



**INFORME FINAL**

Convenio Desempeño 2021-2022:  
Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en  
cuerpos de agua de la zona centro, sur y austral de Chile,  
Etapa VI, 2021-2022

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / OCTUBRE 2022



**INFORME FINAL**

Convenio Desempeño 2021-2022:  
Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en  
cuerpos de agua de la zona centro, sur y austral de Chile  
Etapa VI, 2021-2022

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / OCTUBRE 2022**

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

Subsecretaría de Economía y  
Empresas de Menor Tamaño  
**Javiera Petersen Muga**

**EJECUTOR**  
**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Director Ejecutivo  
**Gonzalo Pereira Puchy**

Jefe División Investigación en Acuicultura  
**Leonardo Guzmán Méndez**

**JEFA DE PROYECTO**  
Alejandra Oyanedel Pérez

**AUTORÍA**  
Alejandra Oyanedel Pérez  
Pablo Ordóñez Navarrete  
Rodrigo Rojas Espinoza

**COLABORADORES**  
Carolina Sotomayor  
Darlyn Fuentealba  
Rodrigo Ulloa  
Luis Olavarría  
Patricio Mayorga  
Alex Carrión  
Carlos Velásquez



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al Informe Final de actividades del estudio “Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la zona centro, sur y austral de Chile, Etapa VI (2021-2022). Se presentan de manera detallada todos los resultados esperados siguiendo lo indicado en los Términos Técnicos de Referencia. El objetivo general de este estudio fue “Realizar monitoreo y prospección de la presencia de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en ríos de importancia para la acuicultura y la pesca recreativa, en las regiones del Maule, del Ñuble, del Biobío, de La Araucanía, de Los Ríos, de Los Lagos, de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y de la Antártica Chilena”. Además, se definieron seis objetivos específicos que contemplaron: 1) Establecer la distribución geográfica de *Didymosphenia geminata* a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersión y permanencia en los ríos chilenos; 2) Determinar la dinámica espacio-temporal de la densidad de *Didymosphenia geminata* dentro de la comunidad de microalgas bentónicas, en base a la información obtenida a través de las distintas etapas del monitoreo; 3) Estudiar el efecto de la especie *D. geminata* sobre otros componentes bentónicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosistémicos asociados; 4) Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las Etapas II, III y IV; 5) Identificar y evaluar las diferentes vías de dispersión de la plaga en base a las actividades locales; 6) Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersión y control de *Didymosphenia geminata*. Las actividades fueron completadas en concordancia a los términos técnicos de referencia, sobre la base de un total de 74 estaciones de prospección y 178 estaciones de monitoreo. Durante la campaña de primavera-verano (4 de diciembre de 2021 al 29 de enero de 2022) se muestrearon 124 estaciones permanentes y 32 estaciones de prospección, mientras que en la campaña de otoño-invierno (20 de marzo al 19 de mayo de 2022) se muestrearon 54 estaciones permanentes y 42 estaciones de prospección. De acuerdo a los resultados Didymo se encuentra presente en 17 de las 21 cuencas muestreadas, y en un total de 138 de 252 estaciones muestreadas cuya información fue incorporada en la Declaración de Áreas de Plaga y Riesgo de Plaga de la SSPA (Res. Ex. N° 1854/2022). Las principales variables limnológicas implicadas en el incremento de la densidad de Didymo a lo largo del territorio fueron una menor concentración de fosfato, fósforo, nitrógeno total y una menor conductividad, aunque la relación de las variables ambientales y las comunidades bentónicas varía su magnitud dependiendo de cada cuenca estudiada. El efecto ecológico más conspicuo de Didymo sobre las microalgas y macroinvertebrados bentónicos fue la homogenización de la diversidad que se intensifica en la medida de que Didymo incrementa su densidad. Este efecto fue observado en todas las cuencas invadidas por Didymo. Además, se pudo constatar que existieron diferencias en la presión de propágulo entre trajes de PVC y Neopreno utilizados en la pesca recreativa e investigación limnológica que se traduce en que el traje de Neopreno transporta una mayor abundancia de células de Didymo y además genera una resistencia a la acción de soluciones desinfectantes. Parte de la información generada por este monitoreo ha sido publicada en la plataforma GBIF en colaboración con SSPA y MMA.



## ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCI3N .....	1
2.	ANTECEDENTES .....	3
3.	OBJETIVOS .....	5
3.1	Objetivo general. ....	5
3.2	Objetivos específcos. ....	5
4.	LOCALIZACI3N Y DURACI3N .....	6
4.1	Localidad de las estaciones de monitoreo .....	6
4.2	Duraci3n de la Etapa VI del Monitoreo .....	6
4.1	Selecci3n de las estaciones de monitoreo .....	7
5.	REQUERIMIENTOS METODOL3GICOS .....	10
5.1	OBJETIVO ESPECÍFICO I: Establecer la distribuci3n geogrÁfica de <i>Didymosphenia geminata</i> a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersi3n y permanencia en los ríos chilenos. ....	10
5.1.1	Rango de distribuci3n geogrÁfica de <i>Didymosphenia geminata</i> .....	10
5.1.2	Caracterizaci3n de las variables ambientales en el Área de estudio.....	12
5.1.3	Conocer las variables que favorecen la dispersi3n y permanencia de <i>Didymosphenia geminata</i> en los ríos chilenos .....	12
5.2	OBJETIVO ESPECÍFICO II: Determinar la dinÁmica espacio-temporal de la densidad de <i>Didymosphenia geminata</i> dentro de la comunidad de microalgas bent3nicas, en base a la informaci3n obtenida a trav3s de las distintas etapas del monitoreo. ....	14
5.3	OBJETIVO ESPECÍFICO III: Estudiar el efecto de la especie <i>D. geminata</i> sobre otros componentes bent3nicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosist3micos asociados. ....	15
5.4	OBJETIVO ESPECÍFICO IV: Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las Etapas II, III y IV. ....	15
5.5	OBJETIVO ESPECÍFICO V: Identificar y evaluar las diferentes vÍas de dispersi3n de la plaga en base a las actividades locales. ....	18
5.5.1	Presi3n de propÁgulos y pruebas de desinfecci3n.....	19
5.6	OBJETIVO ESPECÍFICO VI: Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersi3n y control de <i>Didymosphenia geminata</i> .....	20
6.	RESULTADOS.....	21
6.1	Objetivo específcico I: Establecer la distribuci3n geogrÁfica de <i>Didymosphenia geminata</i> a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersi3n y permanencia en los ríos chilenos .....	27
6.1.1	Rango de distribuci3n de <i>D. geminata</i> en cuencas hidrogrÁficas de Chile .....	27
6.1.2	Caracterizaci3n de las variables ambientales en el Área de estudio.....	39



6.1.3	Conocer las variables que favorecen la dispersi3n y permanencia de <i>Didymosphenia geminata</i> en los r3os chilenos .....	49
6.2	Objetivo espec3fico II: Determinar la din3mica espacio-temporal de la densidad de <i>Didymosphenia geminata</i> dentro de la comunidad de microalgas bent3nicas, en base a la informaci3n obtenida a trav3s de las distintas etapas del monitoreo.....	64
6.3	Objetivo espec3fico III: Estudiar el efecto de la especie <i>D. geminata</i> sobre otros componentes bent3nicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosist3micos asociados .....	79
6.4	Objetivo espec3fico IV: Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las Etapas II, III y IV. ....	96
6.5	Objetivo espec3fico V: Identificar y evaluar las diferentes v3as de dispersi3n de la plaga en base a las actividades locales.....	98
6.5.1	Presi3n de prop3gulo y pruebas desinfecci3n. ....	105
6.6	Objetivo espec3fico VI: Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersi3n y control de <i>Didymosphenia geminata</i> . ....	109
7.	DISCUSI3N.....	111
8.	CONCLUSI3N.....	117
9.	REFERENCIAS BIBLIOGR3FICAS.....	118
10.	ANEXOS.....	126



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribuci3n geogr3fica de las estaciones de muestreo propuestas originalmente en el TTR para la Etapa VI del presente Monitoreo. La l3mina derecha (a) corresponde a las estaciones propuestas en el TTR para la campaa de primavera-verano y la l3mina (b) corresponde a las estaciones propuestas para la campaa de otoa-o-invierno .....	7
<b>Figura 2.</b> Distribuci3n geogr3fica de las estaciones muestreadas en primera campaa primavera-verano de la Etapa VI, entre las regiones del Maule a Los Lagos (izquierda) y Los Lagos a y Magallanes y Ant3rtica Chilena (derecha). 23	23
<b>Figura 3.</b> Distribuci3n geogr3fica de las estaciones muestreadas en segunda campaa otoa-o-invierno de la Etapa VI, entre las regiones del Biobío y Aysén.....	24
<b>Figura 4.</b> Distribuci3n espacial de las estaciones muestreadas en la campaa primavera-verano de la presente etapa, donde se distinguen estaciones donde se present3 <i>D. geminata</i> bent3nico, planct3nico y ausencia de esta, en conjunto con las 3reas declaradas segun resoluci3n exenta 1854/2022.....	33
.....	34
<b>Figura 5.</b> Distribuci3n espacial de las estaciones muestreadas en la campaa otoa-o-invierno de la presente etapa, donde se distinguen estaciones donde se present3 <i>D. geminata</i> bent3nico, planct3nico y ausencia de esta, en conjunto con las 3reas declaradas segun resoluci3n exenta 1854/2022.....	34
.....	35
<b>Figura 6.</b> Relaci3n de la cantidad total de estaciones muestreadas en cada una de las cuencas y la presencia de la plaga independiente a la muestra en la se haya observado. Las barras azules representan la totalidad de estaciones muestreadas y las barras mostaza reresentan las estaciones donde se encontr3 la presencia de la plaga: Maule (73), Itata (81), Bio-Bio (83), Imperial (91), Tolt3n (94), Costeras entre limite Regi3n y R. Valdivia (100), Valdivia (101), Bueno (103) Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo (104), Puelo (105) Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho (106), Yelcho (107), Palena y Costeras Limite D3cima Regi3n (110), Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n (111), Ais3n (113), Baker (115), Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente (122), Costeras e Islas entre R Holleberg, Golfo Alte. Laguna Blanca (124), Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, canal Jer3nimo y Magallanes (125), Vertiente del Atl3ntico (126) y Tierra del Fuego (128). .....	35
<b>Figura 7.</b> Distribuci3n espacial de las 3reas silvestres protegidas y el solapamiento con 3reas declaradas riesgo de plaga y plaga en la resoluci3n exenta 1854/2022. ....	38
<b>Figura 8.</b> Variaci3n ponderada de la raíz cuadrada de la temperatura (°C) obtenida en la presente etapa (barras) en 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y otoa-o-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la raíz cuadrada de la temperatura por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y otoa-o-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se seala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca. ....	40
<b>Figura 9.</b> Variaci3n ponderada de la raíz cuadrada del pH obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y otoa-o-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la raíz cuadrada del pH por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y otoa-o-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se seala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.....	41



- Figura 10.** Variación ponderada de la raíz cuadrada de la Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la variación ponderada de la raíz cuadrada de la conductividad por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 42
- Figura 11.** Variación ponderada de la raíz cuadrada del oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{L}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la Variación ponderada de la raíz cuadrada del oxígeno por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 43
- Figura 12.** Variación ponderada de la raíz cuadrada de Calcio ( $\text{mg}/\text{L}$ ) y Sílice ( $\text{mg}/\text{L}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la variación ponderada de la raíz cuadrada de ambos analitos por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 44
- Figura 13.** Variación ponderada de la raíz cuadrada de Fosfato ( $\text{mg}/\text{L}$ ), Nitrato ( $\text{mg}/\text{L}$ ) y Nitrógeno Total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la variación ponderada de la raíz cuadrada de cada analito por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 46
- Figura 14.** Variación ponderada de la raíz cuadra de Hierro ( $\text{mg}/\text{L}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 47
- Figura 15.** Variación ponderada de la raíz cuadrada de Turbiedad (NTU) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y variación ponderada de la raíz cuadrada por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca. .... 48
- Figura 16.** Dendrograma de las variables limnológicas promedio registradas entre las Etapas I y VI a través del área de estudio total diferenciando las tres zonas geográficas a la que corresponde cada cuenca. Los números sobre cada figura representan los códigos de las cuencas, según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolitén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 50
- Figura 17.** Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables limnológicas registradas entre las Etapas I y VI por cuenca a través del área de estudio total diferenciando las tres zonas geográficas. Los números sobre cada figura representan los códigos de las cuencas, según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolitén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 51



**Figura 18.** Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables limnológicas registradas entre las Etapas I y VI por cuenca+categoría a través del área de estudio total. Los colores representan las cuatro categorías de crecimiento de *Didymo*..... 53

**Figura 19.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composición y estructura de ensamblajes de diatomeas bentónicas fluviales de cada cuenca monitoreada. Los colores representan las tres zonas geográficas a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego..... 55

**Figura 20.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composición y estructura de ensamblajes de diatomeas bentónicas fluviales de cada nivel del factor Cuenca+Dg(+/-). Los colores representan las tres zonas geográficas a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego..... 56

**Figura 21.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composición y estructura de ensamblajes de diatomeas bentónicas fluviales de cada nivel del factor Cuenca+Categoría. Los colores representan las Categorías (superior) y las zonas geográficas (inferior) a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego..... 57

**Figura 22.** Modelo lineal basado en distancia (DISTLM) o análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnológicas y geográficas) y las densidades de diatomeas bentónicas fluviales en el rango de distribución de *D. geminata*. En la figura superior se muestran los grupos de estaciones exhibiendo su procedencia geográfica (Zona Norte, Sur y Austral), y en el panel inferior se muestra la distribución espacial de las densidades de *D. geminata*. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. 60

**Figura 23.** Análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnológicas y geográficas) y los ensamblajes de diatomeas invadidos por *D. geminata* en ríos de la Zona Norte. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo. .... 61



**Figura 24.** Análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnológicas y geográficas) y los ensamblajes de diatomeas invadidos por *D. geminata* en ríos de la Zona Sur. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker..... 62

**Figura 25.** Análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales y los ensamblajes de diatomeas invadidos por *D. geminata* en ríos de la Zona Sur. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 63

**Figura 26.** Proporción del número de especies de diatomeas que conforman las Clases (izquierda) y Órdenes (derecha) que han sido registradas durante todo el programa de Monitoreo. .... 64

**Figura 27.** Densidad relativa promedio calculada para diatomeas por cada cuenca monitoreada (números). Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolteén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 65

**Figura 28.** Variaciones espaciales de la densidad acumulada de *D. geminata* en las cuencas hidrográficas muestreadas en el periodo (2016-2022). Cada una de las barras representa una cuenca. Las cuencas que presentan valor 0 corresponde a ausencia de *Didymo*. Se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolteén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego..... 67

**Figura 29.** Variaciones de la densidad de *D. geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) a través de las Cuencas y Etapas del Monitoreo. En el eje X se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolteén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 68

**Figura 30.** Distribución porcentual de la densidad acumulada de *Didymosphenia geminata* ordenada latitudinalmente según las cuencas hidrográficas (números) y por Etapa de Monitoreo. Cada Etapa está representada por distintos colores. Negro: Etapa I, rojo: Etapa II, verde: Etapa III, amarillo: Etapa IV, azul: Etapa V, fucsia: Etapa VI. Se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolteén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R.



Aisén, 113: Aisén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 69

**Figura 31.** Densidad de *Didymosphenia geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) expresada como frecuencia de registro de cada rango de valores en las estaciones de muestreo. Se excluyen la frecuencia de sitios donde *D. geminata* no fue registrada. 70

**Figura 32.** Variaciones de la densidad promedio de *D. geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) en las tres Zonas Geográficas (Norte, Sur y Austral) y ambas épocas de monitoreo (p-v: primavera-verano; o-i: otoño-invierno), utilizando un factor combinado. Los “bigotes” corresponden a la varianza de cada grupo..... 70

**Figura 33.** Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS) que representa la estructura espacial 2D del ensamble de diatomeas. Estructura espacial de acuerdo a la presencia o ausencia de *D. geminata* (superior), Zona (medio) y la Época de muestreo: primavera-verano (p-v) y otoño-invierno (o-i) (inferior). Los números de las etiquetas representan el código de las cuencas. 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. .... 73

**Figura 34.** Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS) del ensamble de diatomeas de acuerdo a (a) la presencia (cuadros rojos) o ausencia de *D. geminata* (triángulos azules) par la Zona Norte (a), Sur (b) y Austral (c). Los números de las etiquetas representan el código de las cuencas. 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego. 76

**Figura 35.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Dg(+/-), Cuenca y Época en tres cuencas hidrográficas (83: Biobío, 103: Bueno; 113: Aysén). Más del 70% de la variación del set de datos analizados se encuentra representado por los primeros dos ejes. Las figuras anaranjadas representan la presencia de *D. geminata* y las azules corresponden a las estaciones sin Didymo. pv: primavera-verano, o-i: otoño-invierno. .... 78

**Figura 36.** Variación de la densidad promedio de *D. geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) a través de los rangos definidos en base a la información recabada durante las Etapas I a VI del monitoreo (Ausente, Baja, Alta y Muy Alta). Los whiskers corresponden a los errores estándar para cada una, mientras que los círculos son los valores extremos de cada rango. .... 80

**Figura 37.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Categorías de crecimiento de Didymo (etiquetas) y Zonas de origen de las estaciones de monitoreo (colores), basado en una matriz histórica de densidad de diatomeas que abarca entre la Etapa I y VI del Monitoreo. El 61% de la variación de la matriz de diatomeas bentónicas se encuentra representado por los primeros dos ejes. .... 80

**Figura 38.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Categorías de crecimiento de Didymo (etiquetas) y Cuencas de origen de las estaciones de monitoreo que están organizadas por Zonas (colores), basado en una matriz histórica de densidad de diatomeas que abarca entre la Etapa I y VI del Monitoreo. El 49% de la variación de la matriz de diatomeas bentónicas se encuentra representado por los primeros dos ejes..... 81



- Figura 39.** Gráficos de coherencia de especies construidos empleando el factor Categoría de crecimiento de *D. geminata*. Cada gráfico es un patrón de la variación de densidad de diatomeas y cada una de las curvas representa a una de las especies con un patrón de densidad específico..... 84
- Figura 40.** Variación de la diversidad de diatomeas a través de las distintas categorías de crecimiento de *Didymosphenia geminata* (Ausente, Baja, Alta y Muy Alta) y las tres zonas geográficas muestreadas (Norte: Amarillo, Sur: Verde, Austral: Sur). En el eje y de los cuatro gráficos aparece la variable diversidad y en el eje x el factor combinado Zona-Categoría. Los círculos negros corresponden al valor promedio de cada parámetro de diversidad y los whiskers representan el error estándar..... 85
- Figura 41.** Escalamiento Multidimensional No Paramétrico (nMDS) de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentes en las cuencas y Zonas monitoreadas. Los números representan el código de las cuencas, de acuerdo al inventario de la DGA. 73: Río Maule, 81: Río Itata, 83: Río Biobío, 91: Río Imperial, 94: Río Toltén, 101: Río Valdivia, 103: Río Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Río Puelo, 107: Río Yelcho, 110: Río Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Río Aisén, 115: Río Baker, 117: Río Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Holleberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego..... 86
- Figura 42.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de abundancia de macroinvertebrados bentónicos por Cuenca+Categoría correspondiente al periodo entre la Etapa I y VI de este programa de monitoreo. Categoría: Ausente, Baja, Alta y Muy Alta..... 87
- Figura 43.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de abundancia de macroinvertebrados bentónicos por Zona+Categoría correspondiente al periodo entre la Etapa I y VI de este programa de monitoreo. Categoría: Ausente, Baja, Alta y Muy Alta..... 88
- Figura 44.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de macroinvertebrados bentónicos por grupo Zona-Categoría registrados entre la Etapa I y VI con sobreposición de burbujas que representan la abundancia de los taxa más relevantes de acuerdo a SIMPER..... 92
- Figura 45.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de macroinvertebrados bentónicos registrados por grupo Zona-Categoría entre las Etapa I y VI. Las abundancias de los taxa que contribuyeron a la disimilitud entre grupos fueron sobrepuestos al PCO como burbujas donde los colores corresponden a las Zonas y las etiquetas a las categorías de Crecimiento de *D. geminata*. El tamaño de las burbujas es proporcional a la abundancia de los taxa..... 93
- Figura 46.** Variación de la diversidad comunitaria promedio de macroinvertebrados bentónicos a través de las distintas Zonas y Categorías de crecimiento de *Didymo*. En el eje y aparecen cuatro parámetros de diversidad comunitaria: Número de especies o riqueza (izquierda superior), Diversidad de Simpson (derecha superior), Dispersión Multivariada (inferior izquierda) y Equitatividad (inferior derecha). Cada símbolo representa el valor promedio y los whiskers corresponden al error estándar de cada parámetro..... 94
- Figura 47.** Variación de la diversidad comunitaria de macroinvertebrados bentónicos en las cuencas de los ríos Biobío (83), Bueno (103) y Aysén (113) a través de las distintas Categorías de crecimiento de *D. geminata*. En el eje y aparecen cuatro parámetros de diversidad comunitaria: Número de especies o riqueza (superior), Diversidad de Simpson (medio) y Dispersión Multivariada (inferior izquierda). Cada símbolo representa el valor promedio y los whiskers corresponden al error estándar de cada parámetro..... 95
- Figura 48.** Síntesis de las distintas actividades económicas desarrolladas en las cuencas monitoreadas. Los números están expresados en porcentajes de sitios por el total de sitios muestreados en la presente etapa. 98
- Figura 49.** Características relevantes de Permisos de pesca de investigación que contribuyen a la dispersión de *D. geminata*, durante siete años (2012-2019), número que incluyen protocolos de desinfección (A) de



*Didymosphenia geminata* (Con protocolo) y que no incluyeron (Sin Protocolo); n3mero de permisos que incluyeron informe (Con Informes) y n3mero de aquellos que no incluyeron informes (Sin Informes) (B), y n3mero de permisos (C) que incluían extensi3n territorial específica (Específica) y las que no (No Específica).  
101

**Figura 50.** Licencias de pesca recreativa vendidas por a3o durante siete a3os (2014-2020). Elaboraci3n propia a partir de SERNAPESCA (2022b).....102

**Figura 51.** Distribuci3n geogr3fica de las estaciones de desinfecci3n para el control de la plaga Didymo (estrellas azules) y 3reas de pesca desde Maule a Ays3n determinadas por SERNAPESCA (rombos verdes), pesca recreativa en c3rculos rojos con punto negro en el centro y 3reas declaradas plaga (achurado rojo) y 3reas declaradas en riesgo de plaga (achurado amarillo).....104

**Figura 52.** Abundancia de c3lulas obtenidas en el ambiente bent3nicos (cel/mm<sup>2</sup>) y en el vadeador de neopreno y PCV (c3lulas en un traje) en cada uno de los r3os donde se realiz3 la prueba de prop3gulos. Se incorpora para ambos vadeadores su desviaci3n est3ndar. Adem3s, se se3ala los valores obtenidos a trav3s el an3lisis no param3trico de Kruskal Wallis para identificar las diferencias estadísticas entre los dos vadeadores en cada r3o. 107

**Figura 53.** Variaci3n en la eficiencia de desinfecci3n utilizando sal, detergente lavaloz, cloro y mezcla de cloro y detergente sobre vadeadores de PVC y neopreno con suela de fieltro en r3o invadido por la especie plaga *D. geminata*.....108



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Tabla 1.** Número de estaciones muestreadas durante la primera y segunda campaña de monitoreo de la Etapa VI, realizadas en las épocas de primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente. Se diferencian las estaciones que tuvieron muestreo completo (seguimiento) y parciales (prospección) durante la ejecución de la Etapa. Los códigos y nombres de cuenca fueron obtenidos del Inventario Público de Cuencas Hidrográficas y Lagos de la DGA..... 22
- Tabla 2.** Presencia/ausencia de *D. geminata* en la comunidad del fitoplancton y bentos (fitobentos + diatomeas) en cada una de las estaciones de monitoreo. Se especifica la fecha de muestreo, Región (R), la cuenca (C), subcuenca (SC) y subsubcuenca (SSC), categoría de la SSC de cada estación según Resolución Exenta N° 1854-2022 y si la SSC a la que pertenece cada estación no se encuentra declarada en resolución (ND). La codificación para cuenca, subcuenca y Subsubcuenca es la indicada en el Inventario Público de Cuencas de la Dirección General de Aguas. sm: sin muestra, 0 ausencia de *D. geminata*, 1 presencia de *D. geminata* 27
- Tabla 3.** Solapamiento de áreas silvestres protegidas y áreas declaradas en resolución exenta 1854/2022. Todas las áreas están en km<sup>2</sup>. ASP: Área Silvestre Protegida, SSC: Subsubcuencas. El color amarillo refiere a áreas declaradas riesgo de plaga y color rojo a áreas declaradas plaga. .... 36
- Tabla 4.** Eigenvalues resultantes del PCA (figura 27) realizado con los datos ambientales obtenidos en las Etapas I a V. Para cada CP se indican los eigenvalues, el % de variación explicado individualmente y el % de variación acumulado. .... 52
- Tabla 5.** Coeficientes de las combinaciones lineales de las variables correspondientes a los cinco Componentes Principales (PC). Se destacan en negrita las correlaciones mayores a 0,3 ( $r > 0,3$ )..... 52
- Tabla 6.** Eigenvalues resultantes del PCA (Figura 18) realizado con los datos ambientales obtenidos en las Etapas I a V. Para cada uno de los Componentes Principales se indican los eigenvalues, % de variación explicado individualmente y el % de variación explicado acumulado. .... 54
- Tabla 7.** Coeficientes de las combinaciones lineales de las variables correspondientes a cada uno de los cinco Componentes Principales. Se destacan en negrita las correlaciones mayores a 0,3 ( $r > 0,3$ )..... 54
- Tabla 8.** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora la relación entre las variables ambientales y la densidad de diatomeas en ensambles invadidos y no invadidos por *Didymo*. Test marginal y secuencial de las variables ambientales. .... 58
- Tabla 9.** Relación entre los ejes del dbRDA y las variables ambientales (correlaciones múltiples parciales) en el rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*. Se destacan los valores  $r > 0,4$ . .... 59
- Tabla 10.** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora el % de variación de la matriz de similitud basada en la densidad de diatomeas que es explicado por las variables ambientales (limnológicas y geográficas) en el rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*. 59
- Tabla 11.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bentónicas usando cuatro factores: Dg (+/-, presencia/ausencia), Zona (Norte, Sur, Austral), Cuenca (19 cuencas), Época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores cruzados en ANOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo ( $p > 5\%$ ). Número de permutaciones: 999. 72
- Tabla 12.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bentónicas en dos de las Zonas geográficas estudiadas. Dg (+/-, presencia/ausencia), Cuenca



(19 cuencas) y época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores incluidos en ANOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo (p>5%). Número de permutaciones: 999. . 75

**Tabla 13.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bent3nicas en tres cuencas hidrográficas. Dg (+/-, presencia/ausencia) y época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores incluidos en NOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo (p>5%). Número de permutaciones: 999. .... 77

**Tabla 14.** Resultados del Análisis del Porcentaje de Similitud (SIMPER) realizado para una matriz promedio de abundancia por familia y Zona-Categoría, para conocer los taxa que mayormente aportan a la similitud intra grupal. Se detalla la abundancia y similitud promedio de cada familia, el % de contribuci3n individual de cada taxa y el % de contribuci3n acumulada. El límite para el corte de las contribuciones fue el 70% (contribuci3n acumulada). 89

**Tabla 15.** Análisis del Porcentaje de Similitud (SIMPER) de los taxa de macroinvertebrados a la disimilitud de los grupos correspondientes a las Categorías..... 91

**Tabla 16.** Actividades, vectores, f3mites y alcances geográficos identificados para la facilitaci3n de la dispersi3n de *Didymosphenia geminata* en Chile..... 99

**Tabla 17.** Ventas anuales de licencias de pesca recreativa durante el periodo 2014-2020 en Chile. Elaboraci3n propia a partir de SERNAPESCA (2022b). ....103

**Tabla 18.** Resultados de la prueba de presi3n de propágulos obtenida en 4 ríos de la cuenca del río Bueno: Calcurrupe, Florín, Pillanleufú y Gol Gol, durante época de invierno. En la primera columna se mostraron los tiempos de exposici3n de los vadeadores en el lecho de los ríos, así como las muestras extraídas del río, las siguientes columnas se presentan la cantidad de células obtenidas de *D. geminata* por cada río, tipo de vadeador y las muestras ambientales (Amb.) de perifiton (cl/mm<sup>2</sup>), fitoplancton (cl/100L).....105

**Tabla 19.** Resultados de la prueba de presi3n de propágulos obtenida en 4 ríos de la cuenca del río Bueno: Calcurrupe, Curriñe, Pillanleufú y Gol Gol, durante época de verano. En la primera columna se mostraron los tiempos de exposici3n de los vadeadores en el lecho de los ríos, así como las muestras extraídas del río, las siguientes columnas se presentan la cantidad de células obtenidas de *D. geminata* por cada río, tipo de vadeador y las muestras ambientales (Amb.) de perifiton (cl/mm<sup>2</sup>), fitoplancton (cl/100L).....106



## 1. INTRODUCCIÓN

---

Durante el año 2010 se detectó la presencia de la microalga *Didymosphenia geminata* en Chile, la cual es 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 entonces la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) 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 a que *D. geminata* produce proliferaciones mucilaginosas masivas que cubren el sustrato fluvial y zonas litorales lacustres, es considerada como una especie plaga en países como Estados Unidos, Polonia, Noruega, Nueva Zelanda, Argentina y desde el año 2010 en Chile. En la última década los países afectados por la plaga han dirigido importantes esfuerzos para contener su dispersión, generar conocimiento respecto de los impactos económicos (Branson & Clough, 2006) y sobre los factores que condicionan su dispersión y colonización. Algunas evidencias sugieren efectos sobre las comunidades bentónicas de macroinvertebrados debido a que modifica la composición taxonómica y abundancia de individuos (C.A. Gillis & Chalifour, 2010; Kilroy et al., 2009). También en el hemisferio norte se han identificado efectos sobre especies ícticas de interés para la acuicultura y pesca recreativa, como *Salmo salar* y *Salmo trutta*, sobre las cuales las masas mucilaginosas interfieren en la activación y movilidad de los gametos, así como en la dieta y crecimiento de los peces, aspectos que también han sido evaluados en nuestro país (James & Chipps, 2016; Olivares et al., 2015). En relación a los impactos económicos, no existen estudios acabados al respecto debido a que se trata de un alga microscópica que cohabita con otras especies bentónicas. Sin embargo, se ha señalado que las proliferaciones masivas de *D. geminata* degradan la estética de los ríos y lagos, reduciendo el interés por la pesca deportiva, impactando el turismo y debilitando 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; Lindstrom & Skulberg, 2008). Por ejemplo, en ríos de Nueva Zelanda se ha observado que las proliferaciones masivas ocurren en concentraciones de Fosforo Soluble Reactivo menores a  $5 \text{ mg m}^{-3}$ . La capacidad de *Didymosphenia geminata* de proliferar en aguas con estas características se relaciona con la presencia de la 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 fosforo orgánico disuelto, promoviendo su proliferación y dominancia en la comunidad perifítica (Ellwood & Whitton, 2007; Whitton et al., 2009).

