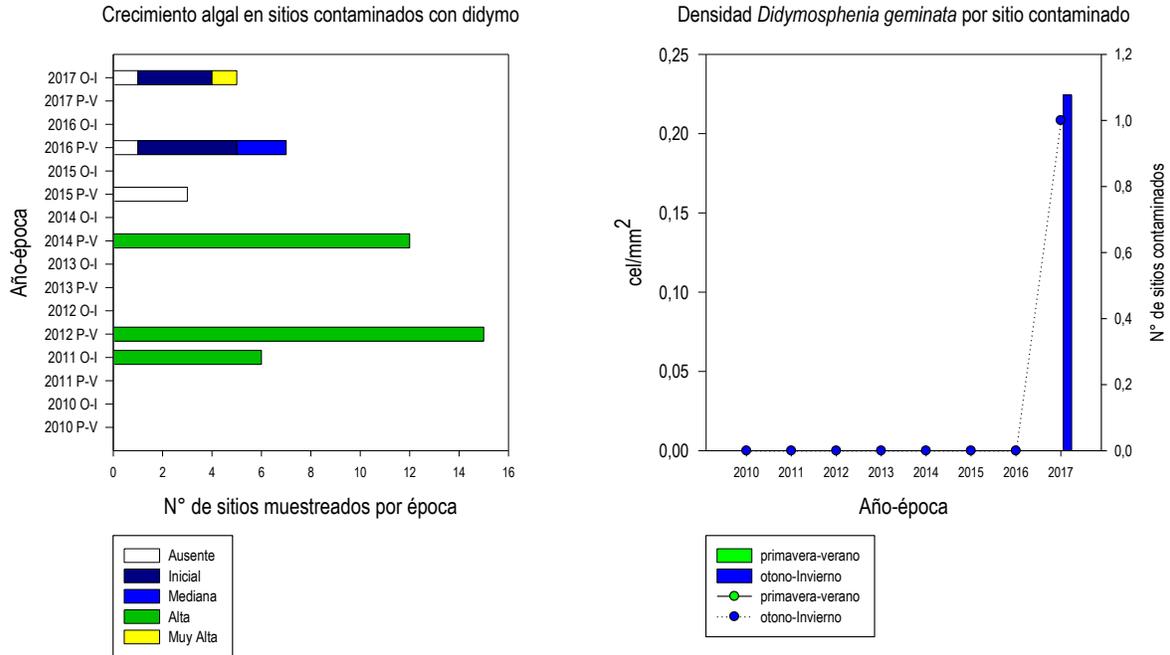


Figura 17. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en las cuencas Costeras e Islas entre Río Bueno y Río Puelo donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca Costeras e Islas entre Río Bueno y Río Puelo (Figura 17) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable y tiende a aumentar evolucionando de categorías Inicial y Mediana a Muy Alta en algunos sitios de muestreo.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, sólo durante la época otoño-invierno de 2017. Las categorías crecimiento algas observado el resto de los años no puede asociado a *D. geminata*.

Río Puelo

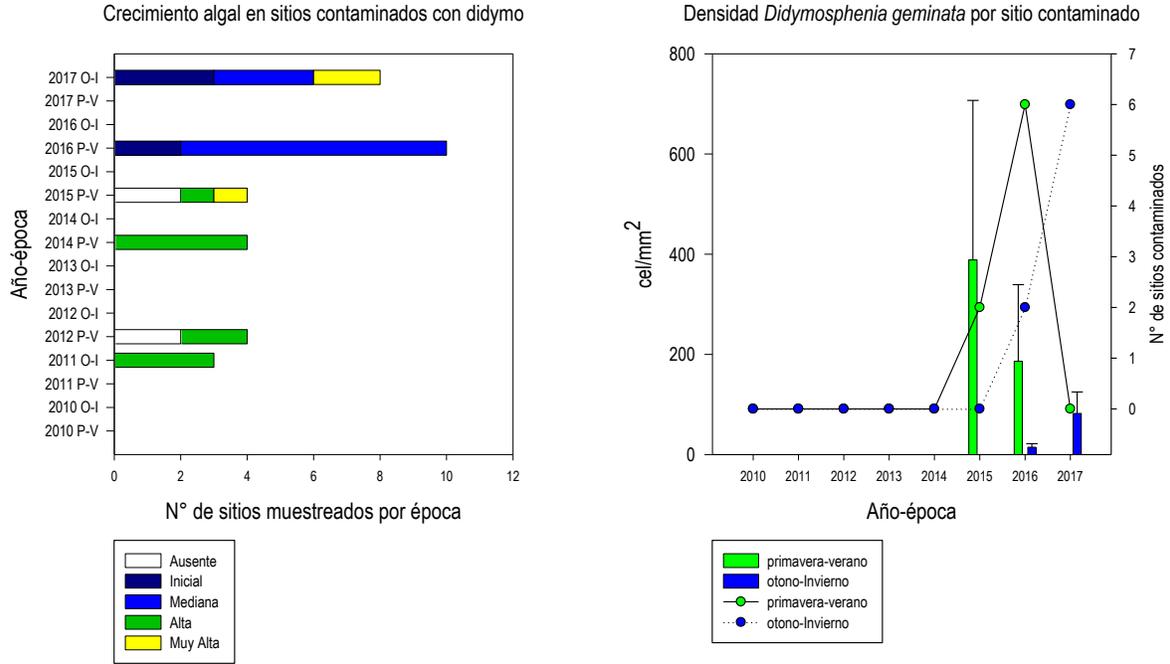


Figura 18. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Puelo donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Puelo (Figura 18) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de otoño-invierno del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable y tiende a aumentar evolucionando de categorías Inicial y Mediana a Muy Alta en algunos sitios de muestreo.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que las categorías de crecimiento se relacionan con la presencia de *D. geminata*, a partir la época primavera-verano de 2015. Las categorías crecimiento algas observado antes de 2015 no puede asociado a *D. geminata*

Río Yelcho

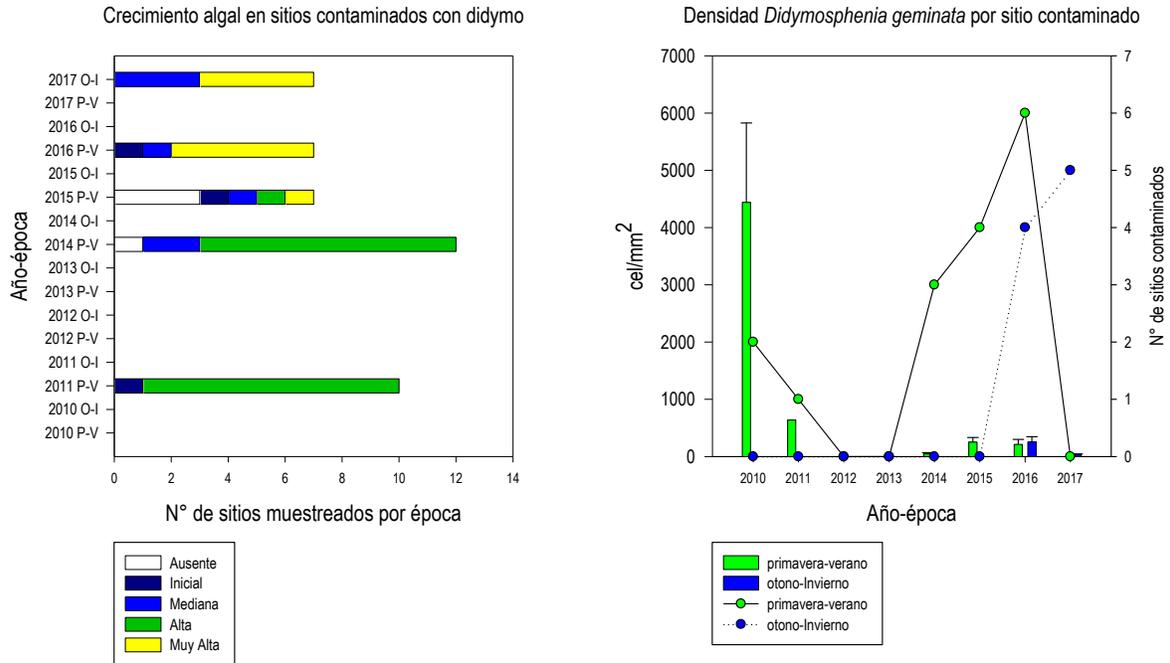


Figura 19. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Yelcho donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el período 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Yelcho (Figura 19) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es variable y tiende a dominar la categoría Muy Alta en más del 50% de los sitios muestreados en esta cuenca.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que desde que se inicia el registro de las categorías de crecimiento, *D. geminata* ha sido detectado en los sitios de muestreo distribuidos en esta cuenca.

Río Palena y Costeras Limite Decima Region

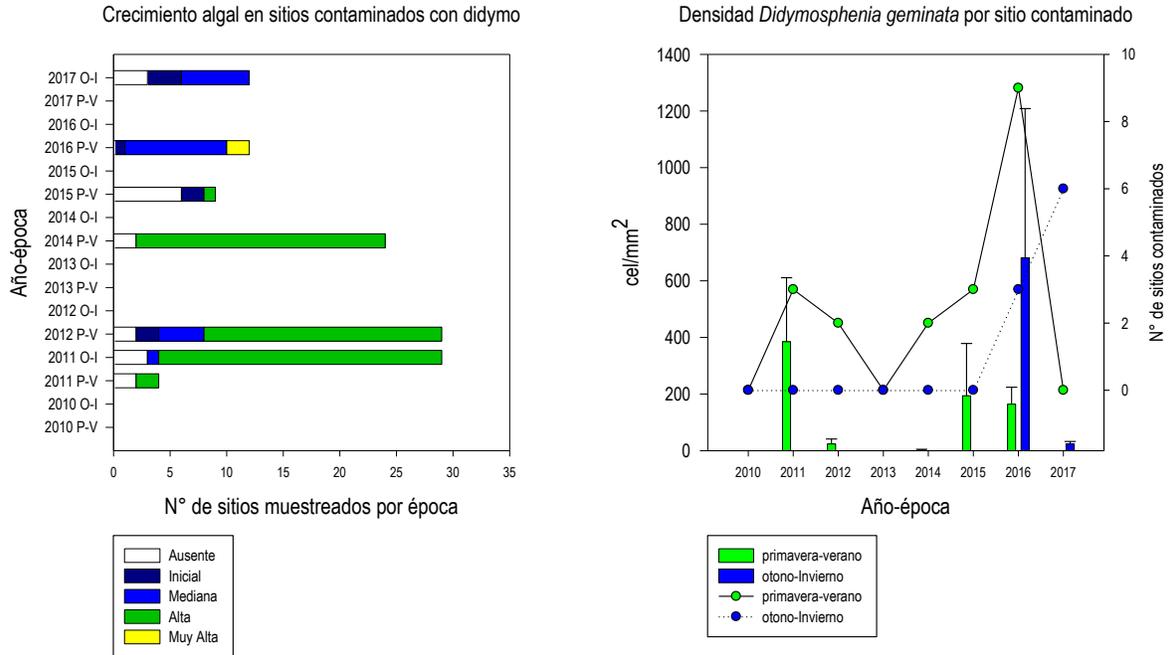


Figura 20. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Palena y Costeras Limite X Región donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Palena y Costeras Límite X Región (Figura 20) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es variable y tiende a disminuir, evolucionando de la categoría Muy Alta a Mediana e Inicial.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que desde que se inicia el registro de las categorías de crecimiento en la época de primavera-verano 2010, *D. geminata* ha sido detectado en los sitios de muestreo distribuidos en esta cuenca.

Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén

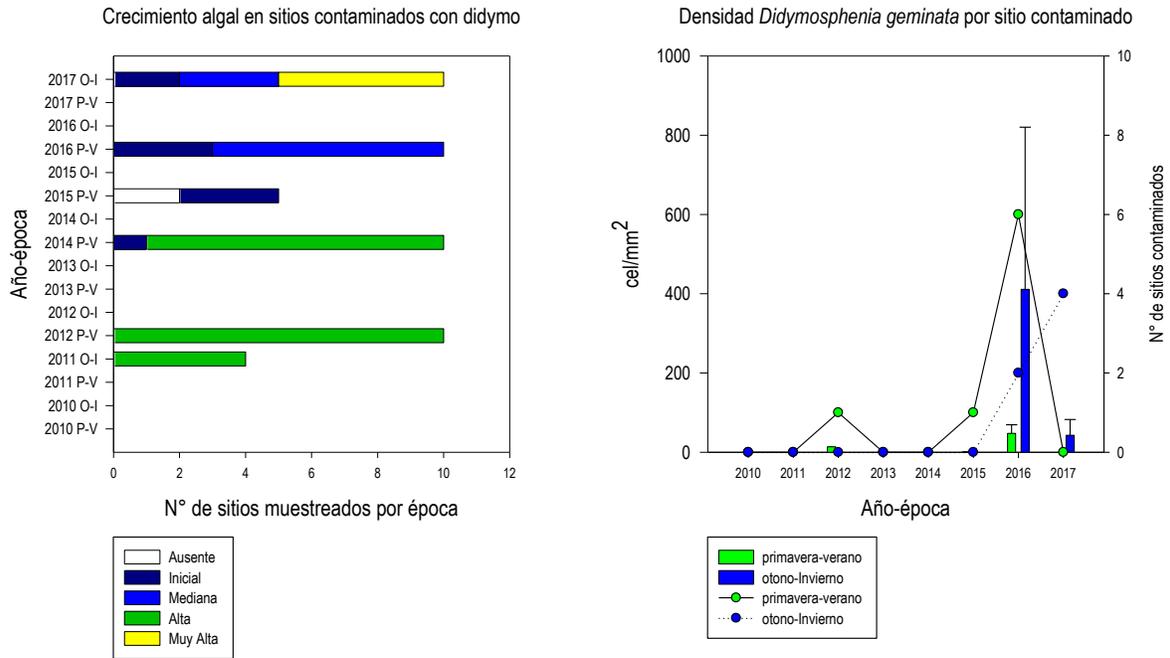


Figura 21. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en las cuencas Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén (Figura 21) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable, sin embargo, tiende a aumentar evolucionando de la categoría Mediana a Muy Alta.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que el crecimiento algal se relaciona con la presencia de especie a partir de la época primavera-verano de 2012.

Río Aysén

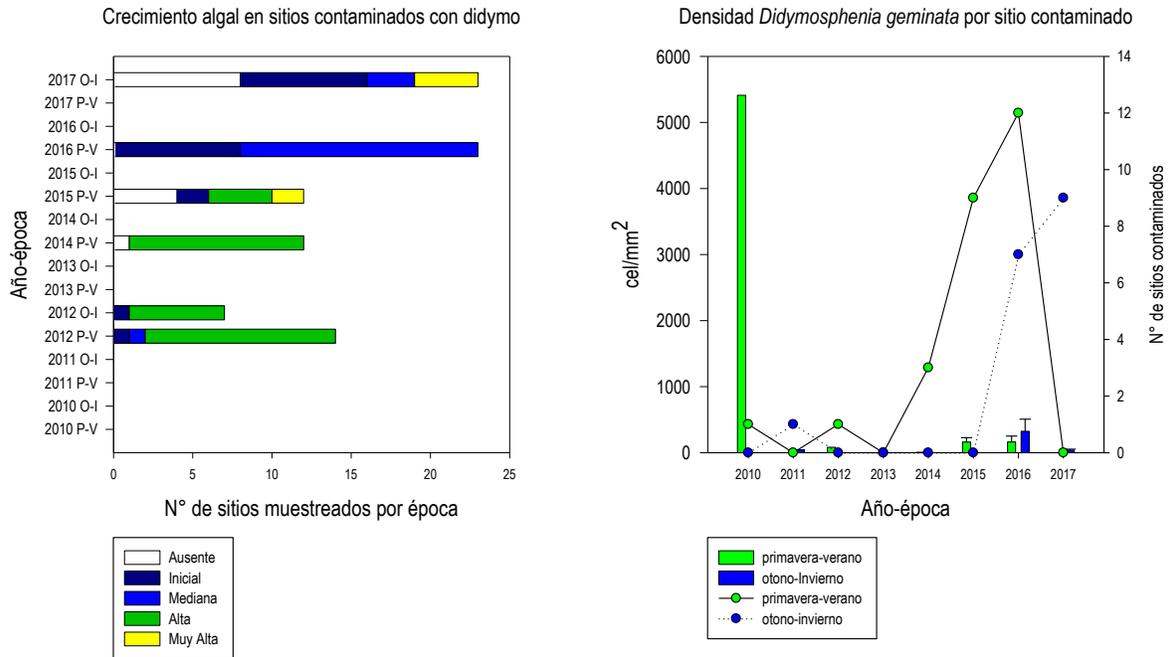


Figura 22. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Aysén donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Aysén (Figura 22) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2012 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable, sin embargo, tiende a aumentar evolucionando de la categoría Mediana a Muy Alta.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que el crecimiento algal se relaciona con la presencia de especie a partir de la época primavera-verano de 2012.

Costeras e Islas entre Río Baker y Río Pascua

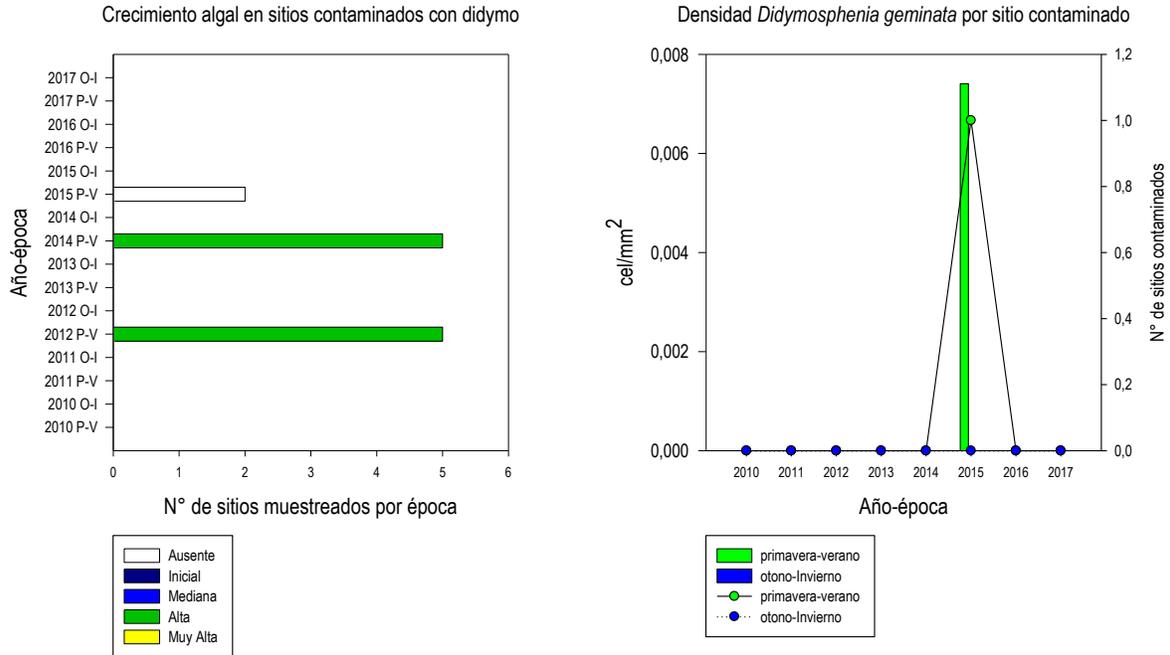


Figura 23. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en las cuencas Costeras e Islas entre río Baker y Río Pascua donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Baker y Pascua (Figura 23) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2012 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. Para las tres épocas donde se ha registrado crecimiento algal, se mantenido en la categoría Alta, sin embargo, en la época primavera-verano 2015.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que el crecimiento algal observado en la primavera-verano 2012 y primavera-verano 2014 no se relaciona con la presencia de especie. Para la primavera-verano 2015 se detecta la presencia de *D. geminata* en el bentos, sin embargo, no se registra crecimiento algal evidente. Es importante señalar que el crecimiento algal se evalúa visualmente y excluye el crecimiento de biofilm, el cual es detectado al tacto.

Río Baker

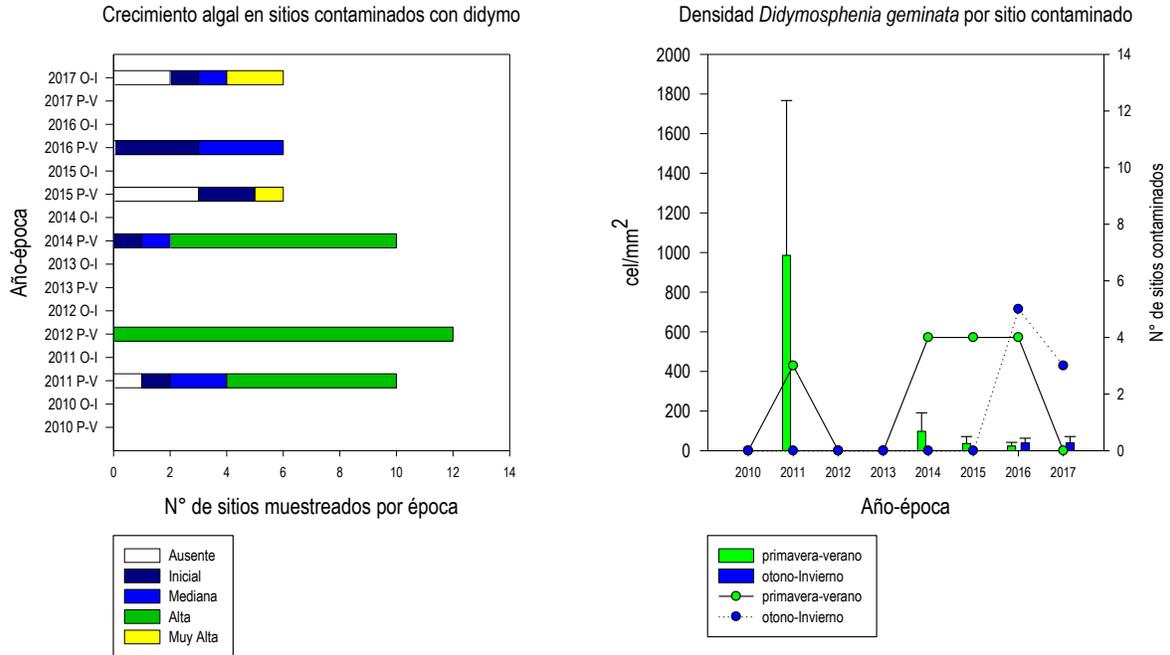


Figura 245. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Río Baker donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en la cuenca del Río Baker (Figura 24) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2011 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En los dos últimos años se observa que la intensidad del crecimiento es estable y tiende a aumentar evolucionando de la categoría Inicial y Mediana a muy alta.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que desde que se inicia el registro de las categorías de crecimiento en la época de primavera-verano 2011, *D. geminata* ha sido detectado en los sitios de muestreo distribuidos en esta cuenca.

Costeras entre Seno Andrew y Río Holleberg e islas al oriente

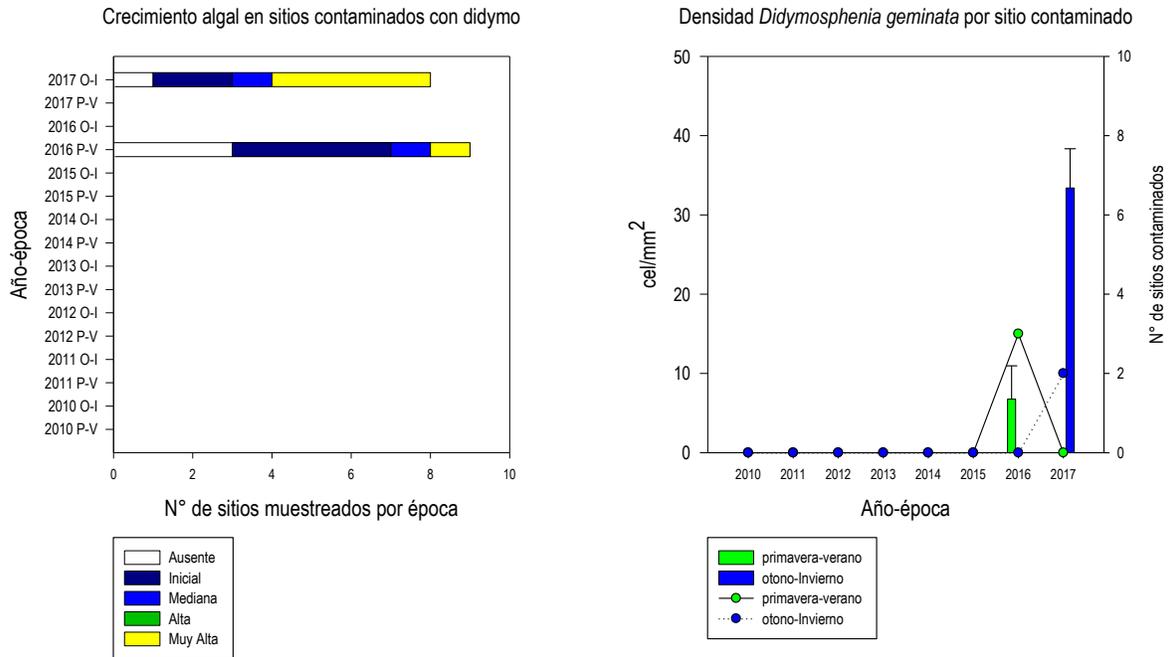


Figura 256. Crecimiento algal observado en los sitios de muestreo distribuidos en la cuenca del Costeras entre Seno Andrew y Río Holleberg e Islas al Oriente donde se ha registrado la presencia de *D. geminata* durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno en el periodo 2010-2017. También se muestra la densidad de *D. geminata* y el número de sitios contaminados con la plaga a través de los años del periodo señalado.

La evolución del crecimiento algal en las cuencas Costeras entre Seno Andrew y Río Holleberg e Islas al Oriente (Figura 25) da cuenta que el crecimiento algal se detectó a partir de la época de primavera-verano del año 2016 y tiende a persistir en alguna categoría de crecimiento en al menos una época. En el último año se observa que la intensidad del crecimiento es variable y tiende a dominar la categoría Muy Alta en más del 50% de los sitios muestreados en esta cuenca.

Al complementar esta información con la densidad de células de *D. geminata* y el número de sitios contaminados, se observa que desde que se inicia el registro de las categorías de crecimiento, *D. geminata* ha sido detectado en los sitios de muestreo distribuidos en esta cuenca.



Objetivo Específico 3:

Determinar parámetros físicos y químicos en cada uno de los ríos prospectados.

De manera previa a los análisis propuestos, se revisaron las correlaciones significativas entre todas las variables ambientales para poder identificar aquellas variables redundantes no informativas. Este tipo de variables, que presentaron valores de r altos ($r > 0.9$) fueron eliminadas del set de dato para no interferir en los resultados (Tabla 4).

Los análisis multivariados de los datos obtenidos en ambas campañas de monitoreo, realizados primeramente a través de la rutina ANOSIM (Análisis de Similitudes), muestran que existen diferencias significativas entre los datos provenientes de las estaciones muestreadas en las épocas de primavera-verano y otoño-invierno ($R_{\text{global}}=0.6$; $p=0.1\%$) y también existe un grado de diferenciación de los datos entre las distintas cuencas muestreadas ($R_{\text{global}}=0.212$; $p=0.1\%$), al igual que entre las subcuencas ($R_{\text{global}}=0.276$; $p=0.1\%$) y entre las sub-subcuencas ($R_{\text{global}}=0.276$; $p=0.1\%$). Además, se usó como factor también se realizó ANOSIM de dos vías empleando como factor la época y la cuenca y en este caso se obtuvo un $R_{\text{global}}=0.729$; $p=0.1\%$ para las comparaciones realizadas entre cuencas a través de las dos épocas, y un $R_{\text{global}}=0.313$; $p=0.1\%$ para las comparaciones entre épocas a través de las cuencas.

Estas diferencias pueden ser observadas en un nMDS usando como factores los mismos factores que de acuerdo a ANOSIM generan diferencias significativas entre los grupos de datos. En este caso en particular, se utilizaron los factores época (Figura 26) y cuenca (Figura 27) para visualizar la segregación espacial de los datos, que corresponden a los factores que presentaron los valores de R_{global} más elevados.

Además, los datos fueron ordenados empleando un análisis de cluster promediando los valores por cuenca y para poder observar las relaciones existentes entre las cuencas muestreadas en base a las variables físicas y químicas incorporadas en la presente etapa de monitoreo. De la Figura 28 se desprende que existen 6 agrupaciones de cuencas que son significativamente distintas entre sí (Test de Simprof $p < 0.05$). El grupo principal contiene 9 cuencas incluyendo río Biobío, Imperial, Toltén, Valdivia, Bueno, Yelcho, Palena y Costeras Límite Décima Región, Costeras e Islas entre Palena y Aysén, y Aysén. La cuenca del río Itata forma una rama única que presenta una gran similitud con el grupo descrito antes. Luego, menos similar a los dos grupos mencionados, es el grupo constituido por Cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo, y Puelo. Seguido de las ramas anteriores, se encuentra la rama que representa a Vertiente del Atlántico, y luego se encuentra un pequeño grupo formado por la cuenca del río Baker y Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente. El último grupo de mayor disimilitud respecto al resto de las agrupaciones descritas anteriormente, corresponde al que aglomera a Tierra del Fuego, Maule y Costeras e islas entre Río Holleberg y Golfo Alte. Laguna Blanca.



Los resultados de SIMPER (Tabla 5) indicaron que las variables que tuvieron un mayor porcentaje de contribución a las diferencias entre las dos épocas de muestreo fueron Nitrito, Fosfato, NKT, Nitrato, PT, Diversidad de Sustrato (SUDI), que en conjunto contribuyen en un 47.58 % a la disimilitud entre las épocas de muestreo, dado que estas son las variables cuyos valores promedio difieren mayormente entre primavera-verano y otoño-invierno.



Tabla 4. Correlaciones entre las principales variables ambientales que fueron medidas en el presente programa de monitoreo (septiembre 2016-agosto 2017). En negrita se destacan las correlaciones estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

	Long.	Lat.	Elev.	pH	OD	Cond.	Temp.	TDS	Prof.	Vel.	N.	Fosf.	Nitrato	Nitrito	NKT	N total	PT	Silicat.	Ca	Turb.	SUDI	
	(UTM)	(UTM)	(m)		(mg/l)	(uS/cm)	(°C)	(ppm)	(cm)	(m/s)	Froude	(mg PO4/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg N/L)	(mg N/L)	(mg P/L)	(mg/L)	(mg Ca/L)	(UNT)		
Long. (UTM)	-																					
Lat. (UTM)	-0.073	-																				
Elev. (m.)	0.680	0.359	-																			
pH	0.224	0.202	0.258	-																		
OD (mg/l)	-0.080	-0.131	-0.227	-0.074	-																	
Cond. (uS/cm)	0.108	0.150	0.201	0.464	0.003	-																
Temp. (°C)	-0.185	0.298	-0.017	-0.019	-0.213	0.053	-															
TDS (ppm)	0.106	0.136	0.202	0.444	-0.004	0.958	0.030	-														
Prof. (m.)	-0.104	0.183	-0.046	-0.054	-0.124	0.016	0.262	0.022	-													
Velo. (m/s)	0.015	-0.061	0.086	0.051	0.102	0.090	-0.054	0.062	-0.269	-												
N. Froude	0.038	-0.098	0.093	0.058	0.117	0.079	-0.116	0.055	-0.516	0.948	-											
Fosf. (mg PO4/L)	-0.111	0.169	0.034	-0.288	-0.071	-0.082	0.456	-0.10	0.151	0.077	0.017	-										
Nitrato (mg NO3N/L)	-0.031	0.126	-0.007	-0.189	-0.064	0.008	0.309	-0.01	0.093	-0.010	-0.035	0.654	-									
Nitrito (mg NO2N/L)	-0.213	0.068	-0.108	-0.335	-0.084	-0.180	0.352	-0.20	0.121	0.082	0.031	0.891	0.676	-								
NKT (mg N/L)	-0.052	0.133	0.017	-0.320	-0.074	-0.212	0.319	-0.23	0.136	0.037	-0.007	0.806	0.589	0.828	-							
N total (mg N/L)	-0.020	0.146	0.021	-0.300	-0.067	-0.179	0.327	-0.20	0.130	0.010	-0.031	0.807	0.717	0.835	0.970	-						
PT (mg P/L)	-0.109	0.151	0.023	-0.298	-0.027	-0.018	0.413	-0.03	0.108	0.079	0.034	0.888	0.604	0.807	0.731	0.730	-					
Silicato (mg SiO2/L)	0.066	0.511	0.426	0.230	-0.159	0.403	0.242	0.404	0.043	0.072	0.051	0.181	0.132	-0.006	-0.018	-0.002	0.223	-				
Ca (mg Ca/L)	0.232	-0.283	0.005	0.262	0.043	0.630	-0.075	0.600	-0.120	0.020	0.043	-0.230	-0.065	-0.257	-0.272	-0.228	-0.14	0.048	-			
Turbiedad (UNT)	0.071	-0.183	-0.010	0.227	0.176	0.254	-0.256	0.272	-0.131	0.049	0.081	-0.506	-0.372	-0.572	-0.501	-0.505	-0.37	0.015	0.335	-		
SUDI	0.088	-0.009	0.017	-0.142	-0.091	-0.070	0.218	-0.08	0.036	-0.029	-0.032	0.422	0.326	0.400	0.337	0.361	0.420	0.060	0.004	-0.255	-	

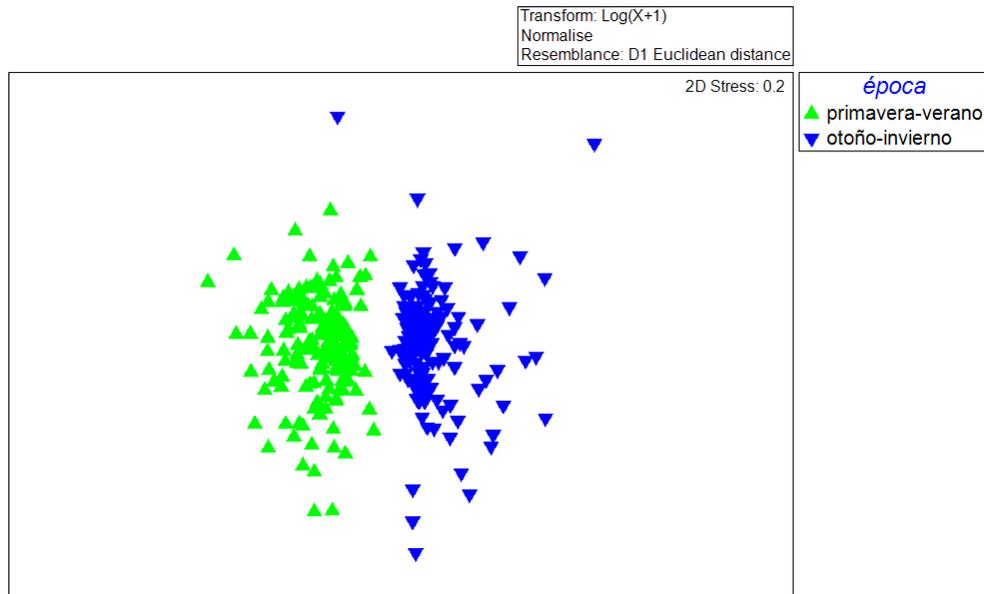


Figura 26. Escalamiento Multidimensional No Paramétrico empleando la época de muestreo como el factor de agrupamiento. Las figuras de color verde representan las estaciones muestreadas en la época primavera-verano-2016, mientras que las figuras de color azul simbolizan las estaciones muestreadas en la época otoño-invierno-2017.

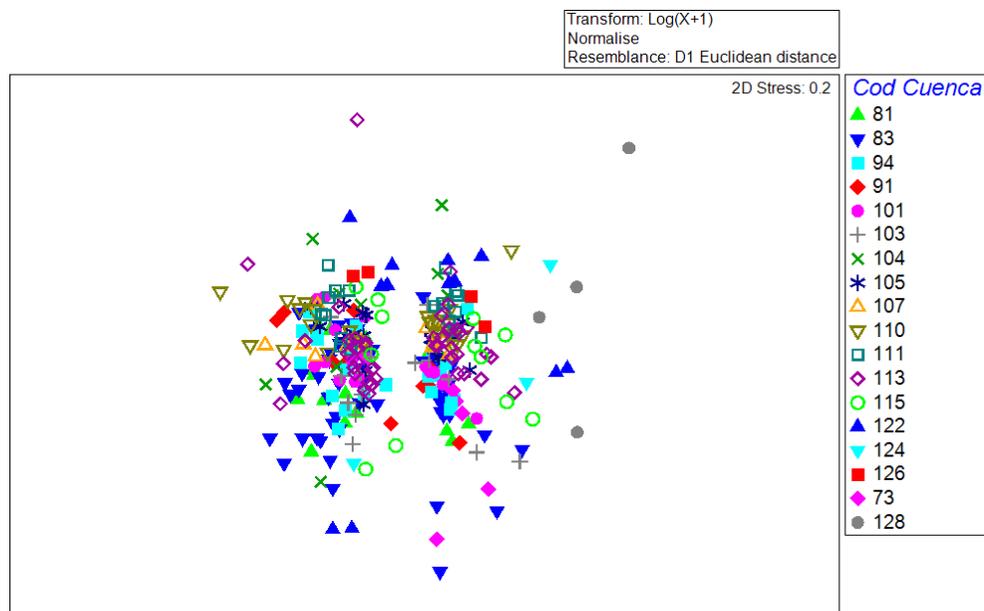


Figura 27. Escalamiento Multidimensional No Paramétrico empleando las cuencas como el factor de agrupamiento. Cada una de las figuras representa las distintas cuencas muestreadas en el periodo de estudio.

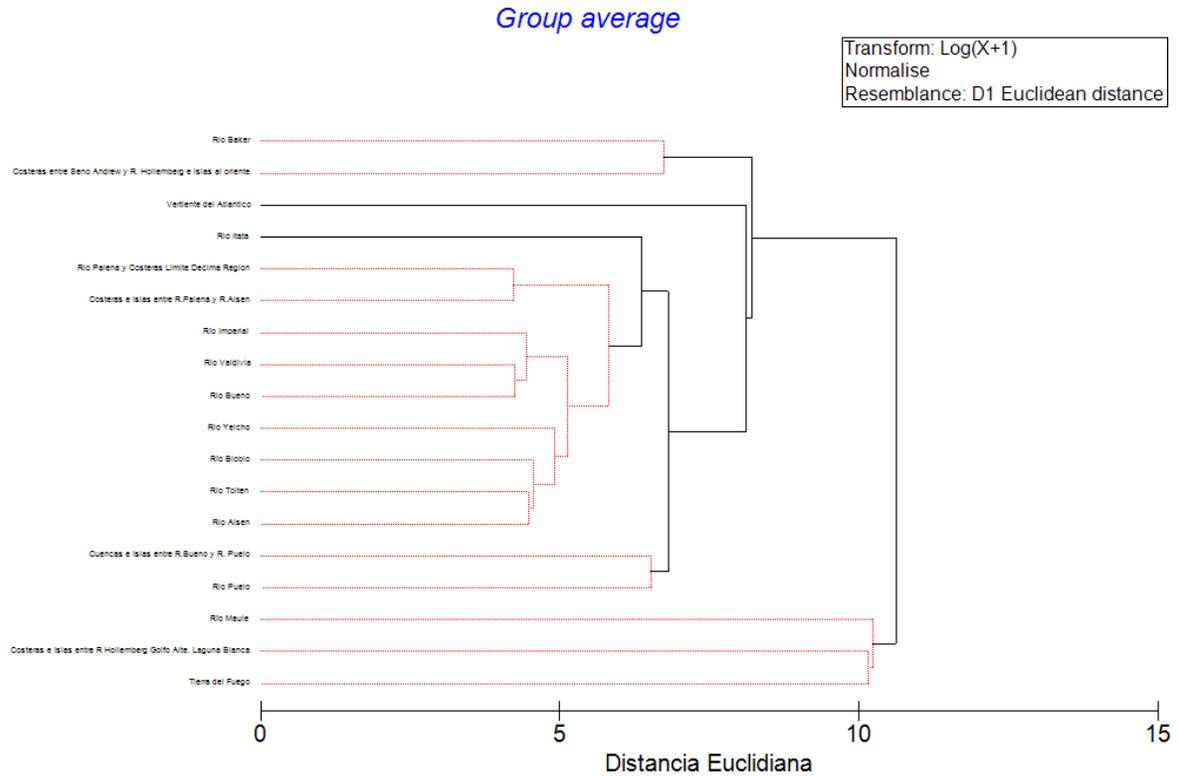


Figura 28. Cluster de las estaciones de muestreo promediadas por cuenca. Las ramas de color rojo indican que las cuencas son parte de un grupo significativamente distinto del resto. Dentro de una misma rama las líneas rojas muestran que no tienen diferencias estadísticamente significativas entre sí.



Tabla 5. Resultados del análisis del Porcentaje de Similitud (SIMPER), donde se listan las variables que tienen mayor contribución a las diferencias encontradas entre las estaciones muestreadas en las épocas primavera-verano y otoño-invierno. Se muestra el valor promedio de las variables para cada época, el porcentaje de contribución individual y el porcentaje de contribución acumulado.

Variable	Primavera-verano Promedio	Otoño-invierno Promedio	Distancia Promedio ²	Distancia ² / D.S	% Contribución	% Contribución Acumulado
Nitrito (mg NO ₂ N/L)	0.100	0.002	4.04	21.81	9.7	9.7
Fosfato (mg PO ₄ /L)	1.001	0.022	4.01	11.49	9.63	19.33
NKT (mg N/L)	2.469	0.047	3.53	1.1	8.47	27.8
Nitrato (mg NO ₃ N/L)	0.261	0.134	2.84	0.48	6.82	34.62
PT (mg P/L)	0.498	0.029	2.72	0.91	6.53	41.15
SUDI	0.0002	0.0001	2.68	0.67	6.44	47.58
Temperatura	12.577	12.724	2.57	0.43	6.17	53.75
Número de Froude	0.031	0.031	2.32	0.48	5.56	59.31
Turbiedad (UNT)	1.877	23.226	2.14	0.37	5.13	64.45
Velocidad (m/s)	0.611	0.577	2.06	0.71	4.96	69.41
Profundidad (cm)	45.474	41.612	2.02	0.67	4.85	74.25
OD (mg/l)	9.949	10.431	1.96	0.51	4.71	78.97
pH	7.239	7.513	1.66	0.61	3.99	82.96
TDS	29.839	37.831	1.38	0.56	3.32	86.28
Conductividad (uS/cm)	62.094	77.239	1.35	0.56	3.25	89.53
Elevación (m)	236.309	244.683	1.31	0.54	3.14	92.66

1) Variables físico-químicas medidas *in situ*

Se midieron 5 variables directamente en el río al momento del muestreo biológico: temperatura (°C, Figura 29.), pH (Figura 30.), conductividad (uS/cm, Figura 31.), oxígeno disuelto (mg/L, Figura 32), sólidos disueltos totales (ppm, Figura 33.). De acuerdo a los análisis de ordenación espacial de los datos mostrados en el punto anterior (ver Figura 34), los datos obtenidos en cada estación de monitoreo muestran diferencias que se deben a las épocas en que fueron obtenidos los datos. En el caso de la temperatura del agua la (Figura 35), que las temperaturas registradas entre las cuencas del río Itata y el río Toltén no exhiben grandes diferencias entre la variabilidad de ambas épocas. Al contrario, desde la cuenca del río Imperial hacia el sur el efecto de la temporalidad se hace más evidente, encontrándose una mayor amplitud térmica entre ambas épocas. En consecuencia, la temperatura promedio registrada por cuenca fue mayor en primavera-verano (campana 1, 2016) en relación a lo detectado en otoño-invierno. Las temperaturas promedio por cuenca y por época de muestreo son detalladas en la Tabla 5.

Respecto al pH (Figura 30.), se observa una tendencia general caracterizada por un incremento en este parámetro durante la época de otoño-invierno (2017) a lo largo de todo el rango geográfico,



excepto en las cuencas de los ríos Toltén (cód. 94) y Baker (cód. 115) donde se obtuvieron valores de pH mayor alcalinidad en la época de primavera-verano. El menor valor de pH fue 6.6 y fue registrado en la cuenca “Costeras entre Palena y Aysén” durante la época primavera-verano, mientras que el pH más elevado fue medido fue 7.9 y fue medido en las cuencas de los ríos Itata (cód. 81), Valdivia (cód. 101) y Maule (cód. 73) durante otoño-invierno.

En el caso de la conductividad (Figura 31), se observa que este parámetro tiende a incrementarse durante la otoño-invierno en algunas cuencas, como Itata (cód. 81), Toltén (cód. 94) y Valdivia (cód. 101). Sin embargo, gran parte de las cuencas no exhibe diferencias marcadas entre ambas cuencas.

La concentración del oxígeno disuelto (OD, Figura 32) muestra diferencias mínimas entre ambas épocas, excepto en la cuenca del río Biobío (cód. 83), donde se observa un valor más elevado para este parámetro durante otoño-invierno que en primavera-verano.

Los sólidos disueltos totales (TDS, Figura 33) muestran una leve tendencia al incremento durante la época otoño-invierno, la cual puede ser visualizada con mayor claridad en las cuencas de los ríos Itata (cód. 81), Toltén (cód. 94) y Valdivia (cód. 101).

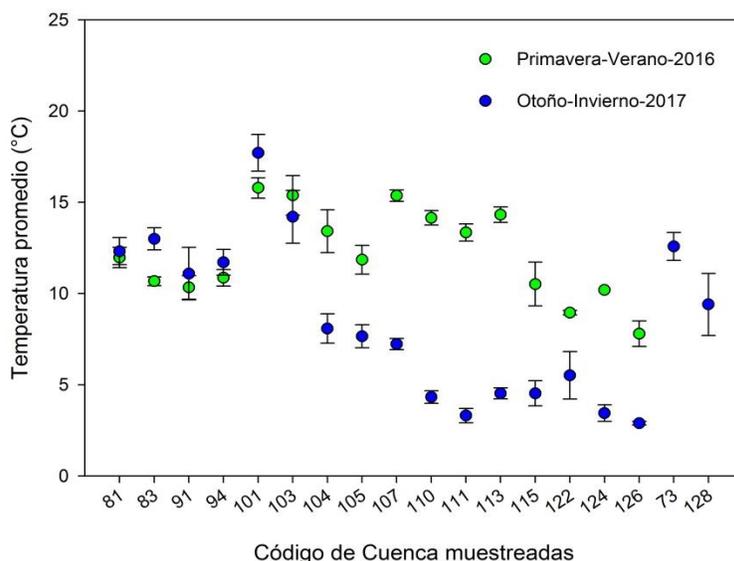


Figura 29. Variaciones de la temperatura promedio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los círculos representan el valor promedio mientras que las líneas verticales (whiskers) representan el error estándar de los datos por cuenca. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

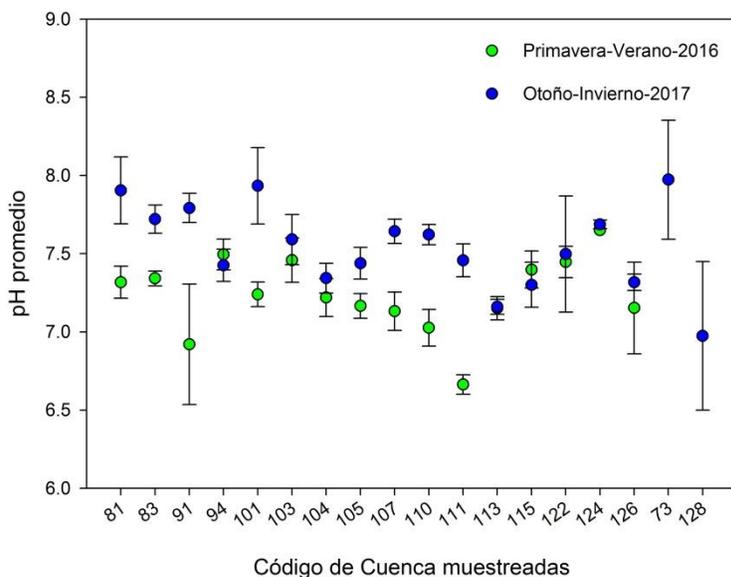


Figura 30. Variaciones del pH promedio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg; 124: Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

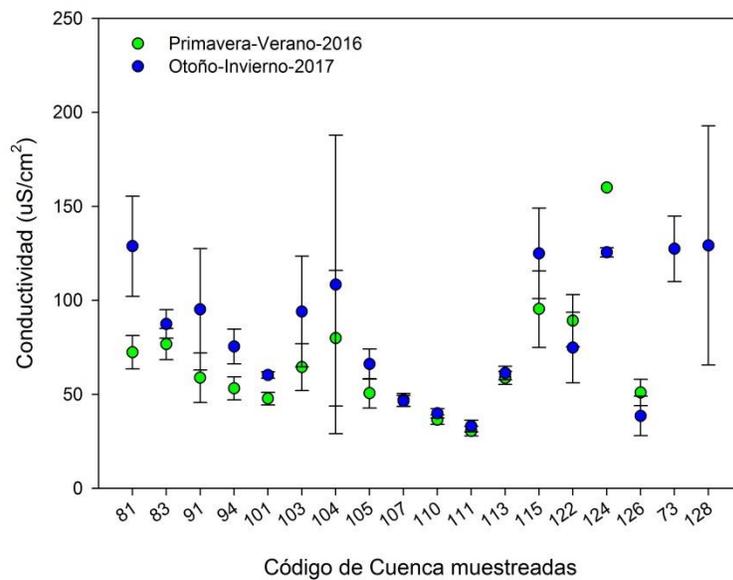


Figura 31. Variaciones de la de la conductividad promedio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

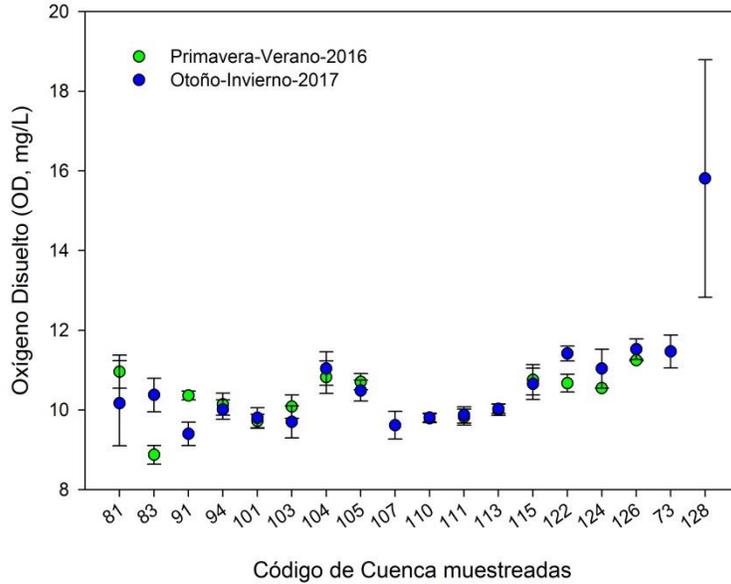


Figura 32. Variaciones del oxígeno disuelto promedio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los círculos representan el valor promedio mientras que las líneas verticales (whiskers) representan el error estándar de los datos por cuenca. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

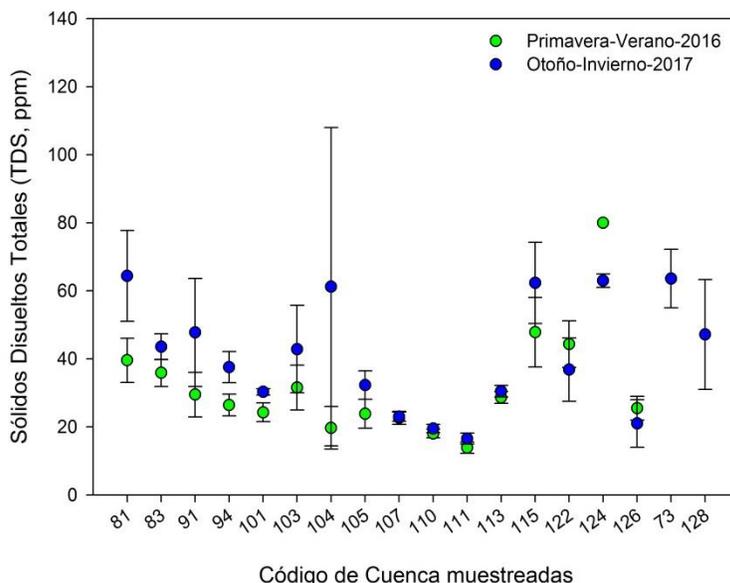


Figura 33. Variaciones de los sólidos disueltos totales (TDS, ppm) promedio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los círculos representan el valor promedio mientras que las líneas verticales (whiskers) representan el error estándar de los datos por cuenca. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

2) Variables físico-químicas cuantificadas en laboratorio

Al igual que en el punto anterior, y de acuerdo a los análisis de ordenación espacial basados en los datos obtenidos en cada estación (ver Figura 27), se observan diferencias debidas a las épocas de muestreo. Dentro de este tipo de variables se han clasificado: fósforo total, fosfato, nitrato, nitrito, nitrógeno total, nitrógeno total de Kjeldahl, silicato, calcio y turbiedad. En el caso del fosfato (Figura 34) no es posible hacer comparaciones entre las épocas de muestreo debido a que los valores obtenidos para la campana realizada en primavera-verano no superan el límite de detección del método analítico empleado por el laboratorio. Por este problema metodológico, en la Figura 34, los valores obtenidos en primavera-verano parecen ser superiores a los medidos en otoño-invierno. Al analizar las concentraciones de este parámetro obtenidas para la época otoño-invierno, se observa que los valores promedio máximos para el fosfato se encontraron en las cuencas de los ríos Imperial (cód. 91) y Toltén (cód. 94), seguidas de Itata (cód. 81), Biobío (cód. 83), Bueno (cód. 103) y Tierra del Fuego (cód. 128).



En cuanto a la concentraci3n de F3sforo Total (Figura 35), se observa una marcada diferencia entre ambas 3pocas de muestreo, alcanzando mayores valores en primavera-verano-2016, excepto en la cuenca denominada Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo (c3d. 104) donde las diferencias entre ambas 3pocas no son distinguibles. La concentraci3n m3xima de este par3metro en primavera-verano fue registrada en Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg (c3d. 122) y en Tolt3n (c3d. 94). Al contrario, en invierno la mayor concentraci3n fue registrada en Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo (c3d. 104).

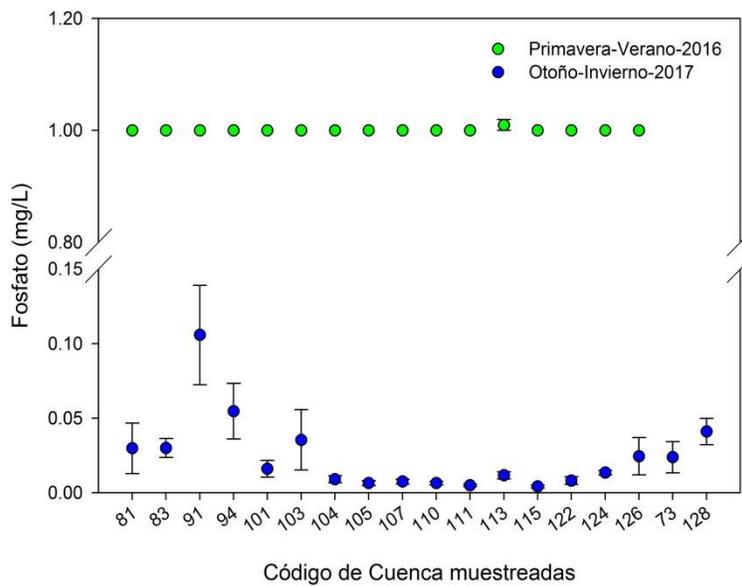


Figura 34. Variaci3n de la concentraci3n promedio de fosfato por cuenca en primavera-verano 2016 (c3mpa1a 1) y en oto1o-invierno 2017 (c3mpa1a 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg; 124: Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

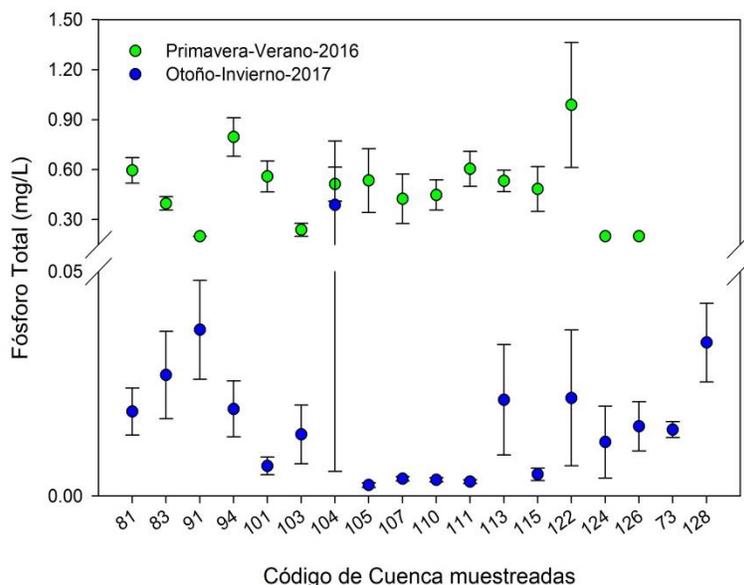


Figura 35. Variaci3n de la concentraci3n promedio de F3sforo Total por cuenca en primavera-verano 2016 (campa1a 1) y en oto1o-invierno 2017 (campa1a 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error estandar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg; 124: Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

En relaci3n a las concentraciones de nitrato (Figura 36), se registra una leve tendencia al incremento en primavera-verano, excepto en Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca (c3d. 124), donde la mayor concentraci3n promedio es alcanzada en oto1o-invierno. Respecto a la concentraci3n de nitrito (Figura 37) no es posible clarificar una tendencia en la variaci3n temporal de este par3metro, ya que, las concentraciones promedio por cuenca no superan el l3mite de detecci3n empleado por el laboratorio (0.1 mg/L). Al centrar el an3lisis de variaci3n 3nicamente en la 3poca de oto1o-invierno, es posible identificar que los mayores valores fueron medidas en muestras provenientes del r3o Bueno (c3d. 103) y Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca (c3d. 124).

Acerca del silicato promedio por cada cuenca (Figura 38), no es posible describir un patr3n espacio temporal en la variaci3n de su concentraci3n, pudi3ndose encontrar cuencas que presentan valores mayores en primavera-verano, como ocurre en la cuenca del r3o Valdivia (c3d. 101), r3o Puelo (c3d. 103), y r3o Yelcho (c3d. 107); otras cuencas que presentan valores m3ximos en oto1o-invierno, como es el caso de las cuencas de los r3os Itata (c3d. 81), Imperial (c3d. 91), Vertiente del Atl3ntico (c3d. 126); y un n3mero importante de cuencas que no presentan diferencias entre las 3pocas de muestreo, como se puede observar en el r3o Puelo (c3d. 105), Palena y Costeras l3mite D3cima Regi3n (c3d. 110) y Baker (c3d. 115).

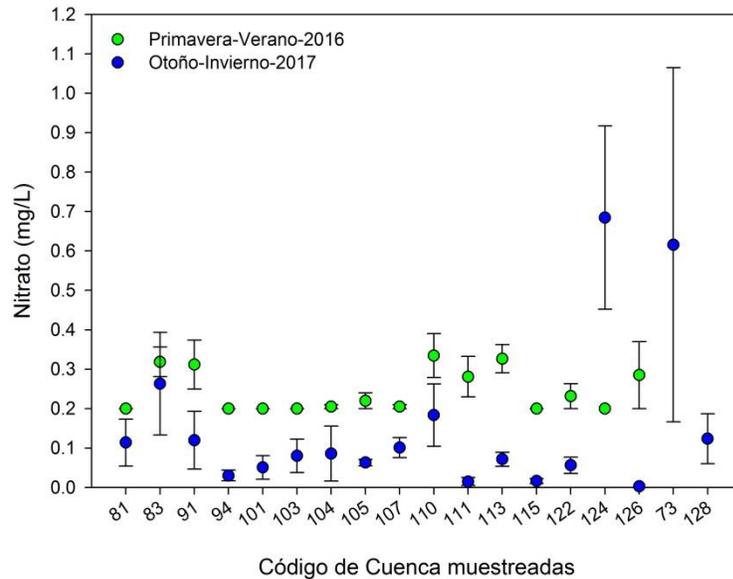


Figura 36. Variaci3n de la concentraci3n promedio de nitrato por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error estandar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

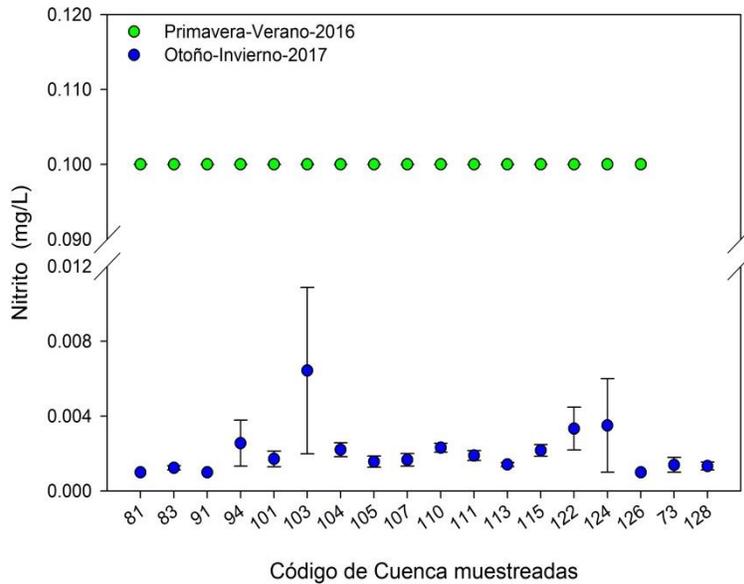


Figura 37. Variaci3n de la concentraci3n promedio de nitrito por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

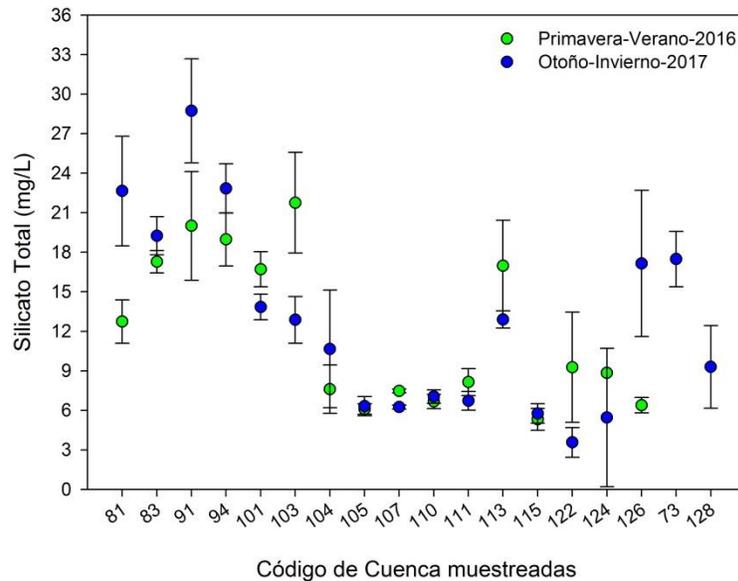


Figura 38. Variaci3n de la concentraci3n promedio de silicato por cuenca en primavera-verano 2016 (campaña 1) y en otoño-invierno 2017 (campaña 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error estandar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

La concentraci3n de Calcio promedio en cada cuenca (Figura 39), presenta una tendencia evidente a presentar menores valores en la 3poca primavera-verano, especialmente en el rango geogr3fico que abarca desde las cuencas del Itata a la cuenca de r3o Puelo. Hacia el sur de este rango los valores de calcio tienden a ser homog3neos entre ambas 3pocas. Los valores m3ximos encontrados para la concentraci3n de este par3metro fueron registrados en las cuencas del r3o Bueno (c3d. 103) y Baker (c3d. 115) en otoño-invierno-2017.

Finalmente, la variaci3n de la turbidez se muestra en la Figura 40, donde es posible observar que los valores de este par3metro tienden a ser muy bajos en gran parte de las cuencas, y no llegan a superar las 10 UTN. No obstante, existen cuencas que presentan valores m3s elevados que el resto del 3rea de estudio, como ocurre en Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo (c3d. 104) en otoño-invierno; en la cuenca Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg (c3d. 122) en ambas 3pocas, y Tierra del Fuego (c3d. 128) en otoño-invierno.

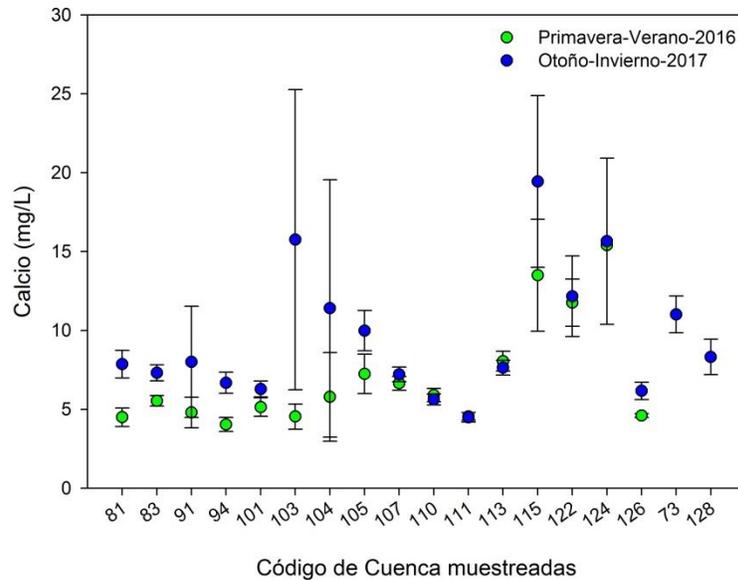


Figura 39. Variaci3n de la concentraci3n promedio de calcio por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error estandar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

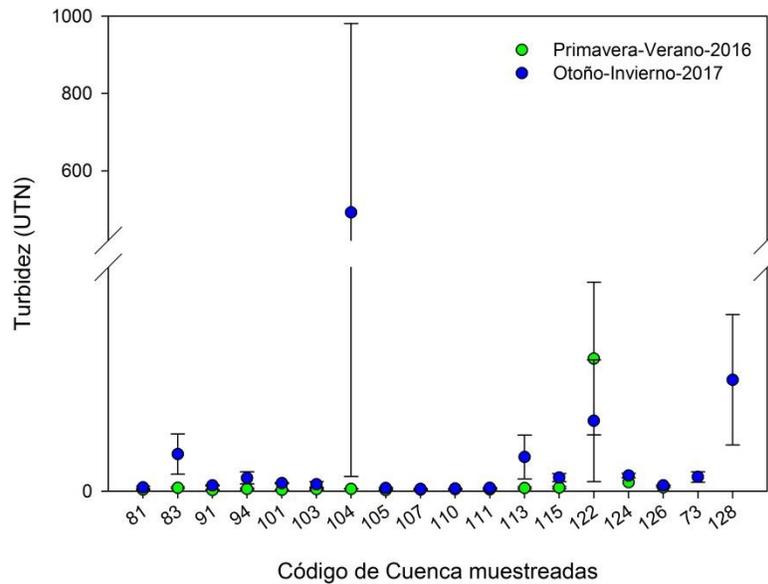


Figura 40. Variaci3n de la turbidez por cuenca en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

3) Variables hidr3ulicas/hidrol3gicas

En este tipo de variables se incluye la profundidad, velocidad de la corriente (velocidad en tres puntos de la columna de agua, y su promedio), y el n3mero de Froude que es calculado a partir de la profundidad, velocidad de la corriente y la aceleraci3n de la gravedad. Analizando el n3mero de Froude (ver Figura 41), se observa una tendencia entre la cuenca del r3o Itata (c3d. 81) y el r3o Puelo (c3d. 105) que muestra que en primavera-verano este par3metro tiende a ser mayor que en otoño-invierno. Inversamente, entre las cuencas del r3o Yelcho (c3d. 107) y el r3o Baker (c3d. 115) se encontr3 que este par3metro tiende a ser mayor en otoño-invierno que en primavera-verano. Luego, en las cuencas muestreadas en la regi3n de Magallanes (122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego) nuevamente se exhibe un aumento de este par3metro en primavera-verano.

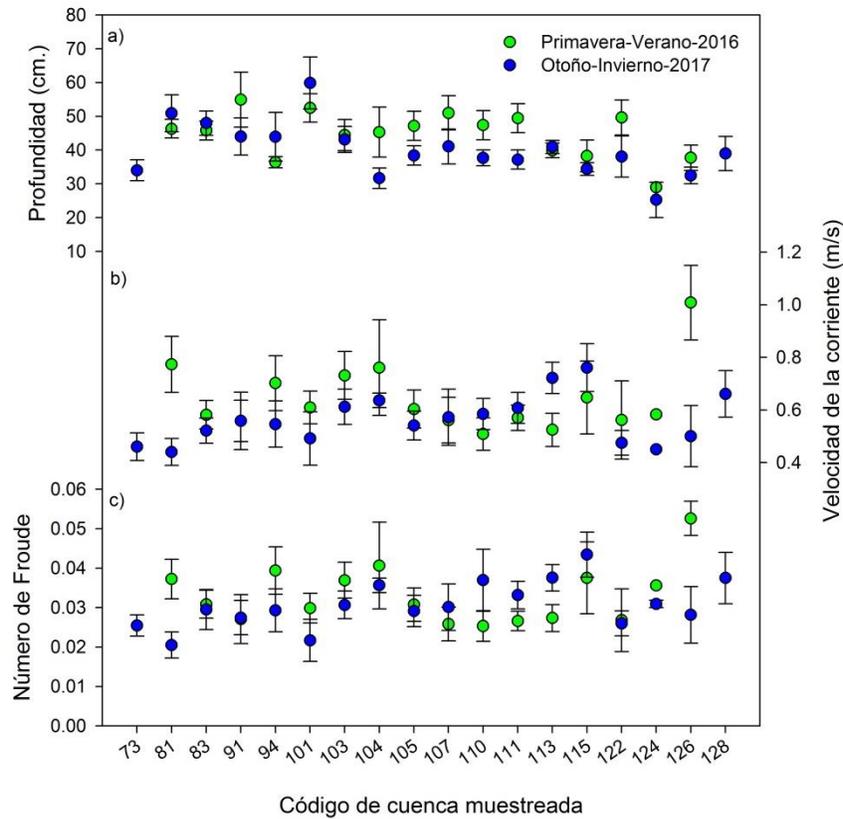


Figura 41. Variaci3n de la profundidad a), velocidad b) y n3mero de Froude c) promedio por cada una de las cuencas muestreadas en primavera-verano 2016 (campana 1) y en otoño-invierno 2017 (campana 2). Los c3rculos representan el valor promedio mientras que las l3neas verticales (whiskers) representan el error est3ndar de los datos por cuenca. Los n3meros del eje x provienen de la nomenclatura de identificaci3n de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biob3o; 91: Imperial; 94: Tolt3n; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n; 111: Costeras e Islas entre Palena y Ays3n; 113: Ays3n; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atl3ntico; 128: Tierra del Fuego.

4) Variables del sustrato de fondo

De acuerdo a las Figuras 42 y 43 es posible caracterizar el sustrato de los tramos estudiados. En primer lugar, la Figura 42 muestra que la mayor frecuencia de estaciones muestreadas se concentra en las categor3as de sustrato de fondo denominadas como Arenas, Gravas, Bolones y Bloques y Piedras, lo cual significa que son los tipos de sustrato m3s recurrentes en las estaciones de muestreo. Similarmente, la Figura 44 a) muestra los porcentajes promedio de cobertura que presenta cada una de las categor3as de sustrato, por cuenca y por 3poca de muestreo. Las categor3as de sustrato que presentan mayor cobertura dentro de un tramo estudiado son Bloques y



Piedras, Bolones, y Graves. Ciertamente el porcentaje de cobertura varía de acuerdo a las características específicas de los tramos muestreados y también según las épocas de muestreo. Respecto a las dimensiones de los Bolones, que corresponden a uno de tipos de sustrato de fondo de mayor frecuencia y cobertura, la Figura 44 b) muestra que las variaciones en el diámetro medio y máximo que presenta este componente son mínimas, apreciándose una tendencia homogénea en las dimensiones mencionadas, tanto espacial- como temporalmente.

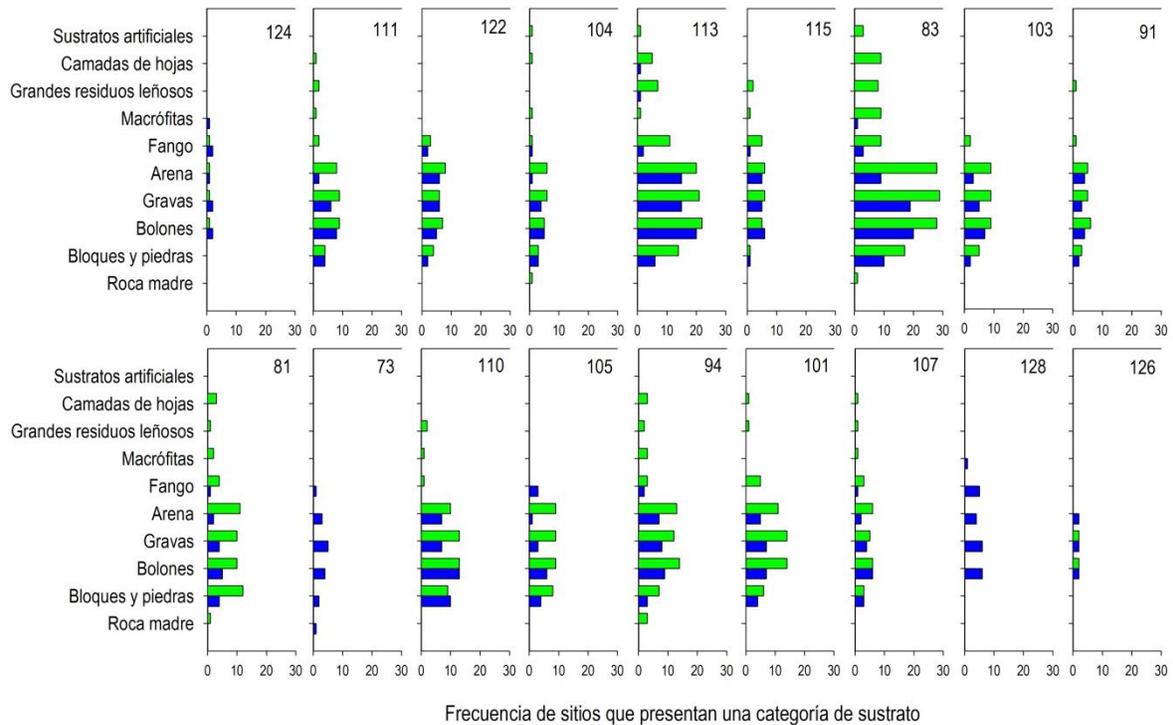


Figura 42. Número de estaciones que registraron una determinada categoría de sustrato de fondo, por cada por cuenca y época muestreada. Las barras de color verde representan el número de estaciones registradas en primavera-verano-2016 y las barras azules representan el número de estaciones registradas en otoño-invierno-2017. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuenca e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Holleberg; 124: Costeras e Islas entre Holleberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

Finalmente, en la Figura 44 c) se grafica la variabilidad en la diversidad de sustrato en cada una de las cuencas estudiadas, en cada época de muestreo. Es posible visualizar que en la campaña de muestreo realizada en otoño-invierno-2017 la diversidad de sustrato fue menor, lo cual indica que la cantidad de categorías registradas fue menor que lo encontrado en la época de primavera-verano.