Existe amplio consenso acerca de que el principal vector para la dispersión de esta diatomea invasora es el ser humano que, a través del desarrollo de actividades acuáticas sin medidas de bioseguridad, han contribuido importantemente a la propagación de la plaga hacia distintas ecorregiones en el mundo (Bothwell & Kilroy, 2011; Kilroy, 2004; Spaulding & Elwell, 2007). El equipamiento para pesca deportiva e.g. botas de vadeo con suela de fieltro y/o de neopreno han sido identificados como fómites de importancia para la dispersión de esta alga ya que puede contener humedad por tiempos más prolongados (Bothwell et al., 2009). Las actividades de pesca recreativa se desarrollan principalmente en ríos y esteros de aguas frías, con sustrato rocoso, flujo de



agua constante y baja concentración de nutrientes (Bergey et al., 2010). Estas condiciones definen parte del hábitat ocupado por especies salmónidas, por tanto, esta superposición de hábitats sustenta la hipótesis de la dispersión de *D. geminata* a través de la indumentaria utilizada en la pesca recreativa. También existen otras especies exóticas invasoras que podrían constituir nuevos vectores para dispersión de esta diatomea en ríos chilenos como los salmónidos (Reinoso Guerra et al., 2021), el visón (*Neovison vison*) y el castor (*Castor canadensis*) (Leone et al., 2014; Pinto et al., 2017).

El presente estudio contempló la realización de monitoreo, prospección y evaluación de los efectos de las proliferaciones masivas de *D. geminata* sobre las comunidades bentónicas y consecuentemente los impactos que 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 abarcó desde la Región del Maule hasta la Región de Magallanes y la Antártica Chilena, incorporando ríos y lagos invadidos, en riesgo a ser invadidos por *D. geminata* y libres de esta plaga. El número y distribución de estaciones fue acordado entre el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA), siguiendo los criterios indicados en el "Manual de Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*" (Díaz et al., 2016), así como por criterios científicos-técnicos propuestos por IFOP. No obstante, el número definitivo de estaciones de monitoreo y prospección depende también de aspectos logísticos que fueron evaluados en el transcurso de las actividades de campo.

El número total de estaciones de acuerdo a los Términos Técnicos de Referencia que se debían muestrear en la Etapa VI eran de 124 para la primera campaña de primavera-verano y 35 para la segunda campaña de otoño-invierno. Gran parte de las estaciones contempladas correspondió a estaciones de monitoreo donde se ha detectado la presencia de *D. geminata* en etapas previas del monitoreo, y que permitieron estudiar la evolución de la plaga en las áreas afectadas. No obstante, las estaciones de vigilancia, ubicadas cerca de cuencas o tramos de río donde se tiene certeza de la presencia de la especie plaga, también contribuyen importantemente al conocimiento de la dinámica ecológica de la plaga y su distribución espacial. En tanto, también fueron incorporadas estaciones donde no se ha detectado la plaga a lo largo del monitoreo y también se consideraron estaciones de prospección donde no contábamos con antecedentes previos y que son definidas en base a los requerimientos de SSPA, denuncias recibidas por SERNAPESCA y sugerencias de IFOP a partir de la información recabada en terreno.

Este estudio busca el fortalecimiento de las bases para la gestión adecuada y oportuna de esta especie exótica invasora declarada plaga. Entrega información sobre nuevos hallazgos de la presencia de *D. geminata* de manera de mantener una actualización constante de su rango de distribución nacional y regional de la especie plaga, de manera de que las Áreas de Plaga y Riesgo de Plaga constituyan elementos clave para la acción dirigida a la protección de los ecosistemas dulceacuícolas y la contención de la plaga para frenar la rápida proliferación que ha mantenido en la última década. Del mismo modo, el conocimiento de las relaciones que tiene esta especie plaga en los ecosistemas receptores son aportes relevantes para la gestión y la educación de las comunidades que encuentran en contacto permanente con los ecosistemas acuáticos continentales del país.



## 2. ANTECEDENTES

La microalga *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmith 1899, es una diatomea bentónica conocida por generar proliferaciones masivas que afectan el sustrato fluvial y litoral lacustre de sistemas acuáticos oligotróficos. Comúnmente es conocida como Didymo o moco de roca, y fue descrita por primera vez en las Islas Faroe al Norte de Escocia (Spaulding & Elwell, 2007), existiendo consenso respecto a su origen nativo de ríos montañosos de la región circumboreal. Según colecciones algales históricas, *D. geminata* se distribuye en todos los continentes excepto África y Antártica (Ejaz et al., 2021).

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 mucilago. 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 mucilago forman extensas masas que cubren el sustrato y afectan el bentos fluvial y lacustre. Aún no existe claridad respecto a los factores que gatillan las proliferaciones de *D. geminata*. 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 principalmente, con la actividad de pesca deportiva.

Las proliferaciones de *D. geminata* 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 y Argentina en 2010 (Kawecka & Sanecki, 2003; C Kilroy & Unwin, 2011; Larson & Carreiro, 2008; Reid & Torres, 2014).

En relación a Chile, la primera proliferación de *D. geminata* 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 SSPA 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 Plaga, diferentes sectores en las cuencas de los ríos Aysén, Baker (Ex. N°2812 de 2011, Res. Ex. N° 996 de 2013, Res. Ex. N° 918 de 2015, Res. Ex. N° 3709), Yelcho (Res. Ex. N°2304, Res. Ex. N° 3709, Res. Ex. N°183/2019), Biobío, Toltén, Puelo, Palena y Costeras límite Décima Región, Cisnes (Res. Ex. N° 996 de 2013, Res. Ex. N°1065 de 2014, Res.Ex. N° 918 de 2015, Res. Ex. N° 3709), Tierra del Fuego (Res. Ex. N°1927 de 2013, Res. Ex. N° 3709, Res. Ex. N° 2450/2018), Costeras entre Río Andrew y Río Hollemberg e Islas al Oriente (Res.Ex. N° 918 de 2015, Res. Ex. N° 3709) y Río Bueno (Res. Ex. N° 3709). Actualmente, se ha declarado como “Área Plaga” todas las cuencas andinas entre el Río Maule (Región del Maule) y Río Azopardo (Región de Magallanes) de acuerdo a Res. Ex. N°2743/2019, Res. Ex. N°719/2021 y Res. Ex. N°1854/2022 (SSPA).

Desde la declaración de Áreas Plaga en territorio nacional, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), han desplegado esfuerzos constantes para monitorear la dispersión de *D. geminata*. Es así como, desde 2011, SSPA ha encargado diferentes estudios y programas de investigación a instituciones como Poch, Amakaik y Fundación CEQUA; iniciativas que han dado como principales resultados la adaptación de protocolos de muestreos, protocolos de bioseguridad, manuales de monitoreo y actividades de difusión.

A partir del año 2016, la prospección, monitoreo y vigilancia de la plaga ha sido ejecutada por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), cuyo estudio contempla el monitoreo en ríos de cuencas prospectadas en estudios anteriores, y en ríos de cuencas donde no se tenga certeza de la presencia de la microalga. A fin de lograr resultados comparables con estudios previos, se utiliza la metodología indicada en el “Manual para el Monitoreo



e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*” de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Díaz et al., 2016). Este programa de Monitoreo cuenta con seis Etapas ejecutadas por el IFOP y desarrolla una metodología que ha consistido en la obtención de muestras fitoplanctónicas, fitobentónicas, macrozoobentos, calidad de agua y descripción del hábitat fluvial y ribereño en campañas de terreno coincidentes con las épocas de primavera-verano y otoño-invierno. En cada punto de muestreo se estableció la presencia/ausencia de *D. geminata* en la columna de agua y su cuantificación en la comunidad diatomológica bentónica y en la comunidad completa del fitobentos, así como el registro in situ de parámetros de la columna de agua, muestras para análisis de calidad de agua en laboratorio, muestras cuantitativas de macroinvertebrados y caracterización del hábitat fluvial y usos adyacentes. Los datos generados a partir de las muestras biológicas y de calidad de agua fueron analizados con herramientas estadísticas y de modelación. Los datos recogidos de la descripción del hábitat se usaron como información complementaria para la discusión de las características que propician la aparición o mantención de la especie en cuencas afectadas por la plaga. Para el análisis de la información generada por las actividades del propio monitoreo, se consideraron los resultados de estudios previos y las metodologías utilizadas en estudios de similares características, no obstante, la metodología final fue consensuada con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.



### 3. OBJETIVOS

---

#### 3.1 Objetivo general.

Realizar monitoreo y prospección de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en ríos de importancia para la acuicultura y la pesca recreativa, en las regiones del Maule, de Ñuble, del Biobío, de La Araucanía, de Los Ríos, de Los Lagos, de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, y de Magallanes y de la Antártica Chilena.

#### 3.2 Objetivos específicos.

- I. Establecer la distribución geográfica de *Didymosphenia geminata* a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersión y permanencia en los ríos chilenos.
- II. Determinar la dinámica espacio-temporal de la densidad de *Didymosphenia geminata* dentro de la comunidad de microalgas bentónicas, en base a la información obtenida a través de las distintas etapas del monitoreo.
- III. Estudiar el efecto de la especie *D. geminata* sobre otros componentes bentónicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosistémicos asociados.
- IV. Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las etapas II, III y IV.
- V. Identificar y evaluar las diferentes vías de dispersión de la plaga en base a las actividades locales.
- VI. Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersión y control de *Didymosphenia geminata*.



## 4. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN

En este punto se incluyó información sobre el diseño de muestreo considerado en la Etapa VI del Monitoreo, incorporando datos acerca de la ubicación de las estaciones, los periodos específicos en los cuales se trabajó y de qué manera se distribuyeron las 185 estaciones base que correspondió al número total de estaciones comprometidas originalmente en los Términos Técnicos de Referencia de esta Etapa.

### 4.1 Localidad de las estaciones de monitoreo

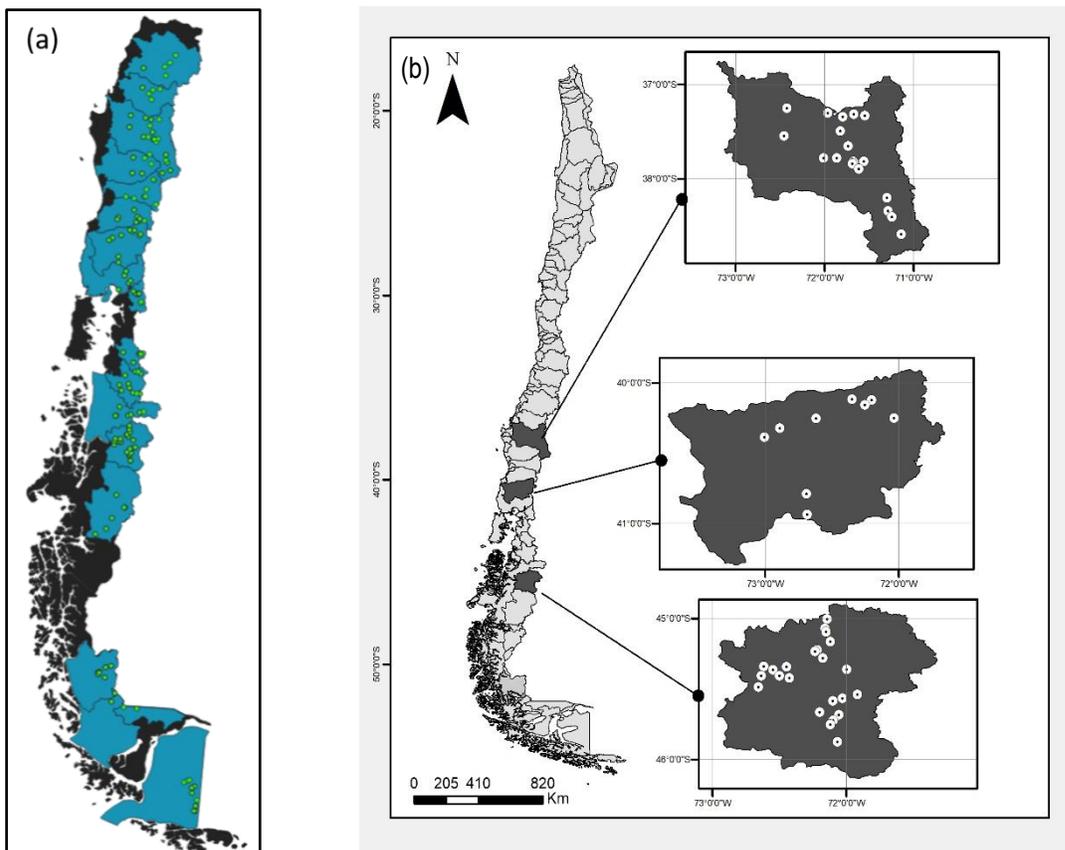
De acuerdo a los Términos Técnicos de Referencia de la Etapa VI del Monitoreo, se realizaron actividades de seguimiento y prospección en un área geográfica comprendida entre el río Claro (Región del Maule) y el río Azopardo (Región de Magallanes y la Antártica Chilena), donde originalmente se planeó muestrear en un total de 185 estaciones, abarcando 18 cuencas. Las estaciones de monitoreo fueron localizadas tratando de mantener, al menos, una estación por cada subsubcuenca incluida en las Resoluciones Exentas N° 2743/2019 y 719/2021 (SSPA) que declara una serie de subsubcuencas en las categorías Áreas de Plaga y Riesgo de Plaga. La ubicación definitiva de las estaciones de monitoreo y prospección fue consensuada entre IFOP y SSPA considerando criterios científico-técnicos y financieros.

Las divisiones espaciales de las cuencas (cc), subcuencas (sc) y subsubcuencas (ssc) fueron tomadas del Inventario Nacional de Cuencas Hidrográficas de la Dirección General de Aguas (DGA). Esta información fue trabajada en ArcGIS y Google Earth para la elaboración de la planificación de terreno, así como, de la elaboración de la base de datos, cartografía, figuras y todo tipo de análisis que empleó los códigos identificadores de las cuencas hidrográficas y sus subdivisiones. La subsubcuenca, como unidad geográfica más pequeña que conforma la cuenca, fue la unidad de trabajo de este monitoreo, ya que permitió generar información en una escala espacial conocida, comparable y utilizable para otras investigaciones en ecosistemas dulceacuícolas. Además, la subsubcuenca como unidad espacial mínima de trabajo permite aportar información a SSPA en el proceso de elaboración de las declaraciones de Plaga y Riesgo de Plaga, contribuyendo de este modo a la gestión de esta especie plaga.

### 4.2 Duración de la Etapa VI del Monitoreo

Las actividades de muestreo ejecutadas durante la Etapa VI del monitoreo, al igual que en las etapas anteriores, estuvieron organizadas en 2 campañas: la primera se realizó en la época de primavera-verano, y la segunda campaña fue realizada en otoño-invierno. La primera campaña fue realizada entre los días 4 de diciembre de 2021 y el 29 de enero de 2022, durante la cual se muestreó en 156 estaciones que estuvieron localizadas en el más amplio rango geográfico considerado en este Monitoreo, que abarca el rango de distribución total de la especie plaga, abarcando entre las regiones del Maule y Magallanes y la Antártica Chilena.

La segunda campaña fue realizada entre los días 20 de marzo de 2022 y el 19 de mayo de 2022, durante la cual se muestreó 77 estaciones correspondientes a las cuencas del río Biobío (Región del Biobío y Araucanía), Costeras límite región y río Valdivia (Región de los Ríos), río Valdivia (Región de Los Ríos), río Bueno (Región de Los Ríos y Los Lagos), Cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo (Región de Los Lagos) y río Aysén (Región de Aysén). Cabe destacar que en la campaña de otoño-invierno de la Etapa VI se trabajó en un rango geográfico reducido de acuerdo a los Términos Técnicos de Referencia, y que además, se incorporaron estaciones de prospección (ver figura 1).



**Figura 1.** Distribuci3n geogr1fica de las estaciones de muestreo propuestas originalmente en el TTR para la Etapa VI del presente Monitoreo. La l1mina derecha (a) corresponde a las estaciones propuestas en el TTR para la camp1a de primavera-verano y la l1mina (b) corresponde a las estaciones propuestas para la camp1a de oto1o-invierno

#### 4.1 Selecci3n de las estaciones de monitoreo

El n1mero total de muestras y la ubicaci3n de las estaciones de monitoreo incorporadas en la primera y segunda camp1a de la Etapa VI fueron acordados entre SSPA e IFOP. Empleando criterios cient1ficos, t1cnicos y financieros, se determin3 como n1mero m1ximo un total de 124 estaciones de monitoreo y 32 estaciones de prospecci3n para la camp1a de primavera-verano y 35 estaciones de monitoreo y 42 de prospecci3n para la camp1a de oto1o-invierno. De acuerdo a los resultados obtenidos en etapas previas y a los objetivos del monitoreo, en la Etapa VI se definieron los tipos de estaciones de muestreo, de manera de clarificar qu3 tipo de datos se obtiene en cada una de ellas y qu3 requerimientos de gesti3n permiten cubrir, qu3 hip3tesis permiten responder y de qu3 forma se puede mejorar el dise1o de la red de monitoreo. Las caracter1sticas de cada tipo de estaci3n incorporada en ambas camp1as de la Etapa VI del monitoreo se detallan a continuaci3n:

- I. Estaciones de monitoreo permanente con presencia de *D. geminata*. Fueron aquellas estaciones donde se tuvo registro de la presencia de la plaga previamente, y correspondi3 a estaciones ubicadas en subsubcuencas declaradas como 1rea de Plaga o 1rea en Riesgo de Plaga por alguna de las dos 1ltimas Resoluciones de Plaga. Son estaciones que han sido monitoreadas de manera permanente desde la Etapa I, con la obtenci3n de muestras en todas las camp1as o en la mayor1a de ellas, y



- donde se realizó un muestreo completo de todos los componentes estipulados en los Términos Técnicos de Referencia (fitobentos, fitoplancton, diatomeas, floraciones, macroinvertebrados, columna de agua).
- II. Estaciones de monitoreo permanente sin presencia de *D. geminata*. Corresponden a aquellas estaciones que han sido muestreadas de manera permanente y que no han presentado la plaga hasta la fecha de muestreo de esta Etapa, permitiendo realizar seguimiento a las condiciones ambientales donde la plaga se encuentra presente y donde no ha sido registrada. Al igual que en las estaciones mencionadas previamente, en éstas se obtuvieron muestras en todas las campañas o en la mayoría de ellas, y también se realizó un muestreo completo de todos los componentes estipulados en los Términos Técnicos de Referencia (fitobentos, fitoplancton, diatomeas, floraciones, macroinvertebrados, columna de agua).
  - III. Estaciones de monitoreo nuevas sin información sobre la presencia de *D. geminata*. En esta categoría caben todas aquellas estaciones nuevas, que se incorporaron por primera vez a la red de monitoreo, de las cuales no se tenía información de la presencia de la plaga. Corresponde a estaciones que fueron ubicadas en subsubcuencas cercanas a aquellas declaradas como plaga, por lo tanto, existe una alta probabilidad de que la plaga esté presente. Estas estaciones son móviles y permiten mantener actualizadas las áreas con presencia de *D. geminata*, una mejor cobertura de la red de monitoreo. En estas estaciones se realizó un muestreo completo de todos los componentes estipulados en los Términos Técnicos de Referencia (fitobentos, fitoplancton, diatomeas, floraciones, macroinvertebrados, columna de agua).
  - IV. Estaciones de prospección. Este tipo de estaciones fueron ubicadas en sitios donde existieron denuncias de sospecha de la plaga en SERNAPESCA, o en sitios donde el hábitat dominante coincide con los requerimientos de hábitat de la especie plaga. Son estaciones adicionales a lo comprometido en el TTR. En el segundo caso, se trabajó con la información recabada en terreno durante las campañas previas. En este tipo de estaciones se realizó un muestre semi-completo, incluyendo todos los componentes estipulados excepto muestras de agua para análisis químico en laboratorio.

Las estaciones de monitoreo permanente permitieron conocer las dinámicas espaciales y temporales de esta especie plaga. La localización de estas estaciones fue determinada en la Etapa I del Monitoreo utilizando como base el listado de estaciones que fueron muestreadas previamente por otras iniciativas de monitoreo, el cual fue proporcionado por SSPA. Además, existe un conjunto de estaciones permanentes que no presentan la plaga, las cuales posibilitan detectar de manera temprana la plaga en una subsubcuenca determinada. Por otro lado, existen estaciones móviles que contribuyen al conocimiento del estado de las áreas contiguas a las subsubcuencas que presentan la plaga. Por último, las estaciones de prospección son aquellas estaciones destinadas al muestreo en áreas donde existan denuncias de sospecha de la presencia de la plaga recibidas por el Servicio Nacional de Pesca, o donde el equipo de trabajo considere que existen las condiciones ambientales idóneas para la presencia de la microalga.

Complementariamente, se aplicó una serie de criterios que fueron elaborados sobre la base del trabajo en terreno y laboratorio, y sobre las denuncias recibidas por SSPA, a través de SERNAPESCA, que permitieron asignar estaciones de prospección y reubicar estaciones de monitoreo, si fuese necesario, con el fin de conocer nuevos ecosistemas y hábitats afectados por la plaga, actualizar el rango de distribución geográfica de *D. geminata*, y detectar la presencia de la plaga en el hábitat bentónico en las subsubcuencas donde solo se ha encontrado en el fitoplancton.

Los criterios que fueron empleados en la selección de los ríos para su monitoreo y prospección durante la Etapa VI fueron los siguientes:



- a. Presencia de *Didymo* en alguna de las campañas previas: Los ríos que registraron la presencia de *Didymo* fueron evaluados para su incorporación en la red de seguimiento.
- b. Accesibilidad: Los ríos considerados para su prospección deben contar con acceso público. En último caso se considerarán estaciones dentro de propiedades privadas, cuando exista autorización oficial para ingresar.
- c. Hábitat óptimo: Los ríos que presenten una accesibilidad adecuada, y que además presenten condiciones ambientales que coincidan con los requerimientos de hábitat de la especie *D. geminata* (e.g. sistemas expuestos a la luz solar, bajo nivel de alteración ribereña, relevancia para las actividades turísticas y la conservación de la biodiversidad)
- d. Uso de suelo compatible: Se priorizarán sectores compatibles con la actividad turística acuática y acuicultura, excluyendo zonas de desarrollo intensivo de actividades agrícolas, ganaderas, forestales y de extracción de áridos.
- e. Denuncias: Utilizando información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca, basado en denuncias de sospecha de la presencia de *Didymo*, se establecerán estaciones de prospección en aquellas subsubcuencas que cumplan con los requisitos b, c y d nombrados como criterios de selección.



## 5. REQUERIMIENTOS METODOLÓGICOS

A continuación, se detallan todos los aspectos metodológicos empleados en el cumplimiento de los cuatro objetivos propuestos en la Etapa VI de este monitoreo, en concordancia con los Términos Técnicos de Referencia.

### 5.1 OBJETIVO ESPECÍFICO I: Establecer la distribución geográfica de *Didymosphenia geminata* a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersión y permanencia en los ríos chilenos.

La descripción metodológica de este objetivo se presenta estructuradamente de acuerdo a los distintos tipos de información que abarca. En primer lugar, se detalla la forma de trabajo para identificar y caracterizar el rango geográfico de *D. geminata* y, en segundo lugar, se mostraron los procedimientos involucrados en el análisis de las variables que determinaron la estructura y composición de las comunidades de microalgas invadidas por la diatomea plaga y las variaciones en la densidad de esta especie.

#### 5.1.1 Rango de distribución geográfica de *Didymosphenia geminata*

Todas las actividades de campo fueron ejecutadas de acuerdo a las recomendaciones del “Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*, 2ª edición” (Díaz et al. 2017). A modo general, las actividades en terreno se estructuraron de la siguiente forma: i) inspección visual del hábitat acuático y ribereño, ii) obtención de muestras planctónicas, iii) bentónicas y iv) proyección del rango de distribución de la plaga mediante la utilización de SIG.

##### i. Inspección visual

Durante la inspección visual, realizada con el fin de seleccionar los sitios específicos de muestreo dentro de un tramo de 50 metros como mínimo, se consideró la representatividad del parche respecto a los microhábitats detectados en el tramo (transecto) de estudio. Además, durante la inspección visual se realizó una caracterización física del hábitat muestreado, la cual es detallada en el punto 5.1.2.

##### ii. Muestreo de fitoplancton

Las muestras de fitoplancton fueron recolectadas mediante red estándar (37µm) suspendida en forma horizontal contra la corriente por 10 o 5 minutos según la carga sedimentológica en suspensión y velocidad de la corriente en cada sitio seleccionado. Inmediatamente después de obtenidas las muestras, éstas fueron transferidas a un frasco de propileno, hermético, con contratapa y tapa rosca. Luego, fueron fijadas con lugol (2%), para ser etiquetadas indicando el tipo de muestra, fecha y nombre de la estación. Posteriormente, los frascos fueron sellados y almacenados hasta la determinación taxonómica de las muestras en laboratorio.

Las muestras de fitoplanctónicas fueron analizadas cualitativamente, para lo cual fueron homogeneizadas mediante agitación y luego se obtuvo una gota que fue observada sin diluir usando un microscopio óptico. Con este método se lograron analizar todos los grupos de microalgas presentes en la muestra, ya que no genera la destrucción de ningún grupo taxonómico durante su montaje. De este modo, se determinó la ausencia o presencia de *D. geminata* como componente de la comunidad de microalgas planctónicas.



### iii. Muestreo de fitobentos

Se obtuvieron tres tipos de muestras de microalgas bentónicas en cada una de las estaciones de monitoreo. Se extrajo una muestra de (1) fitobentos para describir la comunidad completa de las microalgas bentónicas, una muestra de (2) diatomeas con el fin de caracterizar a nivel de especie el grupo de las Bacillariophyceae, y una muestra de (3) floraciones para identificar y cuantificar las especies predominantes en las formaciones microalgales macroscópicas. La obtención de la muestra (1) de la comunidad completa se realizó a través de la selección de 5 rocas del lecho fluvial o lacustre sobre las que se definió un área de 4 cm<sup>2</sup> donde se removió el film de microalgas utilizando un cepillo. Las muestras provenientes de las 5 rocas fueron integradas en un frasco de polietileno con tapa rosca y contratapa y fijadas en lugol (2%). El frasco fue sellado para evitar derrames. En el caso de la muestra de las Bacillariophyceae (2) se obtuvo con el mismo método descrito para la muestra de fitobentos con la diferencia de que fue fijada en etanol (95%) en un tubo Falcon de 15 mL con tapa rosca, el cual fue sellado para evitar derrames.

Si bien, el Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *D. geminata* sugiere el uso de Formalina (4%) para la fijación y conservación de las muestras, durante el presente monitoreo no se emplea este compuesto debido a su alto grado de toxicidad y por ser reconocido por la OMS como un agente carcinogénico. El uso de alcohol al 95% no afecta los resultados finales del análisis taxonómico.

Posteriormente, los análisis de cuantificación de la comunidad bentónica se realizaron en laboratorio mediante el conteo de diatomeas considerando un número de 200 valvas como criterio estadístico (Battarbee, 1988). Tanto los datos de densidad como los de presencia/ausencia de *D. geminata* y toda la comunidad de microalgas fueron utilizados para el cálculo de índices comunitarios de diversidad, equitatividad y análisis de conglomerados usando distintos índices de similitud y distancia, expresados a través de diferentes análisis de clasificación y ordenación.

### iv. Proyección del rango de distribución de la plaga mediante la utilización de SIG

Para el desarrollo de la cartografía del presente informe, se realizó una búsqueda de insumos en capas de extensión shape (.shp) actualizadas y de acceso público, las cuales se utilizaron con fines de representación gráfica y de extracción de datos de sus tablas de atributos. Para esto, se descargaron capas de cuencas, subcuencas y subsubcuencas, desde la página web del de la Dirección General de Aguas de Chile (DGA Chile: [www.dga.mop.gob.cl](http://www.dga.mop.gob.cl)), organismo que forma parte del Ministerio de Obras Públicas de Chile. Paralelamente, se descargaron capas de delimitación político administrativa desde el sitio web perteneciente al Ministerio de Bienes Nacionales llamado "Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile" (IDE Chile: [www.ide.cl](http://www.ide.cl)) desde donde se obtuvieron los límites de regionales, provinciales y comunales que se encuentran dentro del área de estudio. A su vez, se trabajó con capa del Sistema de Áreas Protegidas Silvestres del Estado (SNASPE) la cual fue descargada desde la página del Ministerio de Medio Ambiente ([www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl)) con el fin de contrastar con capa de Resolución exenta 1854/2022, para obtener el porcentaje de solapamiento entre las capas. Con las capas necesarias para el presente informe se extrajeron desde las tablas de atributos, datos asociados a la extensión territorial que contempló el monitoreo para la generación del core de la Base de Datos de Etapa VI del presente proyecto. Para la representación gráfica base de mapas, en general, se utilizó la capa de base denominada World Topographic Map, la cual dispone ESRI Inc. a través del Software ArcGIS Pro v 2.8.1, utilizado para desarrollar los planos de este informe.

Se realizó un tratamiento de datos para confeccionar un conjunto de capas temporales, las cuales se utilizaron para la representación gráfica dentro de los planos, específicamente se utilizaron los datos del identificador de



las estaciones de monitoreo (ID), nombre de estaciones, coordenadas proyectadas en WGS 84 (grados decimales), altitud, presencia/ausencia de *D. geminata* y sus abundancias relativas.

Una vez obtenido todos los resultados de los análisis de microalgas, se determinó el rango de distribución de *D. geminata* consolidando la presencia/ausencia en las muestras del fitoplancton y un conglomerado bentónico (fitobentos, diatomeas y floraciones), el cual fue proyectado en mapas de distribución geográfica.

### 5.1.2 Caracterización de las variables ambientales en el área de estudio

Se consideraron las recomendaciones del “Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*, 2ª edición” (Díaz et al., 2016) para realizar el registro de variables físicas y químicas *in situ* y la obtención de muestras para análisis de agua en laboratorio.

La determinación de los parámetros físico-químicos *in situ* en cada uno de los ríos y lagos muestreados se registraron mediante 3 instrumentos. El multiparámetro Hanna HI98195 nos permitió registrar los parámetros de pH, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos suspendidos totales (ppm) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), mientras que el oxígeno metro Hanna HI98198 registró los parámetros de oxígeno disuelto (mg/L) y porcentaje de saturación de oxígeno (%). La velocidad de la de la corriente (m/s) fue determinada mediante un correntómetro Medidor de flujo electromagnético Valeport 801.

En cada uno de los sitios se obtuvieron muestras para la determinación de las siguientes variables químicas del agua: calcio (mg/L), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L), nitrógeno total (mg/L), NTK (mg/L), fosfato (mg/L), fósforo total (mg/L), sílice total (mg/L), hierro (mg/L) y turbidez (NTU). De acuerdo a las bajas concentraciones de nutrientes y otros analitos en los sistemas acuáticos estudiados, se consideraron límites de detección para aguas oligotróficas o de alta sensibilidad analítica en los parámetros a evaluar.

La descripción visual también permitió recabar información acerca del hábitat físico de cada tramo fluvial estudiado. Cada tramo fue descrito en términos del espesor del crecimiento algal en base a cinco categorías: ausente, inicial (film,  $\leq 0.2$  cm), mediana (0.2-1 cm), alta (1-2 cm), muy alta ( $> 2$  cm), al igual que el área cubierta por el crecimiento algal: ausente, pequeñas colonias ( $< 10$ ), mediana (10-30), alta (30-80), muy alta (80-100); tipo de hábitat: rápido profundo, rápido somero, lento profundo, lento somero, poza, lago. Además, se registraron algunas características hidromorfológicas del canal: encajonado, con alteración de cauce, lago, condiciones climáticas, tipo de flujo, clasificación del sustrato, conectividad, actividad del entorno directo. Asimismo, se incorporaron algunas variables del hábitat fluvial como el tipo y composición del sustrato de fondo, tipo de microhábitat, velocidad de corriente (m/s), profundidad (m), tipo de cauce, características hidrológicas (e.g. rápido, somero, lento), condiciones meteorológicas y claridad del agua.

### 5.1.3 Conocer las variables que favorecen la dispersión y permanencia de *Didymosphenia geminata* en los ríos chilenos

En primer lugar, utilizando técnicas de análisis multivariados, se analizó una matriz de abundancia relativa por especies de diatomeas que fueron registradas en cada una de las estaciones de monitoreo. Los datos fueron transformados utilizando raíz cuarta para realzar las especies con abundancias bajas, y luego se construyó una matriz de similitud de Bray & Curtis (J. R. Bray & Curtis, 1957) para estudiar los patrones espaciales de las similitudes entre estaciones. Posteriormente, se puso a prueba el efecto de una serie de factores sobre la



estructura y composici3n de diatomeas a trav3s de la rutina ANOSIM incluida en PRIMER (K. R. Clarke & Warwick, 1994). Se incorporaron an3lisis de ordenaci3n multivariado para una mejor visualizaci3n de la distribuci3n espacial de los datos en relaci3n a los factores empleados. Se pusieron a prueba los factores "Presencia de *Didymo*" con dos niveles (1 para presencia y 0 para ausencia), "Cuenca" con 19 niveles, cada uno de los cuales correspondi3 a los c3digos de cuenca de la DGA, "Zona" con tres niveles (Norte, Sur, Austral), 3poca con dos niveles (primavera-verano y oto3o-invierno), y las combinaciones entre estos factores. Los niveles del factor Zona correspondieron a grupos de cuencas ordenados de acuerdo a su ubicaci3n geogr3fica. El grupo Norte incluy3 a las cuencas del Maule (73), Itata (81), Bio-Bio (83), Imperial (91), Tolt3n (94), Costeras entre limite Regi3n y R. Valdivia (100), Valdivia (101), Bueno (103) Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo (104), Puelo (105) Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho (106), Yelcho (107), Palena y Costeras Limite D3cima Regi3n (110), Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n (111), Ais3n (113), Baker (115), Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente (122), Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca (124), Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, canal Jer3nimo y Magallanes (125), Vertiente del Atl3ntico (126) y Tierra del Fuego (128).

El mismo procedimiento anterior fue realizado con las variables ambientales. Se trabaj3 con una matriz de variables cuantitativas que incluy3 la informaci3n registrada in situ (temperatura, pH, conductividad, s3lidos disueltos totales); las concentraciones medidas en laboratorio de calcio, nitr3geno total, nitrito, nitrato, f3sforo total, fosfato, turbidez y s3lice; los datos de velocidad de la corriente y profundidad que fueron integrados a trav3s del n3mero de Froude (Statzner & Holm, 1982); la diversidad de sustrato (Castella et al., 2001), que incorpora las proporciones de las distintas categor3as de la composici3n del sustrato, y tambi3n se incluyeron por separado las categor3as proporci3n de grava, arena y bolones; la altitud, longitud y latitud tambi3n fueron incorporadas. Como variables categor3icas fueron utilizadas las mismas variables mencionadas previamente para los datos biol3gicos (Zona, Cuenca, Presencia de *Didymo*). La matriz de datos ambientales fue analizada a trav3s de correlaciones de Pearson para identificar las variables mayormente correlacionadas y luego ser eliminadas de los an3lisis cuando  $r > 0,9$ . Despu3s la matriz fue transformada usando  $\log(x+1)$  y normalizados para realizar An3lisis de Componentes Principales (PCA) y construir una matriz de distancia euclidiana, y distintos ANOSIM para poner a prueba las variables categor3icas. Luego se realiz3 un an3lisis de Cluster para visualizar las agrupaciones significativas utilizando el test de SIMPROF.

Una vez clarificados los patrones espaciales de las variables ambientales y de las microalgas, se procedi3 a evaluar la relaci3n entre las diversas variables ambientales y la comunidad de diatomeas, a trav3s de rutinas estadísticas empleando PRIMER-e (K. Clarke et al., 2014). Se aplic3 la rutina DISTLM para conocer el grado de correlaci3n de las matrices biol3gica y ambiental, lo que permiti3 identificar las variables ambientales implicadas en la estructura y composici3n de las comunidades invadidas por *D. geminata*. Para visualizar las agrupaciones significativamente diferentes, sobre un gr3fico de dbrDA basado en la matriz de similitud de diatomeas, se sobrepuso un gr3fico de burbujas para evidenciar los cambios en los valores de las variables ambientales identificadas por DISTLM.



## **5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO II: Determinar la dinámica espacio-temporal de la densidad de *Didymosphenia geminata* dentro de la comunidad de microalgas bentónicas, en base a la información obtenida a través de las distintas etapas del monitoreo.**

Con el fin de incorporar la variabilidad de las comunidades de microalgas bentónicas y su relación con la dinámica espacio-temporal de *D. geminata*, se obtuvieron tres tipos de muestras, tal como es señalado en el punto anterior. (1) Una muestra dirigida a la caracterización de la comunidad fitobentónica, (2) la segunda muestra fue tomada para identificar las especies del grupo específico de las diatomeas (Bacillariophyceae) y (3) una tercera muestra se obtuvo con el fin de identificar las principales especies que componen las (proliferaciones masivas de microalgas) floraciones algales. Las dos primeras muestras fueron tomadas a partir de una superficie de 4 cm<sup>2</sup> en 5 rocas del lecho fluvial y lacustre. La muestra de fitobentos fue integrada en un frasco de polietileno con tapa rosca y contratapa. Las muestras destinadas a la descripción del fitobentos fue fijada en lugol (2%), mientras que las muestras de diatomeas fueron fijadas en etanol (95%) en un tubo falcon de 15 mL con tapa rosca. La muestra de floraciones algales fue obtenida tomando un volumen de 2 cc integrando muestras de todas las floraciones visibles en la estación monitoreada. Las muestras fueron fijadas en lugol (2%) en un tubo falcon de 15 mL con tapa rosca.

Con los resultados obtenidos a partir de la determinación taxonómica y la cuantificación de los taxa, se llevaron a cabo distintos análisis comunitarios y especie-específicos para estudiar la variabilidad de la densidad de las microalgas bentónicas. Los análisis fueron realizados en tres matrices biológicas: diatomeas, fitobentos y floraciones. Para los análisis de la estructura, composición comunitaria, y los ensamblajes de diatomeas, se emplearon técnicas multivariadas no paramétricas utilizando factores asociados a la temporalidad como las épocas de muestreo y los años. También se utilizaron factores relacionados con la espacialidad, como las distintas subcuencas y cuencas muestreadas y una representación biogeográfica basada en conjuntos de cuencas (Zonas). Los datos de densidad fueron analizados a través de ANOSIM (Análisis de Similitud) para determinar diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores puestos a prueba, y su respectiva significancia estadística. Se aplicaron técnicas de ordenación para visualizar las distintas agrupaciones encontradas.



### **5.3 OBJETIVO ESPECÍFICO III: Estudiar el efecto de la especie *D. geminata* sobre otros componentes bentónicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosistémicos asociados.**

Con el fin de incorporar la variabilidad de las comunidades bentónicas y su relación con *D. geminata*, se obtuvieron tres tipos de muestras de microalgas bentónicas. (1) Una muestra dirigida a la caracterización de la comunidad fitobentónica, (2) la segunda muestra fue tomada para identificar las especies del grupo Bacillariophyceae y (3) una tercera muestra se obtuvo con el fin de identificar las especies de macroinvertebrados.

Las dos primeras muestras fueron tomadas a partir de una superficie de 4 cm<sup>2</sup> en 5 rocas del lecho fluvial y lacustre. La muestra de fitobentos fue integrada en un frasco de polietileno con tapa rosca y contratapa. Las muestras destinadas a la descripción del fitobentos fueron fijadas en lugol (2%), mientras que las muestras de diatomeas fueron fijadas en etanol (95%) en un tubo falcon de 15 mL con tapa rosca. Las muestras de macroinvertebrados fueron obtenidas mediante técnicas cuantitativas de muestreo con una red surber (250 µm trama de malla), siendo almacenado el contenido de la muestra en bolsas hermética y preservadas en etanol al 95% para su posterior cuantificación e identificación taxonómica en laboratorio.

Una vez finalizados los análisis taxonómicos de las muestras correspondientes a ambas campañas de monitoreo, y con el fin de incorporar la variabilidad natural de las comunidades de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en presencia de *D. geminata*, se analizaron los datos del ensamble de diatomeas. Los datos de presencia de *D. geminata* en diatomeas fueron incluidos como factor de agrupamiento. Este objetivo fue abordado a partir de análisis comunitarios y especie-específicos para estudiar la variabilidad comunitaria de las microalgas bentónicas en presencia de *D. geminata*. Se emplearon técnicas multivariadas no paramétricas utilizando factores temporales como las épocas de muestreo, los años u otros factores que resulten relevantes en este ámbito. También se utilizaron factores relacionados con la espacialidad, como las distintas subcuencas y cuencas muestreadas, así como las distintas zonas, y otros factores que se consideren importantes en el transcurso del estudio. Los datos de densidad fueron analizados a través de ANOSIM, análisis de varianza u otros para cuantificar el efecto de los factores que fueron puestos a prueba, y su respectiva significancia estadística. Se aplicaron técnicas de ordenación para visualizar el efecto de los factores. Si fuera necesario, los datos serán analizados en términos de parámetros básicos de diversidad.

### **5.4 OBJETIVO ESPECÍFICO IV: Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las Etapas II, III y IV.**

En base a la información recopilada durante la ejecución de las etapas previas del Monitoreo, se realizó el ordenamiento, la consolidación y validación de toda la información obtenida durante las Etapa II, III y IV en un formato único que permita seguir incorporando información de las etapas siguientes. Debido a que Chile se encuentra en un “Nodo” para la publicación de información biológica en La red Global Biodiversity Information Facility (GBIF). La SSPA, en el ámbito de desarrollo de sus competencias, es responsable de la generación de una importante cantidad de información biológica y científica a través de diferentes estudios o proyectos, que se ejecutan en el marco de investigación definidas en los artículo 91 y 92 de la Ley General de Pesca y Acuicultura.

La relevancia que sustenta el suministrar información en la plataforma GBIF es albergar información en un repositorio con formato estándar a nivel mundial, que otorga acceso abierto a las bases de datos, visualizarla además en un sistema de información geográfico y, un aspecto que genera relevancia, es frente a otros tipos de publicaciones, es que mantiene claramente identificados a los grupos de trabajo que generan la información a través de la asignación de un DOI a cada publicación.



La estructuración de los datos se generó considerando los formatos y organizaciones que requiere el Estándar Darwin Core y la información generada durante el monitoreo. Este cruce de requerimientos permitió identificar tres grupos de datos, siendo el primero el Núcleo de Evento (Event core), el cual corresponde a la información de la estación de muestreo. El segundo corresponde a una planilla extensión denominada Ocurrencias (Occurrence), la cual contiene información de abundancia y/o presencia/ausencia, según corresponda, de *D. geminata* en las diferentes muestras biológicas obtenidas en cada una de las estaciones de muestreo. La tercera planilla corresponde a una segunda extensión denominada Medidas y Hechos (measurementOrFact), la cual contiene información de mediciones físico-químicas del agua realizada en cada estación. Estas tres planillas se encuentran interrelacionadas mediante un Event ID que es único para cada una de las estaciones muestreada en cada una de las Etapas publicadas en GBIF.

La publicación de la información correspondiente a las Etapas II, Etapa III y Etapa IV siguió la misma estructuración utilizada en publicación de la Etapa I, de forma que la información sea complementaria a la ya existente en GBIF y, sea de esta manera, más expedito la interpretación y análisis entre la información del Monitoreo.

#### i. Metadato de la publicación

A continuación se señala como se encuentra conformada cada planilla publicada en la plataforma GBIF

##### Event core

Una vez identificadas las extensiones y el núcleo del evento, se incorporaron campos que tienen una correspondencia directa entre la base de datos del monitoreo y el Estándar Darwin Core, como es el caso de los campos del núcleo de evento: "eventTime", "country", "countryCode", "stateProvince", "county", "municipality", "waterBody", "verbatimElevation", "verbatimLatitude", "verbatimLongitude", "verbatimcoordinateSystem", "decimalLatitude", "decimalLongitude", "geodeticDatum" e "institutionCode". Por otro lado, será necesaria contar con campos como "eventID" y "parentEventID", "samplingProtocol", "sampleSizeUnit", "samplingEffort", "geodeticDatum", "locationRemarks", "locationID" y "locality" para incorporar información asociada a cada evento de muestreo e instituciones relacionadas al monitoreo.

##### Occurrence

Los valores de densidad y/o presencia/ausencia de *D. geminata* se obtuvieron a partir de información de las muestras de perifiton, diatomeas, fitoplancton y floraciones obtenidas en cada una de las estaciones de muestreo, estructurándose la presencia por cada estación de monitoreo y asociándose el valor de ocurrencia de la especie *D. geminata* para cada uno de los grupos anteriores. A partir del campo "eventID" se construyó el "occurrenceID" con la concatenación de "eventID", "collectionCode" y "catalogNumber". Se consideraron los campos "ScientificName", "occurrenceStatus", "organismQuantity", "organismQuantityType", "basisOfRecord", "type", "datasetName" y "occurrenceStatus" pertenecientes a esta extensión, de forma que se incorpore la información existente en la base de datos original.

Los campos relacionados a la taxonomía de las ocurrencias fueron "kingdom", "phylum", "class", "order", "family", "genus", "specificEpithet", "infraspecificEpithet" y se utilizó la herramienta Species Matching de GBIF para obtener la totalidad de la clasificación taxonómica de la especie objetivo.



## MeasurementOrFact

Tal como se indicó en un comienzo, el monitoreo también consideró la obtención de parámetros fisicoquímicos, por lo que se incorporaron variables ambientales en la extensión de medidas y hechos (“measurementOrFact”). La estructuración de los datos fue similar a la extensión de Ocurrencias, es decir, asociando a cada estación los datos de los parámetros antes señalados.

Para esta extensión, se crearon los campos “measurementID” a partir del “eventID”, mientras que los otros campos fueron completados con la información disponible en la base de datos original, correspondientes a: “measurementType”, “measurementValue”, “measurementUnit”, “measurementDeterminedBy”, “measurementDeterminedDate” y “measurementMethod”

### ii. Creación y validación de información de cada planilla.

Debido a la gran cantidad de información consolidada en las tres etapas que se publicaron y que a su vez presenta un formato totalmente distinto al Estándar Darwin Core, se generó en primera instancia una Planilla Base con toda la información necesaria que va a ser indexada a las planillas Event core, Occurrence y measurementOrFact. El primer paso para completar cada una de las planillas, fue identificar la correspondencia directa entre los datos de la Planilla Base y los que correspondieron al Estándar, de forma que se hicieran fórmulas para completar el contenido de cada celda. Esta operación se realizó para generar un “enlace” directo entre planillas, de forma que se minimicen los errores de tipeo y de alguna manera, se automatice la sistematización de la información en las planillas.

La validación y concordancia de la información se realizó mediante muestreo aleatorio de las planillas y las bases de datos consolidados de las etapas, a su vez, se utilizó la función para identificar valores duplicados en las celdas eventID para la planilla de Event core, occurrenceID para la planilla Occurrence y measurementID para la planilla measurementOrFact. Una vez verificadas, las tres planillas se transformaron en formato CSV y fueron importadas al link <https://www.gbif.org/tools/data-validator> para validar los encabezados y el formato de las celdas.

La información de las tres planillas de datos y la información de metadatos fue enviada y revisada a los profesionales del MMA y SSPA para un último examen antes de la publicación.

### iii. Publicación de la información

La SSPA, en el ámbito de desarrollo de sus competencias, es responsable de la generación de una importante cantidad de información biológica y científica a través de diferentes estudios o proyectos y considerando además, todo el proceso colaborativo, los profesionales de la SSPA realizaron la publicación de la información de las tres Etapas bajo el usuario de la misma institución en dos reuniones realizadas el 20 y 25 de octubre de 2022, donde participaron todos los integrantes del proyecto Didymo, los tres profesionales de la SSPA y Leisy del MMA.

Una vez publicada la información, se generó un link de acceso al recurso y el DOI correspondiente a la publicación de los datos.



## 5.5 OBJETIVO ESPECÍFICO V: Identificar y evaluar las diferentes vías de dispersión de la plaga en base a las actividades locales.

En base a la información recogida durante la ejecución de este Monitoreo, este objetivo consta de dos líneas de trabajo. En la primera se abordó la descripción de las vías de dispersión de *D. geminata* en general y en la segunda, una aproximación a la cualificación de propágulos y la eficiencia de elementos de desinfección en botas de pesca. Hasta la fecha se han analizado los efectos de *D. geminata* sobre las comunidades bentónicas de microalgas y macroinvertebrados, y la relación de esta especie con las variables ambientales medidas en cada estación de muestreo. Además, a partir del 2016 se han identificado las actividades y servicios ecosistémicos que se encuentran potencialmente afectados por *D. geminata* en una cuenca de interés pero que puede aplicarse a las cuencas del monitoreo, así como las principales vías de acción de los vectores y fómites, y cómo éstos contribuyen a la dispersión de la plaga.

Es importante tener presente que *D. geminata* ha recibido una atención significativa en la literatura científica contemporánea debido a su dramática expansión de rango geográfico, floraciones molestas más frecuentes y su habilidad inusual para producir grandes floraciones en ambientes bajos en nutrientes (Shank, 2016), lo cual se considera que es una de las especies invasoras más problemáticas que actualmente amenazan a los sistemas lóticos (Blanco & Ector, 2009; Shank, 2016). Este fenómeno se asocia a la de presión de propágulos, concepto definido como: la cantidad de organismos liberados en un nuevo hábitat o ecosistema determinando la probabilidad de que las especies invasoras se establezcan en relación al número de individuos que ingresa a un sistema y al número de eventos ocurridas en el tiempo (Keller & Lodge, 2009). Cuando la presión de propágulo es baja, un número bajo de individuos sobreviven el tiempo suficiente para establecerse. Cabe aclarar que, aunque la presión de propágulo es claramente importante, los registros del número de individuos o eventos de introducción son raros, manteniendo un vacío de conocimiento que interfiere en la evaluación económica y el riesgo asociado a las invasiones biológicas acuáticas (Keller & Lodge, 2009).