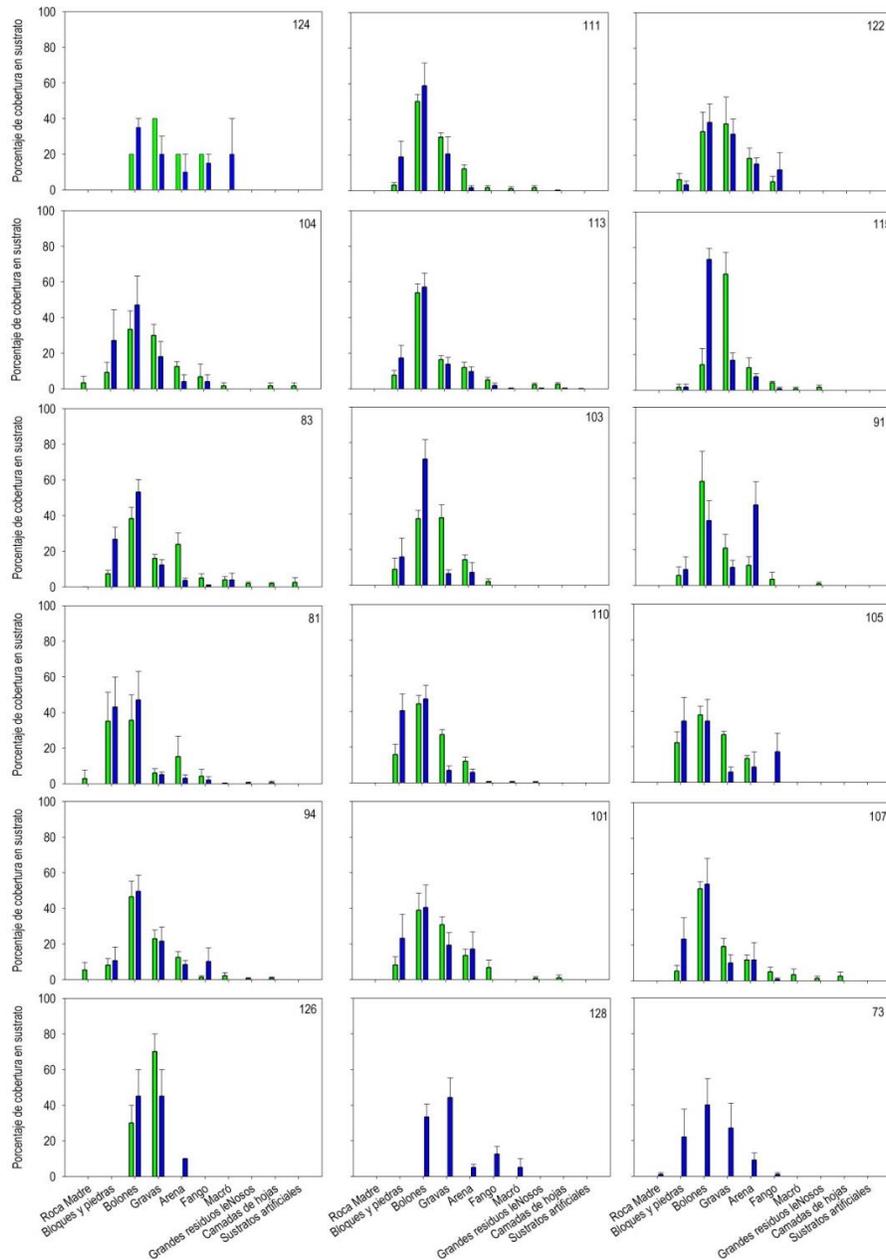


Figura 43. Porcentaje promedio de cobertura de cada tipo de sustrato por época de muestreo, basado en los datos de cada estación de muestreo. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Limite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Holleberg; 124: Costeras e Islas entre Holleberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

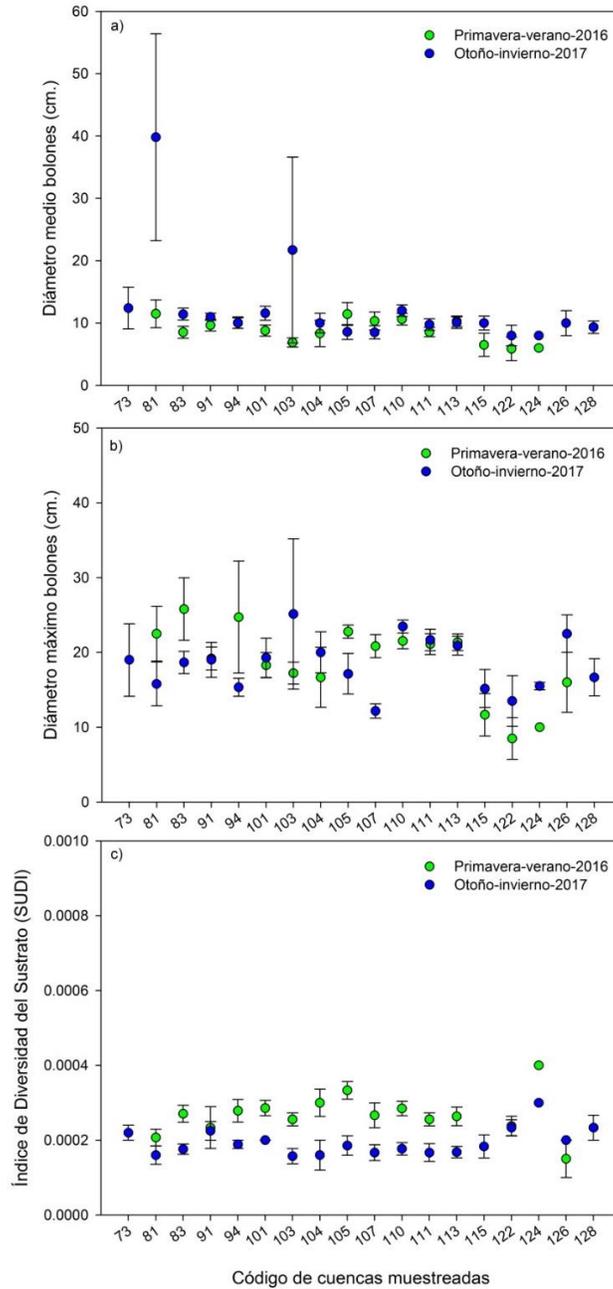


Figura 44. Tamaño de bolones y Diversidad de sustrato promedio para cada cuenca muestreada. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.



Objetivo Específico 4:

Identificar posibles vectores y fómites de transporte de la especie plaga que propicien su introducción y dispersión, y proponer una metodología para evaluar su impacto y jerarquizar en orden de importancia.

Levantamiento uso de suelo / actividades en el entorno directo

Durante la caracterización del hábitat fluvial ejecutada paralelamente con el muestreo biológico y de calidad del agua, se recopiló información acerca de las actividades económicas, servicios y/o factores detectados en todas las estaciones de monitoreo. Se registraron todos los usos del tramo de río, a través de la observación directa de instalaciones, infraestructura u otro tipo de evidencia específica de las actividades que se listan en la Tabla 6. A modo general, dentro del ítem Turismo, la actividad más frecuente fue la pesca recreativa, seguida de las zonas de camping y picnic y los balnearios públicos. Las otras actividades registradas fueron la ganadería, la silvicultura a gran escala o plantaciones puntuales de pequeños propietarios, aserraderos, y la agricultura. En menor medida se registraron actividades de extracción de áridos, cultivos de peces, industria y también investigación y consultoría. En relación a los servicios identificados en los tramos estudiados es posible mencionar plantas de tratamiento de aguas servidas, puntos de balseo, embarcaderos. Como condiciones y características se consideraron los ítems, infraestructuras viales (como puentes y carreteras a orillas del río), obras de canalización, desagües, tomas de agua, basurales, centros urbanos y poblados (pequeños asentamientos humanos), que fueron registrados en menor frecuencia en las estaciones de monitoreo.

En relación a los usos y actividades que fueron identificadas por cuenca, se detalla cada una de los ítems que aparece en la Tabla 6:

- Río Maule (cód. 73): Pesca recreativa, infraestructura vial, centros poblados, embalse, agrícola, ganadero.
- Río Itata (cód. 81): Plantaciones forestales, infraestructura vial, centros poblados, pesca recreativa, agrícola, camping, ganadería, balseo, extracción de áridos, piscicultura, industrial.
- Río Biobío (cód. 83): Infraestructura vial, centros poblados, pesca recreativa, ganadería, plantaciones forestales, agrícola, balseo, camping, área protegida, embalse, picnic, centro urbano, canalización, planta de tratamiento de aguas servidas.
- Río Imperial (cód. 91): Infraestructura vial, plantaciones forestales, centros poblados, pesca recreativa, ganadería, agrícola, camping, área protegida, desagüe, centro urbano, aserradero y tranque.
- Río Toltén (cód. 94): Infraestructura vial, ganadería, centros poblados, plantaciones forestales, agrícolas, pesca recreativa, camping, extracción de áridos, desagüe.



- Río Valdivia (cód. 101): Infraestructura vial, centros poblados, pesca recreativa, plantaciones forestales, ganadería, balseo, picnic, extracción de áridos, desagüe, balneario, agrícola.
- Río Bueno (cód. 103): Ganadería, centros poblados, infraestructura vial, agrícola, pesca recreativa, embarcadero, plantaciones forestales, desagüe, piscicultura.
- Cuencas entre Bueno y Puelo (cód. 104): Infraestructura vial, ganadería, poblado, centros poblados, pesca recreativa, plantaciones forestales, área protegida, piscicultura, embarcadero.
- Río Puelo (cód. 105): Pesca recreativa, ganadería, infraestructura vial, centros poblados, balseo.
- Río Yelcho (cód. 107): Pesca recreativa, infraestructura vial, centros poblados, camping, ganadería, picnic, agrícola, balseo.
- Palena y Costeras Límite Décima Región (cód. 110): Pesca recreativa, ganadería, infraestructura vial, centros poblados, cabañas, toma de agua, agrícola, camping, camping, extracción de áridos.
- Costeras e islas entre Palena y Aysén (cód. 111): Ganadería, infraestructura vial, pesca recreativa, centros poblados, área protegida, picnic, desagüe, toma de agua.
- Río Aysén (cód. 113): Ganadería, infraestructura vial, centros poblados, pesca recreativa, picnic, plantaciones forestales, cabañas, balneario, piscicultura, agrícola, extracción de áridos, basural.
- Río Baker (cód. 115): Pesca recreativa, área protegida, infraestructura vial, ganadería, centros poblados, camping.
- Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg (cód. 122): Pesca recreativa, área protegida, ganadería, toma de agua.
- Costeras e Isas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca (cód. 124): Ganadería, infraestructura vial, pesca recreativa, centros poblados.
- Vertiente del Atlántico (cód. 126): Pesca recreativa, Infraestructura vial, ganadería, extracción de áridos, basural.
- Tierra del Fuego (cód. 128): Ganadería, Pesca recreativa, infraestructura vial, área protegida, industrial.

Vectores y fómites de *D. geminata*

La información sobre los vectores y fómites de *D. geminata* fue recopilada a partir de las campañas en terreno y de la literatura existente para esta especie plaga. En el contexto de lo que señala el Reglamento de Plagas como definición de vector y fomite, en la Tabla 7 se reúne toda la información que fue recabada.

Los vectores fueron agrupados de acuerdo a las actividades económicas o usos de suelo específicos que fueron descritos en el punto anterior, los cuales constituyen los factores para la dispersión de esta especie. Consecuentemente, para cada vector se identifican los fómites



asociados, cuál es la extensión máxima que podría alcanzar la dispersión debida a estos elementos, y también se detalla el estado del vector y fomite en relación a la corroboración de su presencia en terreno (real o potencial).

1. Turismo. Es uno de los factores más relevantes para la dispersión de la especie plaga, tal reconocido a nivel mundial. La razón principal de esto radicaría en la magnitud de los desplazamientos que realizan las personas para realizar actividades relacionadas con los sistemas de agua dulce, en la cantidad de ríos visitados en cada temporada de pesca y en la calidad del agua donde se desarrolla este tipo de actividades. Sin embargo, todo tipo de deportes y actividades realizadas en el medio acuático, tienen un alto impacto en la dispersión de la especie.
2. Ganadería. Los animales de ganado se desplazan al interior de estancias a través de grandes extensiones de superficie, guiados por personas que se movilizan en caballos y que generalmente van acompañados de perros, y que en muchos casos implica vadear ríos. Durante su recorrido, estos vectores pueden movilizar diatomeas en su pelaje y en los aparejos de arreo desde ríos que presentan *D. geminata* hacia ríos libres de esta plaga, pudiendo contribuir a la dispersión de esta plaga entre tramos, sub-subcuencas y subcuencas. Este tipo de actividad ha sido constatada en ríos donde *D. geminata* ha sido detectado, y al igual que en otras especies de vertebrados, los animales de ganado podrían estar incrementando el área de distribución de la plaga a nivel local.
3. Agricultura. De acuerdo a la literatura, los canales de regadío pueden contribuir en gran manera a la dispersión de la plaga si es que comunican un tramo de río contaminado con *D. geminata* con otro que no presenta a esta especie. La magnitud de la dispersión de *D. geminata* sería una función de la longitud del canal, pudiendo alcanzar tramos de ríos no contaminados en subcuencas contiguas.
4. La piscicultura puede contribuir a la dispersión de *D. geminata* a través de dos vías. Mediante el transporte de ovas u otros estadios del ciclo de vida de las especies de peces, células de *D. geminata* contenidas en el agua de almacenaje de los animales podrían llegar hasta los cuerpos de agua no contaminados. Una segunda vía para la dispersión de esta plaga tendría que ver con peces que abandonen algún centro que pudiese estar contaminado con esta microalga y se desplace a través de tramos de río que no presentan esta especie plaga.
5. Investigación y consultoría. Los profesionales del área biológica y ecológica, limnológica, hidrológica, agrícola, forestal, y cualquier otro tipo de profesional que requiera estar en contacto con el agua para el desarrollo de investigaciones, programas de monitoreo, estudios de líneas de base, constituyen vectores que tienen asociados fomites que podrían estar contribuyendo a la dispersión de esta alga en diversas escalas espaciales.



En el caso de que los grupos de trabajo se movilicen a trav3s de distintos tramos de r3o, distintas sub-subcuencas y subcuencas y cuencas, trabajando sin protocolos de bioseguridad, f3cilmente pueden formar parte de los vectores de mayor peligro para los ecosistemas libres de *D. geminata*.

6. Otras especies invasoras. De acuerdo a Leone et al. (2014) especies invasoras como el vis3n y el castor (*Castor canadensis*), tienen la capacidad para transportar c3lulas vivas de *D. geminata* por lo cual tienen un gran potencial dispersor de esta plaga, ya sea dentro del rango de distribuci3n actual de estas especies de mam3feros o en las cuencas donde logre colonizar en el futuro.
7. Fauna silvestre. Adem3s de los mam3feros, la avifauna tiene gran potencial para dispersar esta plaga, pudiendo alcanzar incluso cuencas distintas. Esto ser3a de gran relevancia en el caso de las aves migratorias estacionales a nivel regional, ya que se desplazan grandes distancias en direcci3n norte cuando culmina la 3poca estival, retornando a la latitud de origen a inicios de primavera.
8. Viento. La anemocoria ha resultado ser un factor de dispersi3n real para *D. geminata* en otras regiones del mundo. En nuestro pa3s se trata de factor potencial.
9. Macr3fitas. Las plantas acu3ticas es parte de la amplia gama de sustratos donde *D. geminata* puede adherirse. Fragmentos de plantas producto de la acci3n mec3nica del caudal o depredadores, pueden derivar grandes distancias contribuyendo al desplazamiento y dispersi3n de esta microalga, pudiendo contaminar tramos de r3o que permanecieron libres de plaga.
10. Material Flotante. Del mismo modo descrito en el punto anterior, elementos como troncos, ramas e incluso objetos inorg3nicos que van a la deriva, tienen la capacidad de transportar pasivamente a esta microalga en direcci3n aguas abajo.
11. Pulsos de inundaci3n. Seg3n lo estudiado en algunas regiones templadas del mundo las caracter3sticas hidrol3gicas temporales de los r3os, juegan un rol fundamental en la dispersi3n y control de las floraciones de *D. geminata*. Los "peaks" de caudal generados por deshielo, fusi3n glacial o precipitaciones tienen un efecto de remoci3n de organismos bent3nicos, incluyendo comunidades de microalgas y ensambles de diatomeas. De este modo, existe un fuerte efecto temporal sobre las densidades de este tipo de microalgas. Por otra parte, producto del aumento de los caudales en los r3os, grandes cantidades de biomasa algal son desplazadas en direcci3n aguas abajo, una vez que han sido desprendidas del sustrato de fondo.



12. Generación hidroeléctrica. Aunque la generación hidroeléctrica *per sé* no constituye un vector ni un fomite, es un factor importante que altera los mecanismos hidrológicos que influyen en dinámica temporal de la densidad de *D. geminata*. Las centrales hidrológicas disminuyen los peaks de caudal que ocurren naturalmente en los ríos, por lo que consecuentemente disminuye el número de ocasiones en que las comunidades bentónicas son removidas, y el control de la densidad de las floraciones de *D. geminata*.

Método para evaluación de impacto y jerarquizar orden de importancia de vectores y fómites

Es relevante mencionar que cada uno de los vectores y fómites que fueron descritos previamente, tienen un impacto relativo al uso de suelo específico que se identifique en cada uno de los tramos estudiados, y que ciertamente también tiene relación con el uso de suelo que presentan las cuencas. Además, los vectores y fómites adquirirán una mayor o menor importancia dependiendo de la escala espacial y temporal en la que operen, por lo tanto, el orden en que éstos fueron descritos, no pretende representar su orden de importancia. Más aun, los vectores y fómites asociados al factor Turismo puede ser muy importante en cuencas o sub-subcuencas que tengan un desarrollo intensivo de este tipo de actividades. Sin embargo, los vectores y fómites relacionados con otras invasiones biológicas, por ejemplo, pueden adquirir mucha más relevancia en sitios que registren un mayor número de especies invasoras, incluso en áreas donde exista un desarrollo del turismo importante.

Medidas de Bioseguridad

De acuerdo a lo detallado en el punto 5 del título anterior, es crítico disminuir a 0% la probabilidad de que el grupo de trabajo constituya un vector de *D. geminata*. Es por esto, que durante el trabajo en las estaciones de monitoreo se implementó un riguroso protocolo de bioseguridad, que se basa en ambas versiones del Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata* (Díaz et al. 2011, AMAKAIK, 2016). El protocolo de bioseguridad consistió en la implementación de una barrera de contención, barrera de procedimiento y una barrera microbiológica, que se llevaron a cabo secuencialmente, y que son descritas a continuación:

- a) Barrera de Contención. Este tipo de control busca evitar el contacto de las células de *D. geminata* con el personal que ejecuta las labores de monitoreo, asegurando de este modo no ser vectores de la microalga. Todos los profesionales presentes en terreno, previo al inicio de las actividades en el río, cubrieron sus brazos con mangas de uso veterinario ajustadas cerca de los hombros con elásticos, sobre las cuales utilizaron guantes de nitrilo cortos. Para evitar el asentamiento de las células de *D. geminata* en la indumentaria, se prefirió el uso de vadeadores lisos de pvc por sobre aquellos confeccionados con neopreno.
- b) Barrera de Procedimiento. Una vez finalizado el muestreo biológico y de calidad de agua, y todo tipo de actividad en el agua. Todo el material descartable, como los cepillos para tomar las muestras de microalgas, guantes, mangas y elásticos, y bolsas que estuvieron en



contacto con el agua, fueron depositados en bolsas de basura que únicamente tuvieron este fin a lo largo del muestreo. Para fortalecer esta barrera, en la red de fitoplancton se utilizó un filtro distinto para cada estación de monitoreo.

- c) Barrera Microbiológica. Luego de la barrera de procedimiento, se procedió a realizar la descontaminación química cuya finalidad es evitar el transporte biológico, sobre todo de células de *D. geminata*, entre estaciones de monitoreo. Esta descontaminación consistió en Remover, Lavar y enjuagar y secar todos los elementos (instrumentos, materiales y vestimenta) que estuvieron en contacto con el agua, incluyendo los neumáticos del vehículo motorizado. En primer lugar, se removió toda la materia orgánica presente en los implementos utilizados durante el muestreo. Luego, todos los elementos utilizados durante el trabajo en cada estación fueron lavados en una solución mixta de cloro (2%) y detergente lavalozas (5%), excepto los instrumentos utilizados para medir parámetros físico-químicos *in situ* en el agua, los cuales fueron limpiados con agua destilada a presión antes de ser almacenados. Los vadeadores de pvc y las capas de lluvia fueron limpiados aplicando la solución con un aspersor, escobillando y luego sumergiéndolos en un balde con la solución mencionada. El mismo procedimiento fue repetido para las redes de fitoplancton y macroinvertebrados, el correntómetro, y la barra que sostiene la red de fitoplancton en el fondo el río. Una vez terminado el lavado del material, se dejó secar antes de ser utilizado en otra estación de monitoreo. Antes de comenzar las actividades de monitoreo en una cuenca distinta, los materiales fueron sumergidos en la solución de limpieza durante la noche previa.



Tabla 6. Principales actividades identificadas en las estaciones de monitoreo, asociadas al entorno directo (desde 0 a 40 metros desde la orilla del río). Se resume el número de estaciones que registran una determinada actividad, por cuenca. Un sitio puede presentar más de una actividad. Los números de las columnas provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Tolstén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollemberg; 124: Costeras e Islas entre Hollemberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

Actividad Entorno Directo	Cuencas monitoreadas																	
	73	81	83	91	94	101	103	104	105	107	110	111	113	115	122	124	126	128
Actividades																		
Pesca recreativa	4	6	21	4	6	9	4	2	12	13	17	6	20	10	15	1	4	5
Camping		4	3	1	5					5	1		1					
Picnic			2			2				3		1	5					
Cabañas											3		4					
Balneario						2							3					
Ganadería	1	3	20	3	11	5	20	8	10	4	10	8	32	3	4	2	2	6
Silvicultura		8	10	6	8	8	2	2					4					
Agricultura	1	6	8	2	7	1	13	2		2	1		1					
Extracción de áridos		1			3	2					1		1				2	
Piscicultura		1					2	2					2					
Industrial		1																1
Investigación y Consultoría									1									
Planta tratamiento aguas servidas			1															
Infraestructura Vial	3	7	30	8	18	14	13	9	8	6	9	7	27	4	6	1	4	3
Poblado	2	7	25	5	10	12	14	7	8	6	9	6	21	3	0	1		
Área Protegida			3	1				2				2		4	6			1
Balseo		2	5			2			3	1								
Desagüe				1	2	2	2					1						
Embarcadero							4	1										
Embalse	1		3															
Toma de agua											2	1			1			
Centro Urbano			2	1														
Canalización			2															
Basural													1				1	
Aserradero				1														
Tranque				1														



Tabla 7. Sntesis de vectores y f3mites reales y potenciales, asociados a las distintas actividades econ3micas desarrolladas en las cuencas monitoreadas. El listado fue confeccionado en base a las observaciones en terreno y a lo indicado en la literatura.

Factores	Vectores	Fomites asociados	Extensi3n m3nima/m3xima de la dispersi3n	Direcci3n dispersi3n
Turismo				
Pesca recreativa	Personas	Trajes y aparejos de pesca	Tramo / Intercuenca, Inter-regional	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Deportes acu3ticos	Personas	Kayak, Botes, motos, motor, indumentaria	Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Camping & Picnic	Personas	Indumentaria, equipamiento	Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Contemplaci3n	Personas	Indumentaria	Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo
Ganader3a	Vacunos, caballos, perros		Tramo / Subcuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Agricultura		Canales de regad3o	Sub-Subcuenca / Subcuenca	Aguas arriba, aguas abajo,
Piscicultura				
Internaci3n de especies (e.g. ovas)		Estanques, Agua contaminada	Subcuenca / Intercuenca, inter-regional	Aguas arriba, aguas abajo,
Escape de peces	Peces	-	Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Traslado de ovas u otros estadios dentro del pa3s	Peces	Estanques, Agua contaminada	Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Investigaci3n y consultor3a	Personas	Indumentaria, equipamiento	Tramo / Intercuenca, inter-regional	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Otras invasiones	Salm3nidos, vis3n, castor		Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Fauna silvestre	Aves y mam3feros		Tramo / Intercuenca	Aguas arriba, aguas abajo, inter-ribera
Viento	-	Viento	Tramo / Subcuenca	Aguas abajo
Macr3fitas	Macr3fitas	-	Tramo / Subcuenca	Aguas abajo
Material flotante en deriva	-	Troncos, objetos	Tramo / Subcuenca	Aguas abajo
Pulsos de inundaci3n	-	Agua	Tramo / Subcuenca	Aguas abajo
Generaci3n hidroel3ctrica	-	-	Subcuenca, cuenca	Aguas arriba, aguas abajo, incremento floraci3n-



Objetivo Específico 5:

*Analizar información histórica de cada río prospectado respecto a parámetros físico-químicos y a la presencia/ausencia de la especie a fin de establecer una asociación con *D. geminata*.*

Considerando los datos obtenidos en los distintos programas de monitoreo ejecutados entre los años 2010 y 2017 se realizaron análisis multivariados no paramétricos que incluyeron información biológica y ambiental para un total de 1140 estaciones que fueron monitoreadas en el periodo señalado. Los análisis fueron abordados separadamente para tres conjuntos de datos biológicos: Fitobentos, Diatomeas y *D. geminata*. Para los tres conjuntos de datos, se analizaron matrices de presencia-ausencia de especies y matrices de densidad para conocer su relación con los factores (variables cualitativas principalmente ambientales) propuestas como posibles factores estructuradores de las comunidades, y además, se realizaron análisis para conocer la relación entre las 4 matrices biológicas y una matriz de variables ambientales. Finalmente, el tercer conjunto de datos consistió en las densidades históricas registradas para la especie *Didymosphenia geminata* por estación de muestreo y por cuenca muestreada.

A continuación, se muestran los resultados en el sentido descrito previamente.

FITOBENTOS

Presencia / Ausencia de especies

Se trabajó con una matriz de presencia-ausencia de 142 géneros de microalgas, a partir de la cual se construyó una matriz triangular de similitud de Jaccard en el software PRIMER-E. Los factores empleados para los análisis de similitud/disimilitud en este software fueron: Época, cuenca, tipo de hábitat, categoría de crecimiento algal, y Presencia/Ausencia de *D. geminata* (DG).

Los resultados de ANOSIM (Ver Tabla 8) para la presencia/ausencia de especies que componen el fitobentos indicó que los factores que generan grupos de estaciones significativamente distintos fueron todos los mencionados anteriormente, excepto el tipo de hábitat. Todos estos factores y sus combinaciones pareadas presentaron un R_{global} moderado a bajo pero significativo, con $p < 5\%$.

Más específicamente, se encontró que el factor que individualmente presenta un R_{global} más elevado fue la cuenca donde se localizan las estaciones de monitoreo ($R_{global}=0.168$; $p=0.1\%$), seguido de los factores presencia de DG ($R_{global}=0.057$; $p=0.2\%$), crecimiento algal ($R_{global}=0.051$; $p=0.1\%$) y época ($R_{global}=0.044$; $p=0.1\%$). Luego las combinaciones pareadas entre estos factores exhibieron un incremento en el R_{global} , especialmente en aquellos pares de factores donde se incluye la cuenca. El valor más elevado para R_{global} derivó de la comparación de las categorías de crecimiento algal a través de las cuencas. Ver Tabla 8 para consultar los valores específicos obtenidos en todas las comparaciones.



Para poder visualizar el efecto de los factores m1s importantes, se realiz3 un an1lisis de Escalamiento Multidimensional No Param3trico (nMDS), lo cual permiti3 observar la distribuci3n de las estaciones en un gr1fico 2D. En la Figura 45, la Figura 46 y la Figura 47 muestran un nMDS donde se aplic3 el factor 3poca, presencia de *D. geminata* y crecimiento algal, respectivamente, para observar la segregaci3n de estaciones muestreadas en relaci3n a los niveles de cada uno de los factores.

Tabla 8. Resumen de los resultados obtenidos en ANOSIM para la comunidad fitobent3nica. Se muestran los valores de R_{global} y los respectivos valores de significancia estadística (%) para las comparaciones realizadas. En negrita se destacan los resultados estadísticamente significativos ($p < 5\%$).

Factores	Fitobentos (P/A)	Fitobentos (Densidad)
	R_{global} ; p	R_{global} ; p
H1bitat	-0.004; 61.2%	-0.005 ; 64.7%
Cuenca	0.168 ; 0.1%	0.166 ; 0.1%
3poca	0.044 ; 0.1%	0.036 ; 0.2%
Crec. Algal	0.051 ; 0.1%	0.045 ; 0.1%
DG	0.057 ; 0.2%	0.041 ; 2%
Crec. Algal X 3poca	0.103 ; 0.10%	0.128 ; 0.10%
DG X 3poca	0.034 ; 0.10%	0.025 ; 1.50%
DG X Crec. Algal	0.065 ; 2.90%	0.035; 15.20%
Cuenca X DG	0.178 0.10%	0.177 0.10%
Cuenca X 3poca	0.203 0.10%	0.202 0.10%
Cuenca X Crec. Algal	0.221 0.10%	0.216 0.10%

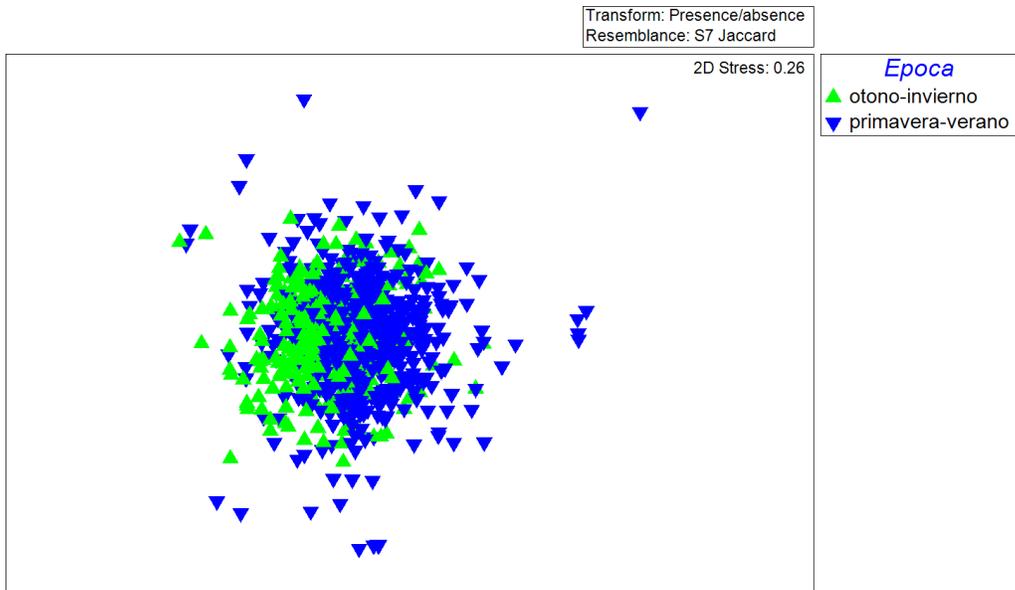


Figura 45. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) que emplea como factor la época de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo.

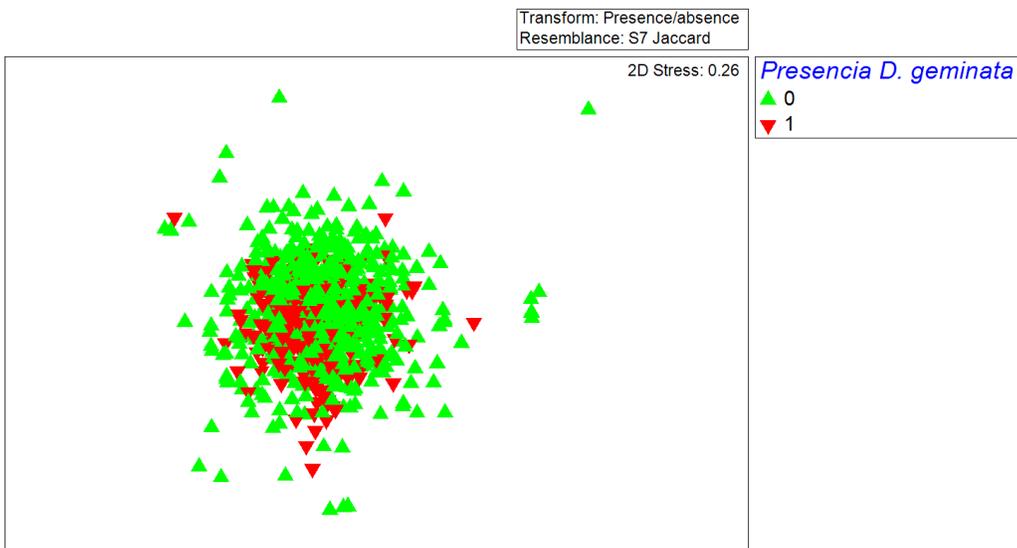


Figura 46. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) que emplea como factor la Presencia de *D. geminata* y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo.

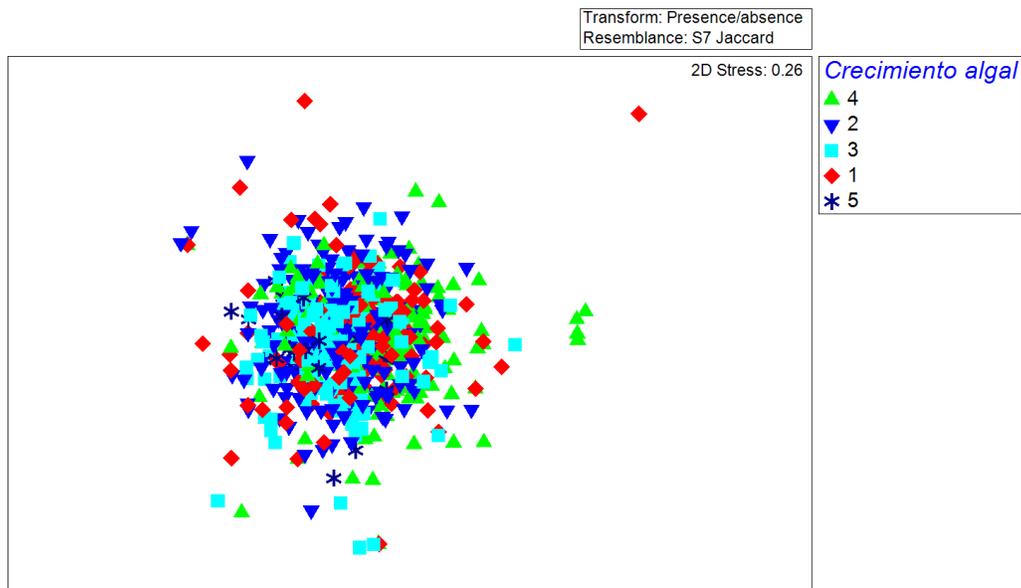


Figura 47. Escalamiento Multidimensional no Param6trico (nMDS) que emplea como factor las Categorías de Crecimiento Algal y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenaci3n espacial de las estaciones de muestreo.

Densidad (c3l/mm²)

Por otro lado, se trabaj3 con una matriz de densidad (c3l/mm²) para 142 géneros de microalgas, la cual fue transformada a través del cálculo de raíz cuarta y posteriormente los datos fueron estandarizados en PRIMER-E. Los factores empleados para los análisis de similitud/disimilitud en este software fueron: Época, cuenca, tipo de hábitat, categoría de crecimiento algal, y Presencia/Ausencia de *D. geminata* (DG).

Los resultados encontrados para la densidad (c3l/mm²) en el fitobentos, son similares a los encontrados para los datos de presencia/ausencia de especies (Tabla 9). Se encontraron diferencias significativas asociadas a los factores Cuenca ($R_{global}=0.166$; $p=0.1\%$), seguido de crecimiento algal ($R_{global}=0.045$; $p=0.1\%$), presencia de DG ($R_{global}=0.041$; $p=0.2\%$), y época ($R_{global}=0.036$; $p=0.1\%$). También se observ3 un incremento en el R_{global} cuando se compararon pares de factores, encontrándose que cuando se incluye el factor cuenca se obtienen los valores más elevados (significativos) para el R_{global} .

Para la observaci3n de los efectos de los factores estudiados, se muestran los nMDS respectivos para cada uno de ellos. Similarmente a lo encontrado para el caso de la presencia/ ausencia de especies, el factor que mayormente permite visualizar una segregaci3n espacial en la ordenaci3n de las estaciones de muestreo, es la época. No obstante, el mayor R_{global} es generado por la cuenca de



origen de las estaciones de monitoreo ($R_{global}=0.166$; $p=0.1\%$). Las Figuras 48, 49, 50, 51 muestran la estructuraci3n espacial de las estaciones de monitoreo para los factores 3poca, presencia de DG, cuenca, y las categorías de Crecimiento Algal, respectivamente.

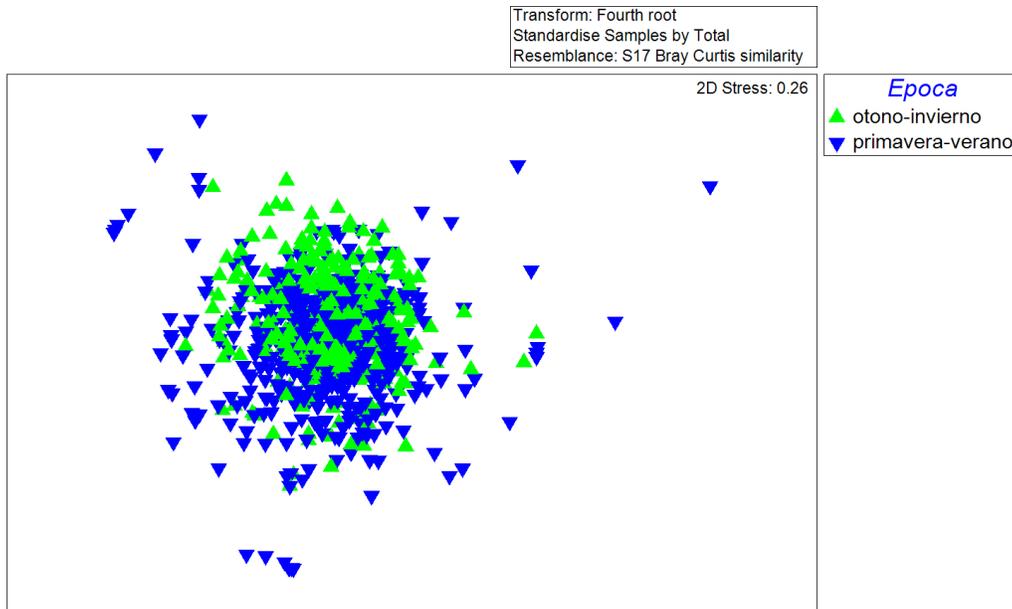


Figura 48. Escalamiento Multidimensional no Param3trico (nMDS) basado en la densidad de géneros presentes en la comunidad fitobent3nica, que emplea como factor la 3poca de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenaci3n espacial de las estaciones de muestreo. Los dos colores representan ambas 3pocas de muestreo.

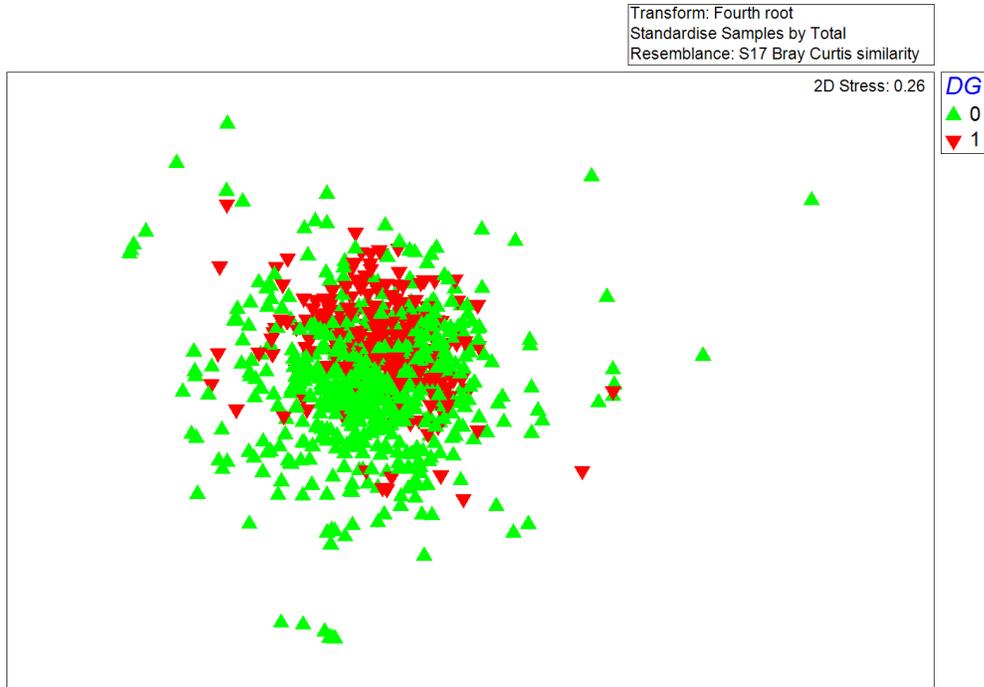


Figura 49. Escalamiento Multidimensional no Param3trico (nMDS) basado en la densidad de g3neros de la comunidad fitobent3nica, que emplea como factor la Presencia de *D. geminata* y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenaci3n espacial de las estaciones de muestreo.

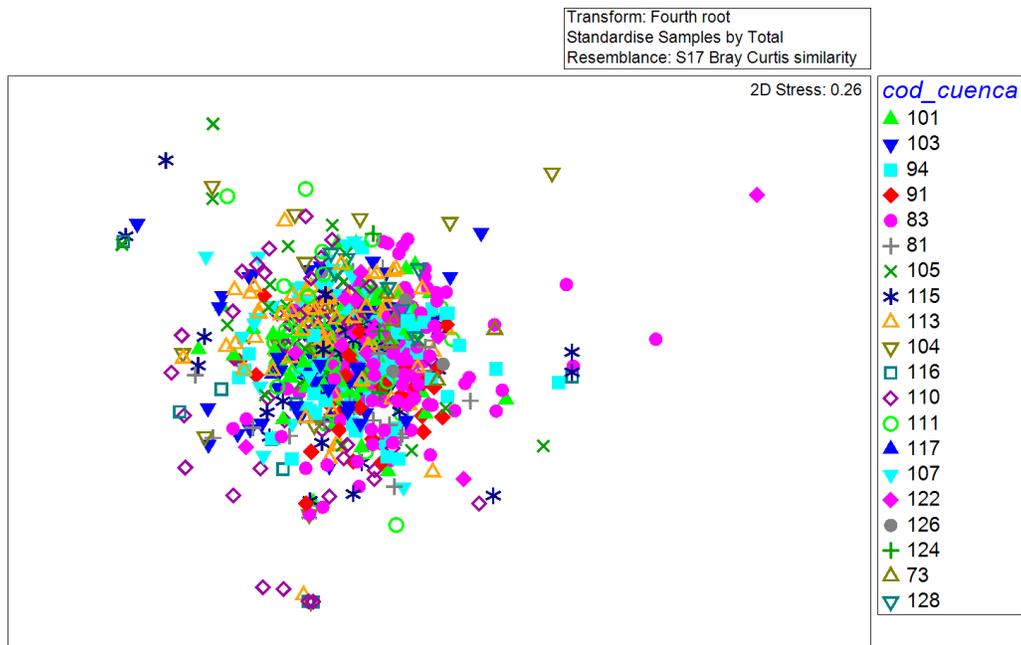


Figura 50. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la densidad de géneros de la comunidad fitobentónica, que emplea como factor la cuenca y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltén; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg; 124: Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

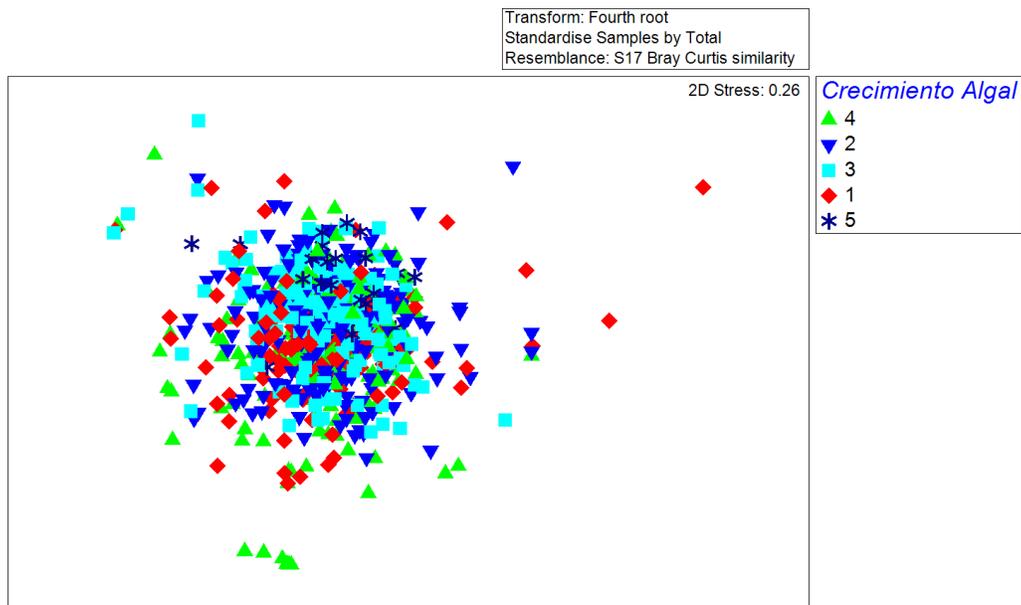


Figura 51. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la densidad de géneros de la comunidad fitobentónica, que emplea como factor las Categorías de Crecimiento Algal y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo.

ENSAMBLE DE DIATOMEAS

Presencia / Ausencia de Especies

Se trabajó con una matriz constituida por 412 especies de diatomeas y 1140 estaciones de muestreo. En primera instancia, una matriz de presencia / ausencia de especies fue utilizada para calcular una segunda matriz triangular con la similitud de Jaccard en el software PRIMER-E. Después de esto, se pusieron a prueba los mismos factores que en el caso de los análisis de fitobentos, a través de la rutina ANOSIM en PRIMER-E. Los resultados de ANOSIM se resumen en la Tabla 9, donde se puede observar que los factores puestos a prueba se relacionan débilmente con los datos biológicos, pero las relaciones son significativas ($p < 5\%$). Los factores que, individualmente, presentaron un mayor valor de R_{global} fueron Cuenca ($R_{global}=0.224$; $p=0.1\%$) y Época ($R_{global}=0.173$; $p=0.1\%$) seguidos de Crecimiento Algal ($R_{global}=0.082$; $p=0.1\%$) y Hábitat ($R_{global}=0.041$; $p=0.1\%$). A diferencia del fitobentos, la presencia de DG en el ensamble de diatomeas no muestra diferencias significativas entre las estaciones. Al realizar ANOSIM cruzado de dos vías, se encontró que el Crecimiento Algal por Época mostró uno de los valores de R_{global} más elevado ($R_{global}=0.346$; $p=0.1\%$), seguido de Cuenca x Época ($R_{global}=0.238$; $p=0.1\%$) y el Crecimiento Algal por Cuenca ($R_{global}=0.156$; $p=0.1\%$).



Tabla 9. Resumen de los resultados obtenidos en ANOSIM para el ensamble de Diatomeas. Se muestran los valores de R_{global} y los respectivos valores de significancia estadística (%) para las comparaciones realizadas. En negrita se destacan los resultados estadísticamente significativos ($p < 5\%$).

Factores	Diatomeas (P/A)	Diatomeas (Densidad)
	R_{global} ; p	R_{global} ; p
Hábitat	0.041 0.1%	0.038 0.1
Cuenca	0.224 0.1 %	0.229 0.1%
Época	0.173 0.1%	0.172 0.1%
Crec. Algal	0.082 0.1%	0.079 0.1%
DG	0.026 7.6%	0.014 20.9%
Crec. Algal X Época	0.346 0.1%	0.116 0.1%
DG X Época	0.161 0.1%	0.003 40.8%
DG X Crec. Algal	0.097 0.4%	0.092 1%
DG X Cuenca	0.037 9.1	0.039 9%
Cuenca X Época	0.238 0.1%	0.25 0.1%
Crec. Algal X Cuenca X	0.156 0.1%	0.154 0.1%

Para la visualizaci3n de los resultados descritos anteriormente, se realizó un nMDS empleando los factores de mayor significancia estadística. En las Figuras 52, 53, es posible observar la segregaci3n espacial de las estaciones de monitoreo producto de los principales factores utilizados en los análisis, que corresponden a Época y Cuenca, respectivamente.

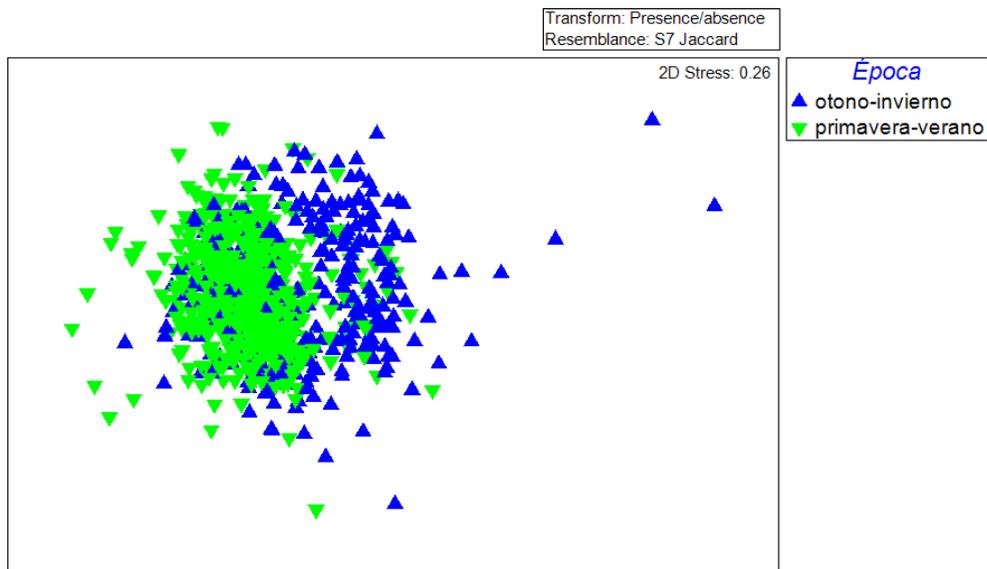


Figura 52. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la presencia-ausencia de especie del ensamble de diatomeas estudiado, que emplea como factor la Época de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto sobre la distribución espacial de las estaciones de muestreo en el gráfico 2D.

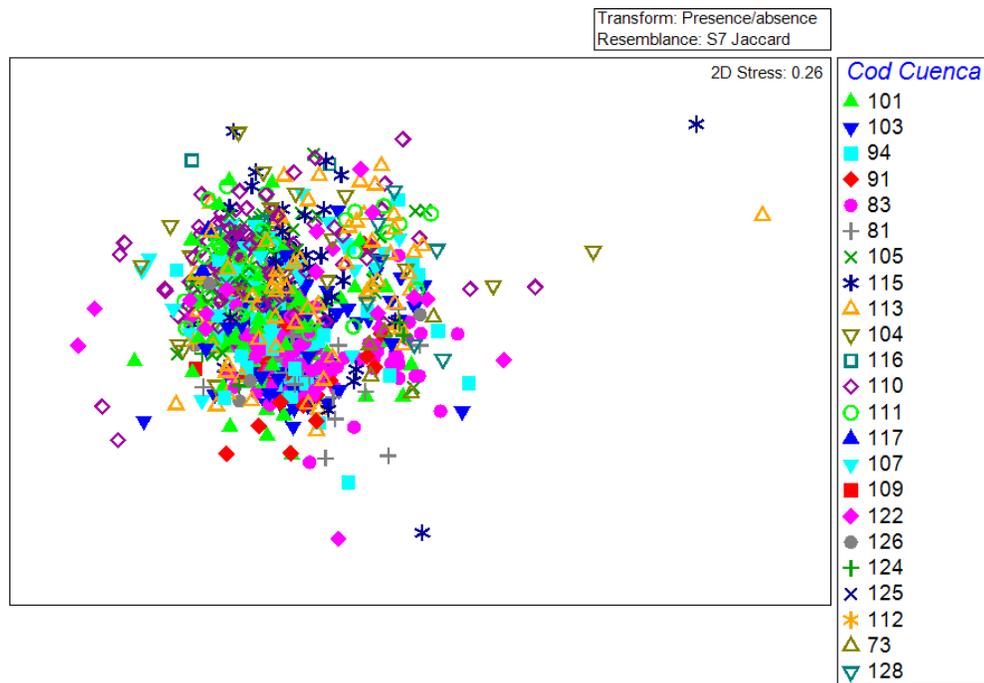


Figura 53. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la presencia-ausencia de especie del ensamble de diatomeas estudiado, que emplea como factor la Época de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo. Los números del eje x provienen de la nomenclatura de identificación de cuencas empleado por la DGA. 73: Maule; 81: Itata; 83: Biobío; 91: Imperial; 94: Toltn; 101: Valdivia; 103: Bueno; 104: Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo; 105: Puelo; 107: Yelcho; 110: Palena y Costeras Límite Décima Región; 111: Costeras e Islas entre Palena y Aysén; 113: Aysén; 115 Baker; 122: Costeras entre Seno Andrew y Hollelberg; 124: Costeras e Islas entre Hollelberg Golfo Alte. Lag. Blanca; 126: Vertiente del Atlántico; 128: Tierra del Fuego.

Densidad de Diatomeas

En el caso de la densidad de diatomeas, se trabajó con una matriz del número de células / mm² para 412 especies de diatomeas y 1140 estaciones de monitoreo. Esta matriz fue transformada utilizando raíz cuarta, luego estandarizada y transformada en una matriz triangular de similitud con el índice de Bray & Curtis. Se puso a prueba el efecto de los factores ambientales que se han utilizado previamente a través de la rutina ANOSIM del paquete estadístico PRIMER-E (Clarke & Gorley, 2006). Los resultados se detallan en la Tabla 9, donde se puede observar que los factores que generan una mayor estructuración en los datos son Cuenca ($R_{global}=0.229$; $p=0.1\%$) y Época ($R_{global}=0.172$; $p=0.1\%$), mientras que al realizar comparaciones entre pares de factores, el mayor R_{global} se obtuvo para Cuenca x Época ($R_{global}=0.25$; $p=0.1\%$) y Crecimiento Algal x Cuenca ($R_{global}=0.154$; $p=0.1\%$). Los resultados del Escalamiento Multidimensional No Paramétrico (nMDS)



se muestran en las Figuras 54, 55, 56, correspondientes a los factores época, Cuenca, Crecimiento Algal, respectivamente.

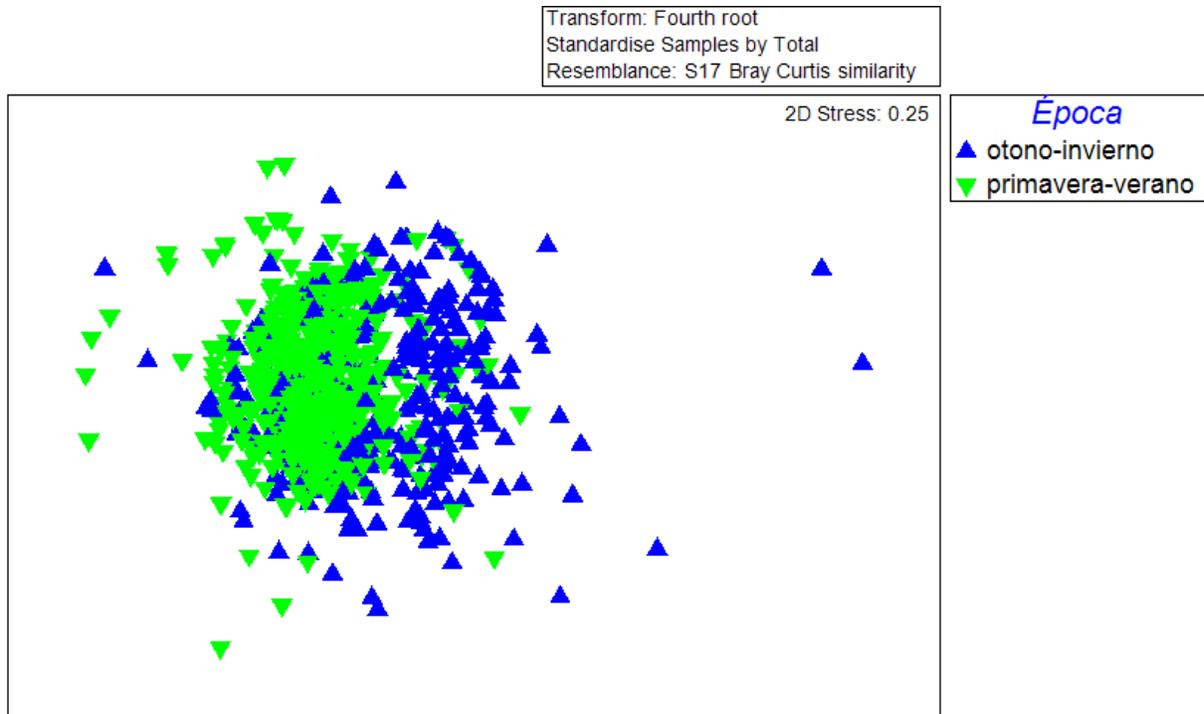


Figura 54. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la densidad de especies del ensamble de diatomeas estudiado, que emplea como factor la época de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto sobre la distribuci3n espacial de las estaciones de muestreo en el gráfico 2D.

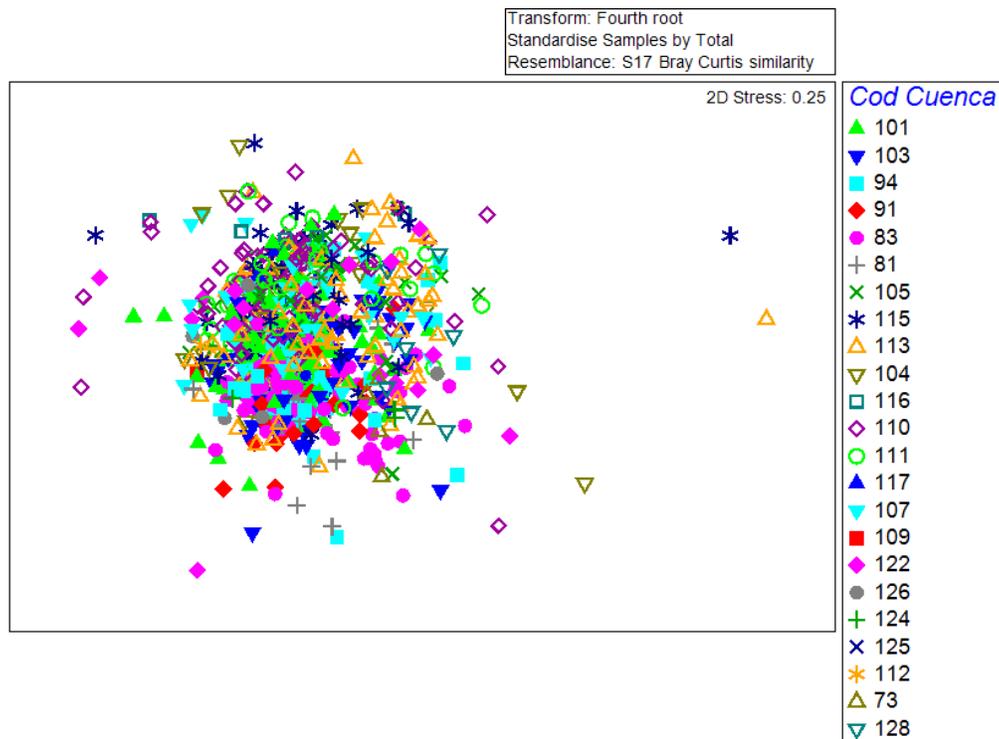


Figura 55. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la densidad de especies del ensamble de diatomeas estudiado, que emplea como factor la Cuenca de muestreo y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto sobre la ordenaci3n espacial de las estaciones de muestreo.

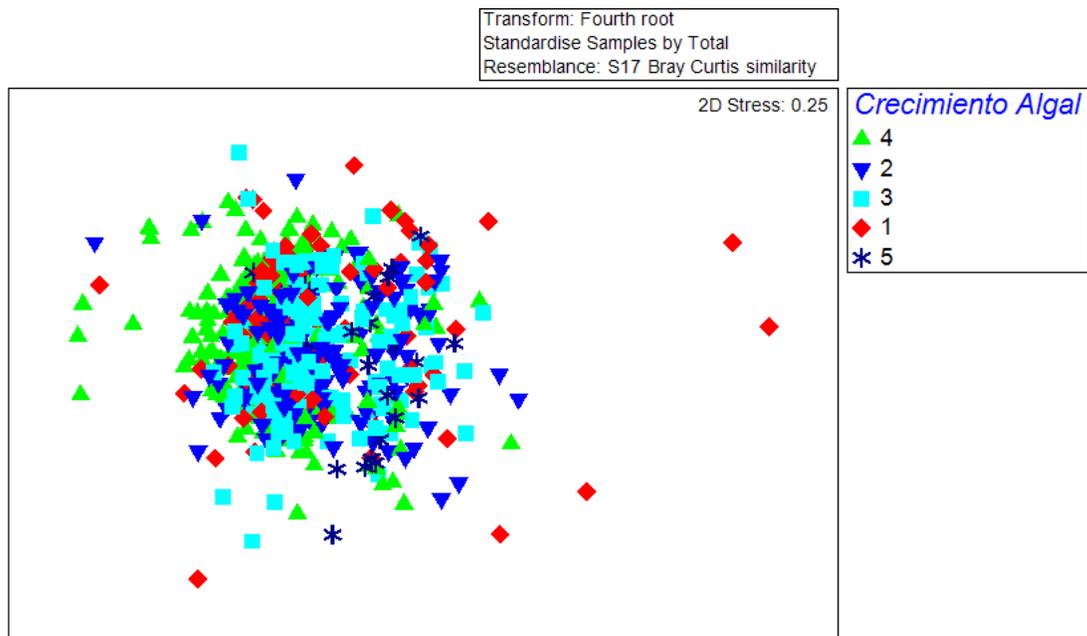


Figura 56. Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS) basado en la densidad de especies del ensamble de diatomeas estudiado, que emplea como factor las Categorías de Crecimiento Algal y que exhibe una baja pero significativa intensidad en el efecto del factor sobre la ordenación espacial de las estaciones de muestreo.

A partir de la rutina SIMPER se identificaron las especies que contribuyen mayormente a la disimilitud entre los grupos correspondientes a los factores analizados. En la Tabla 10 es posible comparar las densidades registradas para una especie determinada en ambas épocas de muestreo, lo cual es graficado con sus respectivos errores estándar (Figura 57).



Tabla 10. Resultados de SIMPER realizado para el factor Época. Se muestran las densidades promedio para las especies que contribuyen entre un 1.65 y 5.47% a las diferencias entre los dos grupos. Además, se indica la contribución acumulada de las especies.

Especies	Otoño-Invierno	Primavera-verano	Disimilitud	Disimilitud /	%	Contribución
	Ab. Prom.	Ab. Prom.	Promedio	D.E	Contribución	Acumulada
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	3.45	4.82	4.27	0.96	5.47	5.47
<i>Fragilaria capucina</i>	1.60	2.87	3.19	1.09	4.09	9.55
<i>Gomphonema pumilum</i>	1.48	2.23	2.64	1.04	3.38	12.93
<i>Gomphonema angustum</i>	0.84	1.99	2.44	0.97	3.12	16.06
<i>Hannaea arcus</i>	0.71	1.48	2.15	0.77	2.75	18.8
<i>Fragilaria capucina v vaucheriae</i>	1.22	2.63	2.1	1.13	2.69	21.49
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1.15	1.22	2.05	1.05	2.63	24.12
<i>Encyonema minutum</i>	1.07	1.77	2.01	0.82	2.57	26.69
<i>Diatoma moniliformis</i>	0.75	1.15	1.82	0.84	2.32	29.01
<i>Nitzschia dissipata</i>	0.00	0.30	1.8	0.92	2.3	31.32
<i>Ulnaria ulna</i>	0.66	0.96	1.77	0.6	2.27	33.59
<i>Navicula cryptotenella</i>	1.08	0.99	1.7	0.93	2.18	35.76
<i>Didymosphenia geminata</i>	0.52	0.72	1.63	0.48	2.09	37.86
<i>Encyonema minutiforme</i>	0.20	1.50	1.57	0.44	2.01	39.87
<i>Gomphoneis minuta</i>	0.77	0.68	1.49	1	1.9	41.77
<i>Tabellaria flocculosa</i>	0.33	0.64	1.45	0.88	1.85	43.62
<i>Diatoma mesodon</i>	0.36	0.90	1.29	0.37	1.65	45.27

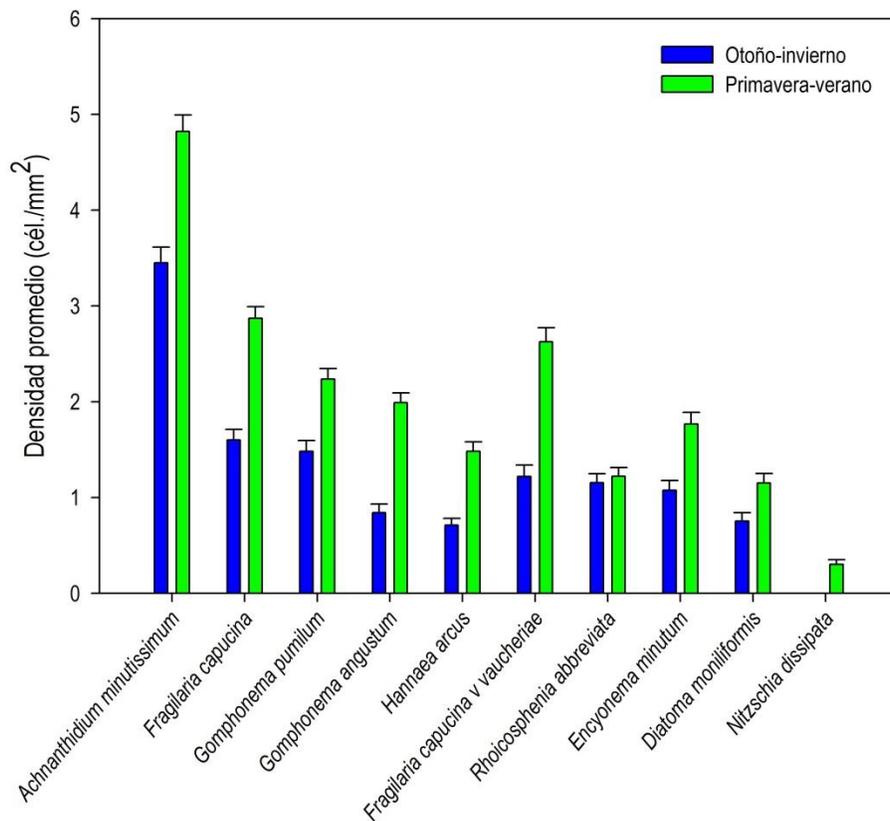


Figura 57. Variaci3n de las densidades promedio entre 3pocas para las 10 especies que contribuyen en mayor porcentaje a las diferencias del ensamble de diatomeas.

DIDYMOSPHEHIA GEMINATA

Para evaluar si los efectos de los factores utilizados anteriormente para el caso de la comunidad fitobent3nica y los ensambles de diatomeas, sobre la densidad de *D. geminata*, se utiliz3 la prueba no param3trica de Kruskal-Wallis cuyos resultados se resumen en la Tabla 11. Las variables (factores) que mostraron diferencias significativas entre los grupos fueron la 3poca ($\chi^2 = 13_{158,1}$ $p=0.0003$) y el Crecimiento Algal ($\chi^2 = 20_{158,5}$ $p=0.0005$). Las diferencias en el promedio de las densidades por 3poca (Figura 58) y el promedio de las densidades por categor3a algal (Figura 59) permiten verificar los resultados de la prueba estadística.



Tabla 11. Valores estadísticos Chi² asociado a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis realizada para evaluar la relación entre la densidad de *D. geminata* y cuatro factores ambientales. Se muestra el valor de Chi 2, los grados de libertad, el tamaño muestral, y la significancia estadística. En negrita se destacan los valores y variables que presentan diferencias significativas.

Factor	X ²	df	n	v-p
Época	13.0	1	158	0.0003
Hábitat	1.58	4	158	0.81
Cuenca	19.32	12	158	0.08
Crecimiento Algal	20.08	4	138	0.0005

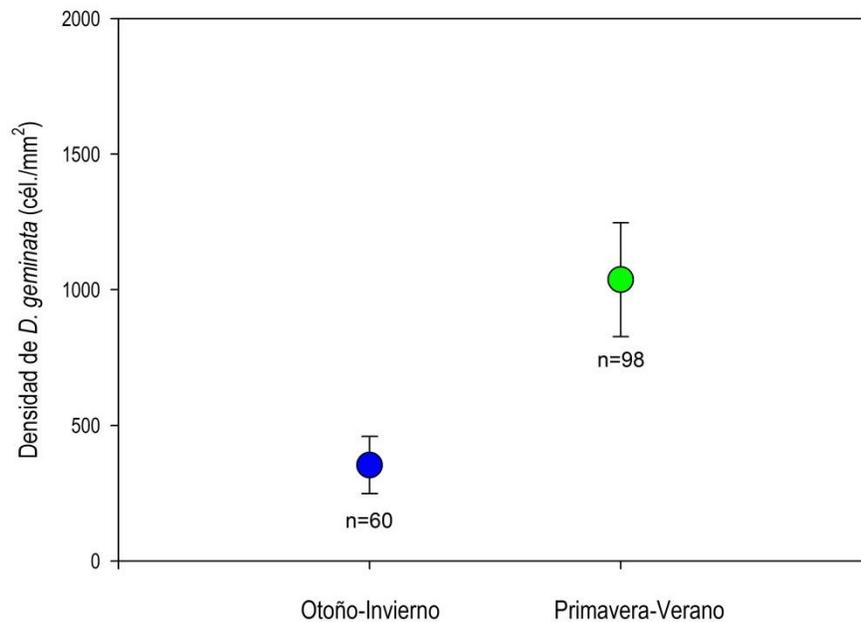


Figura 58. Promedio de la densidad de *D. geminata* en las dos épocas de muestreo. Se indica el número de muestras (n) para cada caso. Las líneas verticales representan el error estándar de los datos.

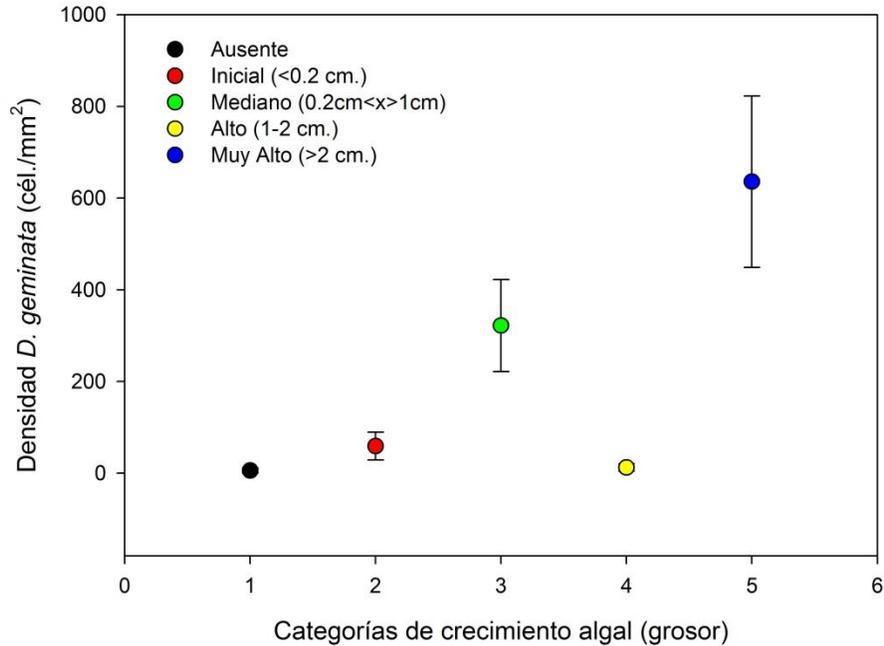


Figura 59. Densidad promedio de *D. geminata* calculada para cada categoría de crecimiento algal. Las líneas verticales representan el error estándar de los datos.