Frecuentemente, actividades como el kayak, rafting, toda actividad de navegación en aguas continentales y sobre todo la pesca recreativa tienen asociada vectores de gran magnitud en la dispersión de la plaga (Bothwell et al., 2008; Bothwell et al., 2009; Bus Leone, 2013; Hix, 2015; Hix & Murdock, 2019; Reinoso Guerra et al., 2021; Spaulding & Elwell, 2007). Debido a lo anterior, se evaluó la presión de propágulo en la actividad de pesca recreativa e investigación, que son dos actividades que suponen desplazamiento de gran alcance geográfico, con la utilización de elementos tales como vadeadores, wader o botas de pescador, reconocidos por su efectividad en la dispersión de *D. geminata* dado que proporcionan un sitio donde las células de *D. geminata* permanecen viables hasta por 40 días si existen las condiciones adecuadas de luz, temperatura y humedad (Bray et al., 2020, Spaulding & Elwell, 2007). Además, se ha evidenciado que los vadeadores, principalmente los que poseen suela de fieltro, proporcionan el medio para la propagación de *Didymo* e inclusive otras especies exóticas invasoras de pequeño tamaño, como el caracol de barro de Nueva Zelanda (*Potamopyrgus antipodarum*) y de parásitos como *Myxobolus cerebralis* (Gates et al., 2008). De este modo, cobra importancia la evaluación de la presión de propágulos en la indumentaria que comúnmente entra en contacto con el agua durante las actividades de recreación e investigación, y los protocolos de desinfección, para obtener una aproximación real de la carga celular que una persona transporta hacia lugares libres de *D. geminata*.

Considerando el vacío de información respecto a la presión de propágulos que puede generar *D. geminata* en los vadeadores, se realizó una serie de muestreos de los dos tipos de traje utilizados en actividades acuáticas. En el agua, se replicó el comportamiento de una persona pescando o realizando actividades de investigación. Esto se realizó durante períodos controlados en los ríos Calcurrupe, Curriñe, Pillanleufú y Gol Gol, todos pertenecientes a la cuenca del río Bueno y con evidencia de desarrollo de floraciones masivas. El muestreo fue realizado en verano, período de moderada densidad de *Didymo* en estos ríos, para conocer la carga celular



mínima asociada a una persona en un río y tiempo determinado (Cullis et al., 2015; Larson & Carreiro, 2008). Estos resultados complementan la prueba realizada en la Etapa V durante la campaña de otoño-invierno.

La cuantificación de la presión de propágulos se realizó contabilizando las células que pueden ser transportadas por un vadeador de PVC y un vadeador de neopreno con suela de fieltro. Esta diferenciación se realizó dado que existen sospechas que los vadeadores de suela de fieltro, utilizados casi universalmente por los pescadores, proporcionaban un buen medio de transferencia de organismos porque el material retiene la humedad durante períodos prolongados (Bothwell et al., 2008) A su vez, se realizaron procedimientos de desinfección con distintos desinfectantes que se han utilizado en Nueva Zelanda, como en Argentina para desinfectar elementos que son utilizados en río y así evitar la propagación de *D. geminata*.

### 5.5.1 Presión de propágulos y pruebas de desinfección

El establecimiento de especies no autóctonas en agua dulce requieren factores como la presión de propágulos, historia natural y rasgos ecológicos de la especie introducida y, la idoneidad del hábitat receptor, siendo la combinación de estos tres factores, determinantes del éxito del establecimiento de especies introducidas en agua dulce (Keller & Lodge, 2009). De acuerdo a Keller & Lodge (2009), la presión de propágulos corresponde a la cantidad de organismos liberados en un nuevo hábitat y se han identificado dos componentes principales que influyen en el proceso: tamaño de propágulos (el número de individuos en un propágulo) y el número de propágulos (la velocidad a la que llegan los propágulos por unidad de tiempo) (Simberloff, 2009), que en el caso de *D. geminata* correspondería a la cantidad de células introducidas a un nuevo ambiente, el número de vectores asociados a su dispersión y la frecuencia en la que ocurren.

#### I. Presión de propágulos

En cada uno de los ríos se pusieron a prueba un vadeador de PVC y un vadeador de neopreno con suela de fieltro, manteniendo movimiento en el lecho y minutos inmóviles simulando tanto la pesca recreativa como las actividades de campo que se realizan en investigaciones científicas. Una vez expuestos los vadeadores a intervalos de tiempo de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 minutos, se procedió a limpiar con agua potable toda aquella superficie del vadeador que tuvo contacto con el río, posteriormente se limpió con cepillo para ropa y “enjuague”. En cada río se extrajeron muestras de fitobentos y fitoplancton considerando de forma general los protocolos señalados en el numeral 5.1.1. Sin embargo, se modificó la metodología de muestreo de fitoplancton para poder contar con resultados en abundancia absoluta. Para esto, se filtraron 100 litros de agua en la misma red de fitoplancton y se continuó con el protocolo señalado en el numeral 5.1.1.

#### II. Prueba de desinfección

Se pusieron a prueba los diferentes compuestos señalados en los protocolos de desinfección y bioseguridad señalados tanto en Díaz et al. (2016), como en protocolos utilizados en Nueva Zelanda y Argentina. Para ello, los vadeadores se mantuvieron por 20 minutos para cada tratamiento de desinfección con disoluciones de cloro (CL), detergente lavalozas (DL), sal diluida, mezcla de cloro y detergente lavalozas (Me). En los procedimientos de presión de propágulos y protocolos de bioseguridad, los contenidos obtenidos de los vadeadores fue recepcionada en pretilos debidamente rotulados, para posteriormente filtrar el contenido de cada tratamiento y control con filtros de 37µm diferenciados para cada prueba. Los filtros y su contenido fueron almacenados en frascos de polipropileno de 125 ml. con lugol al 2%, etiquetados y almacenados para posterior análisis en laboratorio.



### **5.6 OBJETIVO ESPECÍFICO VI: Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersión y control de *Didymosphenia geminata*.**

Durante de la etapa VI del monitoreo, el equipo de trabajo participó en diversas actividades de capacitación, difusión, concientización y transferencia de información técnica a los organismos relacionados con la gestión de especies invasoras y del territorio, de acuerdo a los términos técnicos de referencia.

- i. Actividad 1. Participación en reuniones y mesas de trabajo: Los investigadores del proyecto participarán de estas actividades en la medida de lo posible, con información actualizada y su opinión experta.
- ii. Actividad 2. Taller de capacitación interno: el objetivo de esta actividad es la actualización permanente de los profesionales de los servicios públicos en temas relacionados con esta especie plaga, en los resultados y avances concretos del monitoreo, patrones de comportamiento de esta plaga según el tipo de ambiente, como también sobre las características de otras microalgas muy similares a esta plaga. Al mismo tiempo, será una instancia de retroalimentación de los investigadores de IFOP, en las necesidades y brechas identificadas por los organismos de estados, para en forma conjunta orientar eficientemente los esfuerzos de monitoreo e investigación.
- iii. Actividad 3. Seminario-Taller de Difusión de Resultados: Esta actividad tiene la finalidad de difundir los resultados obtenidos a las autoridades, científicos, profesionales de instituciones públicas y privadas, así como usuarios de los servicios asociados a los ecosistemas acuáticos continentales invadidos o en riesgo de ser invadidos por *Didymosphenia geminata*. Este taller deberá realizarse posteriormente a la entrega del Informe Final, previa coordinación entre la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y el Instituto de Fomento Pesquero. Este taller será realizado el día 15 de noviembre del año en curso.



## 6. RESULTADOS

---

En esta sección se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos planteados para la Etapa VI del Monitoreo en los Términos Técnicos de Referencia. En el presente documento se informan los análisis realizados, los resultados, discusión y conclusiones asociadas. De manera previa a los resultados de cada objetivo, se explica detalladamente la red de monitoreo considerada en las dos campañas ejecutadas durante esta Etapa.

### **Estaciones muestreadas y periodos de muestreo**

Las campañas de obtención de muestras y análisis de laboratorio se encuentran finalizados a la fecha de entrega de este informe. La programación de trabajo de campo no sufrió modificaciones, y fue posible muestrear todas las estaciones comprometidas en los Términos Técnicos de Referencia. Durante la primera campaña, realizada en la época de primavera-verano, entre el 4 de diciembre de 2021 y el 28 de enero de 2022, se muestrearon 156 estaciones en total (figura 2 y tabla 1), las cuales fueron distribuidas en 20 cuencas ubicadas entre la Región del Maule y la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Además, se realizaron 32 estaciones de prospección que estuvieron distribuidas en 11 cuencas hidrográficas ubicadas en regiones de la zona sur y austral del país.

Posteriormente, durante la segunda campaña ejecutada en la época de otoño-invierno, desde el mes de marzo de 2022, se muestrearon 77 estaciones ubicadas en las cuencas del río Biobío, Costeras entre límite región y río Valdivia, río Valdivia, río Bueno, Cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo y río Aysén (figura 3 y tabla 1). Dentro del número total de estaciones, se realizó el muestreo de 42 estaciones de prospección en las cuencas antes mencionadas.

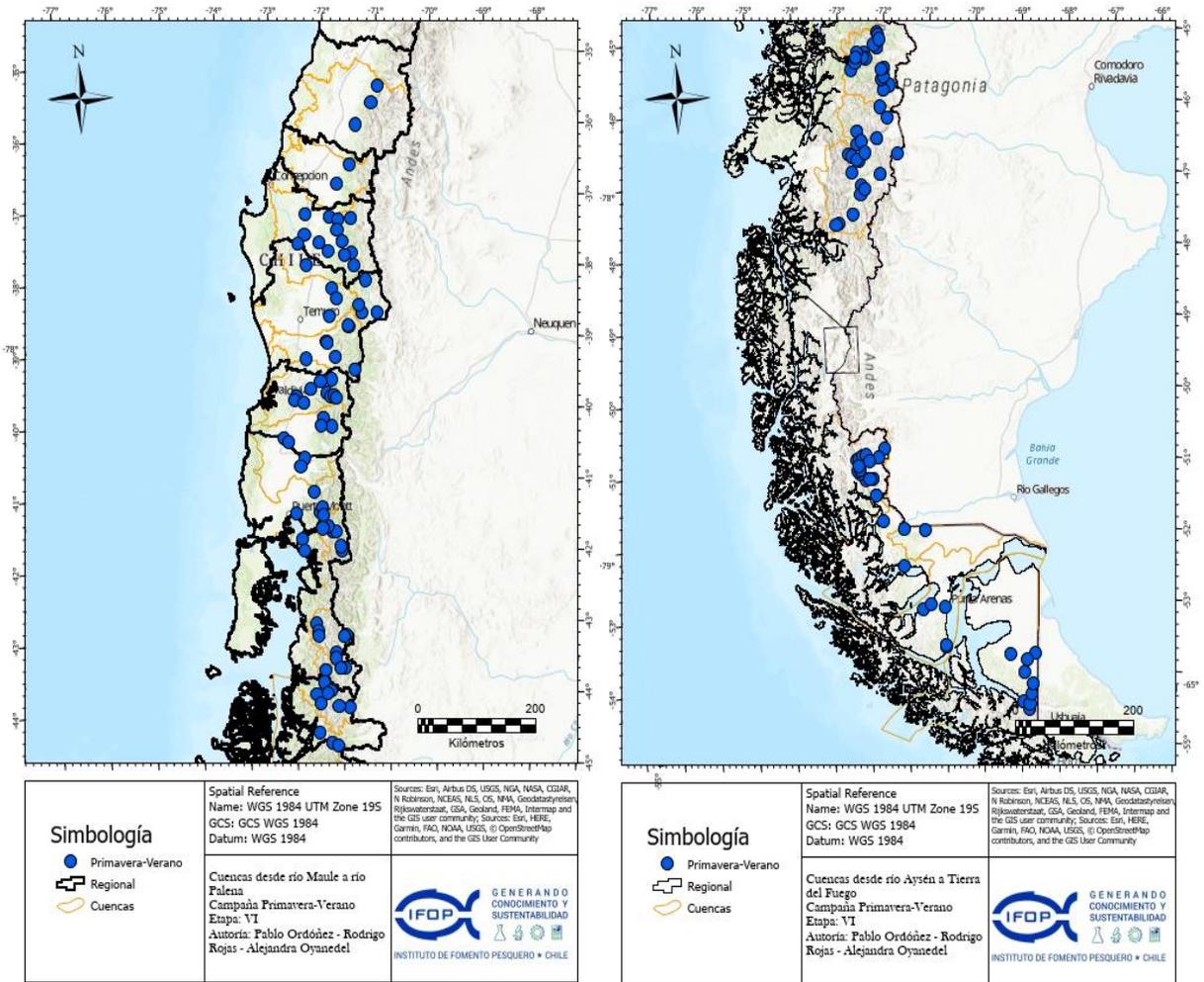
Cabe destacar que el número de estaciones muestreadas en ambas campañas fue diferente, existiendo una reducción programada en la cantidad de estaciones de la campaña de otoño-invierno (tabla 1). Sin embargo, hay que señalar que el número de estaciones muestreadas en ambas campañas de la presente Etapa, son mayores a las dispuesta en los TTR, teniendo un total de 74 estaciones adicionales muestreadas.



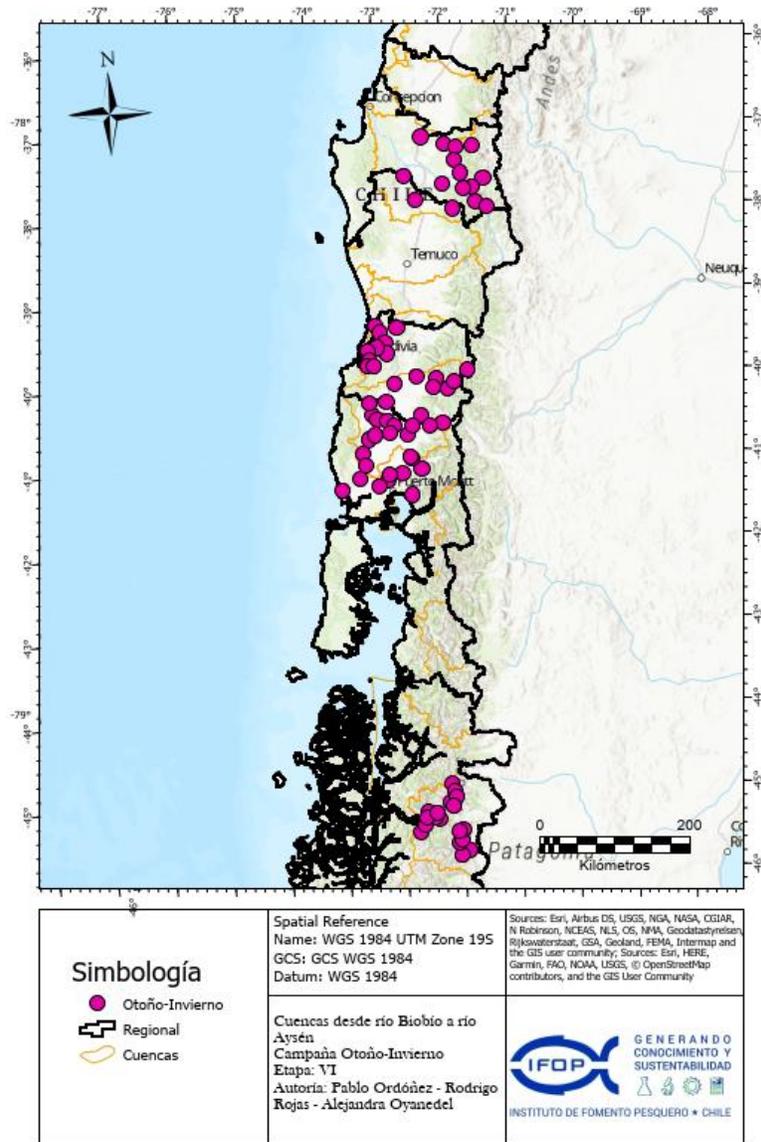
**Tabla 1.** Número de estaciones muestreadas durante la primera y segunda campaña de monitoreo de la Etapa VI, realizadas en las épocas de primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente. Se diferencian las estaciones que tuvieron muestreo completo (seguimiento) y parciales (prospección) durante la ejecución de la Etapa. Los códigos y nombres de cuenca fueron obtenidos del Inventario Público de Cuencas Hidrográficas y Lagos de la DGA.

CC	Cuenca	C1		C2	
		Completa	Parcial	Completa	Parcial
73	Río Maule	3	-	-	-
81	Río Itata	2	-	-	-
83	Río Biobío	18	-	11	4
91	Río Imperial	3	-	-	-
94	Río Toltén	6	1	-	-
101	Río Valdivia	9	1	-	11
103	Río Bueno	6	1	6	16
104	Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo	3	2	-	10
105	Río Puelo	6	1	-	-
106	Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho	-	2	-	-
107	Río Yelcho	7	-	-	-
110	Río Palena y Costeras Limite Decima Región	10	-	-	-
111	Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén	3	-	-	-
113	Río Aisén	18	-	18	-
115	Río Baker	12	8	-	-
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	7	9	-	-
124	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca	1	1	-	-
125	Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes	5	-	-	-
126	Vertiente del Atlántico	2	-	-	-
128	Tierra del Fuego	9	-	-	-
		<b>124</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>42</b>
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>156</b>		<b>77</b>	
		<b>233</b>			

A continuación, se muestra la distribución de las estaciones para esta Etapa, diferenciadas en campañas de primavera-verano y otoño-invierno.



**Figura 2.** Distribución geográfica de las estaciones muestreadas en primera campaña primavera-verano de la Etapa VI, entre las regiones del Maule a Los Lagos (izquierda) y Los Lagos a y Magallanes y Antártica Chilena (derecha).



**Figura 3.** Distribuci3n geogr3fica de las estaciones muestreadas en segunda campaa otoño-invierno de la Etapa VI, entre las regiones del Biobío y Aysén.



A continuación, se detalla el número de estaciones muestreadas en cada una de las regiones administrativas y la cobertura de esta Etapa del Monitoreo respecto a las subsubcuencas declaradas Área de Plaga y Riesgo de Plaga por las Res. Ex. 1854/2022 (tabla 2).

#### **a) Región del Maule**

Durante la campaña de primavera-verano (primera campaña) se muestrearon 3 estaciones en la cuenca del río Maule (figura 1, anexo 1), abarcando 3 subcuencas y 3 subsubcuencas. Dos de las Subsubcuencas monitoreadas (7370 y 7321), se encuentran declaradas en categoría de plaga a través de la Res. Ex. 1854/2022, mientras que la 7354 se encuentra no declarada. A esta cuenca se agregaron según esta misma resolución tres subsubcuencas: 7301, 7302 y 7303 las cuales se ubican en la zona cordillerana de la cuenca. Cabe destacar que en la subsubcuenca 7321 se registró por primera vez *D. geminata* en su hábitat bentónico.

#### **b) Región del Ñuble**

En esta región se muestrearon dos estaciones pertenecientes a la cuenca del río Itata (figura 2, anexo 1), las cuales se distribuyeron en dos subcuencas. En esta cuenca existe dos Subsubcuencas declaradas en riesgo de plaga que constituyeron los muestreos de esta etapa (8106 y 8131). En la estación Ñuble 1B se registró por primera vez *D. geminata* en células a la deriva en fitoplancton.

#### **c) Región del Biobío**

Durante la primera campaña se muestreó un total de 14 estaciones en la porción de la cuenca que corresponde a esta región administrativa (figura 3, anexo 1). Las estaciones correspondieron a estaciones de monitoreo que fueron ubicadas para abarcar 14 subsubcuencas, que correspondieron en su mayoría a subsubcuencas declaradas como Plaga (6) y en Riesgo de Plaga (3) por la Res. Ex. 1854/2022. Posteriormente, durante la campaña de otoño-invierno, se muestrearon 12 estaciones en total (figura 21, anexo 1), de las cuales 9 correspondieron a estaciones de monitoreo y 3 a estaciones de prospección. Las estaciones de monitoreo abarcaron 6 subsubcuencas declaradas Áreas de Plaga (8380, 8375, 8376, 8312, 8313, 8316) y dos subsubcuencas que se mantienen sin la presencia de *Didymo* (8308 y 8331).

#### **d) Región de La Araucanía**

En la primera campaña, se muestreó en la parte alta de la cuenca del río Biobío, sector de Lonquimay (figura 4, anexo 1), las cuencas del río Toltén (figura 6, anexo 1) y río Imperial (figura 5, anexo 1). En la cuenca del río Biobío se muestrearon cuatro estaciones en la comuna de Lonquimay, donde cada estación está localizada en una subsubcuenca declarada área de plaga a través de la res. ex. 1854/2022. En la cuenca del río Imperial se muestreó un total de tres estaciones que fueron ubicadas en 3 subsubcuencas distintas, de estas tres Subsubcuencas se categorizaron una (9110) como no declarada, una (9122) como plaga y, por último, una (9130) en riesgo de plaga. En la cuenca del río Toltén un total de siete estaciones, abarcando cuatro subsubcuencas declaradas área de plaga, dos subsubcuencas consideradas riesgo de plaga y una estación donde *Didymo* no está presente.

Posteriormente, en la campaña de invierno, en la cuenca del río Biobío se muestrearon tres estaciones (figura 21, anexo 1) de las cuales, dos estaciones correspondieron a estaciones de monitoreo. La estación restante fue localizada en una subsubcuenca sin información sobre la presencia de *D. geminata*. Las cuencas de los ríos Imperial y Toltén no fueron muestreadas durante esta época.

#### **e) Región de los Ríos**

En el transcurso de la primera campaña, se muestrearon las cuencas del río Valdivia y río Bueno (figura 6 y 7, anexo 1). En la cuenca del río Valdivia se muestreó un total de 10 estaciones, gran parte de ellas estuvo distribuidas en la zona alta de la cuenca. Las estaciones de monitoreo fueron localizadas cada una en una



subsubcuenca distinta, cubriendo de este modo, 10 subsubcuencas declaradas áreas de plaga. En la cuenca del río Bueno se muestrearon tres estaciones, de las cuales todas las subsubcuencas se encuentran declaradas como áreas de plaga.

Durante la segunda campaña, se muestrearon tres cuencas, la primera corresponde a Costeras entre límite Región y río Valdivia (100) (figura 22, anexo 1), la cual nunca se había muestreado, por lo que se acudió al río Lingue, el cual no registró *D. geminata* en los resultados de los análisis. El río Valdivia se incorporó en una campaña de prospección por esta zona ya que no existían registros de varios puntos de la zona baja de esta cuenca (figura 23, anexo 1). En esta cuenca se muestrearon una cantidad de 11 estaciones en donde se registró *D. geminata* en cinco de ellas en hábitat bentónico, a su vez, en dos estaciones se registró en hábitat planctónico y en tres estaciones no se registró la especie. Al sur de esta región se muestreó la zona norte de la cuenca del río Bueno donde se muestrearon seis estaciones (figura 24, anexo 1)

#### **f) Región de Los Lagos**

Durante la primera campaña se muestrearon seis cuencas: río Bueno (103), Cuencas e Islas entre río Bueno y río Puelo (104), río Puelo (105), Costeras entre río Puelo y río Yelcho (106), río Yelcho (107), río Palena y Costeras límite décima región (110) (figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12, anexo 1), sumando un total de 27 estaciones de muestreo. En la cuenca del río Bueno se ubicaron siete estaciones de muestreo, en Cuencas e Islas entre río Bueno y río Puelo se distribuyeron cuatro estaciones, en río Puelo se muestrearon siete estaciones, en Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho siete estaciones, en río Yelcho siete estaciones y en río Palena y Costeras límite décima región se distribuyeron tres estaciones de monitoreo.

En el transcurso de la segunda campaña, en esta región se muestrearon 15 estaciones correspondientes a la cuenca del río Bueno y 10 estaciones en Cuencas e Islas entre río Bueno y río Puelo (figuras 24 y 25, anexo 1).

**g) Región de Aysén** En esta región se muestrearon las cuencas: río Palena y Costeras límite décima región (110), Costeras e Islas entre río Palena y río Aysén (111), río Aysén (113) y río Baker (115) (figuras 12, 13, 14 y 15, anexo 1), con un total de 66 estaciones muestreadas en la primera campaña. En la cuenca del río Palena y Costeras límite región de Los Lagos se distribuyeron siete estaciones, en la cuenca Costeras e Islas entre río Palena y río Aysén tres estaciones, en la cuenca del río Aysén 18 estaciones, 20 estaciones en la cuenca del río Baker. De este modo, se muestrearon 64 subsubcuencas. Luego, durante la campaña de invierno se realizó el muestreo en la cuenca del río Aysén (figura 26, anexo 1), con un total de 18 estaciones distribuidas 18 subsubcuencas.

#### **h) Región de Magallanes**

Se muestreó en cinco cuencas durante la primera campaña: Costeras entre Seno Andrew y río Hollemberg e islas al oriente (122), Costeras e Islas entre río Hollemberg- Golfo Alte. Laguna Blanca (124), Vertiente del Atlántico (126), Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jeronimo y Magallanes y Cuencas de Tierra del Fuego (125) y Tierra del Fuego (128) (figuras 16, 17, 18, 19 y 20, anexo 1). En las cuencas Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente se muestrearon 16 estaciones. En cuencas Costeras e Islas entre R Hollemberg- Golfo Alte. Laguna Blanca se muestrearon dos estaciones, en cuencas de la Vertiente del Atlántico se muestrearon dos, cinco en Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, Canal Gerónimo y Magallanes, y en Tierra del Fuego se muestrearon nueve estaciones.

La distribución espacial de las estaciones permitió monitorear 24 subsubcuencas, de las cuales 8 se encuentran en categoría de Área de Plaga, de acuerdo a la Res. Ex. N°1854/2022.



## 6.1 Objetivo específico I: Establecer la distribución geográfica de *Didymosphenia geminata* a nivel de subsubcuenca y las variables que favorecen a su dispersión y permanencia en los ríos chilenos

Los resultados de este objetivo se estructuraron para definir, primeramente, el rango de distribución de *D. geminata* en ríos y lagos de Chile, caracterizar espacialmente las comunidades de diatomeas y las variables ambientales en el área de estudio, para luego identificar cuáles de estas variables se encuentran asociadas a la dispersión de *Didymo* y su colonización en ríos chilenos.

### 6.1.1 Rango de distribución de *D. geminata* en cuencas hidrográficas de Chile

De acuerdo a los resultados obtenidos en la campaña de primavera-verano realizada en la Etapa VI, la presencia de *D. geminata* se registró en las regiones del Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y de la Antártica Chilena. La Región del Maule constituye el límite septentrional de la distribución de *D. geminata*, en específico la subsubcuenca del río Claro (7370), en el Parque Nacional Radal Siete Tazas. Por otro lado, el límite austral para la especie se ubica en la Región de Magallanes, en el río Azopardo (12825). Tal como se describe, *D. geminata* se extiende interrumpidamente a través de un rango latitudinal de aproximadamente 2200 kilómetros, independientemente de si fue encontrada en el hábitat planctónico o bentónico. Además, la especie plaga fue encontrada en gran parte de las estaciones prospectadas. En consecuencia, el área afectada ha incrementado al interior de cada cuenca, en la medida que aumenta el número de estaciones prospectadas, lo cual se manifiesta en la resolución exenta 1854/2022 emitida por SSPA en septiembre del presente año. Este incremento también se ve reflejado en el porcentaje de áreas declaradas con áreas silvestres protegidas.