RELACI3N ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y LAS MICROALGAS

Para conocer el conjunto de variables ambientales que tiene mayor influencia en la estructura y composici3n de la comunidad del fitobentos y el ensamble de diatomeas, se utiliz3 la rutina BEST en el software PRIMER-E (Tabla 12, Figura 60, 61, 62). Finalmente, se realizaron correlaciones entre la densidad de *D. geminata* y todas las variables ambientales que se ha registrado hist3ricamente (Figura 63).



Tabla 12. Resultados del análisis BEST para los cuatro conjuntos de datos biológicos. En la primera columna se detallan las variables ambientales, luego el valor del test global y su significancia estadística, y finalmente para qué variables biológicas fue realizado el análisis.

Variabes ambientales	Rho	p	Variable biológica
OD, Fosfato Total, Hierro, Turbidez y velocidad de la corriente	0.749	3%	Presencia / Ausencia Fitobentos
Altitud, Latitud, P reactivo disuelto, Amonio, Silicato	0.709	1%	Densidad Fitobentos
P reactivo disuelto, Silicato	0.791	1%	Presencia / Ausencia Diatomeas
Fosfato inorgánico, silicato,	0.721	2%	Densidad Diatomeas

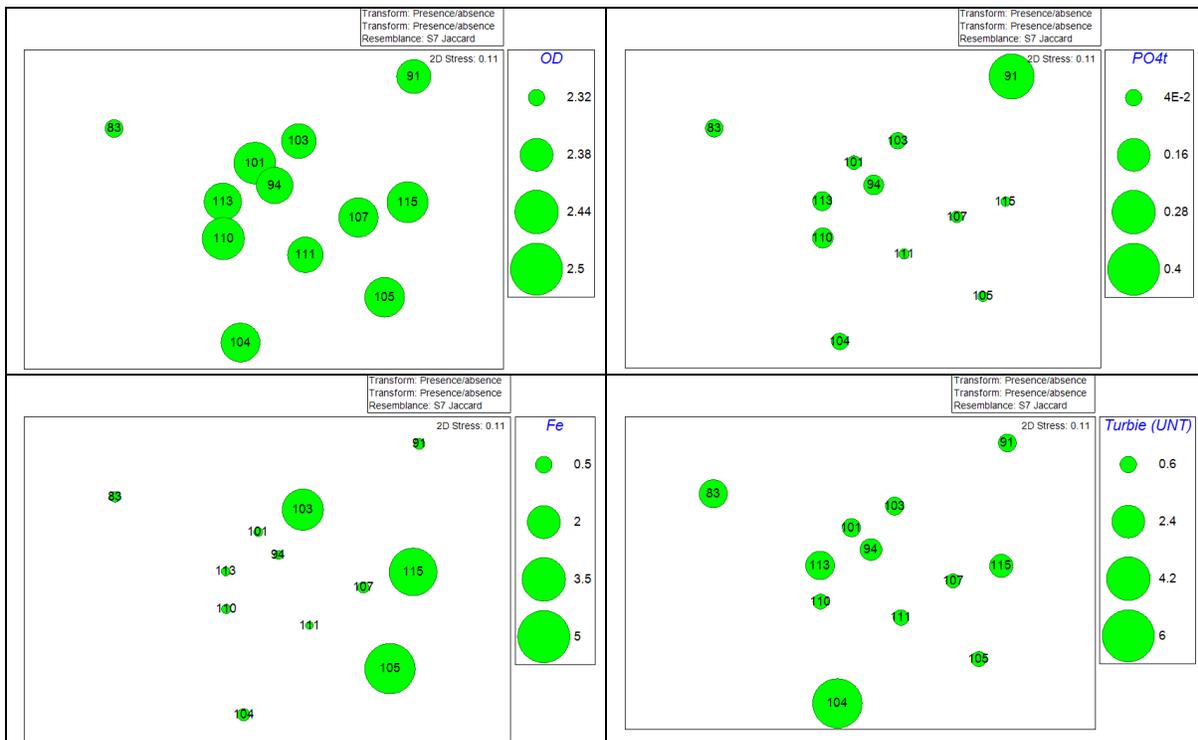


Figura 60. Bubble plots que representan las diferencias en la concentración del conjunto de variables seleccionadas por BEST, a través de las cuencas monitoreadas. Se muestran los resultados para los datos de presencia ausencia de especies en fitobentos.

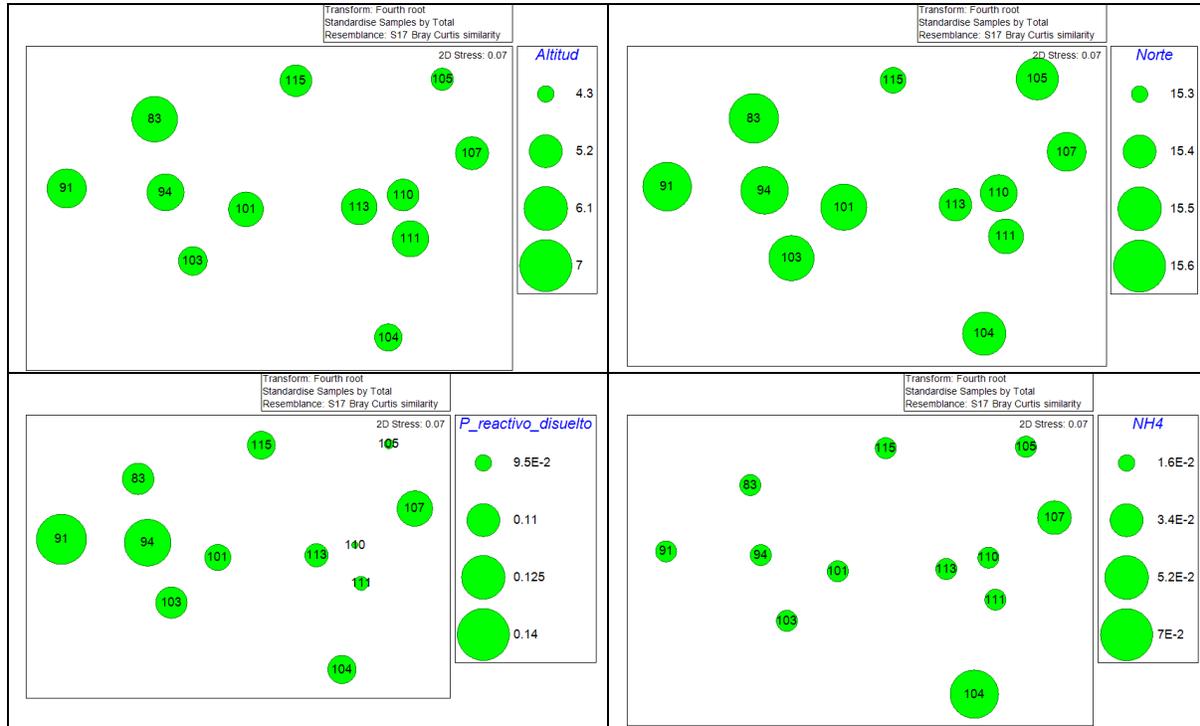


Figura 61. Bubble plots que representan las diferencias en la concentraci3n del conjunto de variables seleccionadas por BEST, a trav3s de las cuencas monitoreadas. Se muestran los resultados para los datos de densidad de especies en fitobentos.

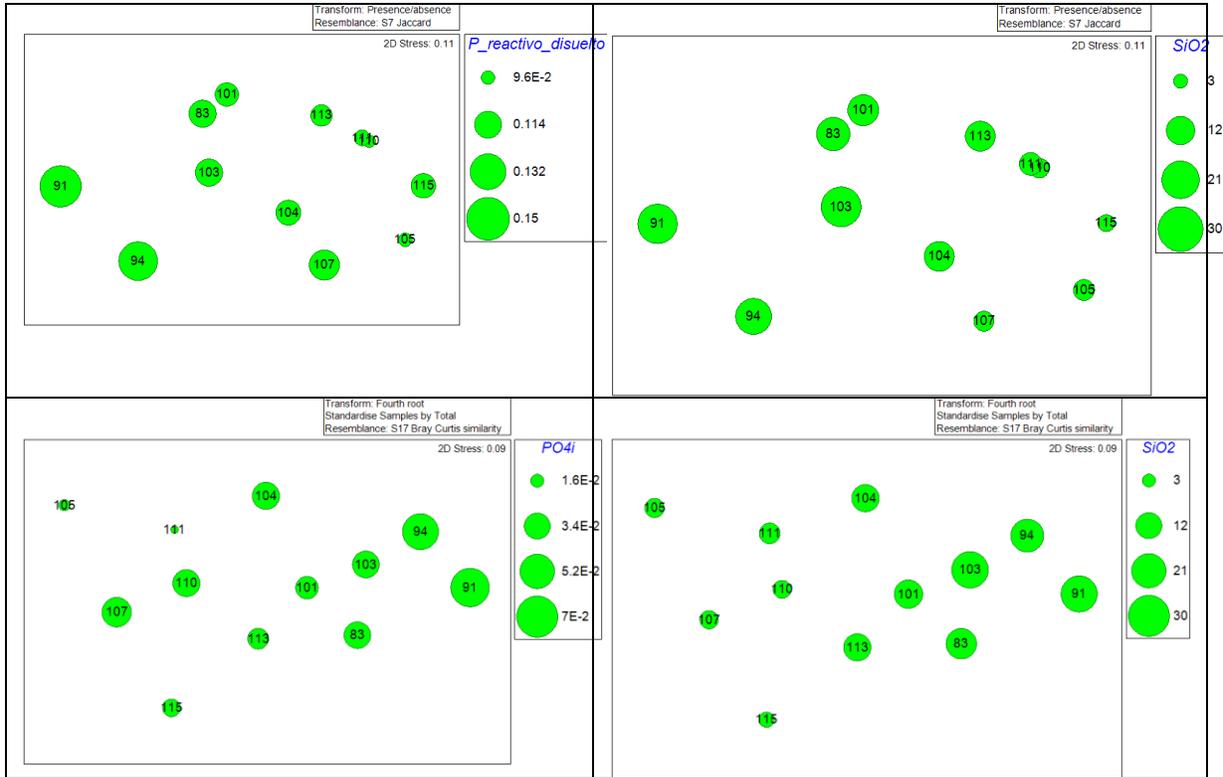


Figura 62. Bubble plots que representan las diferencias en la concentraci3n del conjunto de variables seleccionadas por BEST, a trav3s de las cuencas monitoreadas. Se muestran los resultados para los datos de presencia ausencia de especies en diatomeas.

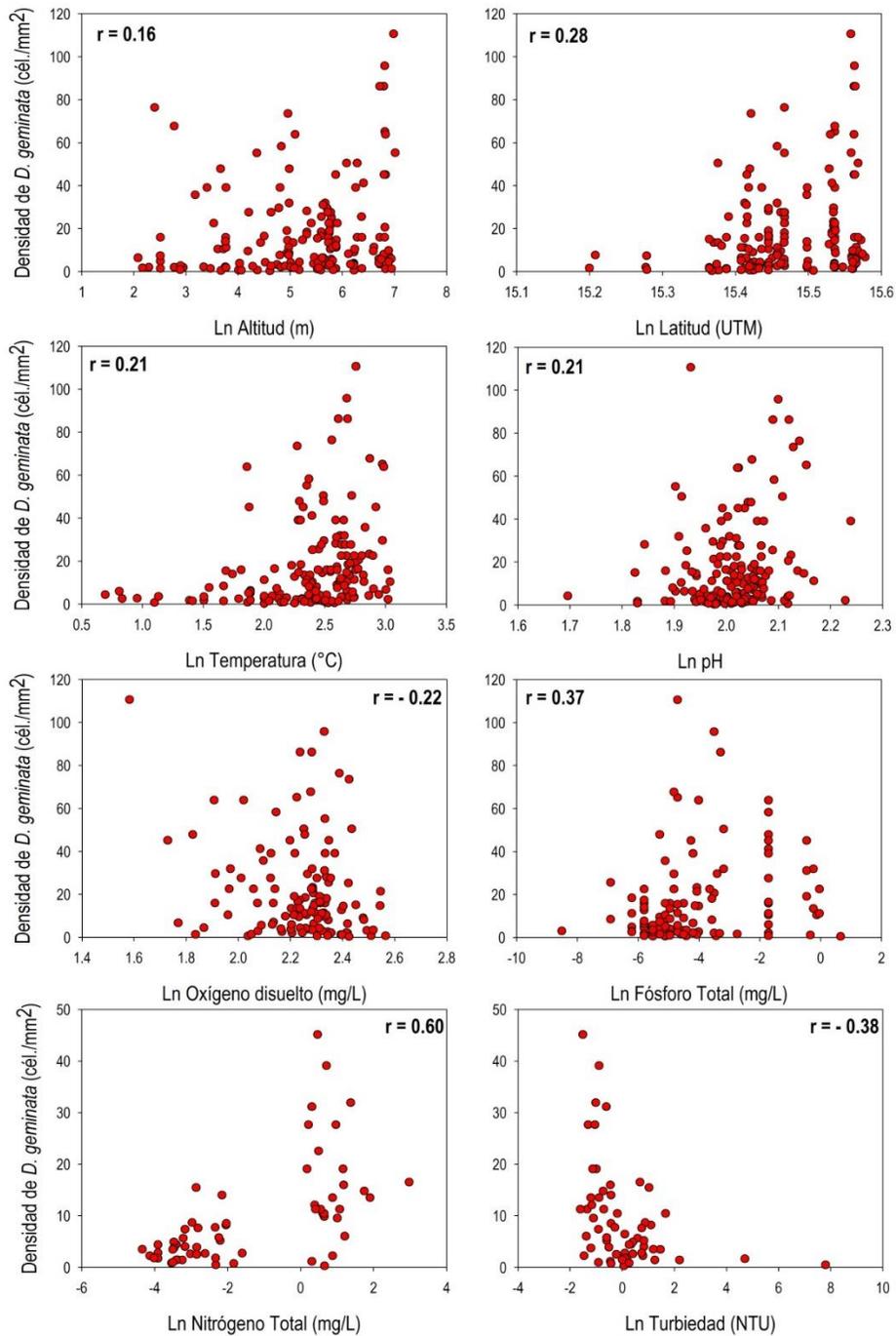


Figura 63. Correlaciones estadísticamente significativas entre diversas variables ambientales y la densidad de *D. geminata*. Se muestra el valor de r para cada uno de los casos.



Objetivo Específico 6

*Analizar de manera comparativa el efecto de la especie plaga *D. geminata* en cuerpos de agua con y sin su presencia.*

Para este objetivo se analizaron el fitobentos (Tabla 3 en ANEXO 2), el fitoplancton (base de datos), las diatomeas bentónicas (Tabla 4 en ANEXO 2) y macroinvertebrados bentónicos (base de datos). Para cada uno de estos componentes se aplicaron técnicas de análisis estadístico paramétrico y multivariado no paramétricos, cuyos resultados se presentan por separado.

Microalgas: tendencias generales

En la las épocas en las que se ejecutó el presente Monitoreo, se identificó un total de 116 taxa en la comunidad del fitobentos y 251 taxa solo para el grupo Bacillariophyceae.

Los resultados indican que existen diferencias significativas entre las distintas escalas espaciotemporales abordadas por este monitoreo, las cuales fueron observadas en el fitobentos y en las diatomeas bentónicas. Para evaluar estas diferencias se calcularon los índices de diversidad Riqueza (S), N° de individuos (N), Diversidad de Shannon ($H' \text{ Log}_2$) y Equitatividad (J') los cuales fueron sometidos a prueba con el test estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis utilizando la presencia de *D. geminata* como factor.

Los resultados de esta prueba revelaron que para el fitobentos existen diferencias significativas entre los grupos de sitios con *D. geminata* y sin *D. geminata* para S ($H=33,1$; $p<0,05$), N ($H=56,8$; $p<0,05$) y H' ($H=8,5$; $p=0,035$). Sin embargo, para J' ($H=2,7$; $p=0,09$) las diferencias observadas no son significativas (Tabla 13). La distribución de los datos para el fitobentos, muestra que el grupo de sitios con *D. geminata* tienden a concentrar mayor riqueza, mayor densidad de células y menor equitatividad respecto al grupo de sitios sin *D. geminata* (Figura 64).

Para el ensamble de diatomeas no se observan diferencias significativas para ningún índice, excepto para la riqueza ($H=3,8$; $p=0,04$) (Tabla 13). La distribución de los datos muestra que el grupo de sitios con *D. geminata* tienden a mostrar menor riqueza, menor densidad ($H=2,3$; $p=0,12$), menor diversidad ($H=2,7$; $p=0,09$) y presentar menor equitatividad ($H=0,006$; $p=0,93$), respecto al grupo de sitios sin *D. geminata* (Figura 65).

Para complementar estos resultados, se aplicaron análisis multivariados de clasificación, ordenación y similitud a través de distintas escalas espaciotemporales. En todos los análisis se utilizó el factor presencia de *D. geminata* como criterio de discriminante y se aplicaron de forma separada para el fitobentos y ensamble el ensamble de diatomeas (Tabla 14).



Tabla 13. Resultados prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis para índices de diversidad para fitobentos y diatomeas bentónicas

Variable	Con <i>D. geminata</i> ($X \pm ErSt$)	Sin <i>D. geminata</i> ($X \pm ErSt$)	H	Valor-p
S Fitobentos	9 \pm 0,31	12 \pm 0,41	33,1	<0,05
N Fitobentos	788 \pm 127	2260 \pm 452	56,8	<0,05
H Loge ₂ Fitobentos	1,94 \pm 0,05	2,21 \pm 0,07	8,5	0,035
J' Fitobentos	0,67 \pm 0,01	0,54 \pm 0,02	2,7	0,09
S Diatomeas	13 \pm 0,41	15 \pm 0,86	3,9	0,04
N Diatomeas	5880 \pm 1164	9527 \pm 2596	2,3	0,12
H Loge ₂ Diatomeas	2,55 \pm 0,06	2,78 \pm 0,1	2,4	0,11
J Diatomeas	0,72 \pm 0,01	0,73 \pm 0,02	0,006	0,93

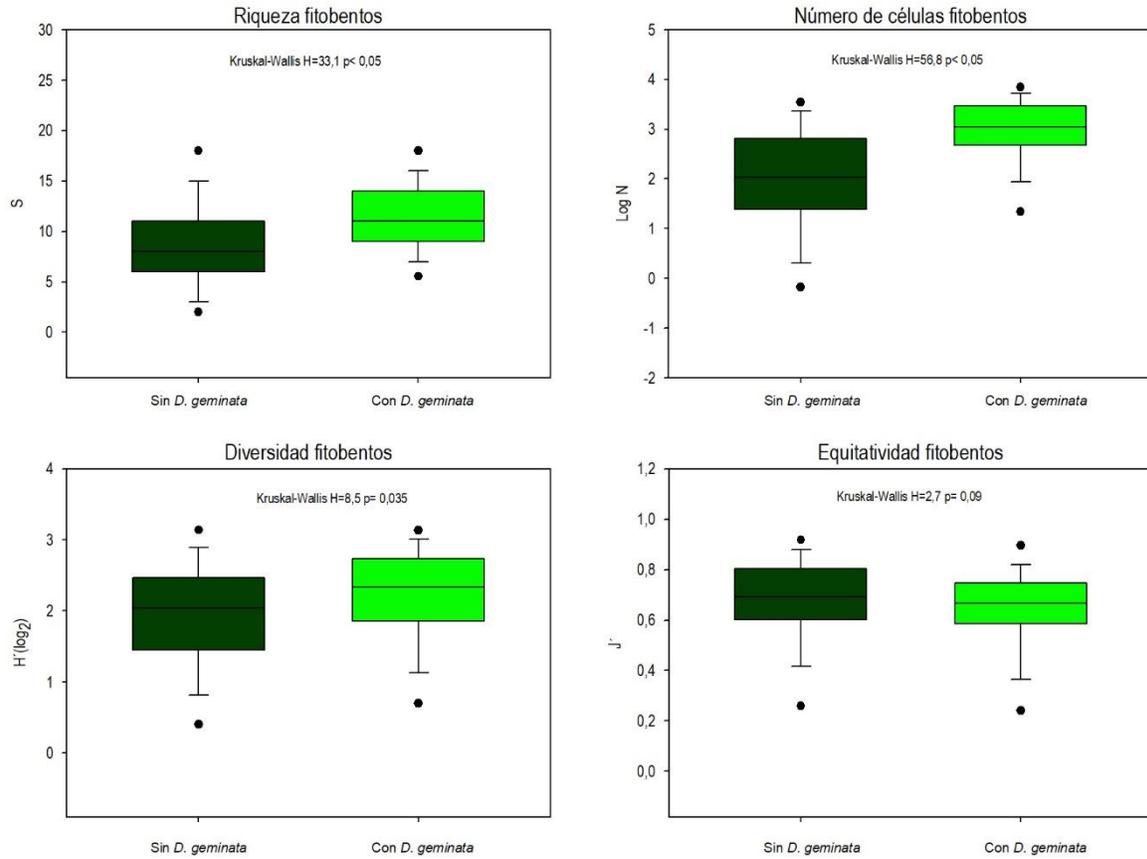


Figura 64. 3ndices de diversidad para fitobentos en funci3n a la presencia y ausencia de *D. geminata*

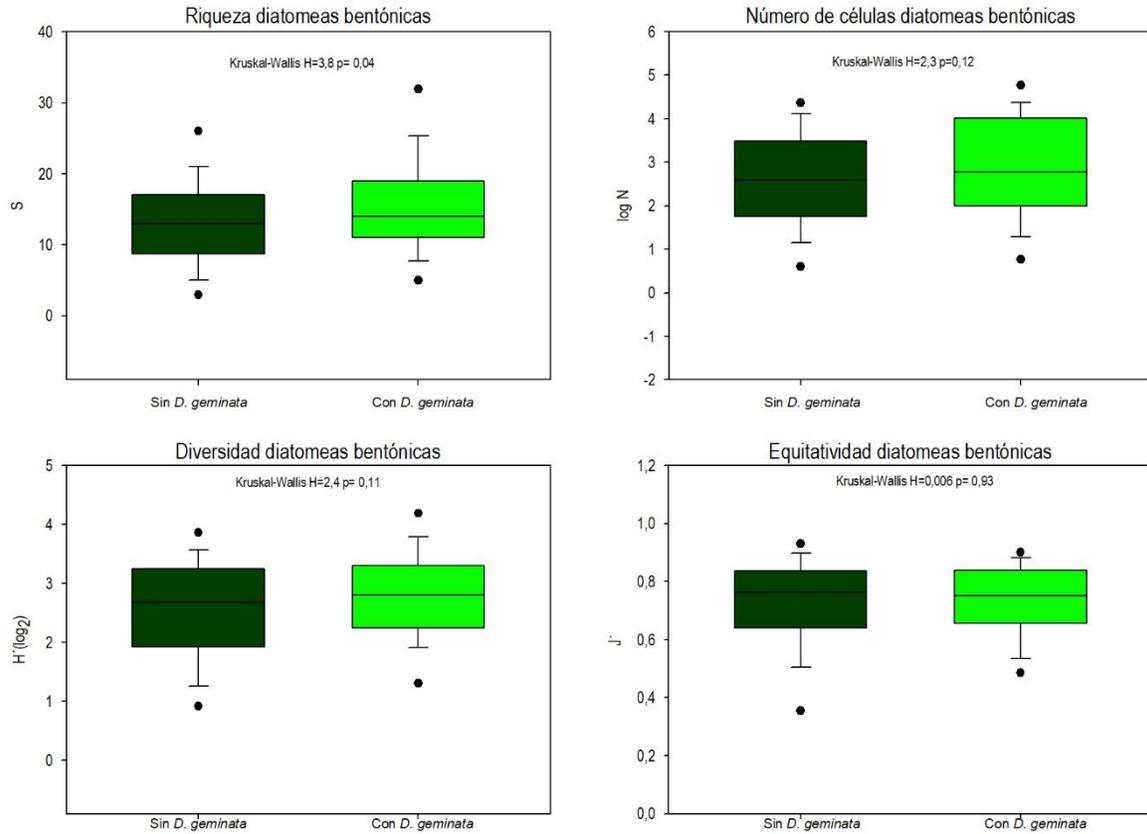


Figura 65. Índices de diversidad para el ensamble de diatomeas en función a la presencia y ausencia de *D. geminata*



Tabla 14. Resultados del análisis de similitud ANOSIM aplicado para los datos de fitobentos y diatomeas bentónicas, para los factores época, presencia de *D. geminata*, Cuenca y Subsubcuenca

Variable	Factor	R	Valor-p
Fitobentos	Época	0,249	0,001
Fitobentos	Presencia <i>D. geminata</i>	0,026	0,168
Fitobentos	Cuenca	0,201	0,001
Fitobentos	Subsubcuenca	0,317	0,001
Fitobentos primavera-verano	Cuenca	0,317	0,001
Fitobentos primavera-verano	Presencia <i>D. geminata</i>	0,065	0,04
Fitobentos primavera-verano	Subsubcuenca	0,544	0,001
Fitobentos otoño-invierno	Cuenca	0,266	0,001
Fitobentos otoño-invierno	Presencia <i>D. geminata</i>	-0,015	0,608
Fitobentos otoño-invierno	Subsubc	0,452	0,001
Diatomeas	Época	0,579	0,001
Diatomeas	Presencia <i>D. geminata</i>	0,046	0,061
Diatomeas	Cuenca	0,211	0,001
Diatomeas	Subsubcuenca	0,162	0,001
Diatomeas primavera-verano	Cuenca	0,365	0,001
Diatomeas primavera-verano	Presencia <i>D. geminata</i>	0,007	0,421
Diatomeas primavera-verano	Subsubcuenca	0,495	0,001
Diatomeas otoño-invierno	Cuenca	0,277	0,001
Diatomeas otoño-invierno	Presencia <i>D. geminata</i>	0,029	0,204
Diatomeas otoño-invierno	Subsubcuenca	0,37	0,001

Fitobentos

Al analizar el conjunto de datos obtenidos en la primera etapa del presente monitoreo, los análisis multivariados de ordenaci3n (nMDS) y de similitud (ANOSIM) indican que existen diferencias significativas en la estructura del fitobentos entre las épocas de primavera-verano y otoño-invierno (ANOSIM $R=0,249$; $p=0,1\%$), entre las cuencas (ANOSIM $R=0,201$, $p=0,1\%$) y las subsubcuencas o sitios (ANOSIM $R=0,31$; $p=0,1\%$). Al evaluar el efecto de la presencia de *D. geminata*, las diferencias observadas entre los grupos con *D. geminata* y sin *D. geminata* no son significativas

El escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) muestra una clara segregaci3n entre las épocas primavera-verano y otoño-invierno (Figura 66). Esta segregaci3n se ve reflejada en el análisis de contribuci3n de especies y porcentaje de similitud (SIMPER), el cual indic3 que el porcentaje de similitud intergrupo alcanz3 un 30,83%. En relaci3n a los taxa que más contribuyeron a las diferencias observadas, el análisis SIMPER muestra que taxa como *Fragilaria* spp., *Achnanthydium* spp., *Cymbella* spp., *Diatoma* spp., *Navicula* spp. y *Ulnaria* spp. son los elementos que más contribuyeron a las diferencias entre las épocas (Figura 67). En relaci3n al aporte de *D. geminata* a las diferencias entre las épocas, esta contribuy3 con un 3,02%.

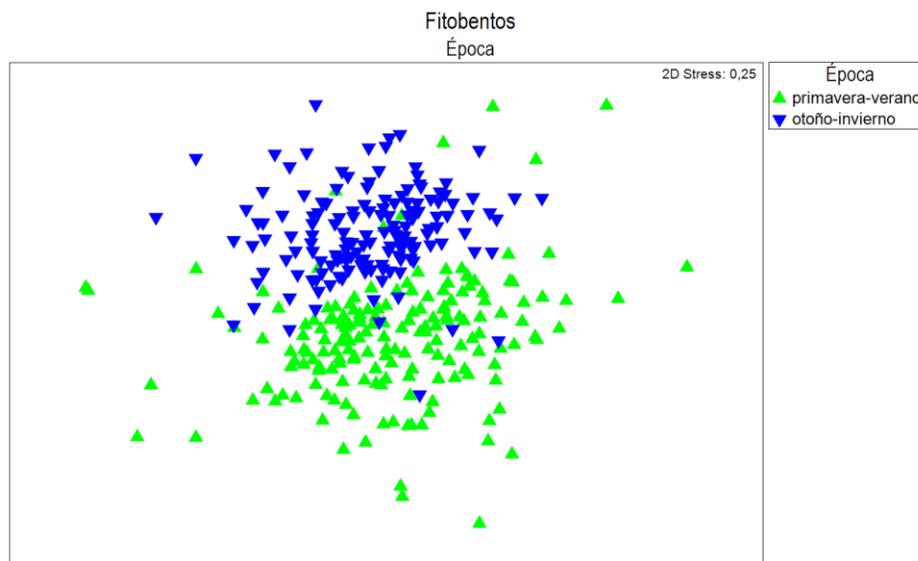


Figura 66. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) para fitobentos entre las épocas.



Dado que las diferencias entre las épocas son significativas, los datos para primavera-verano y otoño-invierno fueron analizados por separado y mostró que la similitud para la época primavera-verano alcanzó un 34,01%, mientras que para la época otoño-invierno alcanzó un 43,76%. Las diferencias observadas se mantuvieron a través de las distintas cuencas y subcuencas (o sitios), tanto para la época de primavera-verano y otoño-invierno (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis de similitud (ANOSIM) y porcentaje de similitud (SIMPER), para fitobentos, considerando los grupos de sitios de muestreo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para las cuencas calculadas para la época de primavera-verano y otoño-invierno

Cuenca	ANOSIM		SIMPER		EPOCA
	R	valor p	Similitud intragrupo Ausencia <i>D. geminata</i>	Similitud intragrupo Presencia <i>D. geminata</i>	
Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aysén	0,409	0,015	53,32	64,5	primavera-verano
Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aysén	0,329	0,22	54,1	60,64	otoño-invierno
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	-0,221	-0,00221	26,87	69,57	primavera-verano
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	0,156	0,00156	59,65	76,92	otoño-invierno
R Aysén	0,4	0,004	57,8	58,4	primavera-verano
R Aysén	18,5	0,185	47,59	64,33	otoño-invierno
R Baker	20	0,2	50,05	70	primavera-verano
R Baker	20	0,2	60,43	86,26	otoño-invierno
R Biobio	-0,099	0,686	37,92	69,52	primavera-verano
R Biobio	-0,198	0,758	49,59	76,6	otoño-invierno
R Puelo	0,562	0,005	38,01	94,21	primavera-verano
R Puelo	0,698	0,036	43,48	55,16	otoño-invierno
R Toltén	-0,201	0,8	45,25	menos de 2 muestras	otoño-invierno
R Valdivia	0,347	0,006	49,81	60,57	primavera-verano
R Valdivia	0,089	0,429	56,02	43,95	otoño-invierno
R Yelcho	0,322	0,286	menos de 2 muestras	58,31	primavera-verano
R Yelcho	0,327	0,143	55,56	69,11	otoño-invierno
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	0,409	0,015	53,32	64,5	primavera-verano
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	0,329	0,015	54,1	60,64	otoño-invierno
Tierra del Fuego	0,547	0,029	65,89	51,13	otoño-invierno

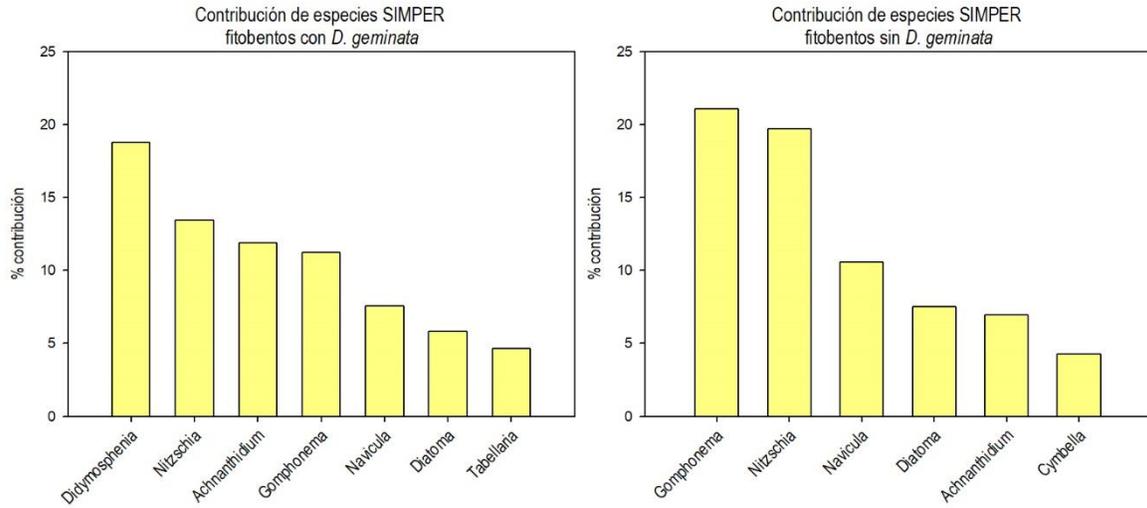


Figura 67. Contribuci3n de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de fitobentos obtenidos durante la I etapa del monitoreo

Fitobentos primavera-verano

Para la época de primavera-verano se observa una clara segregación entre los sitios con y sin didymo (Figura 68), a nivel de cuenca (Figura 69) y subsubcuenca (Figura 70). las cuales estarían relacionadas significativamente con la presencia de *D. geminata* (ANOSIM $R=0,065$; $p=2,6\%$). El análisis SIMPER mostró que la similitud intergrupo entre los sitios “con *D. geminata*” y el grupo “sin *D. geminata*” alcanzó 32,02%. En relación a la similitud intragrupo se observó que para el grupo “con *D. geminata*” la similitud alcanzó un porcentaje de 51,23%, mientras que para el grupo “sin *D. geminata*” la similitud alcanzó un porcentaje de 33,8%.

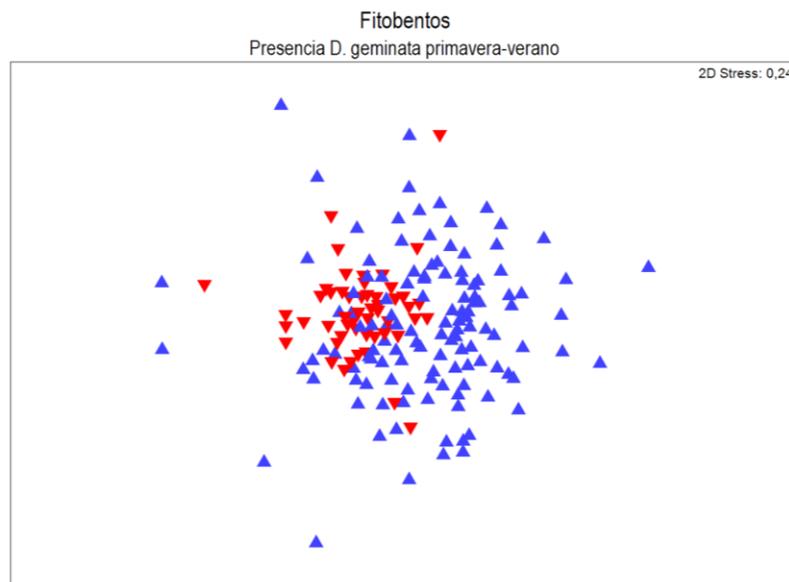


Figura 68. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) del fitobentos para la época de primavera-verano y el grupo de sitios sin *D. geminata* (triángulos azules hacia arriba) y el grupo de sitios sin *D. geminata* (triángulos rojos hacia abajo)

D. geminata contribuyó con un 9,63% a las diferencias entre los grupos. En relación a la similitud intragrupo, los taxa que más contribuyeron a la similitud intragrupo “con *D. geminata*” fueron los taxa *Didymosphenia* sp., *Nitzschia* spp., *Gomphonema* spp., *Fragilaria* spp., *Achnantheidium* spp. y *Navicula* spp., mientras que los taxa que más contribuyeron a la similitud intragrupo “sin *D. geminata*” fueron *Nitzschia* spp., *Gomphonema* spp., *Navicula* spp., *Diatoma* spp. y *Encyonema* spp. (Figura 71).

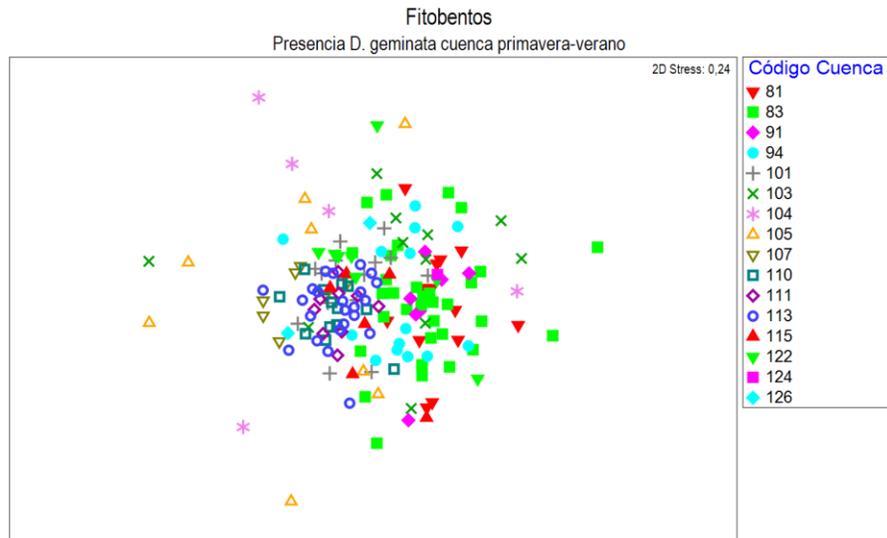


Figura 69. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) del fitobentos para la época de primavera-verano a través de las cuencas incluidas en el monitoreo. 81: Cuenca Río Itata, 83: Cuenca Río Biobío, 91: Cuenca río Imperial, 94: Cuenca Río Toltén, 101: Cuenca Río Valdivia, 103: Cuenca Río Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Cuenca Río Puelo, 107: Río Yelcho, 110: Río Palena entre Frontera y Río Rosselot, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aysén, 113: Cuenca Río Aysén, 115: Cuenca Río Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollemberg, Golfo Alto, Laguna Blanca, 128: Tierra del Fuego

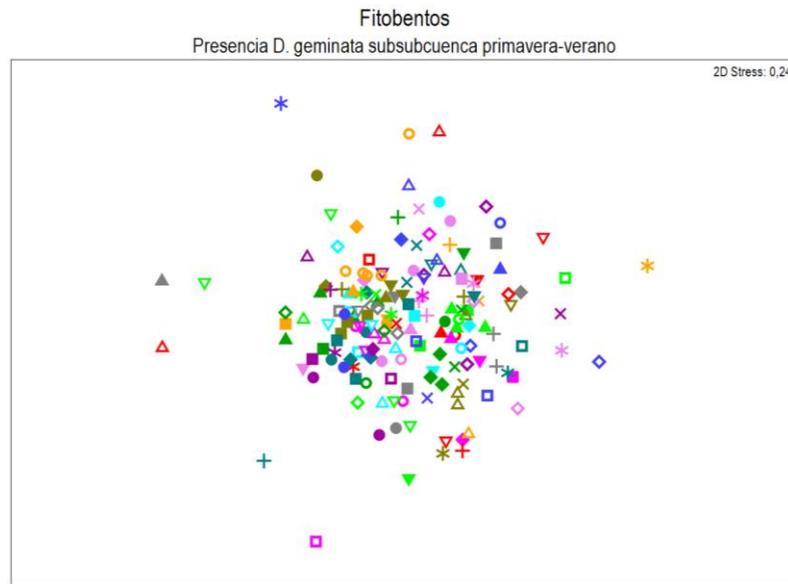


Figura 70. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) del fitobentos para la 3poca de primavera-verano a trav3s de las subsubcuencas incluidas en el monitoreo. Ver ANEXO para nombres.

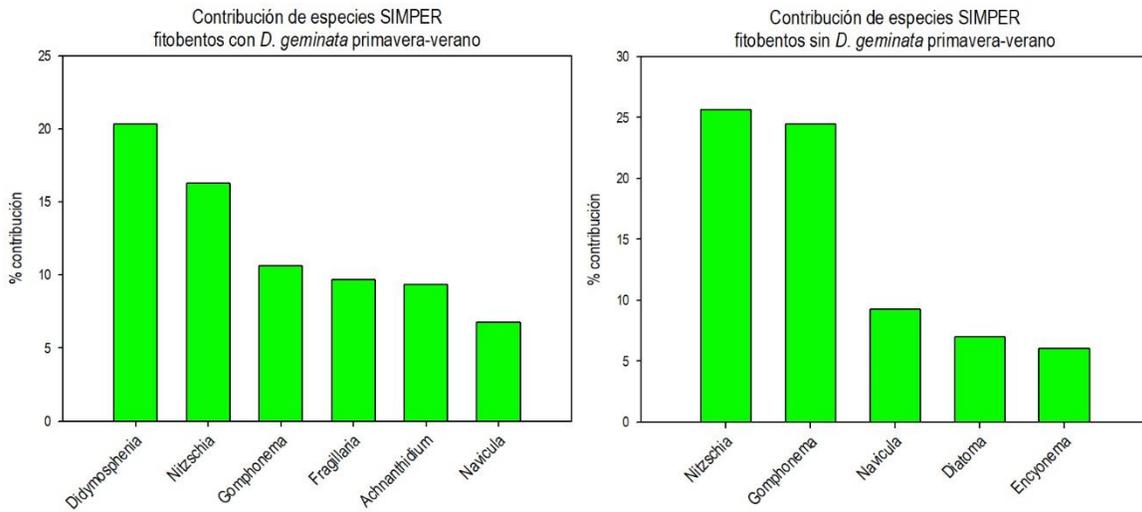


Figura 71. Contribuci3n de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de fitobentos obtenidos durante la 3poca de primavera-verano

Fitobentos otoño-invierno

Para 3poca de otoño-invierno se observa una clara segregaci3n entre el grupo de sitio "con *D. geminata*" y "sin *D. geminata*" (Figura 72). Sin embargo, el efecto de la presencia de *D. geminata* no es significativo (ANOSIM $R=-0,015$; $p=62,2\%$), ni a nivel de cuenca (Figura 73.) ni al de subsubcuenca (Figura 74). El an3lisis SIMPER mostr3 que la similitud intergrupo entre los sitios "con *D. geminata*" y el grupo de sitios "sin *D. geminata*" alcanz3 un 44,16% de similitud. En relaci3n a la similitud intragrupo, el grupo "sin *D. geminata*" alcanz3 un 41,82% de similitud, mientras que el grupo "con *D. geminata*" la similitud alcanz3 un 57,44 %. En relaci3n a la contribuci3n de especies, *D. geminata* contribuy3 con un 7,79 % a las diferencias entre los grupos. En relaci3n a la estructura intragrupo "con *D. geminata*" se observ3 que los taxa que m3s contribuyeron fueron *Didymosphenia* spp., *Achnanthydium* spp., *Fragilaria* spp., *Gomphonema* spp., *Diatoma* spp., *Nitzschia* spp., *Navicula* spp., *Cymbella* spp., mientras que los taxa que m3s contribuyeron a la similitud intragrupo "sin *D. geminata*" fueron los taxa *Gomphonema* spp., *Fragilaria* spp., *Nitzschia* spp., *Achnanthydium* spp., *Navicula* spp., *Diatoma* spp. y *Cymbella* spp.

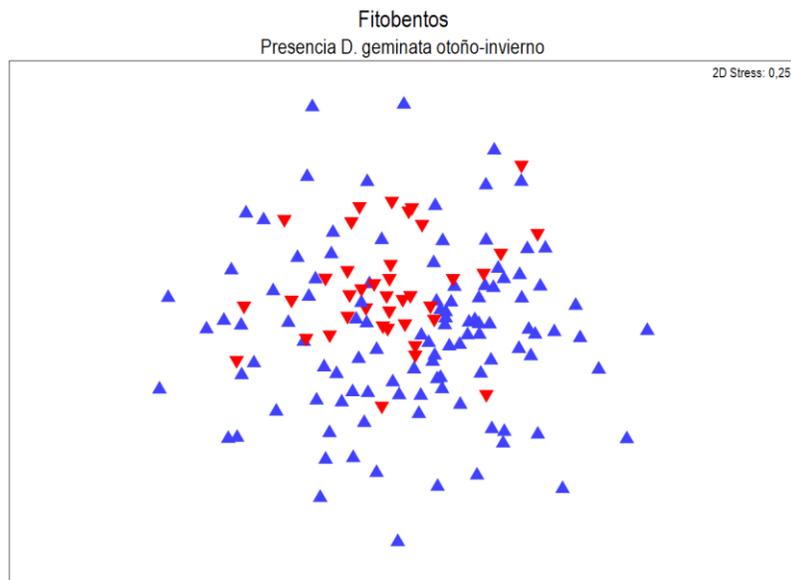


Figura 72. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) del fitobentos para la 3poca de otoño-invierno y el grupo de sitios sin *D. geminata* (tri3ngulos azules hacia arriba) y el grupo de sitios sin *D. geminata* (tri3ngulos rojos hacia abajo)



Al comparar el grupo de sitios “con *D. geminata*” y el grupo de sitios “sin *D. geminata*” el an3lisis nMDS indica que la presencia de *D. geminata* no sustenta una segregaci3n clara entre los grupos, y que, a pesar de existir diferencias, estas no se encuentran asociadas a la presencia de *D. geminata* (ANOSIM $R=0,026$, $p=15,7$). El an3lisis SIMPER indica que el porcentaje de similitud entre los grupos alcanza un 34,02% y que *D. geminata* contribuy3 con un 8,2% a este valor. En relaci3n a la similitud intragrupo, el grupo “sin *D. geminata*” alcanz3 una similitud de 32,75%, mientras que la similitud intragrupo “con *D. geminata*” alcanz3 un 48,42%. En relaci3n a la estructura comunitaria, se observa que los taxa que m3s contribuyeron a la similitud intragrupo “con *D. geminata*” correspondieron a *Didymosphenia* sp., *Nitzschia* spp., *Achnanthydium* spp., *Gomphonema* spp., *Navicula* spp., *Diatoma* spp., *Tabellaria* spp. Mientras que para el grupo “sin *D. geminata*”, las contribuciones m3s altas a la similitud intragrupo estuvieron dadas por *Gomphonema* spp., *Nitzschia* spp., *Navicula* spp., *Diatoma* spp., *Achnanthydium* spp. y *Cymbella* spp. (Figura 75).

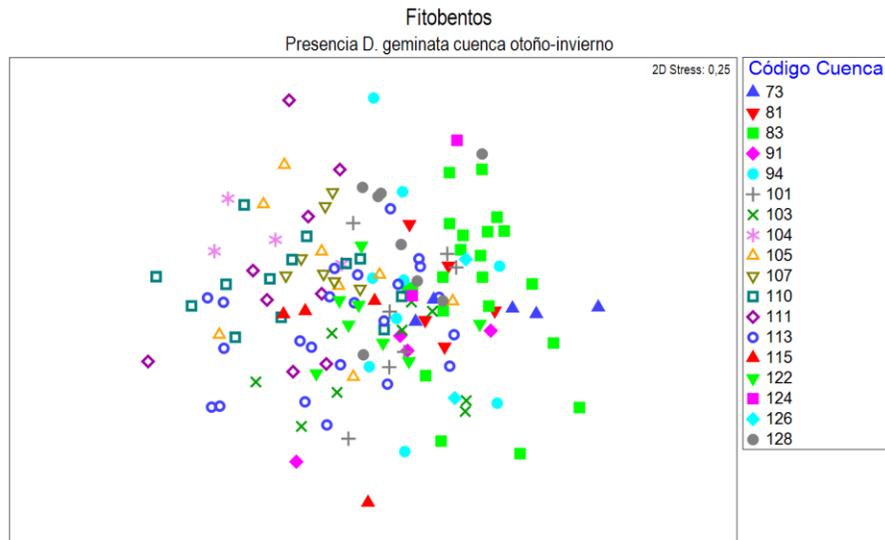


Figura 73. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) del fitobentos para la 3poca de primavera-verano a trav3s de las cuencas incluidas en el monitoreo. 73: Cuenca R3o Maule, 81: Cuenca R3o Itata, 83: Cuenca R3o Biobio, 91: Cuenca r3o Imperial, 94: Cuenca R3o Tolt3n, 101: Cuenca R3o Valdivia, 103: Cuenca R3o Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Cuenca R3o Puelo, 107: R3o Yelcho, 110: R3o Palena entre Frontera y R3o Rosselot, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ays3n, 113: Cuenca R3o Ays3n, 115: Cuenca R3o Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 128: Tierra del Fuego

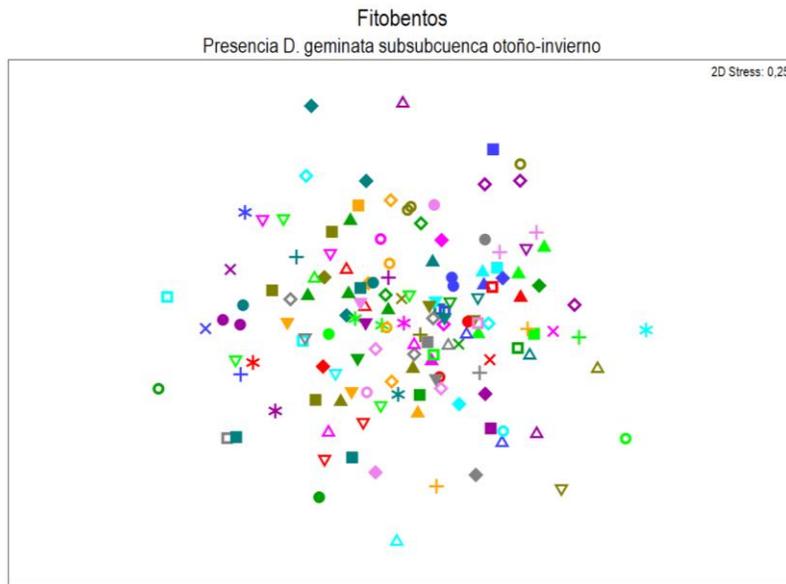


Figura 74. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) del fitobentos para la época de otoño-invierno a través de las subsubcuenclas incluidas en el monitoreo. Ver ANEXO para nombres

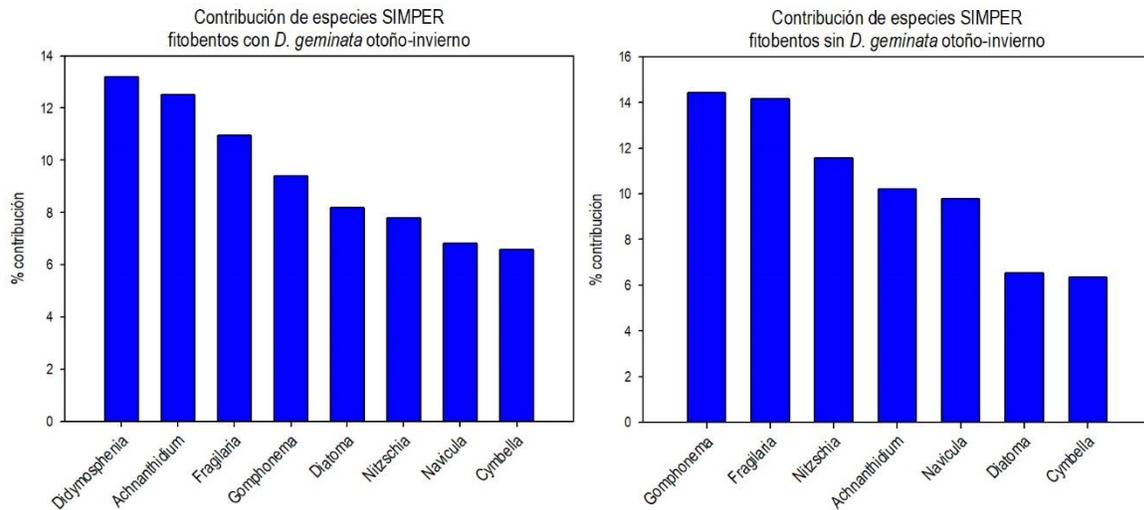


Figura 75. Contribuci3n de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de fitobentos obtenidos durante la época de primavera-verano

Diatomeas

Al analizar el conjunto de datos obtenidos en la primera etapa del presente monitoreo, los an3lisis multivariados de ordenaci3n (nMDS) y de similitud (ANOSIM) indican que existen diferencias significativas en la estructura del ensamble de diatomeas entre las 3pocas de primavera-verano y oto3o-invierno y entre las cuencas (ANOSIM $R=0,211$; $p=0,1\%$). Sin embargo, las diferencias de nivel de subsubcuencas o sitios no fueron significativas (ANOSIM $R=0,046$; $p=7\%$).

El escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) muestra una clara segregaci3n entre las 3pocas primavera-verano y oto3o-invierno (ANOSIM $R=0,579$; $p=0,1\%$) (Figura 76). El an3lisis de contribuci3n de especies y porcentaje de similitud (SIMPER) revel3 que el porcentaje de similitud intergrupo alcanz3 un 16,34%. En relaci3n a la similitud intragrupo, se observ3 que para la 3poca de primavera-verano la similitud alcanz3 un 34,09%, mientras que para la 3poca oto3o-invierno alcanz3 un 25,77%.

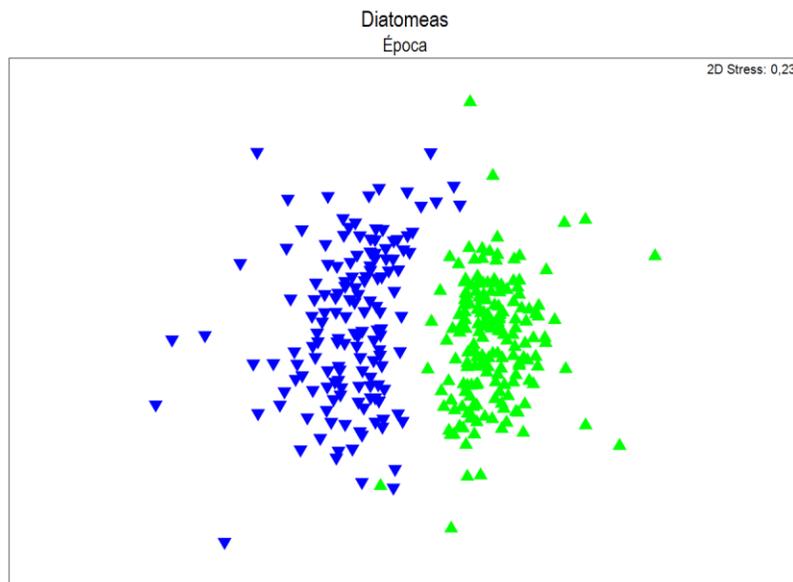


Figura 76. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) para fitobentos entre las 3pocas

En relaci3n a la contribuci3n de especies, *D. geminata* contribuy3 con un 1,6 % a las diferencias entre ambas 3pocas. Los taxa que m3s contribuyeron a las diferencias intragrupo fueron *Gomphonema* spp, *Fragilaria* spp y *Nitzschia* spp (Figura 77).



Las diferencias observadas se mantuvieron a través de las distintas cuencas y subcuencas o sitios, tanto para la época de primavera-verano y otoño-invierno (Tabla 16).

Tabla 16 Análisis de similitud (ANOSIM) y porcentaje de similitud (SIMPER), para diatomeas bentónicas, para los grupos de sitios de muestreo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para las cuencas calculadas para la época de primavera-verano y otoño-invierno

Cuenca	ANOSIM		SIMPER		EPOCA
	R	valor p	Similitud intragrupo Ausencia <i>D. geminata</i>	Similitud intragrupo Presencia <i>D. geminata</i>	
Costeras e Islas entre R.Palena y R. Aysén	0,101	0,278	32,14	27,59	primavera-verano
Costeras e Islas entre R.Palena y R. Aysén	0,135	0,314	31,6	45,41	otoño-invierno
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente	-0,268	0,667	14,46	menos de 2 muestras	primavera-verano
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente	-0,365	0,929	26,5	35,29	otoño-invierno
R Aysén	0,087	0,275	38,61	44,11	primavera-verano
R Aysén	0,133	0,078	29,1	37,94	otoño-invierno
R Baker	0,296	0,2	38,41	55,08	primavera-verano
R Baker	-0,232	0,8	8,33	43,48	otoño-invierno
R Biobío	0,016	0,424	45,88	61,5	primavera-verano
R Biobío	-0,077	0,62	34,95	64,36	otoño-invierno
R Puelo	0,25	0,2	47,8	57,14	primavera-verano
R Puelo	0,282	0,107	22,32	38,18	otoño-invierno
R Valdivia	-0,014	0,469	44,31	53,84	primavera-verano
R Valdivia	0,109	0,286	38,43	54,05	otoño-invierno
R Yelcho	0,209	0,19	45,93	58,33	primavera-verano
R Yelcho	0,318	0,095	34,78	56,42	otoño-invierno
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	0,437	0,002	46,84	55,97	primavera-verano
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	0,212	0,094	29,39	46,39	otoño-invierno
Tierra del Fuego	0,318	0,19	34,98	35,71	otoño-invierno

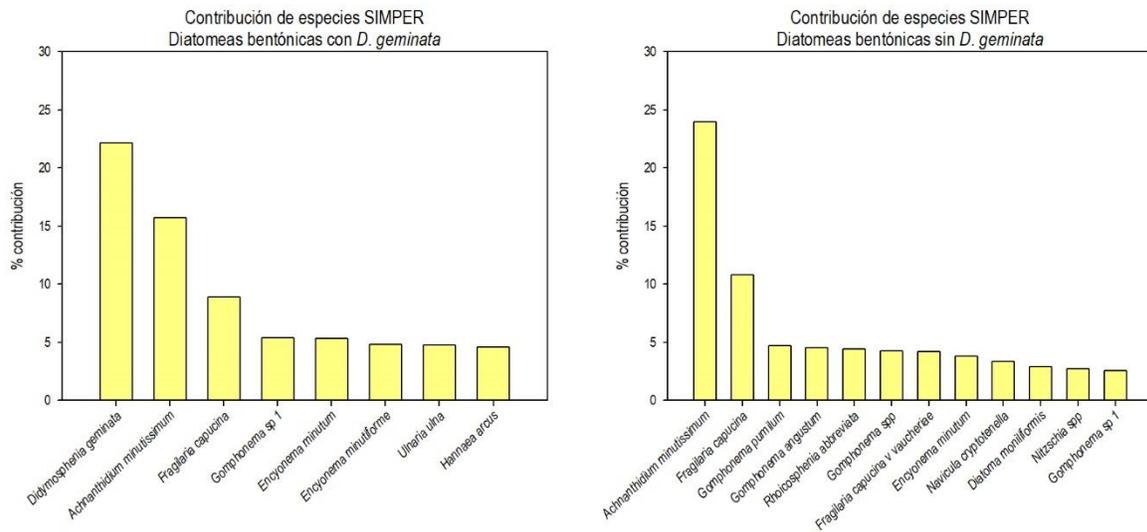


Figura 77. Contribución de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de diatomeas bentónicas obtenidos durante la etapa I del monitoreo

Debido a que la comunidad presentó diferencias significativas entre las épocas, se analizó de forma separada la estructura comunitaria para la época de primavera-verano y otoño-invierno

Diatomeas bentónicas primavera-verano

Para la época de primavera-verano se observó una clara segregación entre los sitios con y sin didymo (Figura 78). Sin embargo, el efecto de la presencia de *D. geminata* sobre las diferencias observadas no es significativo (ANOSIM $R_{global}=0,007$; $p=44,2\%$), ni a nivel de cuenca (Figura 79) ni al de subsubcuenca (Figura 80). El análisis SIMPER mostró que la similitud intergrupo entre los sitios “con *D. geminata*” y el grupo “sin *D. geminata*” alcanzó un 34,02%. En relación a la similitud intragrupo se observó que la similitud para el grupo “con *D. geminata*” alcanzó un porcentaje de 44,80%, mientras que la similitud intragrupo “sin *D. geminata*” alcanzó un 33,8%. En relación a la contribución de especies, *D. geminata* contribuyó un 5,3% a las diferencias entre los grupos.

Los taxa que más contribuyeron a la similitud intragrupo “con *D. geminata*” fueron *Didymosphenia geminata*, *Achnanthes minutissimum*, *Encyonema minutiforme*, *Fragilaria capucina*, *Nitzschia spp*, *Fragilaria capucina v vaucheriae*, *Gomphonema spp* *Encyonema minutum*. Mientras que los taxa que más contribuyeron a la similitud intragrupo “sin *D. geminata*” fueron *Achnanthes minutissimum*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema angustum*, *Gomphonema spp*, *Fragilaria capucina v vaucheriae*, *Nitzschia spp*, *Gomphonema pumilum*, *Pennada* y *Rhoicosphenia abbreviata* (Figura 81).

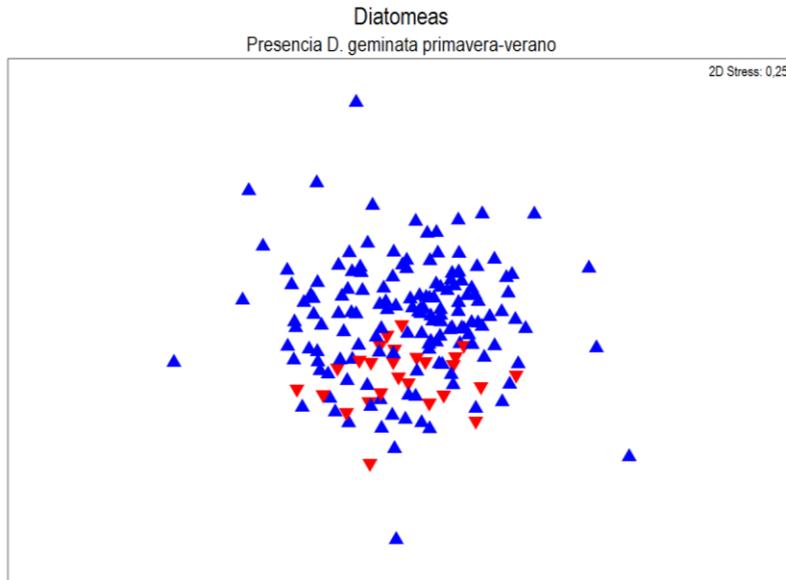


Figura 78. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) de diatomeas bentónicas para la época de primavera-verano y el grupo de sitios sin *D. geminata* (triángulos azules hacia arriba) y el grupo de sitios con *D. geminata* (triángulos rojos hacia abajo).

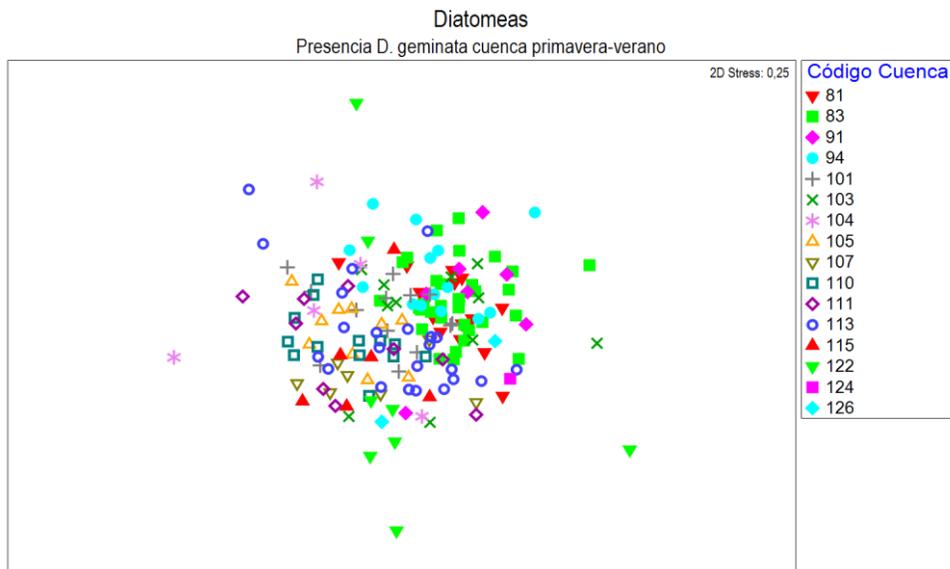


Figura 79. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) diatomeas bentónicas para la época de primavera-verano a través de las cuencas incluidas en el monitoreo. 81: Cuenca Río Itata, 83: Cuenca Río Biobío, 91: Cuenca río Imperial, 94: Cuenca Río Toltén, 101: Cuenca Río Valdivia, 103: Cuenca Río Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Cuenca Río Puelo, 107: Río Yelcho, 110: Río Palena entre Frontera y Río Rosselot, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aysén, 113: Cuenca Río Aysén, 115: Cuenca Río Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Holleberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 128: Tierra del Fuego.

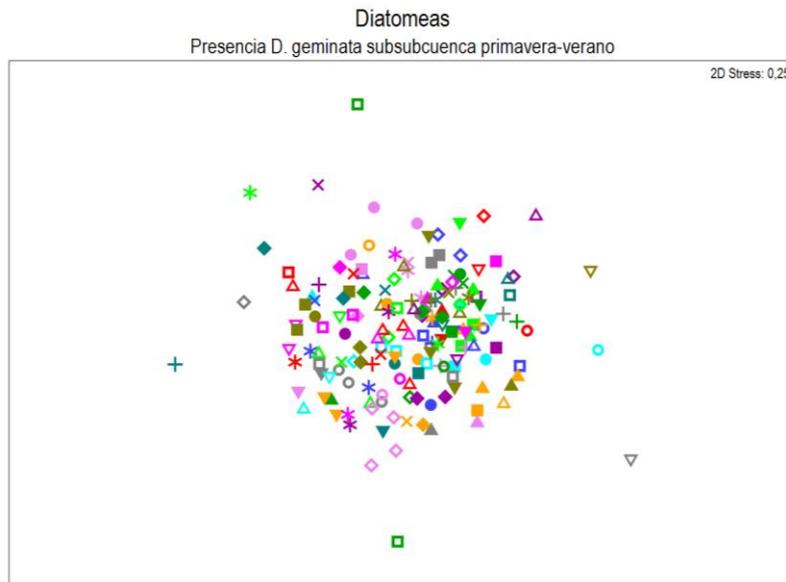


Figura 80. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) diatomeas bent3nicas para la 3poca de primavera-verano a trav3s de las subsubcuenclas incluidas en el monitoreo. Ver ANEXO para nombres

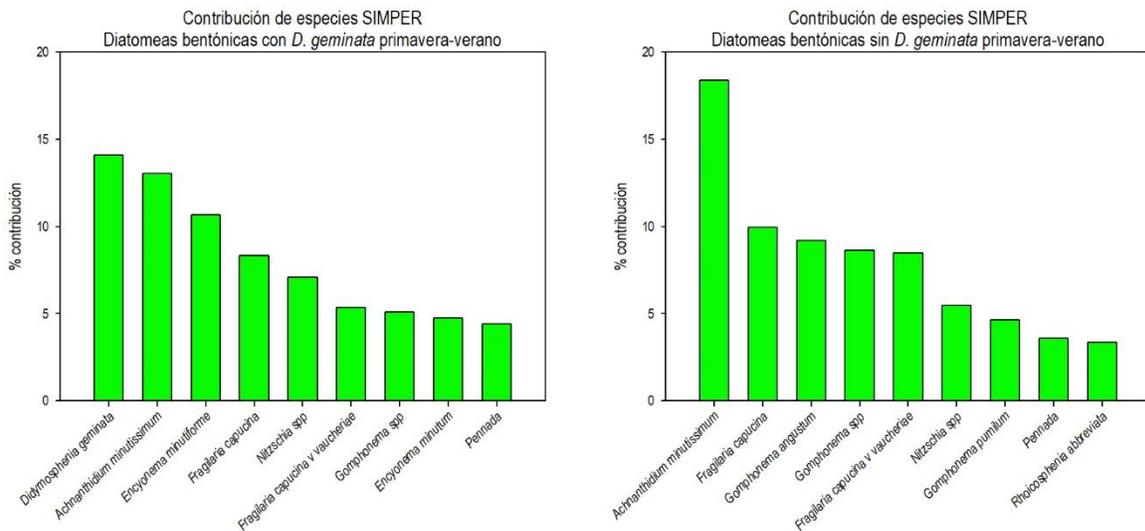


Figura 81. Contribuci3n de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de diatomeas bent3nicas obtenidos durante la 3poca de primavera-verano

Diatomeas otoño-invierno

Para 3poca de otoño-invierno se observ3 una clara segregaci3n entre los sitios con y sin didymo (Figura 82). Sin embargo, el efecto de la presencia de *D. geminata* sobre las diferencias observadas no son significativas (ANOSIM $R=0,029$, $p=24,2\%$), ni a nivel de cuenca (Figura 83), ni al de subsubcuenca (Figura 84). El an3lisis SIMPER mostr3 que la similitud intergrupo entre los sitios "con *D. geminata*" y el grupo de sitios "sin *D. geminata*" alcanz3 un 25,2%. En relaci3n a la similitud intragrupo, la similitud para el grupo "sin *D. geminata*" alcanz3 un 24,59%, mientras que la similitud intragrupo "sin *D. geminata*" alcanz3 un 37,47%. En relaci3n a la contribuci3n de especies, *D. geminata* contribuy3 con un 6,07% a las diferencias entre los grupos.

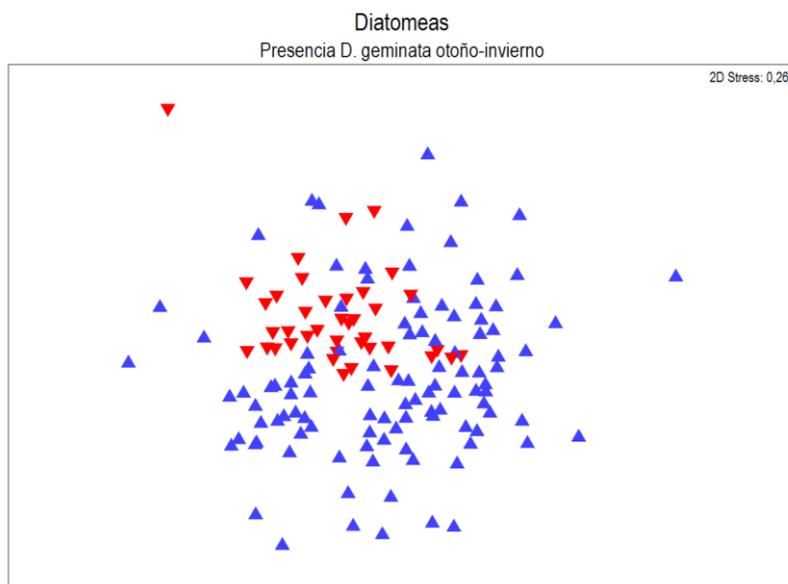


Figura 82. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) de diatomeas bent3nicas para la 3poca de otoño-invierno y el grupo de sitios sin *D. geminata* (tri3ngulos azules hacia arriba) y el grupo de sitios con *D. geminata* (tri3ngulos rojos hacia abajo).



En relaci3n a la estructura intragrupo se observ3 que los taxa que m3s contribuyeron a la similitud intragrupo "con *D. geminata*" fueron *Didymosphenia geminata*, *Gomphonema sp 1*, *Achnantheidium minutissimum*, *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria capucina*, *Ulnaria ulna*, *Hannaea arcus*, mientras que los taxa que m3s contribuyeron a la similitud intragrupo "sin *D. geminata*" fueron *Achnantheidium minutissimum*, *Gomphonema sp 1*, *Cocconeis placentula*, *Ulnaria ulna*, *Fragilaria capucina*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia dissipata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Diatoma moniliformis*, *Fragilaria capucina var vaucheriae* (Figura 85).