**Tabla 2.** Presencia/ausencia de *D. geminata* en la comunidad del fitoplancton y bentos (fitobentos + diatomeas) en cada una de las estaciones de monitoreo. Se especifica la fecha de muestreo, Región (R), la cuenca (C), subcuenca (SC) y subsubcuenca (SSC), categoría de la SSC de cada estación según Resolución Exenta N° 1854-2022 y si la SSC a la que pertenece cada estación no se encuentra declarada en resolución (ND). La codificación para cuenca, subcuenca y Subsubcuenca es la indicada en el Inventario Público de Cuencas de la Dirección General de Aguas. sm: sin muestra, 0 ausencia de *D. geminata*, 1 presencia de *D. geminata*

Estación	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Radal 01	04-12-2021	7	73	7370	Plaga	1	1	1	1
Armerillo	04-12-2021	7	73	7321	Plaga	0	1	1	1
Achibueno	04-12-2021	7	73	7354	ND	0	0	0	0
Ñuble 1B	05-12-2021	16	81	8106	Riesgo	1	0	0	0
Diguillín A	05-12-2021	16	81	8131	Riesgo	0	0	0	0
Caliboro	05-12-2021	8	83	8382	Riesgo	1	0	0	0
Laja	05-12-2021	8	83	8380	Plaga	1	0	0	0
Polcura	06-12-2021	8	83	8375	Plaga	1	1	1	1
Rucúe B	06-12-2021	8	83	8376	Plaga	1	1	1	1
Cañicura A	06-12-2021	8	83	8321	ND	0	0	0	0
Biobío 10	07-12-2021	8	83	8312	Plaga	1	1	1	1
Queuco A	07-12-2021	8	83	8315	ND	0	0	0	0
Huequecura	07-12-2021	8	83	8316	Plaga	1	0	0	0



Estación	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Callaqui	07-12-2021	8	83	8313	Plaga	1	0	0	0
Duqueco B	08-12-2021	8	83	8324	Riesgo	1	0	0	0
Pichibureo	08-12-2021	8	83	8331	Riesgo	1	0	0	0
Biobío Q619	08-12-2021	8	83	8319	Plaga	1	1	1	1
Renaico 3	09-12-2021	8	83	8344	Plaga	1	0	0	0
Bajo Malleco	09-12-2021	9	83	8351	Riesgo	1	1	0	1
Quillén	09-12-2021	9	91	9110	ND	0	0	0	0
Biobío C	09-12-2021	9	83	8307	Plaga	1	1	1	1
Biobío 30	10-12-2021	9	83	8301	Plaga	1	1	1	1
Nirreco A	10-12-2021	9	83	8300	Plaga	1	1	0	1
Lonquimay 20	10-12-2021	9	83	8304	Plaga	1	1	1	1
Cautín 1	11-12-2021	9	91	9122	Plaga	1	1	1	1
Quepe B	11-12-2021	9	91	9130	Riesgo	0	0	0	0
Allipén A	12-12-2021	9	94	9401	ND	0	0	0	0
Truful-Truful	12-12-2021	9	94	9400	Plaga	1	0	0	0
Curaco	12-12-2021	9	94	9405	Plaga	1	0	0	0
Colico	12-12-2021	9	94	9405	Plaga	1	0		0
Trancura	13-12-2021	9	94	9412	Plaga	1	1	1	1
Pucón	13-12-2021	9	94	9418	Plaga	1	1	1	1
Dónguil A	13-12-2021	9	94	9431	Riesgo	1	0	0	0
Llancahue	15-12-2021	14	101	10105	Plaga	0	0	0	0
Huenehue	15-12-2021	14	101	10107	Plaga	1	1	1	1
Reca	15-12-2021	14	101	10108	Plaga	1	1	1	1
Llanquihue	15-12-2021	14	101	10104	Plaga	1	1	1	1
Chan Chan	15-12-2021	14	101	10103	Plaga	1	1	1	1
Neltume	15-12-2021	14	101	10101	Plaga	1	0	0	0
Mañío	16-12-2021	14	101	10112	Plaga	1	1		1
San Pedro	16-12-2021	14	101	10113	Plaga	1	1	1	1
Quinchilca B	16-12-2021	14	101	10122	Plaga	1	1	1	1
Quinchilca	16-12-2021	14	101	10116	Plaga	1	1	1	1
Florín	17-12-2021	14	103	10305	Plaga	1	1	1	1
Pillanleufú	17-12-2021	14	103	10301	Plaga	1	1	1	1
Calcurrupe	17-12-2021	14	103	10304	Plaga	1	0	0	0
Pilmaiquén B	18-12-2021	10	103	10328	Riesgo	1	0	0	0
Trafún	18-12-2021	10	103	10324	Riesgo	0	0		0
Puyehue	18-12-2021	10	103	10323	Plaga	1	0	0	0
Rahue	18-12-2021	10	103	10340	ND	0	0	0	0
Petrohué	20-12-2021	10	104	10454	Riesgo	0	0	0	0
Rollizo A	20-12-2021	10	104	10443	Riesgo	0	0	0	0
Del Este A	20-12-2021	10	104	10460	ND	0	0	0	0
Puelo 10	21-12-2021	10	105	10514	Plaga	1	1	1	1
Manso 2	21-12-2021	10	105	10503	Plaga	1	1	1	1
Puelo	21-12-2021	10	105	10510	Plaga	1	1	1	1
Puelo C	21-12-2021	10	105	10512	Plaga	1	1	1	1
Puelo A	22-12-2021	10	105	10520	Plaga	1	1	1	1
Puelo Chico	22-12-2021	10	105	10523	Plaga	1	0	0	0
Cochamó	22-12-2021	10	104	10461	ND	0	0		0
Puelo Chico Poica	22-12-2021	10	105	10522	ND	0	0		0
Contao	23-12-2021	10	106	10600	Riesgo	0	0		0
Amarillo	06-01-2022	10	107	10712	ND	0			
Michinmahuida	06-01-2022	10	107	10711	Plaga	0	0	0	0
Yelcho B	06-01-2022	10	107	10710	Plaga	0	0	0	0



Estación	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Espolón A	07-01-2022	10	107	10702	Plaga	1	1	1	1
Espolón B	07-01-2022	10	107	10701	Plaga	1	1	1	1
Futaleufú C	07-01-2022	10	107	10703	Plaga	1	1	1	1
El Tigre	08-01-2022	10	110	11020	Plaga	1	1	1	1
Malito	08-01-2022	10	107	10704	Plaga	1	1	1	1
Palena B	08-01-2022	10	110	11021	Plaga	1	1	1	1
Oeste	09-01-2022	10	110	11023	Plaga	0			
Pampita	09-01-2022	11	110	11024	Riesgo	1			
Palena D	09-01-2022	11	110	11040	Plaga	1	1	1	1
Quinto B	09-01-2022	11	110	11035	Plaga	1	0	0	0
Risopatrón	10-01-2022	11	110	11041	Plaga	1	1	1	1
Pico C	10-01-2022	11	110	11032	Plaga	1	1	1	1
Figueroa A	10-01-2022	11	110	11033	Plaga	1	1	1	1
Lago Rosselot	10-01-2022	11	110	11034	Plaga	1	0	1	1
Queulat B	11-01-2022	11	111	11130	Plaga	0			
Cisnes 03	11-01-2022	11	111	11147	Plaga	1	0	0	0
Las Torres B	11-01-2022	11	111	11144	Plaga	1	1	1	1
Emperador Guillermo A	12-01-2022	11	113	11307	Plaga	1	1	1	1
Cañón B	12-01-2022	11	113	11305	Plaga	1	1	1	1
Mañihuales A	12-01-2022	11	113	11303	Plaga	1	0	0	0
Mañihuales B	12-01-2022	11	113	11304	Plaga	1	0	1	1
Nirehuao	12-01-2022	11	113	11302	Plaga	1	1	1	1
Viviana	13-01-2022	11	113	11308	Plaga	1	1	1	1
Simpson A	13-01-2022	11	113	11318	Plaga	1	1	1	1
Simpson-Mañihuales	13-01-2022	11	113	11320	Plaga	1	1	1	1
Pangal A	13-01-2022	11	113	11340	Plaga	0	0	0	0
Cóndor	14-01-2022	11	113	11336	Riesgo	0	0	0	0
Riesco	14-01-2022	11	113	11337	Plaga	1	0	0	0
Aysén	14-01-2022	11	113	11342	Plaga	1	1	1	1
Blanco BM	15-01-2022	11	113	11312	Plaga	0	1	0	1
La Paloma	15-01-2022	11	113	11330	Plaga	1	1	1	1
Simpson B	15-01-2022	11	113	11313	Plaga	1	1	1	1
Pollux	15-01-2022	11	113	11314	Plaga	1	1	1	1
Coyhaique B	16-01-2022	11	113	11316	Plaga	1	1	1	1
Claro S	16-01-2022	11	113	11315	Plaga	1	1	1	1
Tranquilo	18-01-2022	11	115	11515	Plaga	1	1	1	1
Murta	18-01-2022	11	115	11513	ND	0	0	0	0
Sánchez	18-01-2022	11	115	11513	ND	1	0		0
León	19-01-2022	11	115	11516	Plaga	1	1	0	1
Cañal	19-01-2022	11	115	11517	ND	1			
Bertrand	19-01-2022	11	115	11533	ND	0	0		0
Chacabuco A	20-01-2022	11	115	11534	Plaga	1	1	1	1
Baker 01	20-01-2022	11	115	11539	Plaga	1	0	1	1
Del Salto A	20-01-2022	11	115	11538	Plaga	1	1	1	1
Cochrane	20-01-2022	11	115	11536	Plaga	1	1	1	1
Los Ñadis A	21-01-2022	11	115	11544	Plaga	0			
Vargas	21-01-2022	11	115	11548	Plaga	1	1		1
Baker	21-01-2022	11	115	11549	Plaga	1	1	1	1
Maquis	22-01-2022	11	115	11523	ND	0	0		0
Guadal	22-01-2022	11	115	11523	ND	1	0		0
Maitén	23-01-2022	11	115	11522	Plaga	1			
Fachinal	23-01-2022	11	115	11521	Plaga	1	1	0	1



Estación	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Jeinimeni	24-01-2022	11	115	11520	Plaga	1	1		1
Salto Ibáñez	25-01-2022	11	115	11505	ND	0	0	0	0
Ibáñez	25-01-2022	11	115	11503	ND	0			
Hualaihué	27-01-2022	10	106	10610	ND	0	0		0
Chamiza	28-01-2022	10	104	10432	ND	0	0		0
Penitente	11-01-2022	12	126	12622	ND	0	0	0	0
Rubens	11-01-2022	12	126	12600	ND	0	0	0	0
Lago Sofía	12-01-2022	12	122	12291	ND	0			
Rincón	12-01-2022	12	122	12286	Plaga	0			
Serrano	12-01-2022	12	122	12289	Plaga	1	1	1	1
Grey	12-01-2022	12	122	12287	Plaga	1	0	0	0
Lago Toro	12-01-2022	12	122	12286	Plaga	1	1	1	1
Francés	13-01-2022	12	122	12282	Plaga	0			
Vader	13-01-2022	12	122	12282	Plaga	0			
Paine 3	13-01-2022	12	122	12282	Plaga	0			
Ascencio	13-01-2022	12	122	12282	Plaga	0			
Paine 2	13-01-2022	12	122	12280	ND	0			
Paine 1	14-01-2022	12	122	12282	Plaga	0	1	1	1
Baguales	14-01-2022	12	122	12283	Plaga	0			
Las Chinas	14-01-2022	12	122	12283	Plaga	0	0	1	1
Lago Sarmiento	14-01-2022	12	122	12281	ND	0	0	0	0
Hollemborg	15-01-2022	12	124	12400	ND	0	0	0	0
Santucci	15-01-2022	12	122	12285	Plaga	1			
Lago Maravilla Norte	15-01-2022	12	122	12286	Plaga				
Pérez M	16-01-2022	12	124	12452	ND	0			
Canelo	16-01-2022	12	125	12562	ND	0			
Río Grande Otway	16-01-2022	12	125	12561	ND	0			
San Pedro M	17-01-2022	12	125	12581	ND	1			
Santa María	17-01-2022	12	125	12581	ND	0			
Japón	19-01-2022	12	128	12873	Plaga	1	0	1	1
Fontaine	20-01-2022	12	128	12830	ND	0			
Yendegaia	20-01-2022	12	128	12825	Plaga	1	1	0	1
Azopardo	20-01-2022	12	128	12825	Plaga	0	1	1	1
Lago Deseado	20-01-2022	12	128	12879	Plaga	0	1	1	1
Rasmussen	21-01-2022	12	128	12878	Plaga	0	1	1	1
Moneta	21-01-2022	12	128	12872	Plaga	0	1	1	1
Grande	21-01-2022	12	128	12876	Plaga	0	1	1	1
Lago Blanco	21-01-2022	12	128	12875	Plaga	1	1	1	1
Las Minas	22-01-2022	12	125	12586	ND	0			
Hua Hum	20-03-2022	14	101	10100	Plaga	0	1		1
Rucaco	21-03-2022	14	101	10134	ND	0	0		0
Lingue	21-03-2022	14	100	10000	ND	0	0		0
Cruces B	21-03-2022	14	101	10135	ND	0	0		0
Pichoy	22-03-2022	14	101	10137	ND	0	0		0
Calle Calle	22-03-2022	14	101	10122	Plaga	1	1		1
Antilhue	22-03-2022	14	101	10122	Plaga	1	1		1
Cayumapu	22-03-2022	14	101	10138	Plaga	0	1		1
Andwanter	23-03-2022	14	101	10139	Plaga	0	0		0
Angachilla	23-03-2022	14	101	10140	Riesgo	0			
Naguilán	23-03-2022	14	101	10143	Riesgo	0			
Futa	23-03-2022	14	101	10142	ND	0			
Forrahue	24-03-2022	10	103	10363	Riesgo	1	0		0

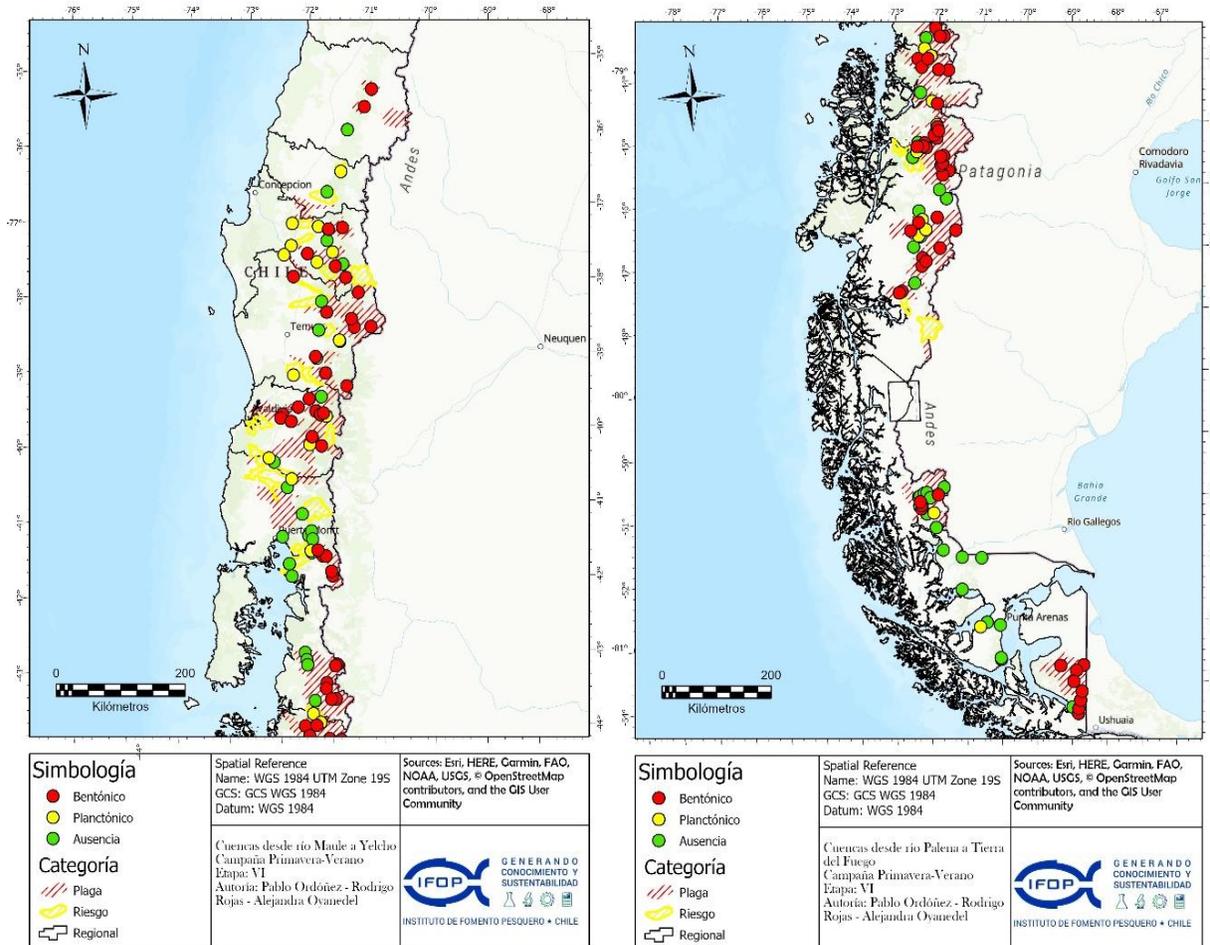


Estación	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Osorno R	24-03-2022	10	103	10360	ND	1	0		0
Negro O	24-03-2022	10	103	10353	ND	0	0		0
Chifin	24-03-2022	10	103	10355	Plaga	0	1		1
Tijeral	25-03-2022	10	103	10362	ND	0	0		0
Damas	25-03-2022	10	103	10361	ND	0	0		0
Cancura	25-03-2022	10	103	10344	Riesgo	1	0		0
Pescado	26-03-2022	10	104	10410	Plaga	1	1		1
Petrohué B	26-03-2022	10	104	10455	ND	0	0		0
Cascadas	26-03-2022	10	104	10410	Plaga	0			
Arenal	26-03-2022	10	104	10410	Plaga	1	0		0
Mauñín 2	27-03-2022	10	104	10411	ND	0	0		0
Mauñín 3	27-03-2022	10	104	10411	ND	0	0		0
Mauñín	27-03-2022	10	104	10411	ND	0	0		0
Maule	28-03-2022	10	103	10351	ND	0	0		0
Fresia	28-03-2022	10	103	10350	ND	0	0		0
Llico	28-03-2022	10	104	10405	ND	0	0		0
Surgidero	29-03-2022	10	104	10407	ND	0	0		0
Sargazo	29-03-2022	10	104	10431	ND	0	0		0
Blanco BM	07-04-2022	11	113	11312	Plaga	1	1	1	1
La Paloma	07-04-2022	11	113	11330	Plaga	1	1	1	1
Simpson B	07-04-2022	11	113	11313	Plaga	1			
Pollux	07-04-2022	11	113	11314	Plaga	0	1	1	1
Coyhaique B	08-04-2022	11	113	11316	Plaga	0	1	1	1
Claro S	08-04-2022	11	113	11315	Plaga	1	1	1	1
Simpson A	09-04-2022	11	113	11318	Plaga	0	1	1	1
Simpson-Mañihuales	09-04-2022	11	113	11320	Plaga	0	1	1	1
Pangal A	09-04-2022	11	113	11340	Plaga	1	0	1	1
Cóndor	10-04-2022	11	113	11336	Riesgo	1	0	0	0
Riesco	10-04-2022	11	113	11337	Plaga	0			
Aysén	10-04-2022	11	113	11342	Plaga	1	0	1	1
Picaflor	11-04-2022	11	113	11303	Plaga	0	1	0	1
Mañihuales B	11-04-2022	11	113	11304	Plaga	1	1	0	1
Cañón B	11-04-2022	11	113	11305	Plaga	1	1	1	1
Ñirehuao	11-04-2022	11	113	11302	Plaga	1	1	1	1
Emperador Guillermo A	12-04-2022	11	113	11307	Plaga	1	1	1	1
Viviana	12-04-2022	11	113	11308	Plaga	0	1	1	1
Salto Laja	11-05-2022	8	83	8381	Plaga	1	1		1
Laja	11-05-2022	8	83	8380	Plaga	1	1	0	1
Polcura	11-05-2022	8	83	8375	Plaga	0	1	1	1
Rucúe B	12-05-2022	8	83	8376	Plaga	1	0	0	0
Cañicura A	12-05-2022	8	83	8321	ND	1	0	0	0
Ñirremetún	13-05-2022	8	83	8314	ND	0	0		0
Queuco A	13-05-2022	8	83	8315	ND	0	0	0	0
Biobío 10	13-05-2022	8	83	8312	Plaga	1	1	1	1
Lomin	13-05-2022	8	83	8308	Riesgo	0	0		0
Callaqui	14-05-2022	8	83	8313	Plaga	1	1	1	1
Huequecura	14-05-2022	8	83	8316	Plaga	1	0	0	0
Pichibureo	14-05-2022	8	83	8331	Riesgo	0	0	0	0
Renaico 3	15-05-2022	9	83	8344	Plaga	0	0	1	1
Bajo Malleco	15-05-2022	9	83	8351	Riesgo	0	0	0	0
Amargo	15-05-2022	9	83	8340	Plaga	1	1		1
Pichirropulli	16-05-2022	14	103	10313	ND	0	0		0

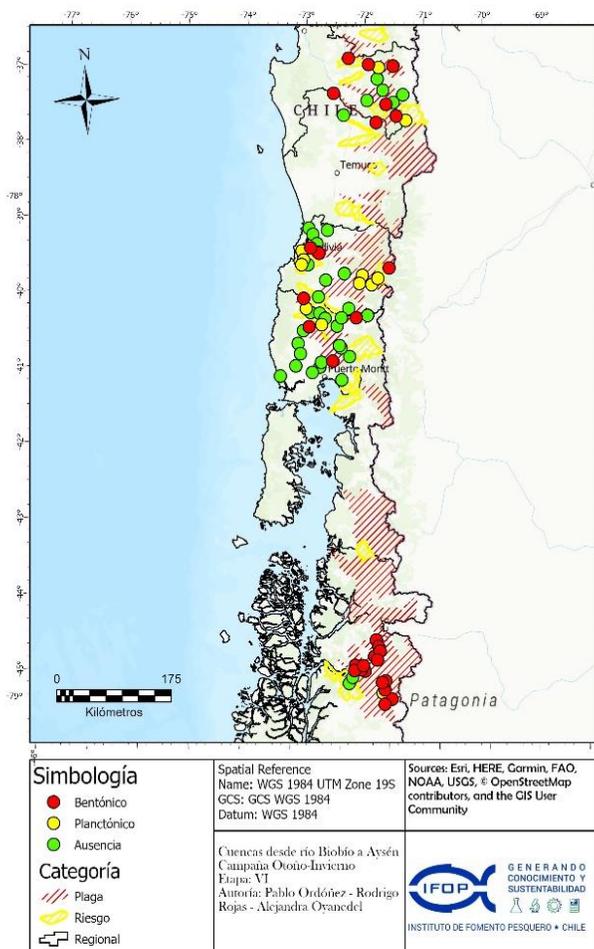


INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N DE INVESTIGACI3N EN ACUICULTURA

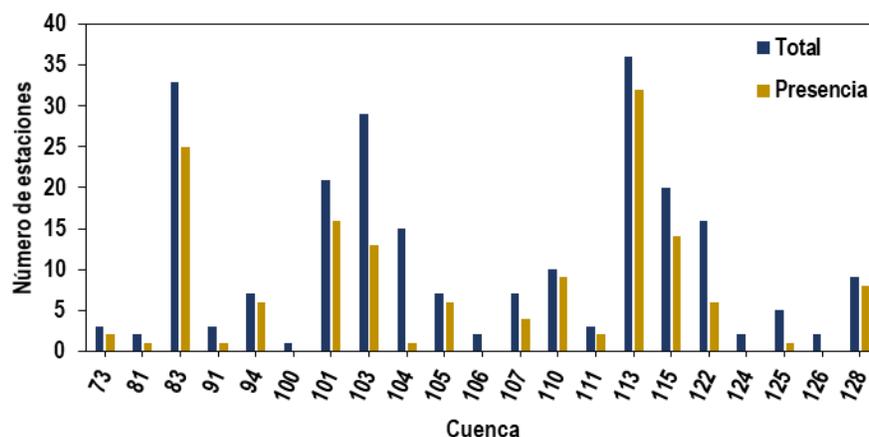
Estaci3n	Fecha	R	CC	SSC	Cat.	DG	DG	DG	DG Bentos
Llollehue	16-05-2022	14	103	10312	ND	0	0		0
Flor3n	16-05-2022	14	103	10305	Plaga	1	0	0	0
Pillanleuf3	17-05-2022	14	103	10301	Plaga	1	0	0	0
Curriñe 01	17-05-2022	14	103	10300	Riesgo	1	0		0
Calcurrupe	17-05-2022	14	103	10304	Plaga	1	0	0	0
Quilacahu3n	18-05-2022	10	103	10365	Plaga	1	0		0
Pilmaiqu3n B	18-05-2022	10	103	10328	Riesgo	1	0	0	0
Chirre	18-05-2022	14	103	10325	ND	1	0		0
Rahue	18-05-2022	10	103	10340	ND	0	0	0	0
Puyehue	19-05-2022	10	103	10323	Plaga	0	0	0	0
Pajaritos	19-05-2022	10	103	10321	ND	1	0		0
Chanleuf3	19-05-2022	10	103	10323	Plaga	1	0	0	0



**Figura 4.** Distribuci3n espacial de las estaciones muestreadas en la campaa primavera-verano de la presente etapa, donde se distinguen estaciones donde se present3 *D. geminata* bent3nico, planct3nico y ausencia de esta, en conjunto con las áreas declaradas según resoluci3n exenta 1854/2022.



**Figura 5.** Distribuci3n espacial de las estaciones muestreadas en la campaa otoo-invierno de la presente etapa, donde se distinguen estaciones donde se present3 *D. geminata* bent3nico, planct3nico y ausencia de esta, en conjunto con las 3reas declaradas segun resoluci3n exenta 1854/2022.



**Figura 6.** Relaci3n de la cantidad total de estaciones muestreadas en cada una de las cuencas y la presencia de la plaga independiente a la muestra en la se haya observado. Las barras azules representan la totalidad de estaciones muestreadas y las barras mostaza representan las estaciones donde se encontr3 la presencia de la plaga: Maule (73), Itata (81), Bio-Bio (83), Imperial (91), Tolt3n (94), Costeras entre limite Regi3n y R. Valdivia (100), Valdivia (101), Bueno (103) Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo (104), Puelo (105) Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho (106), Yelcho (107), Palena y Costeras Limite D3cima Regi3n (110), Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n (111), Ais3n (113), Baker (115), Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente (122), Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca (124), Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, canal Jer3nimo y Magallanes (125), Vertiente del Atl3ntico (126) y Tierra del Fuego (128).

### Solapamiento entre 3reas Silvestres Protegidas y 3reas declaradas Plaga y Riesgo de plaga.

De acuerdo con la informaci3n publicada por Oyanedel et al. (2021), las 3reas silvestres protegidas que se solapaban con las 3reas declaradas por la resoluci3n 719-2021, conformaban un total de 41, y 13 de aquellas que superaban en 50% de su superficie. Actualmente se actualiz3 este a3o (septiembre de 2022) la resoluci3n emitida por SSPA (1854/2022), la cual sustituye a la anterior (719/2021) e incluye un mayor n3mero de 3reas de plaga y riesgo de plaga. En consiguiente se ven aumentados los porcentajes de solapamiento con las 3reas silvestres protegidas, mas no su cantidad de unidades de conservaci3n, sin embargo, esto provoca que aumente el n3mero de 3reas solapadas mayor 50% por unidad, las cuales aumentaron de 13 a 22.