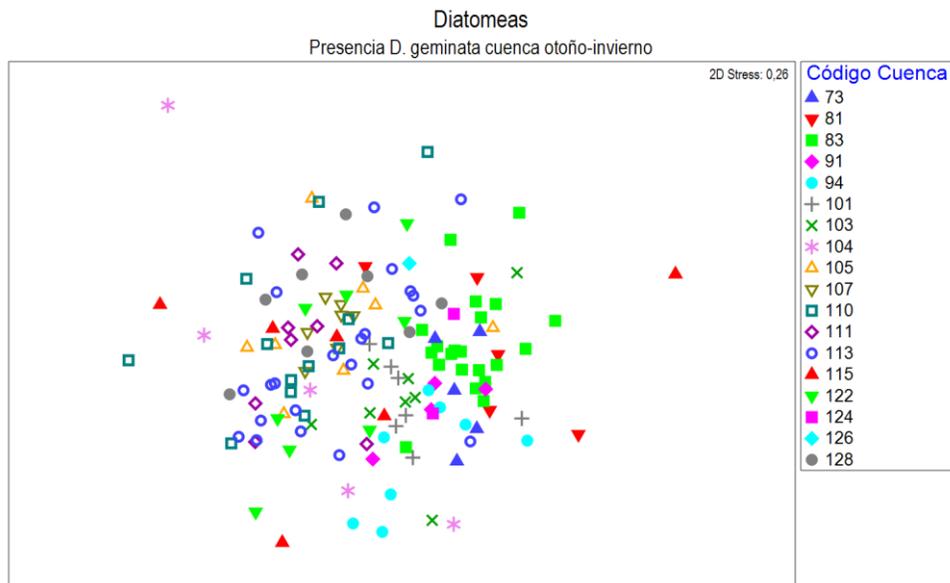


Figura 83. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) diatomeas bent3nicas para la 3poca de otoño-invierno a trav3s de las cuencas incluidas en el monitoreo. 73: Cuenca R3o Maule, 81: Cuenca R3o Itata, 83: Cuenca R3o Biob3o, 91: Cuenca r3o Imperial, 94: Cuenca R3o Tolt3n, 101: Cuenca R3o Valdivia, 103: Cuenca R3o Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Cuenca R3o Puelo, 107: R3o Yelcho, 110: R3o Palena entre Frontera y R3o Rosselot, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ays3n, 113: Cuenca R3o Ays3n, 115: Cuenca R3o Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 128: Tierra del Fuego

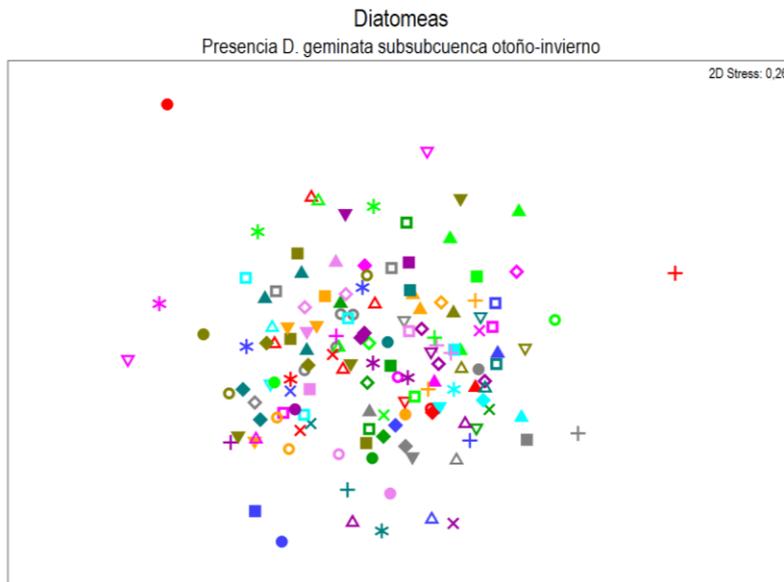


Figura 84. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) diatomeas bentónicas para la época de otoño-invierno a través de las subsubcuencas incluidas en el monitoreo. Ver ANEXO para nombres

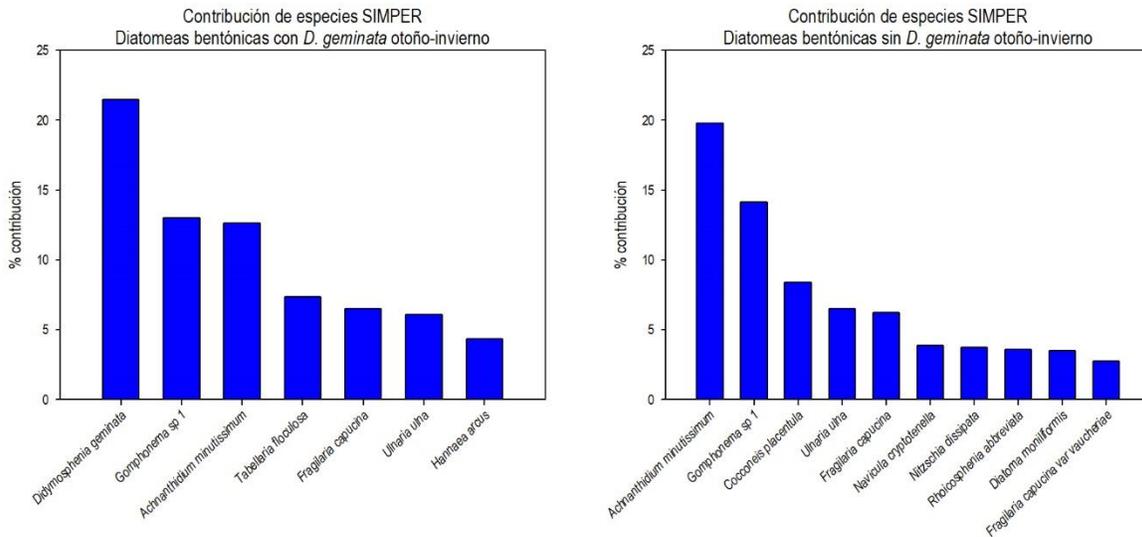


Figura 85. Contribución de especies a la similitud intragrupo con *D. geminata* y sin *D. geminata* para datos de diatomeas bentónicas obtenidos durante la época de primavera-verano

Fitoplancton

Para el fitoplancton, los an3lisis multivariados muestran diferencias significativas entre las 3pocas de primavera-verano y oto3o-invierno (ANOSIM $R=0,355$; $p=0,1\%$), (Figura 86) y entre el grupo de sitios "con *D. geminata*" y el grupo de sitios "sin *D. geminata*" (ANOSIM $R=0,247$; $p=0,1\%$) (Figura 87).

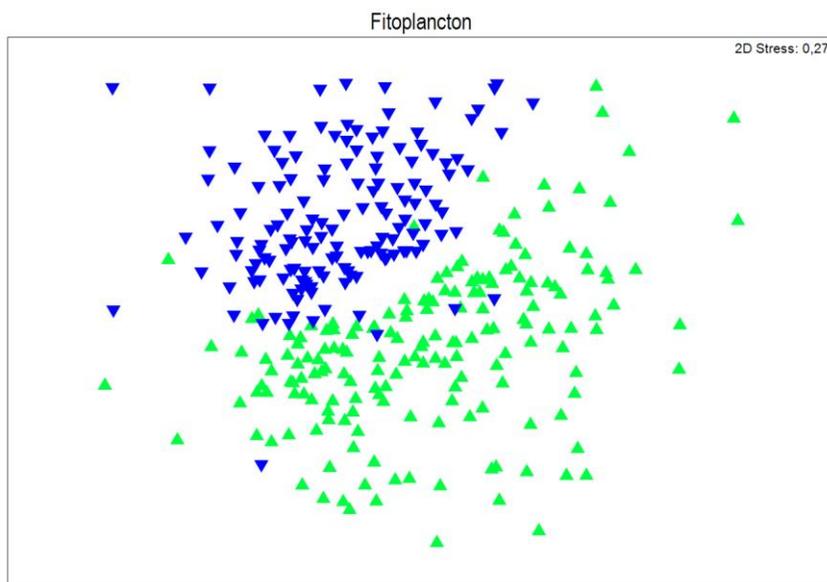


Figura 86. Escalamiento multidimensional no m3trico (nMDS) fitoplancton para las 3pocas. Primavera-verano: tri3ngulos verdes hacia arriba, Oto3o-Invierno: tri3ngulos azules hacia abajo

Al evaluar el factor 3poca, el an3lisis SIMPER mostr3 que la similitud intergrupo entre las distintas 3pocas alcanz3 un 25,12%. En relaci3n a la similitud intragrupo se observ3 que la similitud para la 3poca primavera-verano alcanz3 un porcentaje de 29,95%, mientras que la similitud intragrupo para oto3o-invierno alcanz3 un 35,79%. En relaci3n a la contribuci3n de especies, *D. geminata* contribuy3 un 2,61% a las diferencias entre los grupos. Los taxa que m3s contribuyeron a la similitud en la 3poca primavera-verano fueron *Nitzschia* spp., *Gomphonema* spp., *Ulnaria* spp., *Melosira* spp., *Didymosphenia* sp., *Tabellaria* spp. y *Fragilaria* spp.. Para la 3poca oto3o-invierno los taxa que m3s contribuyeron a la similitud intragrupo fueron *Fragilaria* spp., *Gomphonema* spp., *Nitzschia* spp., *Diatoma* spp., *Ulnaria* spp., *Navicula* spp., *Achnanthydium* spp., *Hannaea* spp. y *Cymbela* spp..

Al evaluar el factor presencia de *D. geminata* en el fitoplancton, el an3lisis SIMPER mostr3 que la similitud intergrupo entre el grupo con *D. geminata* y el grupo sin *D. geminata* alcanz3 una similitud del 25,31%. En relaci3n a la similitud intragrupo se observ3 que la similitud para el grupo "sin *D. geminata*" alcanz3 un porcentaje de 28,94%, mientras que la similitud intragrupo "con *D. geminata*" alcanz3 un 39,14%. En relaci3n a la contribuci3n de especies, *D. geminata* contribuy3 un 8 % a las

diferencias entre los grupos. Los taxa que m1s contribuyeron a la similitud del grupo "sin *D. geminata*" fueron *Nitzschia* spp., *Gomphonema* spp., *Melosira* spp., *Ulnaria* spp., *Diatoma* spp., *Oscillatoria* spp.. Para el grupo con *D. geminata* los taxa que m1s contribuyeron a la similitud intragrupo fueron los taxa *Didymosphenia* sp., *Nitzschia* spp., *Tabellaria* spp., *Ulnaria* spp., *Gomphonema* spp. y *Hannaea* spp.

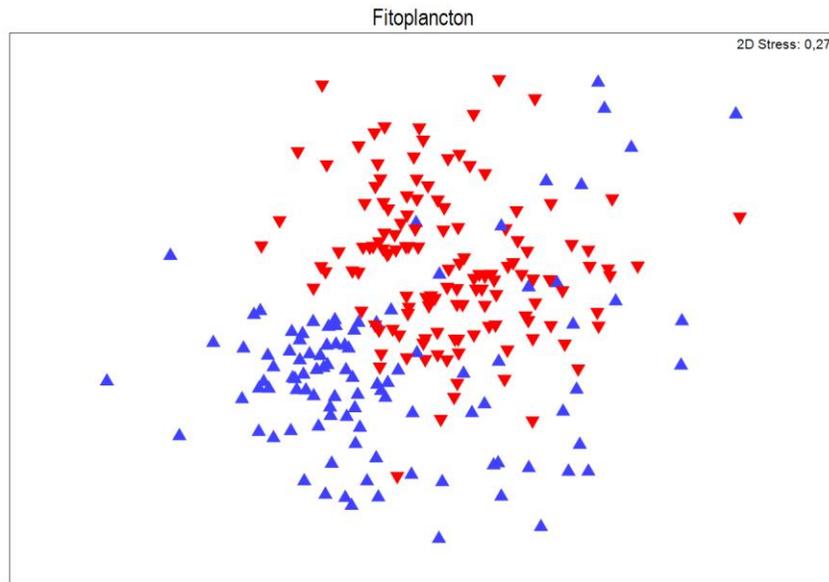


Figura 87. Escalamiento multidimensional no m1trico (nMDS) del fitobentos para el grupo de sitios sin *D. geminata* (tri1ngulos azules hacia arriba) y el grupo de sitios con *D. geminata* (tri1ngulos rojos hacia abajo)

Dado que las muestras de fitoplancton fueron obtenidas por una red de plancton (de acuerdo a lo recomendado por el Manual de monitoreo e identificaci3n de la especie plaga *D. geminata*), el an1lisis se limit3 a describir la comunidad y a utilizar la presencia de *D. geminata* como factor, en los an1lisis comunitarios. Los resultados taxon3micos se adjuntan en la base de datos biol3gica.



Relaci3n *D. geminata* con la comunidad del fitobentos y diatomeas bent3nicas

Para evaluar el efecto de *D. geminata* sobre el fitobentos y las diatomeas bent3nicas se calcularon matrices de correlaci3n para explorar la relaci3n de la densidad de *D. geminata* y otras microalgas bent3nicas. Para el fitobentos se observa que *D. geminata* promueve significativamente las abundancias de taxa de diferentes clases (Tabla 17, Figura 88).

En relaci3n a las diatomeas bent3nicas, *D. geminata* promueve las abundancias de un importante n3mero de especies (Tabla 18, Figura 89, 90, 91).

Tabla 17 Correlaciones significativas *D. geminata* taxa fitobentos

Clase	Taxa fitobentos	Coefficiente de correlaci3n
Fragilariophyceae	<i>Achnanthydium</i> spp.	0,55
Bacillariophyceae	<i>Aff Cymbella</i> spp.	0,58
Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i> spp.	0,26
Conjugatophyceae	<i>Cosmarium</i> spp.	0,30
Fragilariophyceae	<i>Fragillaria</i> spp.	0,40
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> spp.	0,17
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia</i> spp.	0,19
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia teratologica</i>	0,20
Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i> spp.	0,16
Bacillariophyceae	<i>Rhopalodia</i> spp.	0,32
Conjugatophyceae	<i>Sphaeroszma</i> spp.	0,26
Bacillariophyceae	<i>Tabellaria</i> spp.	0,49

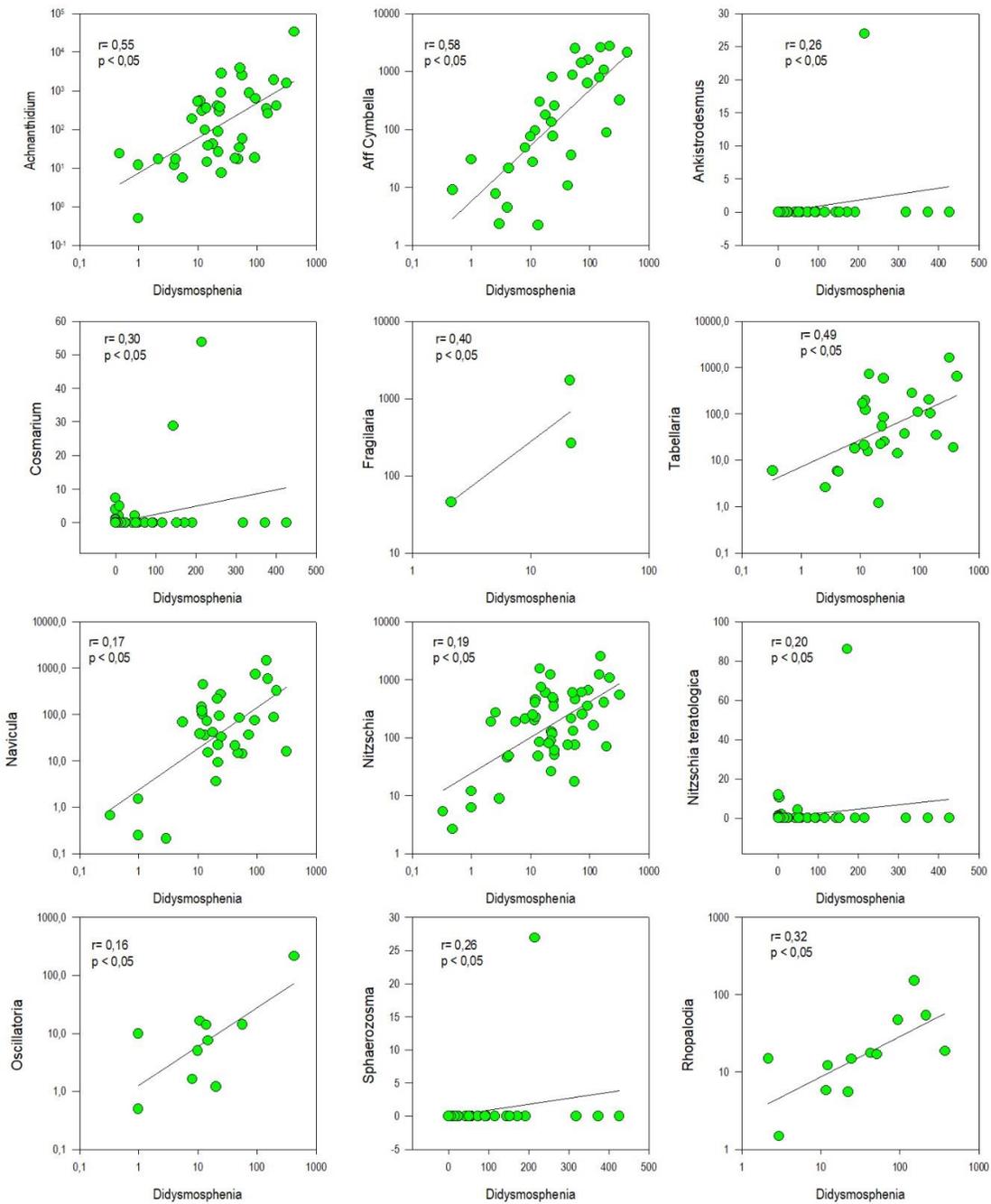


Figura 88. Distribuci3n de las abundancias de taxa de fitobentos correlacionados significativamente con la densidad (cel/mm²) *D. geminata*



Tabla 18 Correlaciones significativas *D. geminata* taxa diatomeas bentónicas

Clase	Especie	Coefficiente de correlación
Bacillariophyceae	<i>Achnanthydium minutissimum</i>	0,26
	<i>Cocconeis placentula v euglypta</i>	0,18
	<i>Cymbella affinis</i>	0,23
	<i>Cymbella neocistula</i>	0,21
	<i>Diatoma mesodon</i>	0,28
	<i>Discostella stelligera</i>	0,16
	<i>Encyonema minutiforme</i>	0,39
	<i>Encyonema silesiacum</i>	0,25
	<i>Encyonopsis cesatii</i>	0,2
	<i>Epithemia adnata</i>	0,6
	<i>Epithemia sorex</i>	0,7
	<i>Fragilaria capucina</i>	0,27
	<i>Fragilaria capucina v vaucheriae</i>	0,25
	<i>Fragilaria capucina v vaucheriae teratologica</i>	0,29
	<i>Gomphoneis minuta</i>	0,55
	<i>Hannaea arcus</i>	0,24
	<i>Mayamaea pelliculosa</i>	0,12
	<i>Rhopalodia gibba</i>	0,19
	<i>Navicula cryptotenella</i>	0,3
	<i>Navicula gregaria</i>	0,47
	<i>Nitzschia fonticola</i>	0,39
	<i>Nitzschia spp</i>	0,63
	<i>Ulnaria ulna</i>	0,58
<i>Staurosirella pinnata</i>	0,38	
<i>Ulnaria acus</i>	0,2	

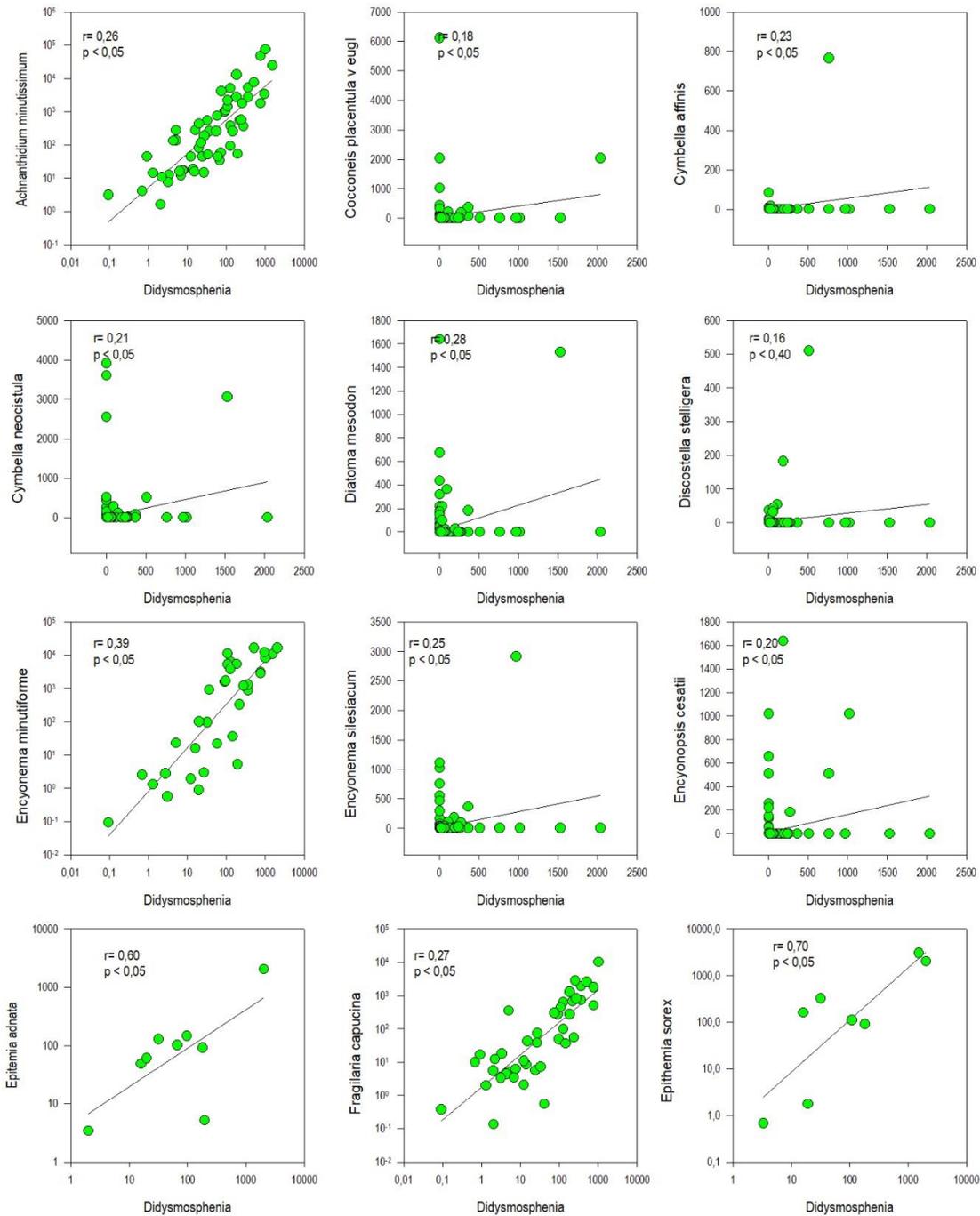


Figura 89. Distribuci3n de las abundancias taxa de diatomeas bent3nicas correlacionados significativamente con la densidad (cel/mm²) de *D. geminata*

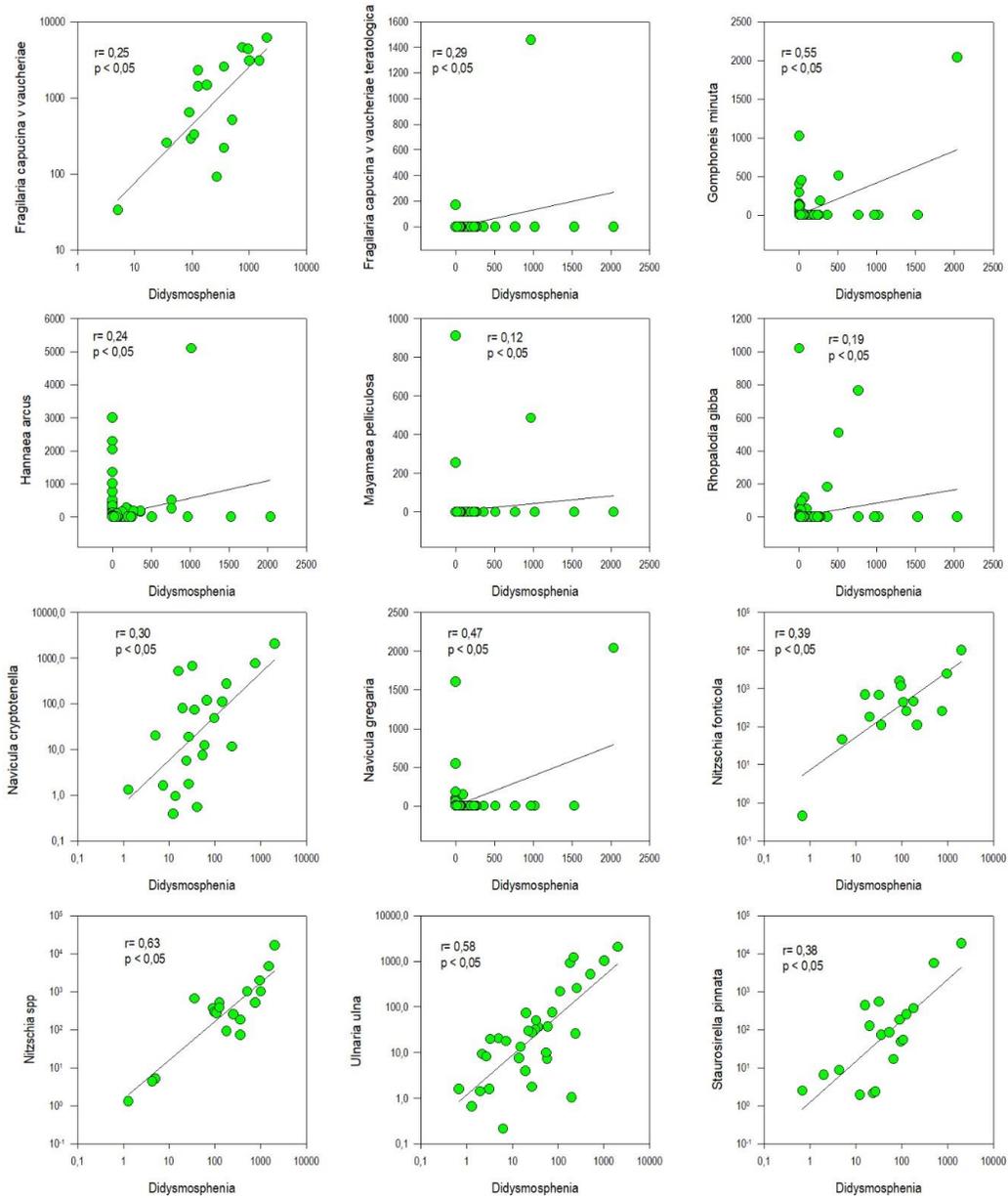


Figura 90. Distribuci3n de las abundancias taxa de diatomeas bentonicas correlacionados significativamente con la densidad (cel/mm²) *D. geminata*

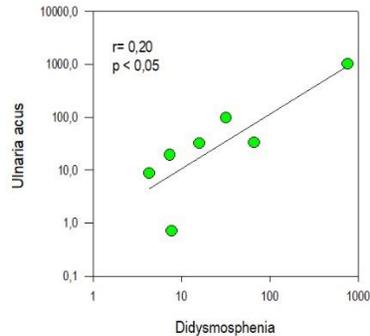


Figura 91. Distribuci3n de las abundancias taxa de diatomeas bent3nicas correlacionados significativamente con la densidad (cel/mm²) *D. geminata*.

Floraciones

Para la 3poca de primavera-verano se registraron floraciones en 68 sitios de un total de 180. Las especies m1s frecuentes, fueron *Achnanthydium minutissimum* (Figura 7 en ANEXO 4) y *D. geminata* (Figura 1-6 en ANEXO 4) las cuales estuvieron presente en 61 y 51 sitios, respectivamente. En relaci3n a las abundancias, estuvieron dominadas por *Achnanthydium minutissimum*, *Encyonema minutiforme* y *Diatoma moniliformis*.

Para la 3poca de oto1o-invierno se registraron floraciones en 105 de 150 sitios de muestreados. La especie m1s frecuentes correspondi3 a *Fragilaria* spp, la cual estuvo presente en 101 sitios. En relaci3n a las abundancias, estuvieron dominadas por *Fragilaria* spp y *Achnanthydium* spp. *Didymosphenia* estuvo presente en 38 sitios con floraciones. Sin embargo, tambi3n se registraron floraciones de especies Chlorophyta como *Ulothrix* spp. (Figura 38 en ANEXO 4), el cual fue registrado en 52 sitios de muestreo.

Al probar la significancia de las diferencias observadas, los an1lisis indican que en la 3poca de oto1o los sitios donde *D. geminata* no est1 presente, las floraciones est1n dadas por un n1mero significativamente mayor de especies (Tabla 19).



Tabla 19 Índices de diversidad calculados para las floraciones registradas para le época de primavera-verano y otoño-invierno. Los índices fueron calculados para el grupo de floraciones con la presencia de *D. geminata* y sin *D. geminata*

Índice	Presencia <i>D.geminata</i>	Ausencia <i>D. geminata</i>	H	p
otoño-invierno				
S	10 ± 1	11 ± 0,4	4,08	0,04
N	1259 ± 264	1777 ± 327	0,61	0,43
J'	0,61 ± 0,02	0,6 ± 0,02	0,007	0,92
H'(log ₂)	1,99 ± 0,09	2,01 ± 0,08	0,18	0,66
primavera verano				
S	11 ± 0,59	10 ± 2	2,64	0,14
N	23796 ± 5915	26280 ± 244	2,4	0,11
H'(log ₂)	2,21 ± 0,14	2,18 ± 0,82	0,21	0,64
J'	0,64 ± 0,03	0,7 ± 0,4	1,4	0,23

El efecto de *D. geminata* sobre las floraciones fue evaluado a través de matrices de correlaciones para la época de primavera-verano (Tabla 20) y otoño-invierno (Tabla 21). En ambas épocas las floraciones estuvieron dominadas por especies del género *Achnanthisdium* spp. (Figura 92), la cual, de acuerdo a nuestros resultados, utiliza los filamentos de *D. geminata* como sustrato (Figura 93). El examinar la relación entre ambos taxa se observa una relación positiva entre la densidad de *D. geminata* y *Achnanthisdium* spp, la cual es más robusta durante la época de primavera-verano (Figura 94).

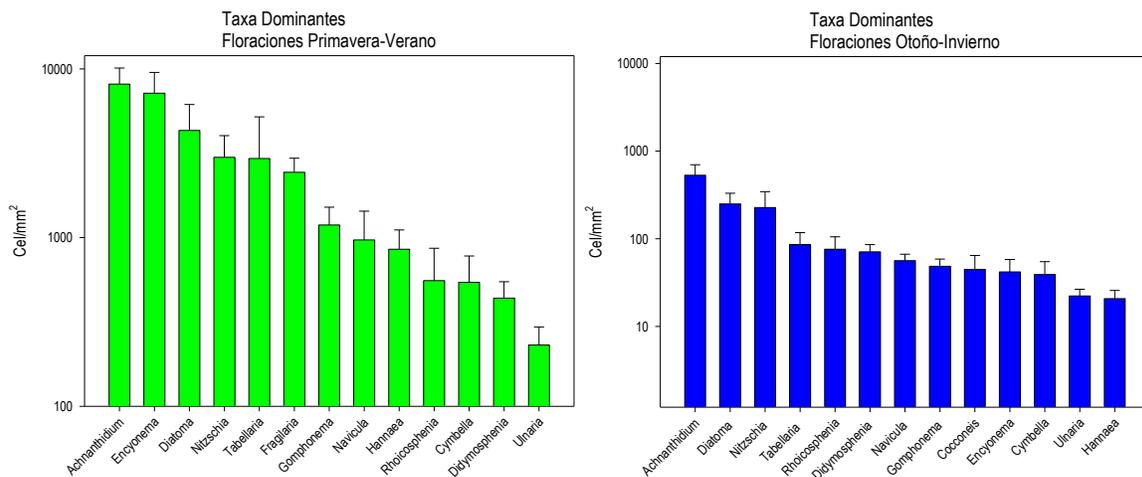


Figura 92. Densidad de taxa dominantes en floraciones registradas durante las épocas de primavera-verano y otoño-invierno



Tabla 20 Relaci3n de *D. geminata* con otras microalgas presentes en la comunidad de fitobentos para la 3poca de primavera-verano

Taxa	Coefficiente de correlaci3n
<i>Achnanthydium</i> spp.	0,76
<i>Encyonema</i> spp.	0,12
<i>Nitzschia</i> spp.	0,07
<i>Diatoma</i> spp.	-0,09
<i>Fragilaria</i> spp.	0,26
<i>Gomphonema</i> spp.	0,06
<i>Tabellaria</i> spp.	0,02
<i>Navicula</i> spp.	-0,08
<i>Didymosphenia</i> sp.	1,00
<i>Rhoicosphenia</i> spp.	-0,05
<i>Ulnaria</i> spp.	0,11
<i>Cymbella</i> spp.	0,62

Tabla 21. Relaci3n de *D. geminata* con otras microalgas presentes en la comunidad de fitobentos para la 3poca de otoño-invierno

Taxa	Coefficiente de correlaci3n
<i>Achnanthydium</i> spp.	0,04
<i>Diatoma</i> spp.	-0,05
<i>Nitzschia</i> spp.	-0,02
<i>Navicula</i> spp.	-0,02
<i>Gomphonema</i> spp.	0,14
<i>Didymosphenia</i> spp.	1,00
<i>Tabellaria</i> spp.	0,02
<i>Rhoicosphenia</i> spp.	-0,05
<i>Ulnaria</i> spp.	0,14
<i>Cocconeis</i> spp.	0,00
<i>Cymbella</i> spp.	0,02
<i>Encyonema</i> spp.	0,63
<i>Hannaea</i> spp.	0,02

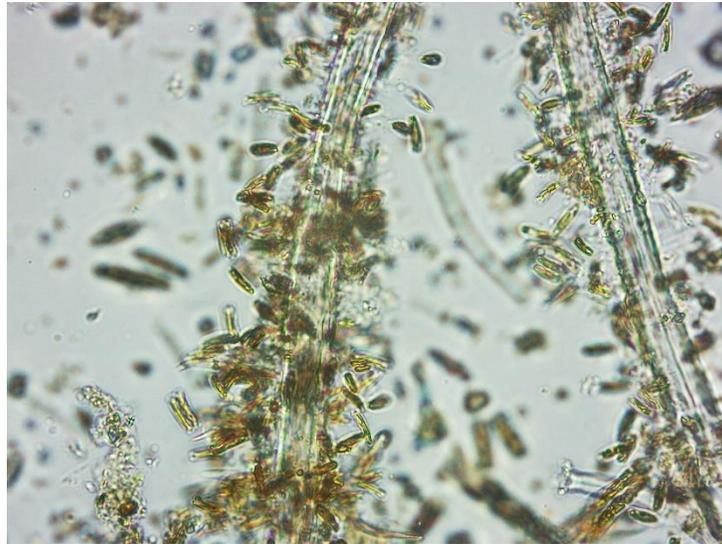


Figura 93 C3lula de *Achnanthydium* creciendo sobre c3lulas de *D. geminata*.

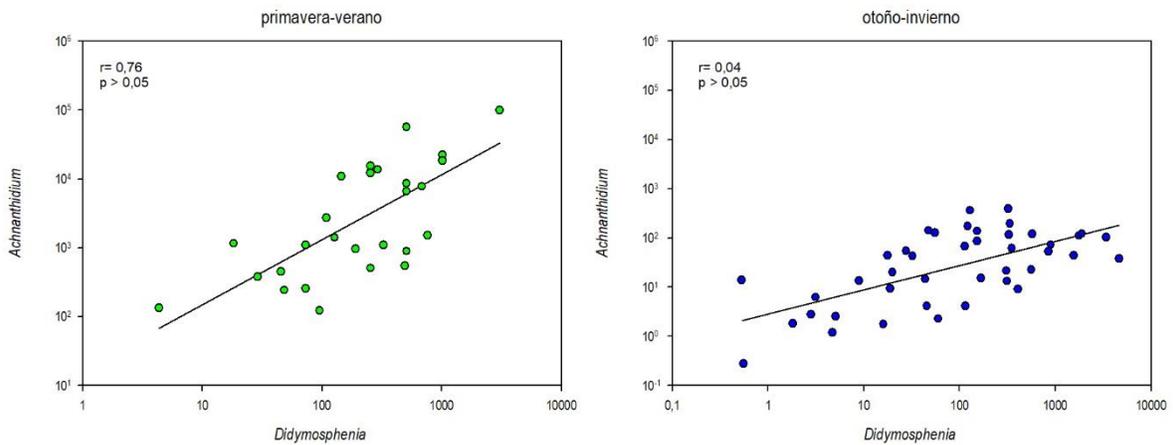


Figura 94. Relaci3n entre la abundancia (cel/mm²) de *D. geminata* y *Achnanthydium* spp.



Macroinvertebrados

Al considerar la totalidad de los datos desde el año 2010 a 2017 se observa que la estructura de la comunidad macroinvertebrados bentónicos presenta diferencias significativas en la riqueza ($H=4,1$; $p=0,04$) y densidad ($H=9,7$; $p=0,001$) entre las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. Sin embargo, estas diferencias no están asociadas con la presencia de *D. geminata* en el fitobentos o ensamble de diatomeas.

Los análisis multivariados confirman las diferencias significativas entre las épocas y las cuencas, pero no entre los sitios con y sin *D. geminata* en el fitobentos (ANOSIM de 3 vías Época $R=0,165$ $p=0,1\%$; Cuenca $R=0,175$ $p=0,1$; presencia de *D. geminata* en fitobentos $R=-0,013$ $p=66,8\%$) y en el ensamble de diatomeas (ANOSIM de 3 vías Época $R=0,172$ $p=0,1\%$, Cuenca $R=0,161$ $p=0,1\%$; presencia de *D. geminata* en fitobentos $R=-0,037$ $p=88,6\%$).

Al enfocar los análisis solo en los datos obtenidos en durante la primera Etapa del presente Monitoreo, se observa que existen diferencias significativas entre las épocas y las cuencas (ANOSIM de 2 vías época $R=0,317$ $p=0,1\%$; cuenca $R=0,448$ $p=0,1\%$). Sin embargo, estas diferencias, no se asocian significativamente con la presencia de *D. geminata* en el fitobentos (ANOSIM 3 vías Época $R=0,38$ $p=0,1$, Cuenca $R=0,30$ $p=0,1\%$; Presencia *D. geminata* en diatomeas $R=-0,166$ $p=99,8\%$) o en las diatomeas bentónicas (ANOSIM 3 vías Época $R=0,38$ $p=0,1$, Cuenca $R=0,29$ $p=0,1\%$; Presencia *D. geminata* en diatomeas $R=-0,136$ $p=98,7\%$).

El análisis SIMPER mostró que las diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados entre el grupo de sitios “con *D. geminata*” y el grupo “con *D. geminata*”, estuvieron dadas principalmente por las abundancias de Chironomidae (Diptera), *Smicridea* sp (Hydropsychidae, Trichoptera) y especies del orden Ephemeroptera.

En relación a los parámetros basados en la riqueza de familias y proporción de grupos funcionales tróficos, se observa que en los sitios sin *D. geminata* exhiben un mayor número de familias, un mejor nivel del índice EPT y un mayor porcentaje de taxa fragmentadores en comparación a los sitios con *D. geminata* (Tabla 22).



Tabla 22. Parámetros de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos basados en la riqueza de familias y grupos funcionales tróficos

Parámetro	con DG	Sin DG
Índice basado en familias		
Riqueza de Familias	64	73
EPT	0,49	0,54
Grupos funcionales tróficos		
% Raspadores	13%	9%
% Filtradores	14%	17%
% Predadores	1%	2%
% Colectores	61%	65%
% Fragmentadores	11%	7%

Standing crop index

Las actividades asociadas al cálculo de este índice se realizaron durante la campaña de otoño-invierno debido a que, durante ésta, se amplió la cobertura geográfica del estudio y se incorporó el máximo de variabilidad espacial posible.