Las unidades que superan a la mitad de su superficie con 3reas declaradas son las siguientes: RN Altos de Pemehue (100%), SN Carlos Andwanter (50,7%), PN Cerro Castillo (62,7%), PN Conguill3o (65%), RF Coyhaique (100%), MN Dos Lagunas (100%), RN Futaleuf3 (98,8%), RF Lago Carlota (61,4%) RF Lago Las Torres (99%), RF Lago Rosselot (100%), RF Malalcahuello (99,7%), RN Mocho-Choshuenco (100%), PN Patagonia (95,6%), PN Queulat (92,9%), PN y RN Radal Siete Tazas (100% Ambos), RN Ralco (100%), SN R3o Cruces y Chorocomayo (59,4), RN R3o Simpson (100%), RN Trapananda (100%) y PN y RF Villarrica (94,3 y 91,4%). Las restantes 3reas silvestres protegidas se pueden observar con detalle en la figura 7 y la tabla 3.

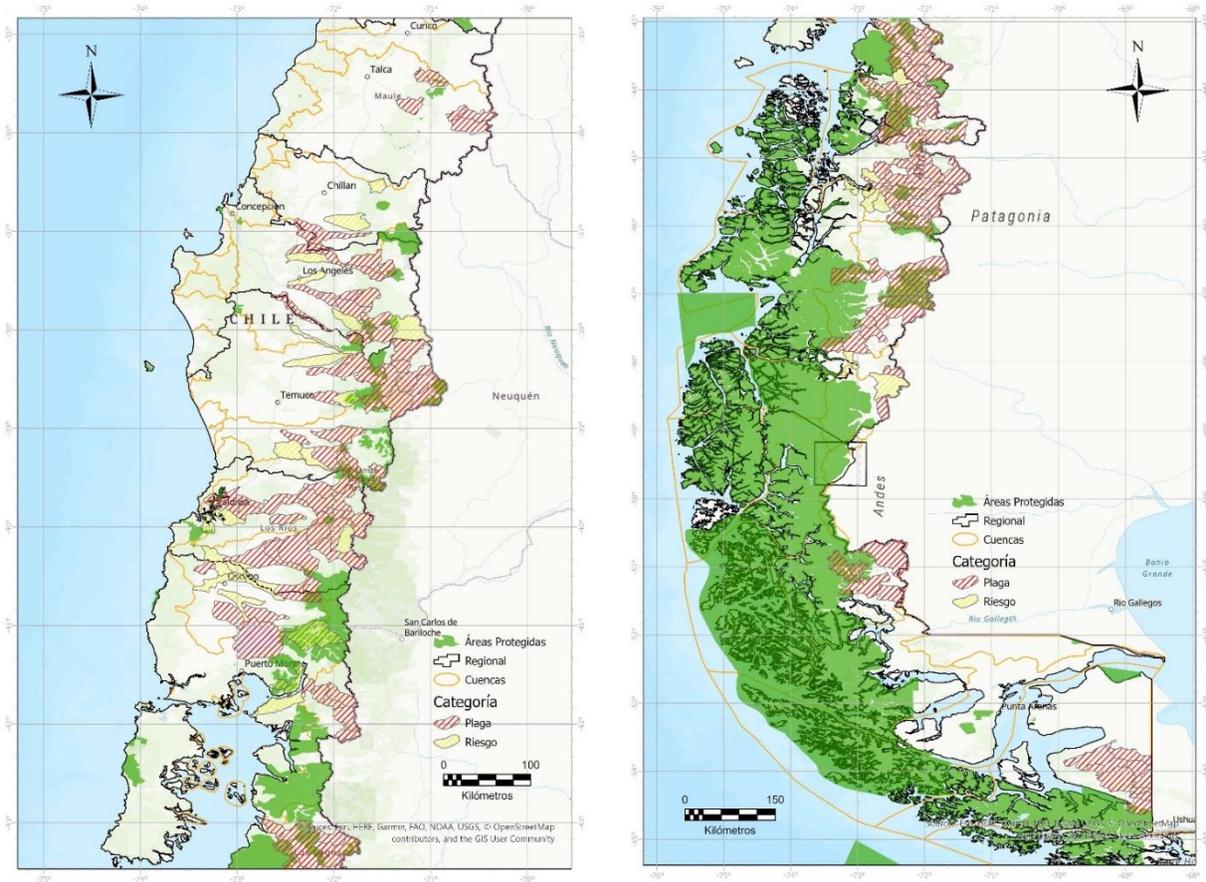


**Tabla 3.** Solapamiento de áreas silvestres protegidas y áreas declaradas en resolución exenta 1854/2022. Todas las áreas están en km<sup>2</sup>. ASP: Área Silvestre Protegida, SSC: Subsubcuencas. El color amarillo refiere a áreas declaradas riesgo de plaga y color rojo a áreas declaradas plaga.

Nombre ASP	Categoría	Cód. Subsubcuencas	Área SSC	Área ASP	% por ASP
Alerce Andino	Parque Nacional	10441-10443	220,1	390,0	44,7
Altos de Pemehue	Reserva Nacional	8317-8313-8312-8340-8331	434,5	183,5	100,0
Bernardo O'Higgins	Parque Nacional	12287-12289	699,2	38962,2	0,6
Carlos Anwandter Sanctuary	Ramsar Site, Wetland of International Importance	10138-10139	365,2	48,7	50,7
Cerro Castillo	Parque Nacional	11332-11313-11331-11312-11330	426,1	1349,2	62,7
China Muerta	Reserva Forestal	8300-9400	618,9	85,3	45,2
Conquillío	Parque Nacional	8304-8300-9120-9400-9130-8304	463,6	586,3	65,0
Corcovado	Parque Nacional	10711-10713-10710-11023-11024	497,0	2955,2	20,5
Coyhaique	Reserva Forestal	11316-11316	361,4	26,7	100,0
Dos Lagunas	Monumento Natural	11316	645,9	2,1	100,0
Futaleufú	Reserva Nacional	10702	339,8	130,9	98,8
Lago Carlota	Reserva Forestal	11141-11143	524,0	269,8	61,4
Lago Las Torres	Reserva Forestal	11144	652,2	163,2	99,0
Lago Palena	Reserva Forestal	11020-11022-11035	781,4	385,5	20,0
Lago Rosselot	Reserva Forestal	11034-11035-11041	609,9	124,6	100,0
Laguna del Laja	Parque Nacional	8371-8376	207,9	159,6	35,6
Laguna San Rafael	Parque Nacional	11515-11516-11539-11542-11548-11549	456,2	16935,3	8,3
Llanquihue	Reserva Forestal	10410-10443	1566,7	365,0	17,2
Malalcahuello	Reserva Forestal	8304-9120-9122	463,6	136,5	99,7
Malleco	Reserva Forestal	8340	338,5	161,0	49,5
Melimoyu	Parque Nacional	11041-11042-11043	410,5	1054,6	23,8
Mocho - Choshuenco	Reserva Nacional	10101-10104-10110-10301-10305	71,1	76,6	100,0
Nalcas	Reserva Forestal	8304-9120-9122	463,6	203,3	0,9
Patagonia	Parque Nacional	11520-11521-11522-11534-11535-11536-11539	1275,9	3025,5	95,6
Pitipalena-Añihue	Área Marina Costera Protegida	11043	410,5	237,0	10,9
Pumalín Douglas Tompkins	Parque Nacional	10701-10703-10704-10711	497,0	4024,6	15,1
Puyehue	Parque Nacional	10307-10322-10323-10454	1012,9	1153,0	22,2
Queulat	Parque Nacional	11042-11034-11041-11033-11031-11130	271,4	1585,9	92,9



Nombre ASP	Categoría	Cód. Subsubcuencas	Área SSC	Área ASP	% por ASP
Radal Siete Tazas	Parque Nacional	7370	389,5	41,5	100,0
Radal Siete Tazas	Reserva Nacional	7370	389,5	9,5	100,0
Ralco	Reserva Nacional	8308-8312-8313	303,8	128,8	100,0
Río Cruces y Chorocomayo	Santuario de la Naturaleza	10138-10139	365,2	48,8	59,4
Río Simpsons	Reserva Nacional	11308-11307-11317-11318-11315-11332-11337	447,0	407,0	100,0
Seno Almirantazgo	Área Marina Costera Protegida	12825	491,7	764,3	0,8
Torres del Paine	Parque Nacional	12282-12283-12287-12286-12289	1782,2	2050,6	47,4
Tortel	Área Marina Costera Protegida	11549	519,1	6703,2	0,041
Trapananda	Reserva Nacional	11302	673,7	23,0	100,0
Vicente Pérez Rosales	Parque Nacional	10410-10454	1566,7	2269,8	40,1
Villarrica	Reserva Forestal	9405-9420-9418-9414-9412	560,9	443,9	94,3
Villarrica	Parque Nacional	9420-9418-9414-9412-9421-10105	496,8	532,8	91,4
Yendegaia	Parque Nacional	12825	491,7	1508,1	12,4



**Figura 7.** Distribuci3n espacial de las áreas silvestres protegidas y el solapamiento con áreas declaradas riesgo de plaga y plaga en la resoluci3n exenta 1854/2022.

Como es posible observar, las áreas solapadas se distribuyen en toda la extensi3n territorial que abarca el monitoreo, aunque se concentra de mayor manera en la zona sur. Lo cual genera preocupaci3n al existir gran cantidad de ríos contaminados con la plaga, por lo que se debe generar coordinaci3n entre todos los actores territoriales de las zonas que se vean afectadas por la plaga aunando esfuerzos para lograr contener y/o evitar su dispersi3n, ya que las áreas no declaradas adyacentes a las que sí lo est3n, se enfrentan a un incremento en el riesgo de invasi3n de *D. geminata*.



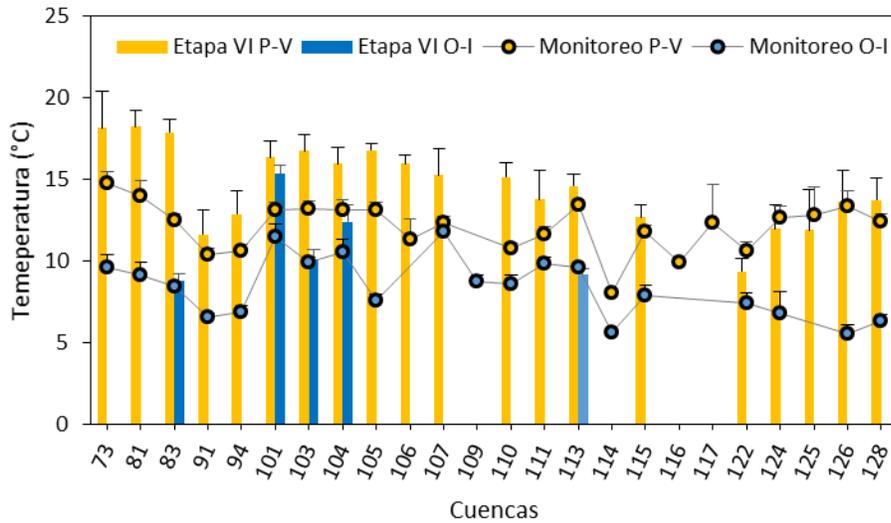
### 6.1.2 Caracterización de las variables ambientales en el área de estudio

Con la finalidad de conocer los patrones espaciales de las variables ambientales para evaluar, posteriormente, su relación con las microalgas bentónicas y específicamente con *Didymo*, se realizaron análisis descriptivos y multivariados, incluyendo análisis exploratorios de ordenamiento espacial de las estaciones. Para identificar las variables asociadas a la dispersión y colonización de *D. geminata* se obtuvieron datos midiendo *in situ* en la columna de agua y a través de análisis de laboratorio y, además, a partir de la descripción cualitativa del hábitat fluvial y ribereño en cada una de las estaciones. Se registraron 19 variables ambientales durante las campañas de la Etapa VI: temperatura (°C), pH, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos disueltos totales (ppm), saturación de Oxígeno (%) y concentración de Oxígeno (mg/L), altitud (m), profundidad máxima (m) y velocidad de la corriente (m/s) en tres profundidades (al 20, 60 y 80% de la profundidad máxima) y en dos sitios distintos (sitio de muestreo de fitoplancton y fitobentos), las cuales fueron medidas *in situ*; Ca (mg/L),  $\text{PO}_4$  (mg/L), P T (mg/L), Fe (mg/L),  $\text{NO}_3$  (mg/L),  $\text{NO}_2$  (mg/L), NT (mg/L), NKT (mg/L), Si (mg/L) y Turbidez (NTU) fueron analizadas en laboratorio.

#### Patrones en variables determinadas *in situ* y en laboratorio obtenidas a partir del muestreo realizado en la Etapa VI

Primero que todo, se debe tomar en consideración que en los siguientes resultados se descartaron estaciones que no contaran con la característica general de río, por lo tanto, no se incluyeron datos de estaciones estuarinas, lagos y desagües de lagos con el fin de evitar puntos atípicos que impidieran visualizar tendencias generales de los ríos muestreados.

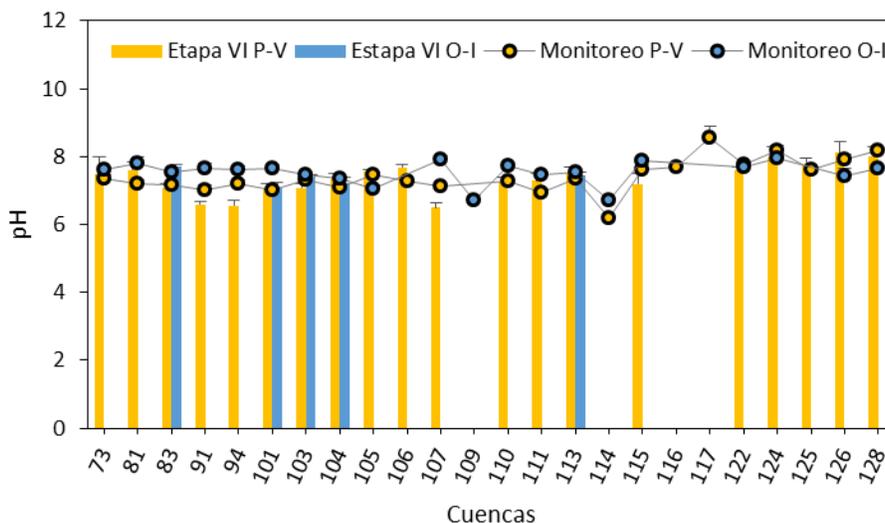
En términos generales, no se evidenciaron patrones espaciales relevantes en relación a las variables físico-químicas que fueron medidas *in situ*, sin embargo, se observaron patrones esperables en la temperatura, donde la época de primavera-verano fue la más cálida tanto para la presente etapa como para los datos histórico y en todo el territorio en estudio. Para la presente etapa, en época de primavera-verano se observa que, la temperatura disminuye hacia la zona austral, mientras que para la época de otoño-invierno no se aprecia una tendencia clara para esta variable. Cabe mencionar que la temperatura promedio obtenida durante todo el monitoreo es menor a la temperatura promedio por cuenca encontrada en la presente etapa.



**Figura 8.** Variaci3n ponderada de la raiz cuadrada de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la raiz cuadrada de la temperatura por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y otoño-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se señaala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.



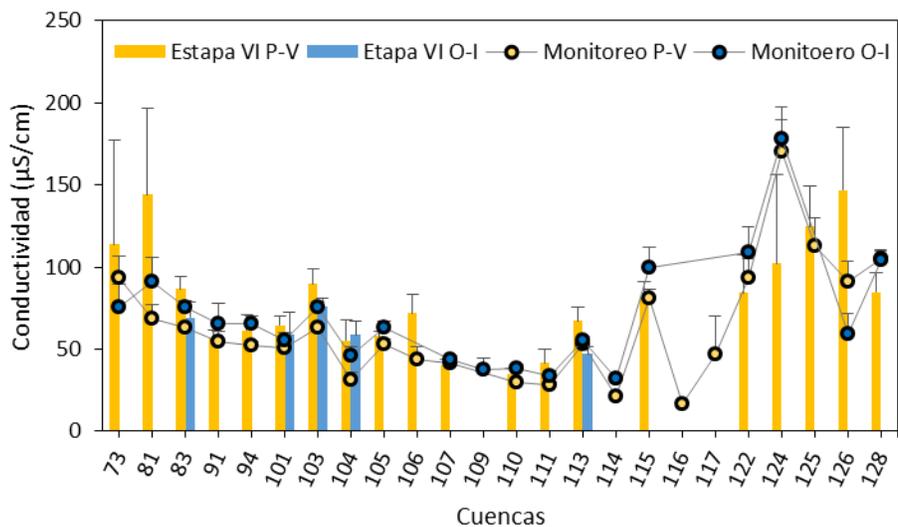
Para el caso del pH, se aprecia una tendencia clara a permanecer entre los valores de pH de 7,5 y 8 para las cuencas muestreadas tanto para la presente etapa como para los datos obtenidos a lo largo del monitoreo. Los datos promedio m1s alto corresponden a dos puntos muestreados a la cuenca 117 del R1o Pascua durante el a1o 2021, mientras que los valores m1s altos corresponden a las estaciones denominadas Le3n y Azopardo donde el pH alcanz3 valores de 12,26 y 9,74, respectivamente y, los valores m1s bajos corresponden a las estaciones Polcura, Ruc1e B, Quill3n, Fuy, Flor1n, Cisnes 03 y Cisnes-Moro todos con valor de pH de 5,7 y pertenecientes a la etapa V.



**Figura 9.** Variaci3n ponderada de la raiz cuadrada del pH obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y oto1o-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la raiz cuadrada del pH por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c1rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c1rculos amarillos) y oto1o-invierno (c1rculos azules). Para cada serie de datos se se1ala el error est1ndar perteneciente a cada cuenca.



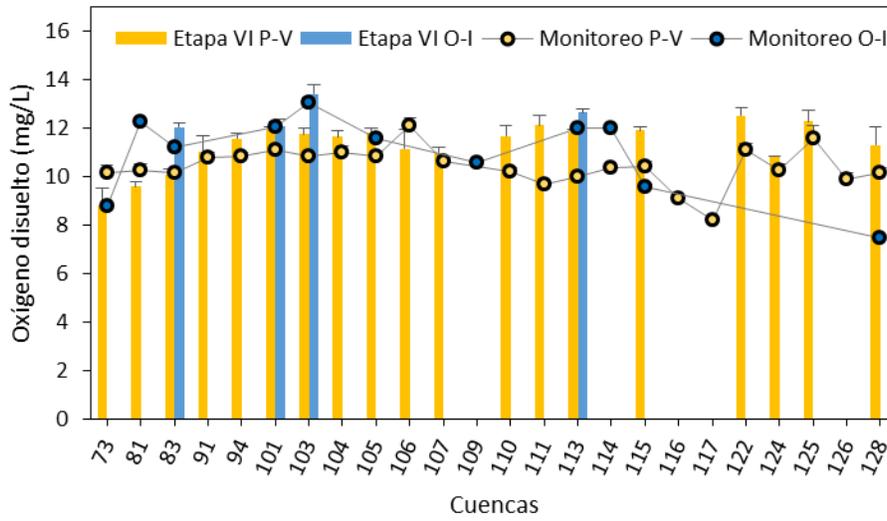
Si bien, la conductividad y los s3lidos totales disueltos son par3metros que se obtienen como parte de las variables medida *in situ*, solo se mostraron los resultados de la conductividad dado que ambos par3metros se encuentran relacionadas en sus valores. La conductividad muestra una tendencia general de mayores concentraciones promedio por cuenca en aquellas pertenecientes a la zona centro-sur y austral de nuestro pa3s. Si bien, las cuencas se3aladas anteriormente son las de mayor valor, tambi3n son las que cuentan con un mayor error est3ndar, mostrando as3, la heterogeneidad de la conductividad de los sitios muestreados en una misma cuenca. Se aprecia, adem3s, que no existe diferencia evidente entre ambas 3pocas muestreadas tanto para los datos de la presente etapa, como para los datos consolidados del monitoreo.



**Figura 10.** Variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de la Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y oto3o-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de la conductividad por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y oto3o-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se se3ala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.



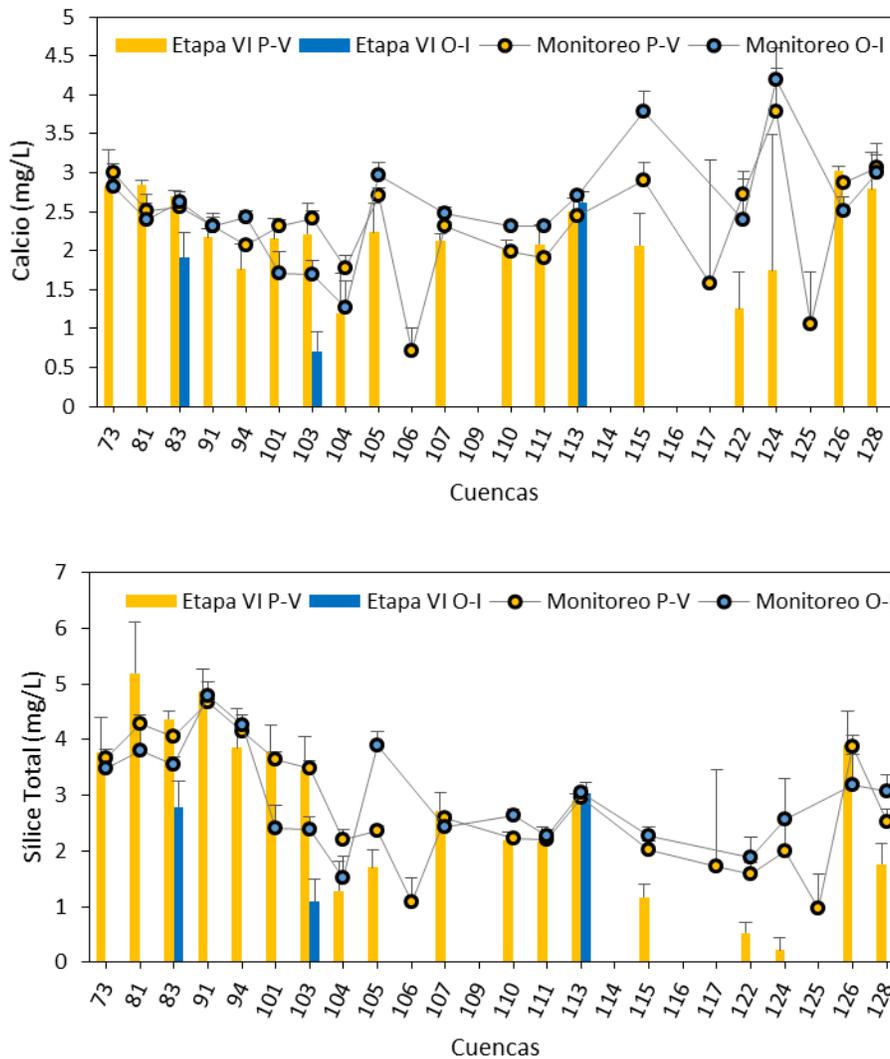
En cuanto al oxígeno (mg/L), se aprecia que de forma histórica las cuencas 116 Costeras e Islas entre R. Baker y R. Pascua y 117 Río Pascua cuentan con menor concentraci3n de oxígeno, pero en términos generales no se aprecia una tendencia en toda el área de estudio. Para el caso de la etapa, se observa que las cuencas que se encuentran en la zona centro-sur presentaron menor concentraci3n de oxígeno que el resto de las cuencas. Además, se visualiza que tanto en los datos histórico y los que pertenecen a la presente etapa, la concentraci3n promedio por cuenca en la época de primavera verano es menor que la de invierno.



**Figura 11.** Variaci3n ponderada de la raíz cuadrada del oxígeno disuelto (mg/L) obtenida en la presente etapa (barras) en la época de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la Variaci3n ponderada de la raíz cuadrada del oxígeno por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (círculos) para las épocas de primavera-verano (círculos amarillos) y otoño-invierno (círculos azules). Para cada serie de datos se señala el error estándar perteneciente a cada cuenca.



Los resultados de los an3lisis de calcio mostraron que esta variable present3 una tendencia general a tener mayor concentraci3n en la zona austral para los datos consolidados, mientras que en la presente etapa se aprecia que las concentraciones son mayores en las cuencas de la zona centro-sur y australes del pa3s. En t3rminos de la estacionalidad, no se visualiza una tendencia clara en los datos consolidados y de la presente etapa. La s3lice total (mg/L) muestra una tendencia inversa a la que presenta el calcio, observ3ndose que las mayores concentraciones se encuentran en la zona centro-sur del pa3s, resaltando en la zona austral la cuenca 126 Vertiente del Atl3ntico, tanto para los datos obtenidos en el monitoreo como en la etapa VI.



**Figura 12.** Variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de Calcio (mg/L) y S3lice (mg/L) obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y o3to-o-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de ambos analitos por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y o3to-o-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se se3ala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.

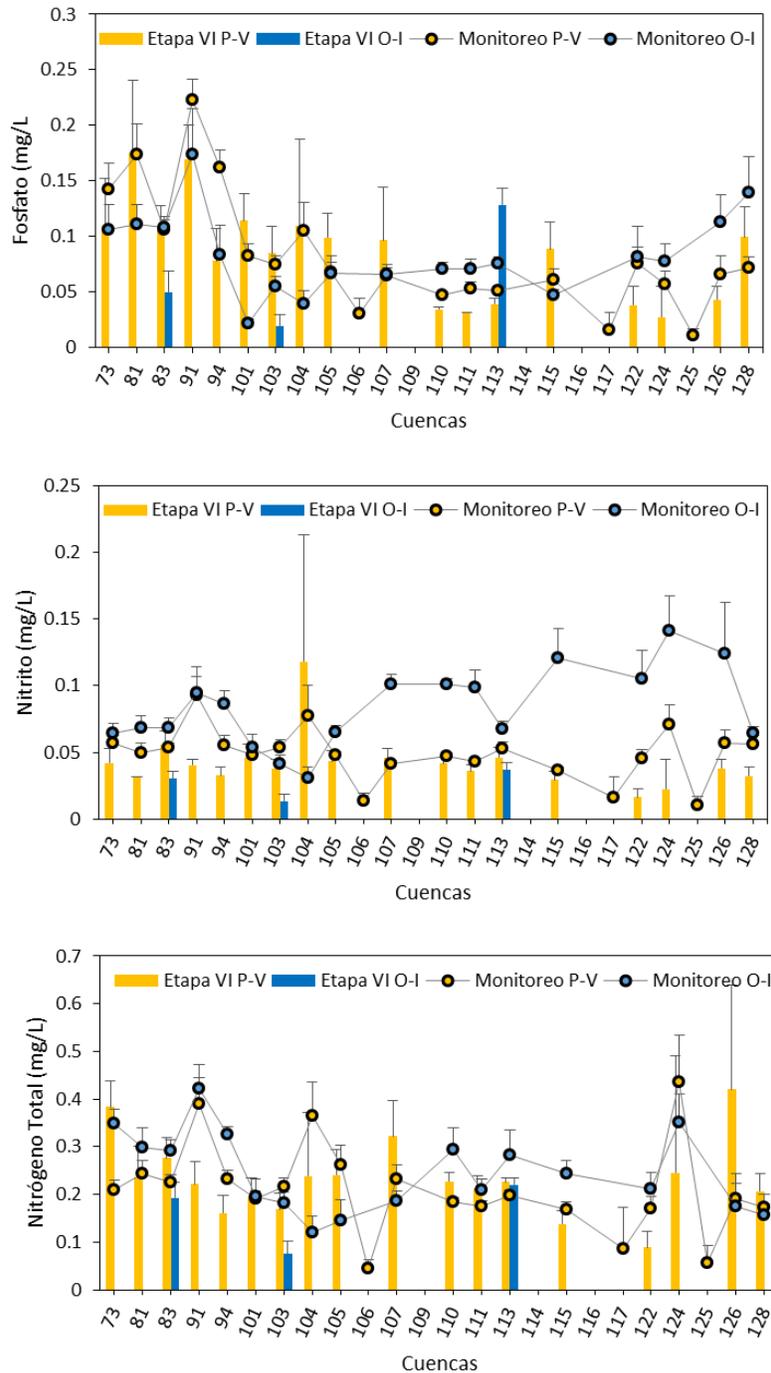


Parte de la batería de compuestos que se analizan en laboratorio para determinar sus concentraciones en cada sitio de muestreo, se encuentran compuestos que contienen fósforo en su estructura y corresponden al Fosfato y el Fósforo Total. Sin embargo, se mostraron los resultados del Fosfato, dado que ambos tienen tendencias semejantes y por medio de la literatura, este compuesto se correlaciona con la presencia de *Didymo*. Para el caso de los compuestos que contienen Nitrógeno en su estructura, se determina la concentración del Nitrito, Nitrato, Nitrógeno Kjeldahl y Nitrógeno Total, pero se mostraron los resultados del Nitrógeno Total y Nitrito, ya que presentan patrones diferidos en sus concentraciones promedio por cuenca.

Para el caso del Fosfato, los datos históricos mostraron que las mayores concentraciones se encuentran en las cuencas de la zona centro-sur del país. Además, se observa que, en estas cuencas, las concentraciones históricas son mayores en primavera-verano que en otoño-invierno, pero este patrón se invierte en las cuencas de la zona sur y austral del país, mostrando mayores concentraciones durante el otoño-invierno que en primavera-verano. Para los datos obtenidos durante la presente etapa, se aprecia que existen mayores concentraciones para las cuencas de la zona centro-sur y que las concentraciones para las cuencas 83 Biobío y 103 Bueno son mayores para primavera-verano que en otoño-invierno, mientras que en la cuenca 113 Aisén la concentración es mayor en otoño-invierno que en primavera-verano.

Para el caso del Nitrito, se aprecia que, en términos históricos, las mayores concentraciones se encontraron en las cuencas sur y austral del país y que predominan mayores concentraciones en la época de otoño-invierno que en primavera-verano para las zonas anteriormente señaladas. En el caso de los datos de la presente Etapa, mostraron que no existe una tendencia evidente en toda el área de estudio, pero destaca la cuenca 104 Cuencas e Islas entre Bueno y Puelo, donde la estación Rollizo A muestra altos valores de nutrientes y error estándar asociado.

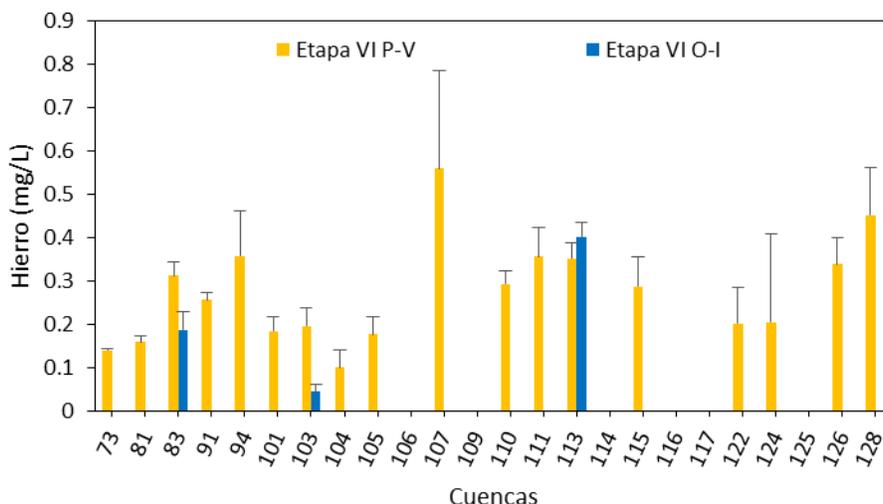
El Nitrógeno Total no mostró una tendencia clara en términos de los datos históricos recopilados durante el monitoreo, sin embargo, se aprecian valores y errores estándar altos para los períodos de primavera-verano y otoño-invierno en las cuencas 91 Imperial y 124 Costeras e Islas entre Hollemberg. Por otro lado, en los datos obtenidos durante la presente Etapa tampoco se evidencia una tendencia clara, pero se observan altas concentraciones y error estándar en la cuenca 126 Vertiente del Atlántico, siendo la estación denominada Rubens la que proporcionó altos niveles de Nitrógeno Total, con concentración de 0.64 mg/L.



**Figura 13.** Variaci3n ponderada de la raiz cuadrada de Fosfato (mg/L), Nitrato (mg/L) y Nitr3geno Total (mg/L) obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y otoño-invierno (barras azules), y la variaci3n ponderada de la raiz cuadrada de cada analito por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y otoño-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se señaala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.



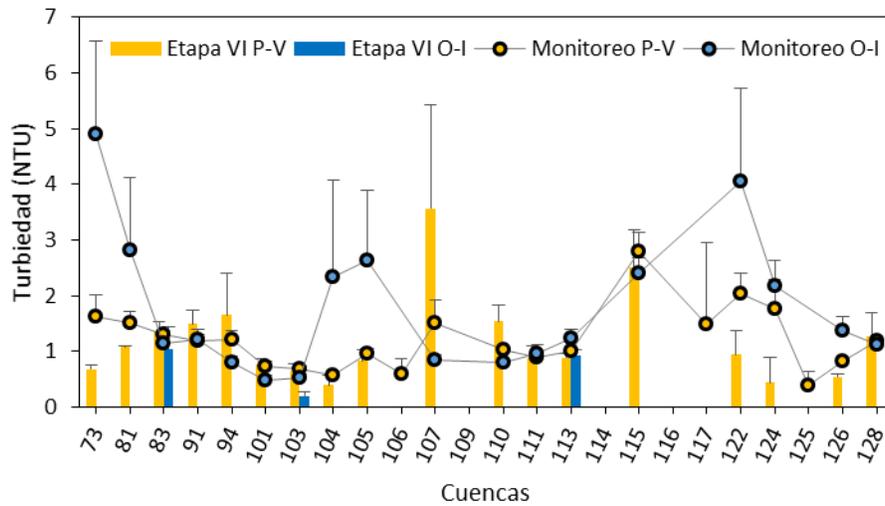
El Hierro no mostr3 una tendencia clara en el 1rea de estudio, pero se logra visualizar bajas concentraciones en las cuencas que se encuentran entre las regiones del Maule y Los R3os, exceptuando las cuencas 83 Biob3o y 94 Toltn. En t3rminos estacionales, solo se logra visualizar que en las cuencas 83 Biob3o y 103 Bueno son las cuencas que en el periodo de oto3o-invierno, mientras que para la cuenca 133 Ais3n en el periodo de oto3o-invierno presenta mayor concentraci3n que en el periodo de primavera-verano.



**Figura 14.** Variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de Hierro (mg/L) obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y oto3o-invierno (barras azules). Para cada serie de datos se se3ala el error est1ndar perteneciente a cada cuenca.



Por 3ltimo, la Turbidez mostr3 que en t3rminos hist3ricos no existe una tendencia espacial clara, sin embargo, se aprecia una diferencia importante en al menos 6 cuencas, donde los valores obtenidos en la 3poca de oto3o-invierno son mayores a las de primavera-verano. Consecuentemente, estos peak presentan tambi3n, un alto valor en el error est3ndar. En t3rminos de los valores obtenidos en la presente campaa se observa existen mayores concentraciones en la zona sur, siendo la cuenca 107 Yelcho la que presenta mayor valor promedio de NTU y consecuentemente, un alto valor de error est3ndar.



**Figura 15.** Variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada de Turbiedad (NTU) obtenida en la presente etapa (barras) en la 3poca de primavera-verano (barras amarillas) y oto3o-invierno (barras azules), y variaci3n ponderada de la ra3z cuadrada por cuenca obtenida a lo largo del monitoreo (c3rculos) para las 3pocas de primavera-verano (c3rculos amarillos) y oto3o-invierno (c3rculos azules). Para cada serie de datos se se3ala el error est3ndar perteneciente a cada cuenca.



### 6.1.3 Conocer las variables que favorecen la dispersión y permanencia de *Didymosphenia geminata* en los ríos chilenos

En este objetivo se estudiaron las relaciones entre las variables físico-químicas y las comunidades de diatomeas fluviales invadidas por *Didymo*. En primer lugar, se describieron detalladamente las estaciones de monitoreo en base a las variables ambientales cuantificadas, luego se describen los patrones espaciales generales de la distribución de diatomeas bentónicas. En ambos tipos de variables, usando Análisis de Similitud (ANOSIM), se puso a prueba el efecto de los factores “Cuenca”, “Zona”, “Época”, “Categoría” que corresponde a una clasificación de las estaciones de acuerdo a las densidades de *Didymo* registradas y “Dg (+/-)” que es un factor binario que representa la presencia/ausencia de la especie plaga *D. geminata*, utilizando análisis de similitud (ANOSIM), principalmente. Los análisis fueron realizados en dos escalas espaciales distintas dada la extensión del área de monitoreo que, naturalmente, tiene una amplia heterogeneidad ambiental. Los análisis iniciaron con un enfoque espacial a macro escala para describir patrones generales, llegando hasta análisis enfocados en grupos de cuencas incluidos en tres zonas geográficas que fueron definidas con anterioridad: Zona Norte (73 a 104, con 8 cuencas), Sur (105 a 115, con 6 cuencas) y Austral (122 a 128, con 4 cuencas), en base a la estructura y composición de especies del ensamble de diatomeas.

#### **Análisis multivariados de los ensambles de diatomeas bentónicas en una escala espacial regional, época y Dg (+/-)**

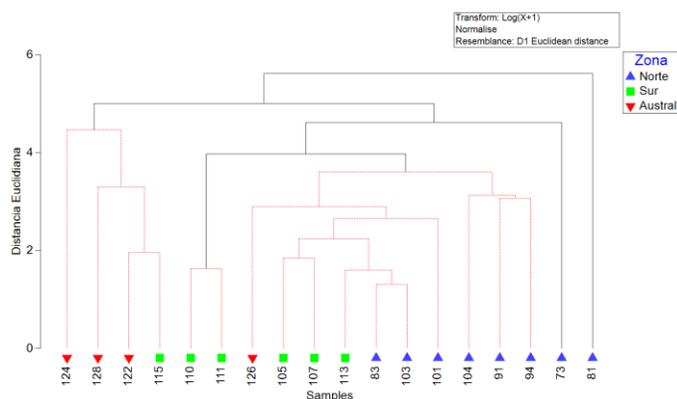
En este objetivo se estudiaron las relaciones entre las variables físico-químicas y las comunidades de diatomeas fluviales invadidas por *Didymo*. En primer lugar, se describieron detalladamente las estaciones de monitoreo en base a las variables ambientales cuantificadas, luego se describen los patrones espaciales generales de la distribución de diatomeas bentónicas. En ambos tipos de variables, usando Análisis de Similitud (ANOSIM), se puso a prueba el efecto de los factores “Cuenca”, “Zona”, “Época”, “Categoría” que corresponde a una clasificación de las estaciones de acuerdo a las densidades de *Didymo* registradas y “Dg (+/-)” que es un factor binario que representa la presencia/ausencia de la especie plaga *D. geminata*, utilizando análisis de similitud (ANOSIM), principalmente. Los análisis fueron realizados en dos escalas espaciales distintas dada la extensión del área de monitoreo que, naturalmente, tiene una amplia heterogeneidad ambiental. Los análisis iniciaron con un enfoque espacial a macro escala para describir patrones generales, llegando hasta análisis enfocados en grupos de cuencas incluidos en tres zonas geográficas que fueron definidas con anterioridad: Zona Norte (73 a 104, con 8 cuencas), Sur (105 a 115, con 6 cuencas) y Austral (122 a 128, con 4 cuencas), en base a la estructura y composición de especies del ensamble de diatomeas.

#### **Análisis multivariados físico-químicos fluviales en una macro escala espacial**

A partir de una matriz de variables por estación de muestreo debidamente transformada y normalizada, se elaboró una matriz correspondiente a la media de cada variable ambiental por cuenca para la cual se calculó, posteriormente, una matriz de distancia euclidiana. En términos generales, los análisis multivariados mostraron una estructuración espacial moderada de las estaciones de monitoreo agrupadas por Zona. La rutina ANOSIM permitió determinar que existen diferencias significativas entre las tres zonas latitudinales incorporadas como factor (Norte, Sur, Austral). Se encontró un valor global de  $R=0,379$ ;  $p=0,1\%$ , donde las tres comparaciones pareadas entre zonas fueron significativas, mostrando un valor de  $R=0,295$  ( $p=0,7\%$ ) para la Zona Norte/Zona Sur, un valor de  $R=0,528$  ( $p=0,8\%$ ) para la Zona Norte/Zona Austral y un valor de  $R=0,409$  ( $p=1,4\%$ ) para la Zona Sur/Zona Austral. La segregación espacial de las zonas puede ser visualizada (figura 16) a través de un



dendrograma que ordena los grupos de acuerdo a la distancia existente entre ellos y que identifica los grupos estadisticamente significativos. En esta figura es posible apreciar que, si bien, existe una cierta estructuraci3n latitudinal, la ordenaci3n de las cuencas no reflejan exactamente las zonas latitudinales puestas a prueba. De derecha a izquierda, se aprecia que las cuencas Maule (73) (A) e Itata (81) (B) no forman parte de alguna agrupaci3n y aparecen en dos ramas independientes. Adem3s, se reconoce un gran grupo (C) que reune a 10 de las cuencas estudiadas donde se encuentran todas las cuencas restantes de la Zona Norte, entre Biobio (83) hasta Costeras e Islas entre Bueno y Puelo (104); tres cuencas de la Zona Sur, que fueron Puelo (105), Yelcho (107) y Ays3n (113) y una cuenca de la Zona Austral. Luego se encontr3 la agrupaci3n (D) de las cuencas del Palena (110) y r3o Cisnes (111). El 3ltimo grupo (E) reune a las tres cuencas restantes de la Zona Austral y una cuenca de la Zona Sur (r3o Baker, 115).



**Figura 16.** Dendrograma de las variables limnol3gicas promedio registradas entre las Etapas I y VI a trav3s del 3rea de estudio total diferenciando las tres zonas geogr3ficas a la que corresponde cada cuenca. Los n3meros sobre cada figura representan los c3digos de las cuencas, seg3n el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobio, 91: Imperial, 94: Tolt3n, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n, 113: Ais3n, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atl3ntico y 128: Tierra del Fuego.

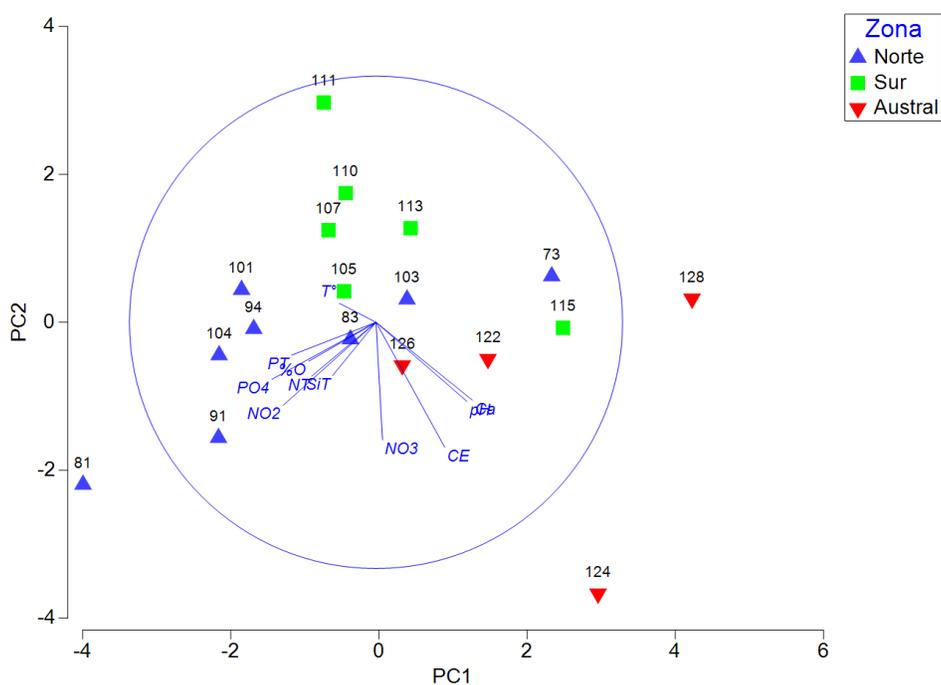
La identificaci3n de variables relevantes en la estructuraci3n de las estaciones de monitoreo en el espacio multidimensional fue realizada empleando un An3lisis de Componentes Principales (PCA) de manera de poder contar con informaci3n acerca de las correlaciones de las variables con los respectivos componentes principales (CP). En la figura 17 se muestra un PCA que incluye la magnitud, sentido y direcci3n de los vectores que corresponden a las variables ambientales que fueron analizadas. De acuerdo a la tabla 1.1, los tres primeros componentes principales explican un 76,3% de la variabilidad de la informaci3n, alcanzando un m3ximo de 91,3% de la variaci3n acumulada para cinco componentes principales.

Seg3n la tabla 5, el CP1 se encuentra correlacionado mayormente con el pH, calcio, fosfato, f3sforo y nitrato con valores de correlaci3n  $r > 0,3$ . En la figura 17 se puede apreciar que las cuencas del Maule (73, Grupo A) y aquellas m3s australes dentro del 3rea de monitoreo, desde la cuenca del r3o Baker (115) y Tierra del Fuego (128), excepto la cuenca 126 (Grupo D), se caracterizan por presentar elevados valores de pH y calcio, y por otro lado por bajos valores de f3sforo, fosfato y nitrato. Al contrario, en las cuencas del Biobio (Grupo B), la



mayoría de las cuencas de la Zona Norte y Sur, se encontrarían menores valores de pH y Calcio pero mayores concentraciones de nutrientes como fósforo, fósforo y nitrato.

En el caso del CP2, los mayores valores de correlación estuvieron dados por el pH ( $r=-0,321$ ), conductividad ( $r=-0,508$ ), calcio ( $r=-0,317$ ), nitrato ( $r=-0,478$ ) y nitrito ( $r=-0,336$ ) (tabla 1.2). Del mismo modo, es posible observar que las cuencas de la Zona Norte, excepto Maule (73), Valdivia (101) y Bueno (103), y cuenca del río Hollelberg (124) de la Zona Austral, son aquellas que presentan los mayores valores de pH, conductividad, calcio, nitrato y nitrito (figura 1.2). Para el CP3 destaca la relación con la temperatura ( $r=-0,546$ ), el oxígeno ( $r=-0,471$ ) y el sílice ( $r=-0,463$ ), mientras que en los componentes CP4 y CP5 las correlaciones más altas ocurrieron con el fósforo total, nitrato, temperatura, nitrógeno total y sílice (tabla 5).



**Figura 17.** Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables limnológicas registradas entre las Etapas I y VI por cuenca a través del área de estudio total diferenciando las tres zonas geográficas. Los números sobre cada figura representan los códigos de las cuencas, según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.



**Tabla 4.** Eigenvalues resultantes del PCA (figura 27) realizado con los datos ambientales obtenidos en las Etapas I a V. Para cada CP se indican los eigenvalues, el % de variación explicado individualmente y el % de variación acumulado.

PC	Eigenvalues	% de variación	% de variación acumulado
1	4,35	39,6	39,6
2	2,21	20,1	59,7
3	1,83	16,7	76,3
4	0,919	8,4	84,7
5	0,732	6,7	91,3

**Tabla 5.** Coeficientes de las combinaciones lineales de las variables correspondientes a los cinco Componentes Principales (PC). Se destacan en negra las correlaciones mayores a 0,3 ( $r > 0,3$ ).

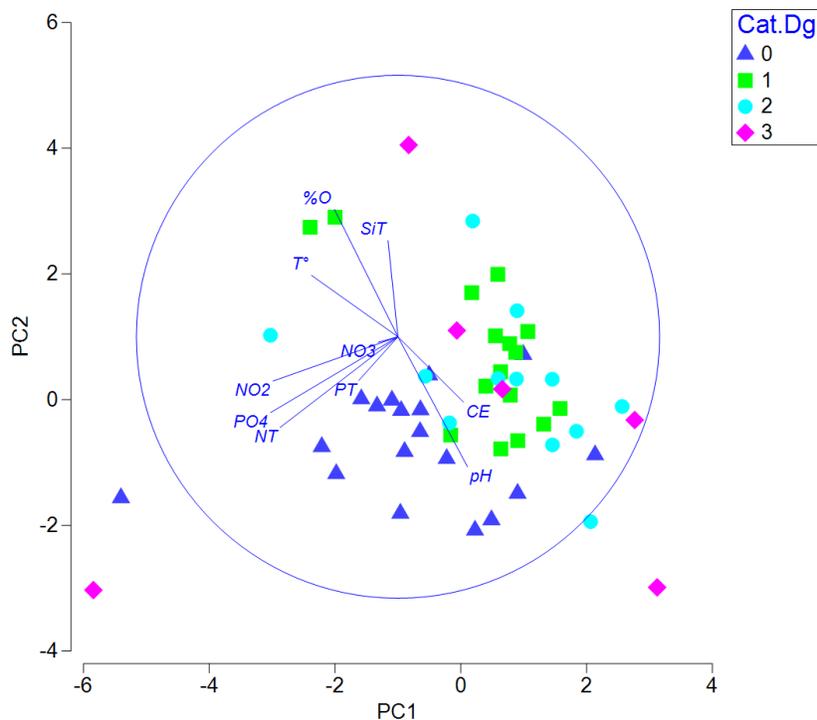
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatura (°C)	-0,149	0,077	<b>-0,546</b>	0,15	<b>-0,573</b>
pH	<b>0,369</b>	<b>-0,321</b>	0,113	0,161	-0,224
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0,279	<b>-0,508</b>	-0,122	0,239	0,011
Oxígeno disuelto (mg/L)	-0,272	-0,158	<b>-0,471</b>	-0,024	-0,251
Calcio (mg/L)	<b>0,391</b>	<b>-0,317</b>	0,005	0,254	-0,126
Fosfato (mg/L $\text{PO}_4$ )	<b>-0,422</b>	-0,232	0,138	0,212	0,014
Fósforo Total (mg/L)	<b>-0,343</b>	-0,134	0,21	<b>0,525</b>	0,079
Nitrato (mg/L $\text{NO}_3$ )	0,026	<b>-0,478</b>	-0,101	<b>-0,617</b>	0,111
Nitrito (mg/L $\text{NO}_2$ )	<b>-0,376</b>	<b>-0,336</b>	0,204	0,04	0,039
Nitrógeno Total (mg/L)	-0,26	-0,218	<b>0,35</b>	<b>-0,357</b>	<b>-0,457</b>
Sílice Total (mg/L Si T)	-0,176	-0,217	<b>-0,463</b>	0,009	<b>0,56</b>

### ***Análisis multivariados físico-químicos fluviales en una escala espacial regional, sumando época y presencia de *Didymo*.***

Posteriormente, se trabajó con una matriz de la media de las variables por Cuenca+Categoría que fue transformada y normalizada para realizar análisis de componentes principales (PCA) y para originar una matriz de distancia euclidiana que constituyó la base de las rutinas multivariadas. Se encontró una estructuración espacial significativa de los grupos de estaciones, basada en una selección de variables ambientales. Se observaron diferencias significativas entre las zonas latitudinales incorporadas como factor ( $R=0,163$ ;  $p=0,3\%$ ), con comparaciones pareadas significativas ( $<5\%$ ) y encontraron diferencias significativas debidas al factor Cuenca ( $R=0,188$ ;  $p=0,1\%$ ) sugiriendo un efecto débil debido a los factores espaciales. Además, se encontraron diferencias significativas en relación a las distintas categorías de crecimiento de *D. geminata* con  $R=0,314$ ;  $p=0,1\%$ . El factor Dg(+/-) no reveló diferencias significativas entre los grupos de estaciones. ANOSIM cruzado entre Categoría y Cuenca reveló diferencias significativas entre los grupos de categorías a través de los grupos de cuencas ( $R=0,581$  y  $p=0,2\%$ ) y entre los grupos de cuencas a través de las categorías ( $R=0,185$ ;  $p=0,185$ ). Del mismo modo, se obtuvo diferencias significativas entre los grupos de categorías y a través de los grupos de zonas ( $R=0,433$ ;  $p=0,1\%$ ) y entre los grupos de zonas a través de las categorías ( $R=0,273$ ;  $p=0,1\%$ ).



Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) en la matriz normalizada mencionada anteriormente, y se evaluaron las correlaciones existentes entre las variables ambientales y los componentes principales, y las características de los vectores que representan a las variables ambientales. En la figura 18 se muestra un PCA general para toda el área de monitoreo, cuyos vectores se proyectan sobre las estaciones agrupadas por Cuenca+Categoría, reflejando los resultados del ANOSIM que fue detallado en el párrafo anterior. De acuerdo a la tabla 6, los tres primeros componentes principales explican un 67,4% de la variabilidad de la información, alcanzando un máximo de 85% de la variación acumulada con 5 componentes principales. Según la tabla 7, el CP1 se encuentra correlacionado principalmente con la temperatura, fósforo, nitrato, y nitrógeno total, mientras que el CP2 aparece correlacionado esencialmente con el pH, oxígeno, nitrógeno total y sílice. Hacia la derecha de la figura 18 es posible ver que las estaciones la gran mayoría de las estaciones que presentaron Didymo se encuentran hacia la derecha del PCA donde se apreciaron menores valores para la temperatura menores concentraciones para los nutrientes que se encuentran mayormente correlacionados con el CP1, mientras que hacia la izquierda se encontraron las estaciones libres de Didymo, con algunas excepciones de distintas cuencas y categorías.



**Figura 18.** Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables limnológicas registradas entre las Etapas I y VI por cuenca+categoría a través del área de estudio total. Los colores representan las cuatro categorías de crecimiento de Didymo.



**Tabla 6.** Eigenvalues resultantes del PCA (Figura 18) realizado con los datos ambientales obtenidos en las Etapas I a V. Para cada uno de los Componentes Principales se indican los eigenvalues, % de variaci3n explicado individualmente y el % de variaci3n explicado acumulado.