Para el desarrollo de este índice se adoptó parte de la metodología de Kilroy *et al* 2013, y corresponde a la primera aproximación del índice para ríos chilenos contaminados con *D. geminata*. Se establecieron 8 categorías de cobertura algal, las cuales fueron evaluadas visualmente considerando color, forma de crecimiento, espesor y consistencia.

La cobertura de cada categoría fue estimada visualmente por 4 operadores distintos, a partir tres de cuadrantes seleccionados al azar en cada uno de los 150 sitios de muestreos considerados para la campaña de otoño-invierno. El porcentaje de cobertura estimado en cada cuadrante evaluado en cada sitio fue complementado por el cálculo de la concentración clorofila bentónica y cotejado con el valor de densidad de *D. geminata* en el fitobentos y en la comunidad de diatomeas.

La estimación visual identificó coberturas que dominaron todos los cuadrantes, así como combinaciones de coberturas (Tabla 23). Las categorías dominantes más frecuentes correspondieron a la categoría "Film" con 88 observaciones y la categoría "Sin Algas" con 54 observaciones. En relación la categoría "Didymo" fue registrada en 21 oportunidades como categoría dominante y en 63 observaciones en combinación con otras categorías de crecimiento: "Sin Algas", "Filamentosas Verdes" y "Capa Consolidada".



Los resultados muestran que la concentraci3n promedio de clorofila es de 0,160 mg cm⁻² y que el m3ximo valor de concentraci3n se registr3 para la combinaci3n de categor3as "Didymo, Filamentosas verdes". Por separado se observa que la categor3a "Didymo" supera la media, registrando una concentraci3n promedio de 0,173 mg cm⁻², mientras que la categor3a "Filamentosas verdes" alcanza una concentraci3n promedio de 0,025 mg cm⁻². En promedio, para todas las categor3as donde se observ3 "Didymo" la clorofila alcanz3 concentraciones en el rango 0,05-3,159 mg cm⁻²

En relaci3n a la densidad de c3lulas de *D. geminata* se observa que la combinaci3n de categor3as "Capa consolidada, Didymo, Filamentosas verdes" y "Capa Consolidada" est3n asociadas a las densidades m3s altas de *D. geminata* en fitobentos, mientras que las categor3as "Sin Algas, Otras filamentosas", "Sin Algas, Didymo" y "Didymo, Filamentosas verdes" est3n asociadas a los m3ximos valores de densidad de *D. geminata* en las diatomeas

Para la categor3a "Didymo, Filamentosas verdes" se registr3 promedio de 31 cel mm⁻² de *D. geminata* en el fitobentos y 56 cel mm⁻² en las diatomeas. "Didymo" se observa que para el fitobentos alcanza una densidad de 60 cel mm⁻² y 22 cel mm⁻² en las diatomeas.

Tabla 23. Combinaciones de crecimiento algal registradas en los sitios de muestreo. En la tabla se indica el n3mero de sitios en los que se observ3 cada categor3a, el valor promedio de clorofila-a, y la densidad (cel/mm²) de c3lulas de *D. geminata* en el fitobentos y en el grupo de diatomeas bent3nicas

Categor3a	N3 de sitios por categor3a	Promedio concentraci3n de clorofila-a	Densidad promedio <i>D. geminata</i> en fitobentos	Densidad promedio <i>D. geminata</i> en diatomeas
Sin algas	88	0,009±0,005	0±0	0,31±0,19
Sin algas, Capa consolidada	54	0,003±0	0±0	0±0
Sin algas, Capa consolidada, Filamentosas verdes	35	0,106±0	0±0	0±0
Sin algas, Didymo	31	0,145±0,069	93,97±45,22	57,06±28,88
Sin algas, Didymo, Filamentosas verdes	21	0,083±0,013	36,23±19,72	7,46±6,55
Sin algas, Filamentosas verdes	21	0,067±0,019	0,3±0,3	0,44±0,44
Sin algas, Filamentosas verdes, Otras Filamentosas	19	0,002±0	0±0	0±0
Sin algas, Film	16	0,023±0,006	0,32±0,21	0±0
Sin algas, Film, Capa consolidada	14	0,762±0,368	21,97±0	0±0
Sin algas, Film, Capa consolidada, Filamentosas verdes	14	0,08±0,039	0±0	0±0
Sin algas, Film, Capa consolidada, Otras Filamentosas	13	0,011±0	0±0	0±0
Sin algas, Film, Capa no consolidada	11	0,014±0	0±0	0±0
Sin algas, Film, Didymo, Filamentosas verdes	9	0,028±0,013	18,78±18,78	36,23±36,23
Sin algas, Film, Filamentosas verdes	8	0,074±0,032	0±0	0±0



Sin algas, Film, Otras Filamentosas	7	0,005±0	0±0	75,13±0
Sin algas, Otras Filamentosas	6	0,417±0,129	0±0	0±0
Film	6	0,031±0,008	0,63±0,48	1,23±0,88
Film, Capa consolidada	6	0,063±0,046	0±0	0±0
Film, Capa consolidada, Filamentosas verdes	6	0,07±0,02	4,05±4,05	29,87±29,87
Film, Capa no consolidada	5	0,007±0,004	0±0	0±0
Film, Capa no consolidada, Filamentosas verdes	4	0,086±0,01	0±0	0±0
Film, Capa no consolidada, Filamentosas verdes, Otras Filamentosas	4	0,055±0,023	0±0	0±0
Film, Didymo	3	0,025±0,007	1,58±1,58	0±0
Film, Didymo, Filamentosas verdes	3	0,021±0,006	41,81±37,42	11,38±8,01
Film, Filamentosas verdes	3	0,019±0,005	0±0	2,21±2,21
Film, Otras Filamentosas	3	0,015±0	0±0	0±0
Capa consolidada	3	0,014±0,003	119,49±94,02	20,22±11,96
Capa consolidada, Didymo, Filamentosas verdes	3	0,005±0	122,29±0	2±0
Capa consolidada, Filamentosas verdes	3	0,053±0,012	5,95±4,19	15,67±12,91
Capa consolidada, Otras Filamentosas	3	0,004±0,001	0±0	0±0
Capa no consolidada	2	0,034±0,001	0±0	0±0
Capa no consolidada, Filamentosas verdes	1	0,009±0,001	0±0	0±0
Capa no consolidada, Filamentosas verdes, Otros filamentos	1	0,005±0,001	0±0	0±0
Cyanobacterias	1	0±0	0±0	0±0
Didymo	1	0,173±0,049	60,35±26,05	21,54±7,92
Didymo, Filamentosas verdes	1	3,159±3,096	30,97±24,47	56,49±46
Filamentosos verdes	1	0,025±0,012	2,11±2,11	0,83±0,83
Filamentosos verdes, Otras Filamentosas	0	0,203±0,085	0±0	0±0
Otras Filamentosas	0	0±0	0±0	0±0



Objetivo Específico 7

Desarrollar difusi3n de la plaga dentro de las regiones donde se realiza el monitoreo.

Hasta la fecha de la entrega del informe las actividades de difusi3n han estado enfocadas en la participaci3n de reuniones científico-técnicas en las cuales se han expuesto los principales alcances del proyecto, así como en el fortalecimiento de las competencias de los profesionales asociados al monitoreo. Durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2017, se ejecutaron las actividades de difusi3n en las regiones donde se ha detectado la presencia de *D. geminata*

a) Difusi3n de resultados.

25 de septiembre de 2017: Difusi3n de resultados del Monitoreo en regi3n de Aysén, en jornada científica organizada por el Departamento de Medio Ambiente del Instituto de Fomento Pesquero (ver ANEXO 3).

30 de septiembre de 2017: Taller de Difusi3n Nacional de los resultados obtenidos durante la primera etapa del Monitoreo. La actividad fue convocada y organizada por el Departamento de Medio Ambiente del Instituto de Fomento Pesquero, en Puerto Montt (ver ANEXO 3 y Figura 41 en ANEXO 4).

20 de noviembre de 2017: Taller de Difusi3n de los resultados de la primera etapa del Monitoreo. La actividad fue convocada y organizada por el Departamento de Medio Ambiente del Instituto de Fomento Pesquero, en Punta Arenas (ver ANEXO 3).

b) Fortalecimiento de las competencias ligadas a las capacidades técnicas de los profesionales asociados al estudio.

24-25 de noviembre de 2016: asistencia al curso sobre didymo organizado por la consultora Amakaik y la Universidad de Santo Tomás sede Santiago. El curso estuvo centrado en las técnicas de muestreo de didymo y en el reconocimiento de la especie.

c) Participaci3n en reuniones nacionales e internacionales.

2017: Seminario "Nuevas miradas en el problema de infecci3n de los ríos por *D. geminata*, Didymo en Chile" a realizarse el 15 de diciembre de 2017 organizado por la Universidad Mayor (sede Temuco), en el cual se expondrán los principales alcances y resultados del Monitoreo



2017: Los principales resultados del Monitoreo fueron expuestos a modo de presentaci3n oral a la comunidad cientifica nacional e internacional del 3rea limnol3gica, en el XIV Congreso de la Sociedad Chilena de Limnolog3a (ver ANEXO 3).

2017: En colaboraci3n con investigadores de la Universidad Austral de Chile, CIBAS, y Universidad de la Rioja se est3 trabajando en algunos aspectos gen3ticos de *D. geminata*, cuyos resultados preliminares fueron presentados en la XI Reuni3n Anual de la Sociedad de Gen3tica de Chile y la Sociedad Chilena de Evoluci3n (Ver ANEXO 3).

2016: Participaci3n modalidad poster al Congreso Iberoamericano de Limnolog3a organizado por la Universidad Austral de Chile en Valdivia (ver ANEXO 3).

2016: Participaci3n en los seminarios de cierre del programa Didymo Magallanes en las ciudades de Pto. Natales y Punta Arenas ejecutado por CEQUA en la regi3n de Magallanes.



DISCUSIÓN

Los resultados del presente monitoreo muestran que la especie plaga *D. geminata* afecta los principales sistemas hidrográficos chilenos distribuidos entre la región del Biobío y Magallanes, incluida Tierra del Fuego. Los resultados en relación a la distribución de la especie, son congruentes con los reportados en los informes técnicos de los monitoreos previos ejecutados por POCH, Amakaik y la Fundación CEQUA. La información generada confirma la presencia de la especie plaga en la cuenca del Río Biobío, Cuenca del Río Imperial, Cuenca del Río Valdivia, Cuenca del Río Puelo, Cuenca del Río Yelcho, Cuencas Costeras Límite X Región, Cuencas Costeras e Islas Río Palena-Río Aysén, Río Aysén, Río Baker, Cuencas Costeras Seno Andrew y Río Hollemberg, Cuencas Costeras e Islas R. Hollemberg-Laguna Blanca, Cuencas de la Vertiente del Atlántico y Cuencas de Tierra del Fuego.

La literatura señala que para Chile el registro más septentrional de *D. geminata* corresponde a la localidad de Mejillones en la Región de Antofagasta, cuyo registro data desde 1964 bajo el nombre de *Gomphonema geminatum*, mientras que hacia el sur, el límite austral estaría definido por Lago Sarmiento en la Región de Magallanes (Blanco & Ector, 2009; Rivera, Basualto & Cruces, 2013). Sin embargo, posterior a la fecha indicada no se han reportado nuevos registros para estas localidades. Los resultados muestran que *D. geminata* se distribuye de forma continua entre la Cuenca del Río Biobío y Tierra del Fuego. Sin embargo, a escala de cuenca se observa una distribución heterogénea de los sitios afectados por la plaga. En ríos de la zona central, *D. geminata* tiende a distribuirse hacia las zonas altas de las cuencas afectando principalmente ríos cordilleranos de bajo orden. En cuencas de la zona sur austral, se observa una tendencia distinta, donde *D. geminata* muestra una distribución más homogénea, con registros positivos tanto en la zona alta, como en la zona media y baja. Los estudios de descripción y modelación de hábitat, señalan que *D. geminata* se desarrolla principalmente en ríos y lagos con aguas pobres en nutrientes y con hábitat considerados prístinos o con bajos niveles de intervención antrópica (Spaulding & Elwell, 2007). En Chile, estas condiciones tienden a mantenerse principalmente en los sistemas hidrográficos patagónicos y en las zonas altas de las cuencas entre la Región del Maule y Los Lagos, los cuales coinciden con la distribución descrita para *D. geminata* en Chile desde al año 2010.

El mayor número subsubcuencas afectadas por la plaga, se concentran en la región de Aysén, en Cuencas Costeras e Islas Río Palena-Río Aysén, Cuenca del Río Aysén y Cuenca del Río Baker, donde *D. geminata* fue registrada en su fase microscópica como componente del plancton y del bentos, y en fase macroscópica como conglomerados mucilaginosos. La literatura señala que los ríos de la Patagonia constituyen un área en extremo vulnerable a la proliferación de esta plaga, debido a que representa la porción más extensa del hábitat potencial de *D. geminata* en Sudamérica y por la fuerte presión derivada de la pesca deportiva y turismo (Reid *et al.*, 2012; Reid & Torres, 2014; Segura, 2011). Es importante mencionar que los primeros registros de proliferaciones de *D.*



geminata fueron reportados en ríos en la Cuenca del Río Yelcho el año 2010 y desde esa fecha se ha observado un avance progresivo de la plaga hacia ríos de la zona central. Aún no se identifican claramente cuáles son los mecanismos de dispersión de *D. geminata* y cuáles son las variables que activan las proliferaciones masivas de esta diatomea. En relación a su dispersión, se postula que la principal vía de dispersión la constituye la vía humana a través de la indumentaria asociada a la pesca deportiva (Bothwell *et al.*, 2009). En relación a los factores ambientales que controlan su desarrollo, las concentraciones de fósforo reactivo por debajo 2ppb han sido identificadas como causa más probable de las proliferaciones de *D. geminata* (Bothwell, Taylor & Kilroy, 2014).

En relación a la evolución de la plaga, el monitoreo muestra que la presencia de *D. geminata* persiste en todas las cuencas monitoreadas desde el año 2010, excepto para las cuencas del Río Bueno y la cuenca del río Imperial, donde no se detectó *D. geminata* en los sitios monitoreados. Sin embargo, estos resultados no pueden ser interpretados como la ausencia de *D. geminata* en estas cuencas, dado que para enero de 2016 existen registros positivos para sitios definidos en la cuenca del Río Bueno en las subsubcuencas de los Ríos Pillanleufú y Caunahue y un registro positivo en la subsubcuenca del río R. Cautín entre estero Collico y Bajo Junta R. Blanco perteneciente a la cuenca del río Imperial (AMAKAIK 2016). Las subsubcuencas mencionadas no fueron incluidas en este Monitoreo debido a que los sitios de muestreo fueron definidos antes de disponer de la información referente la presencia de *D. geminata* en los ríos mencionados. Dada la relevancia de monitorear el máximo de ríos afectados por la plaga, las 3 subsubcuencas mencionadas deben ser incluidas en la próxima etapa de este monitoreo.

El análisis histórico de los datos generados a partir del año 2010, indica una gran variabilidad entre las cuencas, los años y las épocas indicando variaciones espaciotemporales importantes en la estructura de la comunidad del fitobentos. La variabilidad temporal en las dinámicas ecológicas de las comunidades dulceacuícolas están asociadas principalmente al régimen hidrológico natural (Poff *et al.*, 1997; Lytle & Poff, 2004) y las diferencias espaciales, están dadas principalmente por el efecto de factores locales del hábitat (Heino, 2011). De forma general se observa que existe un cambio en la dinámica de crecimiento de las microalgas bentónicas en los últimos años, en cuencas como Río Biobío, Río Yelcho y Aysén, donde se observó una tendencia al aumento del crecimiento algal. Al comparar los datos de crecimiento con la composición taxonómica del fitobentos, se observa que los conglomerados registrados no corresponden exclusivamente a floraciones de *D. geminata*, sino que, en algunos sitios, los crecimientos observados son dominados por otros taxa de diatomeas, como *Cymbella*, *Fragilaria*, *Achnanthisdium*, *Encyonema* o *Gomphonema*.

Los resultados de este estudio, indican que la presencia de *D. geminata* afecta la densidad de microalgas bentónicas, promoviendo la abundancia de taxa epibiontes y episámnicos, como *Achnanthisdium* spp. En relación a otros componentes del bentos fluvial, tales como macroinvertebrados bentónicos, los parámetros comunitarios del macrozoobentos indican que la comunidad tiende a responder ante la presencia de las proliferaciones de *D. geminata*. Los efectos se ven reflejados principalmente en las abundancias de taxa de los órdenes Ephemeroptera,



Plecoptera, Trichoptera y Diptera, así como también en la proporción de grupos tróficos funcionales. Se ha señalado que *D. geminata* afecta las composiciones taxonómicas, los procesos de transferencia de energía entre los distintos niveles tróficos, y por tanto, los impactos asociados a las proliferaciones de *D. geminata* son transferidos a través de toda la red trófica fluvial (Gillis & Chalifour, 2010). El alcance de este estudio, limitó el análisis de los impactos, solo a índices descriptivos del bentos y la relación ente *D. geminata* y otros taxa de diatomeas. Este objetivo, debe ser profundizado en futuras etapas del monitoreo, a fin de identificar los impactos los impactos en las distintas cuencas afectadas por la plaga y relacionarlos con actividades de acuicultura y pesca recreativa.

Dinámicas espacio-temporales de *D. geminata* en ríos chilenos (OBE I, OBE II)

Las dinámicas temporales en todos los organismos acuáticos esta reguladas por el régimen hidrológico natural de las cuencas (Poff *et al.*, 1997). La dinámica temporal del régimen hidrológico controla los procesos de reproducción, dispersión, adaptaciones morfológicas y productividad (Lytle & Poff, 2004), los cuales se ven reflejados en distintos parámetros comunitarios (Poff & Ward, 1989). Los resultados, muestran un efecto significativo de la componente temporal, sobre las comunidades de microalgas bentónicas. Esta componente se ve reflejada en la estructura de los sitios contaminados con *D. geminata*, la cual muestra diferencias entre las épocas de primavera-verano y otoño-invierno.

La variabilidad temporal de *D. geminata* se ve reflejada claramente en la estructura comunitaria de las microalgas bentónicas, en las que el efecto de *D. geminata* tiende a dispersarse durante la época de otoño-invierno, probablemente por el aumento de caudal en las cuencas de régimen de alimentación pluvial. En comparación a otros componentes del fitobentos, *D. geminata* es capaz de desarrollar un pedúnculo mucilaginoso que le permite adherirse al sustrato de fondo y resistir ciertas magnitudes de estrés hídrico (Cullis, Crimaldi & McKnight, 2013). Sin embargo, se ha propuesto que las grandes crecidas capaces de generar alteraciones generalizadas en el hábitat fluvial, son capaces de afectar negativamente la biomasa de *D. geminata* desprendiendo las masas mucilaginosas y arrastrándolas aguas abajo (Cullis, Crimaldi & McKnight, 2013). En función del régimen de alimentación de los ríos, los principales eventos de crecidas ocurren durante la época de otoño-invierno (ríos pluviales), durante la época de primavera-verano (ríos nivales) o durante ambas épocas (ríos mixtos). Este monitoreo incluye las principales cuencas distribuidas entre los ~35°S y los ~54°S abordando 3 ecorregiones de agua dulce *sensu* Abell *et al.* 2008, traduciéndose en una gran variabilidad en cuanto al régimen de alimentación de las cuencas monitoreadas. Si bien en este monitoreo se obtuvieron datos de velocidad de corriente (m/s), la variabilidad hidrológica de caudal no fue incluida. Dado que la dinámica temporal de las comunidades sugiere temporalidad, el régimen de caudal es un factor relevante a considerar en las próximas etapas este monitoreo.

La distribución espacial de los organismos acuáticos, depende de múltiples factores que operan a diferentes escalas espaciales (Paavola *et al.*, 2006). En relación a *D. geminata* la literatura señala



que prolifera en ríos y lagos prístinos; en hábitats dominados por condiciones de baja concentración de nutrientes y escaso nivel de intervención antrópica (Kawecka & Sanecki, 2003). De acuerdo al análisis de los sitios definidos en el presente monitoreo, se observa que la mayor frecuencia y densidad de *D. geminata*, tienden a concentrarse en sitios distribuidos en ríos cordilleranos de la zona centro-sur y principalmente en ríos de la Región Aysén. En su conjunto, las áreas mencionadas conservan hábitats con bajos niveles de intervención antrópica y, según la literatura disponible, reúnen las condiciones que favorecen la colonización de *D. geminata* (Reid & Torres, 2014).

La distribución de didymo en todo el rango geográfico abordado por este monitoreo, se relaciona significativamente con la latitud y la altitud indicando que las frecuencias de los sitios contaminados aumentan significativamente en ríos cordilleranos de la zona central y ríos de altas latitudes. El límite norte de la distribución de *D. geminata* está dado a la zona media de la cuenca del Río Biobío, la que además de constituir una zona de endemismo con altos niveles de riqueza de organismos acuáticos, marca el inicio de una fuerte presión antrópica sobre los ecosistemas de agua dulce. A partir de este límite, se acentúa la degradación del hábitat fluvial, e.g. calidad de agua, intervención del régimen hidrológico, cambio de uso de suelo para el desarrollo de las actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas (Oyarzún, 1995; Huber *et al.*, 2010), la cual limitaría la dispersión de la plaga hasta los 36°S. En relación a las cuencas del Río Imperial, Río Bueno, Cuencas e Islas R. Bueno-R. Puelo, donde no se registraron sitios contaminados, y de acuerdo a la literatura disponible, estas se caracterizan por presentar altos niveles de intervención antrópica, derivadas principalmente del cambio de uso de la vegetación nativa para usos principalmente agrícolas (Campos, 1995). Se ha señalado, que las actividades agrícolas aportan importantes concentraciones de nutrientes alterando la calidad de las aguas (Figueroa *et al.*, 2003), la cual tiene una fuerte influencia sobre la colonización y dispersión de esta plaga (Bothwell & Kilroy, 2011; Bothwell & Taylor, 2017).

Efecto de *D. geminata* sobre la comunidad del bentos (OBE VI)

Se ha señalado que *D. geminata* afecta la diversidad, la abundancia y la productividad de otros organismos acuáticos. (Kumar *et al.*, 2009). De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente monitoreo, el efecto de *D. geminata* se ve reflejado a través de distintos indicadores comunitarios como proporción de grupos funcionales tróficos del macrozoobentos y densidad de microalgas bentónicas.

En relación a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, la presencia de *D. geminata* se relaciona con los grupos tróficos funcionales, en especial con los grupos de insectos acuáticos. Es importante considerar que en Chile la distribución y estructura de los grupos taxonómicos que componen las comunidades del macrozoobentos, se encuentran fuertemente influenciados por la variabilidad natural de las cuencas fluviales y por el mosaico de hábitats que se encuentra en cada cuenca (Jara, Rudolph & González, 2006).

Sin embargo, al analizar los parámetros basados en la diversidad de especies y familias calculados para el grupo de sitios afectados por *D. geminata*, se observa que tienden a mostrar una mayor



proporción del grupo de los fragmentadores, mientras que el grupo de sitios sin *D. geminata* tienden a estar dominados por el grupo de los raspadores. El grupo de los fragmentadores explota recursos alóctonos de materia orgánica, está integrado principalmente por taxa del orden Plecoptera y tienden a dominar en comunidad en ríos de cabecera, de bajo orden, con baja concentración de nutrientes y con escasa o nula intervención antrópica. A diferencia de los fragmentadores, el grupo de Raspadores está integrado por taxa de diversos Ordenes e.g. Ephemeroptera, Coleoptera, Gastropoda, los cuales explotan recursos autóctonos de materia orgánica, asociados principalmente a la productividad primaria del bentos. Este resultado, fortalece el patrón de distribución descrito para *D. geminata*, el que muestra que se distribuye principalmente hacia ríos cordilleranos y patagónicos.

Se ha señalado que *D. geminata* afecta la dinámica de las comunidades bentónicas a través de varias vías (Kilroy, Larned & Biggs, 2009). Una de ellas es a través de los cambios en la heterogeneidad del bentos. Al respecto, ciertas perturbaciones promueven la heterogeneidad, favoreciendo la disponibilidad de hábitat y diversidad de especies (Ward & Stanford, 1983; Resh *et al.*, 1988; Lake, 2000). Después de una perturbación algunas especies son capaces de proliferar y dominar una comunidad (Catford *et al.*, 2012). De acuerdo a la revisión de la literatura es posible plantear que la fase macroscópica de *D. geminata* constituye una perturbación del bentos y por lo tanto favorece la densidad de ciertas taxa que componen la comunidad del fitobentos. De acuerdo a las relaciones evaluadas entre *D. geminata* y otras diatomeas bentónicas, se observa que la densidad de taxa como *Achnanthydium* spp, *Cymbella*, *Tabellaria*, *Encyonema*, *Epitemia*, *Gomphoneis*, *Navicula*, *Nitzschia* y *Ulnaria*, se relacionan directamente con la densidad de *D. geminata*.

En relación al crecimiento algal y composición de las floraciones registradas, tanto el crecimiento como las floraciones no correspondieron exclusivamente a *D. geminata*. El análisis taxonómico de las floraciones muestra una asociación entre algunas diatomeas, cuya dominancia se alterna entre las distintas cuencas y las épocas. Taxa como *Achnanthydium*, *Fragilaria*, *Cymbella* y *Encyonema* incrementan sus abundancias e incluso dominan las floraciones ante la presencia de los tallos mucilaginosos. En tanto que otras como *Diatoma*, *Navicula*, *Nitzschia* y *Rhoicosphenia* tienden a reducir sus abundancias en presencia de *D. geminata*.

Los antecedentes discutidos anteriormente entregan evidencias claras del efecto de *D. geminata*, sobre parámetros comunitarios como la diversidad, densidad y proporción de grupos funcionales tróficos. Los efectos más significativos se observan sobre el fitobentos durante la época de primavera-verano. Mientras que la época de otoño-invierno su efecto se disipa. En relación al grupo específico de las diatomeas bentónicas, el efecto de *D. geminata* no logra expresarse significativamente en ninguna de las épocas. La falta de significancia estadística al evaluar la presencia de *D. geminata* como factor discriminante, indica que el criterio de presencia/ausencia no es suficiente para validar el efecto de la plaga sobre la comunidad.



Densidad de *D. geminata* y su relación con factores ambientales (OBE III, OBE IV, OBE V)

Las comunidades fitobentónicas comúnmente se encuentra influenciada por variables ambientales que operan a gran escala espacial, como la radiación (e.g. Griffith et al., 2002), mientras que otras variables actúan sobre las microalgas a través de mecanismos que adquieren mayor importancia a una escala espacial más reducida, como el sílice y el hierro, que dependen de las características locales de cada cuenca hidrográfica (Zarrin, 2013). La composición de especies de diatomeas se encuentra fuertemente influenciada por las variables químicas del agua, siendo algunas de ellas el fósforo, nitrato, trazas de metales, carbono disuelto, pH, conductancia, entre otras variables (Kumar et al. 2008; Potapova & Charles 2007).

En el caso específico de la diatomea *D. geminata*, las variables de calidad del agua son predictores directos de la abundancia de esta especie considerada una plaga (Rost et al. 2011). Concordantemente, gran parte de los estudios ecológicos realizados para *D. geminata* sugieren al fósforo y/o fosfato como uno de los factores que tiene mayor influencia en la aparición y desarrollo de las floraciones, en combinación con algunas otras variables, como el pH (e.g. Reid & Torres, 2014; Bray et al. 2017). Los resultados del análisis de las variables ambientales históricas (2010-2017) indican la existencia de un patrón estacional muy relevante que se encuentra dado por las variaciones entre épocas del nitrato, fosfato, NTK nitrato y fósforo total. Este mismo patrón temporal fue detectado en la estructura y composición de la comunidad de microalgas bentónicas, en el ensamble de diatomeas y en la variación de la densidad de *D. geminata*, que es significativamente menor en el periodo otoño-invierno que en primavera-verano.

En Chile, *D. geminata* ha sido descrito preferentemente en ríos cordilleranos, con lo cual concuerda la correlación positiva que se obtuvo entre la altitud y la densidad de esta microalga. Si bien, se obtuvo también una correlación positiva significativa con el fósforo y el nitrógeno, los rangos que se han detectado durante el presente monitoreo para estos parámetros van desde muy bajo a moderado (Montecinos et al. 2016; Morales et al. 2012), por lo que en tramos de ríos que con mayores concentraciones de este tipo de nutrientes la densidad de esta alga tendería a disminuir.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco S. & Ector L. (2009) Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: a literature review. *Nova Hedwigia*, **88**, 347-422.
- Bothwell M.L. & Kilroy C. (2011) Phosphorus limitation of the freshwater benthic diatom *Didymosphenia geminata* determined by the frequency of dividing cells. *Freshwater Biology*, **56**, 565-578.
- Bothwell M.L., Lynch D.R., Wright H. & Deniseger J. (2009) On the boots of fishermen: The history of Didymo blooms on Vancouver Island, British Columbia. *Fisheries*, **34**, 382-388.
- Bothwell M.L. & Taylor B.W. (2017) Blooms of benthic diatoms in phosphorus-poor streams. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **15**, 110-111.
- Bothwell M.L., Taylor B.W. & Kilroy C. (2014) The Didymo story: the role of low dissolved phosphorus in the formation of *Didymosphenia geminata* blooms. *Diatom Research*, **29**, 229-236.
- Bray J, Kilroy C, Gerbeaux P, Harding JS. (2017) Ecological eustress? Nutrient supply, bloom stimulation and competition determine dominance of the diatom *Didymosphenia geminata*. *Freshwater Biol.* **62**: 1433–1442.
- Bus P., Cerda J., Sala S. & Reid B. (2014) Mink (*Neovison vison*) as a natural vector in the dispersal of the diatom *Didymosphenia geminata*. *Diatom Research*. **29**:3, 259-266.
- Campos H. (1995) Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el Lago Rupanco, X Región. *Valdivia. Instituto de Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile*.
- Catford J.A., Daehler C.C., Murphy H.T., Sheppard A.W., Hardesty B.D., Westcott D.A., Rejmánek M., Bellingham P.J., Pergl J. & Horvitz C.C. (2012) The intermediate disturbance hypothesis and plant invasions: Implications for species richness and management. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **14**, 231-241.
- Clarke K. & Gorley R. (2006) PRIMER V6. User Manual Tutorial. Plymouth.
- Cox, E.J. (2015). Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae (Diatoms). In: Syllabus of plant families. Adolf Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. 13th Ed. Photoautotrophic eukaryotic algae Glaucocystophyta, Cryptophyta, Dinophyta/Dinoozoa, Heterokontophyta/Ochrophyta, Chlorarachniophyta/Cercozoa, Euglenophyta/Euglenozoa,



- Chlorophyta, Streptophyta pp. (Frey, W. Eds), pp. 64-103. Berlin: Borntraeger Science Publishers.
- Cullis J.D.S., Crimaldi J.P. & Mcknight D.M. (2013) Hydrodynamic shear removal of the nuisance stalk-forming diatom *Didymosphenia geminata*. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*, **3**, 256-268.
- Figueroa R., Valdovinos C., Araya E. & Parra O. (2003) Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, **76**, 275-285.
- Gerrath JF (2003). Conjugating green algae and desmids. *Freshwater Algae of North America*. Academic (Wehr, J.D. & Sheath, R.G. Eds) pp 353-381. San Diego: Academic Press.
- 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.
- Griffith MB, Hill BH, Herlihy AT, Kaufmann PR. 2002. Multivariate analyses of periphyton assemblages in relation to environmental gradients in Colorado rocky mountain streams. *Journal of Phycology*. **38**:83-95.
- Guiry, M.D. (2013). Taxonomy and nomenclature of the Conjugatophyceae (=Zygnematophyceae). *Algae. An International Journal of Algal Research* 28: 1-29.
- Heino J. (2011) A macroecological perspective of diversity patterns in the freshwater realm. *Freshwater Biology*, **56**, 1703-1722.
- Hegewald, E., Wolf, M., Keller, A. Friedl, T. & Krienitz, L. (2010). ITS2 sequence-structure phylogeny in the Scenedesmaceae with special reference to Coelastrum (Chlorophyta, Chlorophyceae), including the new genera Comasiella and Pectinodesmus. *Phycologia* 49(4): 325-335.
- Huber A., Iroumé A., Mohr C. & Frêne C. (2010) Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque (Valdivia)*, **31**, 219-230.
- Jackson L., Corbett L. & Scrimgeour G. (2016) Environmental constraints on *Didymosphenia geminata* occurrence and bloom formation in Canadian Rocky Mountain lotic systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **73**:964-972.
- Jara C.G., Rudolph E.H. & González E.R. (2006) Estado de conocimiento de los malacostráceos dulceacuícolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, **70**, 40-49.



- John, D.M., Wynne, M.J. & Tsarenko, P.M. (2014). Reinstatement of the genus *Willea* Schmidle 1900 for *Crucigeniella* Lemmermann 1900 nom. illeg. (Chlorellales, Trebouxiophyceae, Chlorophyta). *Phytotaxa* 167(2): 212-214, no figs.
- 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., Larned S. & Biggs B. (2009) The non-indigenous diatom *Didymosphenia geminata* alters benthic communities in New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, **54**, 1990-2002.
- Kociolek, J.P. & Spaulding, S.A. (2003). Symmetrical Naviculoid Diatoms. In: *Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification*. (Wehr, J.D. & Sheath, R.G. Eds), pp. 637-654. San Diego: Academic Press
- Kumar S., Spaulding S.A., Stohlgren T.J., Hermann K.A., Schmidt T.S. & Bahls L.L. (2009) Potential habitat distribution for the freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in the continental US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **7**, 415-420.
- Lake P. (2000) Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, **19**, 573-592.
- Lowe, R.L. (2003). Keeled and Canalled Raphid Diatoms. In: *Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification*. (Wehr, J.D. & Sheath, R.G. Eds), pp. 669-684. San Diego: Academic press.
- Lytle D.A. & Poff N.L. (2004) Adaptation to natural flow regimes. *Trends in ecology & evolution*, **19**, 94-100.
- Morales E., Rivera S., Veizaga A. & Fiorini R. (2012) *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt (Bacillariophyta), una especie invasora y potencial amenaza para ecosistemas acuáticos bolivianos. *Acta Nova*. **5**: 3, 327-343.
- Nozaki, H. (2003). Flagellated green algae. *Freshwater algae of North America: ecology and classification*, 225-252.
- Oyarzún C.E. (1995) Land use, hydrological properties, and soil erodibilities in the Bio-Bio River Basin, Central Chile. *Mountain Research and Development*, 331-338.
- Paavola R., Muotka T., Virtanen R., Heino J., Jackson D. & Mäki-Petäys A. (2006) Spatial scale affects community concordance among fishes, benthic macroinvertebrates, and bryophytes in streams. *Ecological Applications*, **16**, 368-379.
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E. & Stromberg J.C. (1997) The natural flow regime. *BioScience*, **47**, 769-784.



- Poff N.L. & Ward J.V. (1989) Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **46**, 1805-1818.
- Potapova M and Charles D. 2007. Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. 48–70. *Ecol Indic.* **77**: 48–70.
- Reid B. & Torres R. (2014) *Didymosphenia geminata* invasion in South America: Ecosystem impacts and potential biogeochemical state change in Patagonian rivers. *Acta oecologica*, **54**, 101-109.
- 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. *Conservation Letters*, **5**, 432-440.
- Resh V.H., Brown A.V., Covich A.P., Gurtz M.E., Li H.W., Minshall G.W., Reice S.R., Sheldon A.L., Wallace J.B. & Wissmar R.C. (1988) The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**, 433-455.
- Rivera P., Basualto S. & Cruces F. (2013) Acerca de la diatomea *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: su morfología y distribución en Chile. *Gayana. Botánica*, **70**, 154-158.
- Rost A., Fritsen C. & Davis C. (2011) Distribution of freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in streams in the Sierra Nevada, USA, in relation to water chemistry and bedrock geology. *Hydrobiologia*. **665**:157–167.
- Sant'Anna, C., M.T. Azevedo, L.F. Agujaro, L.R.M. de Carvalho & R.C.R. Souza. 2006. Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobacteriasplanctônicas de águascontinentais brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência. 58 pp.
- Segura P. (2011) A Slimy Invader Blooms in the Rivers of Patagonia. *Science*, **331**, 18-18.
- Spaulding S. & Elwell L. (2007) Increase in nuisance blooms and geographic expansion of the freshwater diatom *Didymosphenia geminata*: recommendations for response. *White Paper. USEPA Region*, **8**.
- Stoermer, E.F. & Julius, M.L. (2003). Centric Diatoms. In: *Freshwater Algae of North America*. (Wehr, J.D. & Sheath, R.G. Eds), pp. 559-594. San Diego: Academic Press
- Tsarenko, P.M. (2011). Sphaeropleales. In: *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. Volume 3: Chlorophyta. (Tsarenko, P.M., Wasser, S.P. & Nevo, E. Eds), pp. 280-355. Ruggell: A.R.A. Gantner Verlag K.-G..



Ward J. & Stanford J. (1983) Intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. *Dynamics of Lotic Systems, Ann Arbor Science, Ann Arbor MI. 1983. 347-356 p, 2 Figura, 35 ref.*