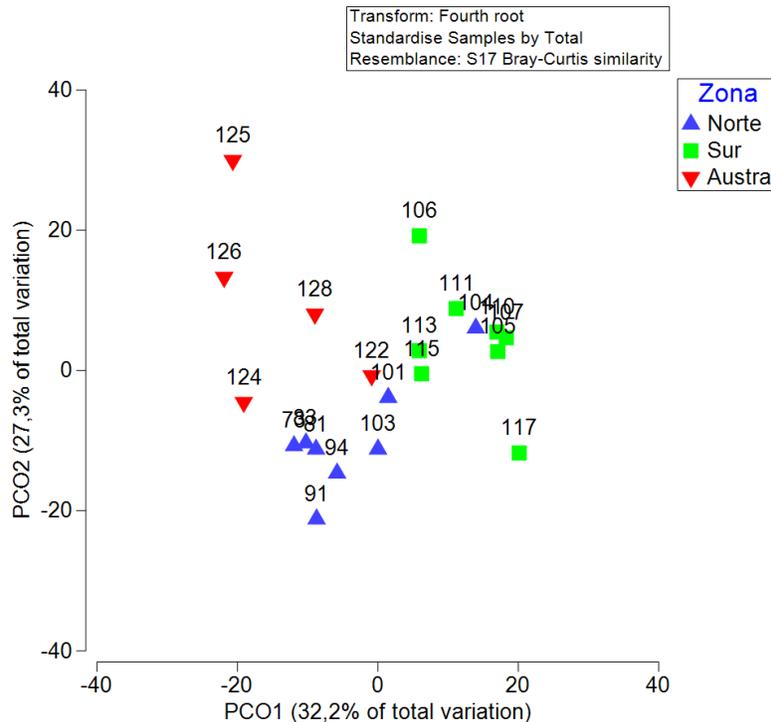
PC	Eigenvalues	% de variaci3n	% de variaci3n acumulado
1	3,06	30,6	30,6
2	1,99	19,9	50,5
3	1,69	16,9	67,4
4	1	10	77,5
5	0,75	7,5	85

**Tabla 7.** Coeficientes de las combinaciones lineales de las variables correspondientes a cada uno de los cinco Componentes Principales. Se destacan en negrita las correlaciones mayores a 0,3 ( $r > 0,3$ ).

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatura (°C)	<b>-0,331</b>	0,235	-0,09	0,107	<b>-0,794</b>
pH	0,266	<b>-0,497</b>	-0,006	0,031	-0,181
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0,251	-0,25	<b>0,542</b>	-0,1	-0,212
Oxigeno disuelto (%)	-0,243	<b>0,488</b>	0,115	-0,213	-0,073
Fosfato ( $\text{mg}/\text{L PO}_4$ )	<b>-0,487</b>	-0,29	0,014	-0,119	0,117
F3sforo Total ( $\text{mg}/\text{L}$ )	-0,15	-0,167	<b>0,532</b>	<b>-0,416</b>	-0,246
Nitrato ( $\text{mg}/\text{L NO}_3$ )	-0,076	-0,021	<b>0,344</b>	<b>0,859</b>	-0,076
Nitrito ( $\text{mg}/\text{L NO}_2$ )	<b>-0,478</b>	-0,169	0,025	0,073	0,228
Nitr3geno Total ( $\text{mg}/\text{L}$ )	<b>-0,451</b>	<b>-0,347</b>	-0,018	0,043	0,091
Silice Total ( $\text{mg}/\text{L Si T}$ )	-0,038	<b>0,368</b>	<b>0,531</b>	0,028	<b>0,381</b>

### **Patrones multivariados de los ensambles de diatomeas bent3nicas en una escala espacial regional**

El resultado del an3lisis de la distribuci3n espacial de la composici3n de especies y densidad de diatomeas indic3 que existe una estructuraci3n espacial significativa. Las densidades fueron promediadas por cuenca, se construy3 una matriz de similitudes y luego se puso a prueba el factor "Zona" con tres niveles para agrupar a las cuencas en la zona "Norte", "Sur" y "Austral" y visualizarlas espacialmente en un gradiente latitudinal. La figura 19 muestra que las cuencas formaron grupos que reflejan las tres zonas latitudinales puestas a prueba, logrando explicar cerca de un 60% de la variaci3n total. Las tres zonas fueron significativamente distintas entre s3 (ANOSIM:  $R=0,508$ ;  $p=0,1\%$ ). El grupo Norte, representado con figuras azules, reuni3 a las cuencas ubicadas entre el r3o Maule (73) y Cuencas Costeras entre r3o Bueno y Puelo (104), inclusive. El grupo Sur, correspondiente a las figuras verdes, abarca desde la cuenca del r3o Puelo (105) hasta la cuenca del r3o Baker (115). El grupo Austral, representado por las figuras rojas, incluye a las cuatro cuencas monitoreadas en la Regi3n de Magallanes (122, 124, 126 y 128). Adem3s, se apreci3 que la cuenca 104 podr3a ser reevaluada en t3rminos de la correspondencia a la Zona Norte. Las comparaciones pareadas entre las tres Zonas fueron significativas y con un valor de  $R > 0,48$ .

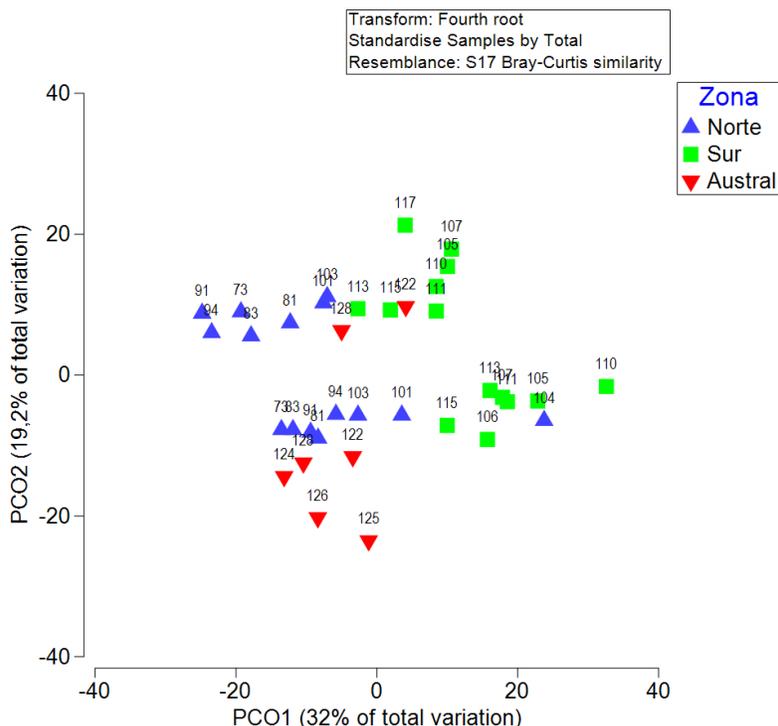


**Figura 19.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composición y estructura de ensambles de diatomeas bentónicas fluviales de cada cuenca monitoreada. Los colores representan las tres zonas geográficas a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.

Las diferencias entre ensambles provenientes de las distintas cuencas y categorías de invasión por *Didymo* (invadidas y no invadidas), fueron pesquisadas poniendo a prueba el factor “Cuenca+Dg” en una matriz de similitud basada en la densidad promedio por cada categoría de este factor combinado. En la figura 20 se muestra un Análisis de Coordenadas Principales (PCO) que a través de sus dos ejes explica un 52% de la variabilidad total de la información. Además, este PCO muestra dos grupos de estaciones claramente segregados entre sí y que presentan una distribución medianamente estructurada al interior de cada uno. En el grupo ubicado en la parte superior reúne a las estaciones que no presentan *Didymo* mientras que el grupo inferior reúne las estaciones que sí presentan esta especie plaga. El grupo con ausencia de *Didymo* presentó una estructura en relación a las zonas geográficas, figurando las Zonas Norte y Sur separadas entre sí, y la Zona Austral tiene mayor similitud con la Zona Norte. En cambio, en el grupo con *Didymo* presente se observó que la Zona Austral es similar a la Zona Sur. Estas diferencias se encuentran sustentadas por ANOSIM de dos vías entre las zonas a través de los dos grupos de Dg (+/-) (presencia o ausencia de *D. geminata*) (ANOSIM,  $R=0,643$  y  $p=0,1\%$ ) y, entre los grupos de presencia y ausencia a través de las Zonas (ANOSIM,  $R=0,614$  y  $p=0,1\%$ ). También se observó que los grupos presentaron diferencias estadísticamente significativas en la dispersión de cada uno de estos dos grupos ( $P(\text{perm})=0,001$ ), la cual fue mayor en el grupo con ausencia de *Didymo* (promedio de la desviación desde el centroide=40,65;  $ES=0,358$ ) que en el grupo con *Didymo*

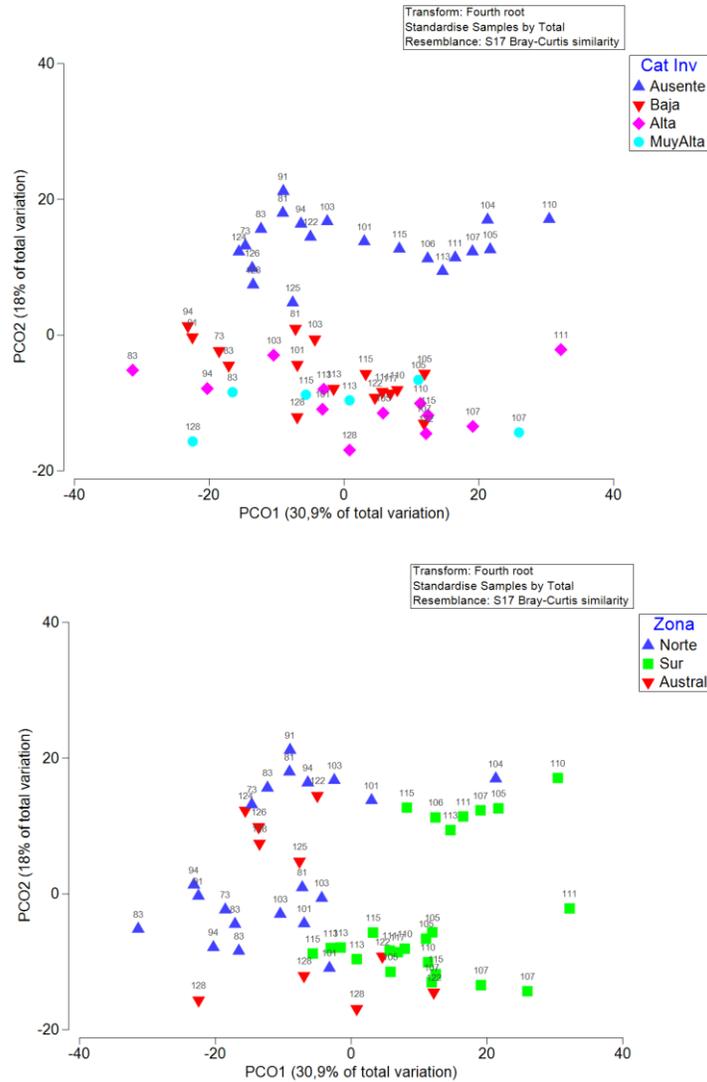


(promedio de la desviaci3n desde el centroide=34,69; ES=0,311) lo que sugiere una homogeneizaci3n de las comunidades de diatomeas.



**Figura 20.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composici3n y estructura de ensamblajes de diatomeas bent3nicas fluviales de cada nivel del factor Cuenca+Dg(+/-). Los colores representan las tres zonas geogrÁficas a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los nÚmeros sobre cada figura corresponden a los c3digos de cuencas segÚn el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Tolt3n, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras LÍmite D3cima Regi3n, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n, 113: Ais3n, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del AtlÁntico y 128: Tierra del Fuego.

Se encontraron diferencias significativas entre las Zonas y las Categorías de crecimiento de *Didymo*. En la figura 21 se puede visualizar que las cuencas se segregan nuevamente en dos grupos y dentro de cada uno de estos grupos las cuencas estÁn organizadas de acuerdo a las zonas geogrÁficas. Como en el caso anterior, la Categoría Ausente se ubica en la parte superior del PCO donde la Zona Austral se pudo ver con mayor similitud a la Zona Norte y ambas segregadas de la Zona Sur. Al contrario, en el grupo que representa a las categorías se encontraron dos claros grupos (Norte y Sur) y las cuencas correspondientes a la Zona Austral no mostraron una estructuraci3n clara. Un ANOSIM de dos vÍas sustent3 el patr3n descrito antes, con  $R=0,599$ ;  $p=0,1\%$  para las comparaciones entre las Zonas a trav3s de las Categorías y  $R= 0,485$ ;  $p=0,1\%$  entre las Categorías a trav3s de las Zonas. Aunque las diferencias entre categorías de crecimiento algal mayor no son del todo claras en la figura 21 por lo que debe interpretarse con precauci3n.



**Figura 21.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en similitudes de Bray-Curtis para la composici3n y estructura de ensamblajes de diatomeas bent3nicas fluviales de cada nivel del factor Cuenca+Categora. Los colores representan las Categorías (superior) y las zonas geogrÁficas (inferior) a la que pertenecen los grupos de estaciones. Los nÚmeros sobre cada figura corresponden a los c3digos de cuencas segÚn el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras LÍmite Décima Regi3n, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemborg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemborg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del AtlÁntico y 128: Tierra del Fuego.



## Relación entre variables ambientales y ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* en una escala regional

Se estudió la relación entre matrices de variables ambientales y variables biológicas empleando Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) y Análisis de Redundancia basado en Distancia (dbRDA) que permite representar gráficamente los resultados obtenidos en DistLM. De este modo, fue posible identificar las variables ambientales implicadas en la estructuración y composición de ensambles de diatomeas a lo largo del rango de distribución de *D. geminata* en ríos, incluyendo comunidades invadidas y no invadidas.

Los resultados de los análisis revelaron que existen relaciones significativas entre las variables ambientales y los ensambles invadidos y no invadidos por *D. geminata*. En la figura 22 es posible visualizar la segregación de la ordenación de las estaciones basada en la presencia y ausencia de *D. geminata* y las Zonas latitudinales. El ajuste de esta ordenación respecto a las variables ambientales alcanzó un  $R^2=0,67$  donde las variables conductividad, oxígeno (%), fosfato, fósforo total, nitrógeno total y sílice, resultaron tener un efecto significativo en el test marginal, mientras que la conductividad, fosfato y sílice fueron significativas en el test secuencial (tabla 8). En la tabla 9 se observó que el dbRDA1 estuvo correlacionado principalmente con la conductividad y la sílice, lo cual implica que las cuencas de la Zona Sur y Austral, donde se han registrado las mayores densidades de *Didymo* históricamente, se caracterizan por presentar una baja conductividad y una menor concentración de sílice en relación al resto del rango de distribución. Las densidades históricas más bajas y las cuencas donde *Didymo* no ha sido detectado se encuentran en áreas donde sílice y conductividad presentaron mayores valores (figura 22). Por otro lado, el dbRDA2 estuvo correlacionado con el fosfato y el nitrógeno total, coincidiendo con el hecho que los grupos de estaciones con *Didymo* ausente se encontraron en áreas donde las concentraciones de estos nutrientes fueron menores. Los dbRDA 1 y 2 explican un 76,29% de la variabilidad del modelo y un 51% de la variación total, alcanzando valores máximos con 9 ejes (tabla 10).

**Tabla 8.** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora la relación entre las variables ambientales y la densidad de diatomeas en ensambles invadidos y no invadidos por *Didymo*. Test marginal y secuencial de las variables ambientales.

Variables	Test Marginal				Test secuencial					
	SS	Pseudo-F	p	% prop	R <sup>2</sup>	SS	Pseudo-F	p	%prop	Acum
Temperatura (°C)	843,27	1,57	0,16	0,05	0,05	843,27	1,57	0,16	0,05	0,05
pH	1078,40	2,04	0,07	0,06	0,10	822,90	1,56	0,16	0,05	0,10
Conductividad (uS/cm)	2468,00	5,10	<b>0,00</b>	0,14	0,29	3439,30	8,08	<b>0,00</b>	0,20	0,29
Oxígeno disuelto (mg/L)	1765,80	3,49	<b>0,01</b>	0,10	0,32	519,76	1,23	0,28	0,03	0,32
Fosfato (PO <sub>4</sub> , mg/L)	2831,10	6,00	<b>0,00</b>	0,16	0,48	2793,80	8,35	<b>0,00</b>	0,16	0,48
Fósforo Total (PT, mg/L)	2481,90	5,14	<b>0,00</b>	0,14	0,50	283,68	0,84	0,51	0,02	0,50
Nitrato (NO <sub>3</sub> , mg/L)	1048,20	1,98	0,07	0,06	0,52	330,30	0,98	0,42	0,02	0,52
Nitrito (NO <sub>2</sub> , mg/L)	918,22	1,72	0,13	0,05	0,53	243,17	0,71	0,64	0,01	0,53
Nitrógeno Total (NT, mg/L)	1763,80	3,48	<b>0,00</b>	0,10	0,57	685,57	2,10	0,05	0,04	0,57
Sílice Total (Si, mg/L)	4150,60	9,67	<b>0,00</b>	0,24	0,67	1785,70	6,88	<b>0,00</b>	0,10	0,67

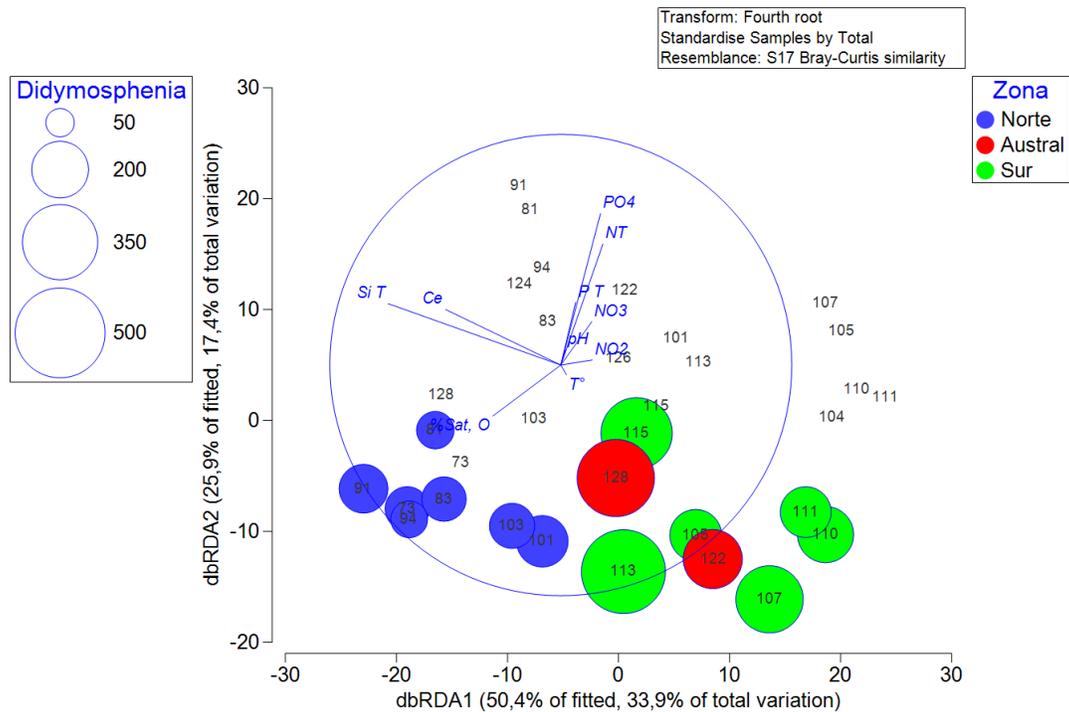


**Tabla 9.** Relaci3n entre los ejes del dbRDA y las variables ambientales (correlaciones m3ltiples parciales) en el rango de distribuci3n de la especie ex3tica invasora *D. geminata*. Se destacan los valores  $r > 0,4$ .

Variables	Ejes dbRDA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T°	0,02	-0,04	0,22	0,68	0,39	0,30	-0,46	0,04	-0,10	0,16
pH	0,02	0,07	0,05	0,06	-0,14	0,37	0,01	0,56	0,58	-0,42
Ce	-0,50	0,24	-0,74	0,00	0,25	0,25	0,02	0,09	-0,12	0,02
OD	-0,29	-0,22	0,37	-0,34	0,51	0,25	0,13	-0,17	-0,17	-0,47
PO <sub>4</sub>	0,17	0,66	0,12	-0,05	-0,31	0,41	-0,13	-0,36	-0,24	-0,23
PT	0,06	0,27	0,07	-0,56	0,31	-0,09	-0,57	0,08	0,30	0,30
NO <sub>3</sub>	0,13	0,19	0,21	-0,08	0,21	0,38	0,60	0,14	0,05	0,57
NO <sub>2</sub>	0,14	0,02	-0,19	0,19	0,25	-0,03	0,16	-0,65	0,63	-0,08
NT	0,18	0,53	0,05	0,19	0,41	-0,53	0,22	0,26	-0,11	-0,29
Si	-0,75	0,27	0,40	0,16	-0,22	-0,22	0,04	-0,09	0,23	0,16

**Tabla 10.** Resultados del An3lisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora el % de variaci3n de la matriz de similitud basada en la densidad de diatomeas que es explicado por las variables ambientales (limnol3gicas y geogr3ficas) en el rango de distribuci3n de la especie ex3tica invasora *D. geminata*.

Eje	% variaci3n explicada			
	modelo ajustado		total de la variaci3n	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
1	50,39	50,39	33,91	33,91
2	25,9	76,29	17,43	51,34
3	13,07	89,37	8,8	60,14
4	3,92	93,28	2,64	62,78
5	2,89	96,17	1,95	64,72
6	1,92	98,09	1,29	66,01
7	1,2	99,29	0,81	66,82
8	0,88	100,17	0,59	67,41
9	0,31	100,48	0,21	67,62
10	-0,48	100	-0,32	67,3



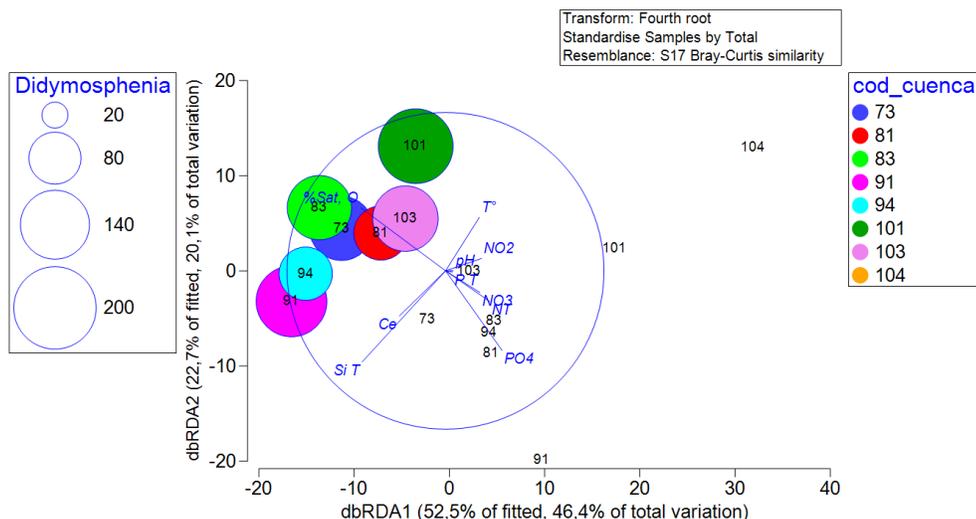
**Figura 22.** Modelo lineal basado en distancia (DISTLM) o análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnológicas y geográficas) y las densidades de diatomeas bentónicas fluviales en el rango de distribución de *D. geminata*. En la figura superior se muestran los grupos de estaciones exhibiendo su procedencia geográfica (Zona Norte, Sur y Austral), y en el panel inferior se muestra la distribución espacial de las densidades de *D. geminata*. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.

### Relación entre variables ambientales y ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* en la Zona Norte

Del mismo modo, empleando las rutinas DistLM y dbRDA, se identificaron variables ambientales clave en la estructuración espacial de ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata*, analizando separadamente la Zona Norte, Sur y Austral. Los resultados del DistLM pueden ser visualizados en las tablas 4 a 12 del anexo 2, y en los dbRDA contenidos en cada apartado correspondientes a las Zonas. En el caso de la Zona Norte, el ajuste de la ordenación de las variables ambientales y biológicas alcanzó un  $R^2=0,88$ , y se encontró que el Oxígeno (%), el fósforo, nitrógeno total, conductividad y sílice fueron las variables más relevantes para la distribución espacial de las diatomeas ( $p<0,05$ ) (ver tabla 4, anexo 2). El dbRDA 1 estuvo correlacionado principalmente con el oxígeno, el sílice y fósforo, mientras que el dbRDA 2 además de las variables anteriores, estuvo correlacionado con la temperatura del agua (tabla 5, anexo 2). Los dos primeros ejes del dbRDA explicaron el 75,19% de la variación del modelo ajustado y un 66,46% de la variabilidad total de la matriz de densidad de las diatomeas (tabla 6, anexo 2). De acuerdo a la figura 23, las menores densidades de Didymo se concentran en grupos de estaciones correspondientes a la cuenca del río Itata (81) y Toltén (94), y también fue posible observar que Didymo se concentra en las áreas donde existe mayor oxigenación del agua, lo cual



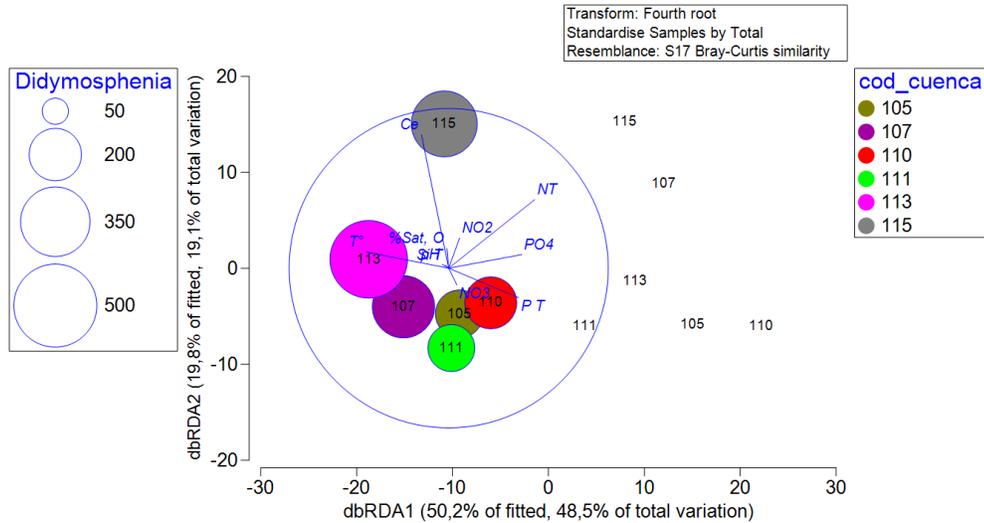
est3 asociado a los tramos de la parte alta de los r3os de monta3a o en tramos de mayor pendiente, menor temperatura y concentraci3n de fosfato y una mayor concentraci3n de s3lice.



**Figura 23.** An3lisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnol3gicas y geogr3ficas) y los ensamblajes de diatomeas invadidos por *D. geminata* en r3os de la Zona Norte. Los n3meros sobre cada figura corresponden a los c3digos de cuencas seg3n el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biob3o, 91: Imperial, 94: Tolt3n, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo.

### Relaci3n entre variables ambientales y ensamblajes de diatomeas invadidos por *D. geminata* en la Zona Sur

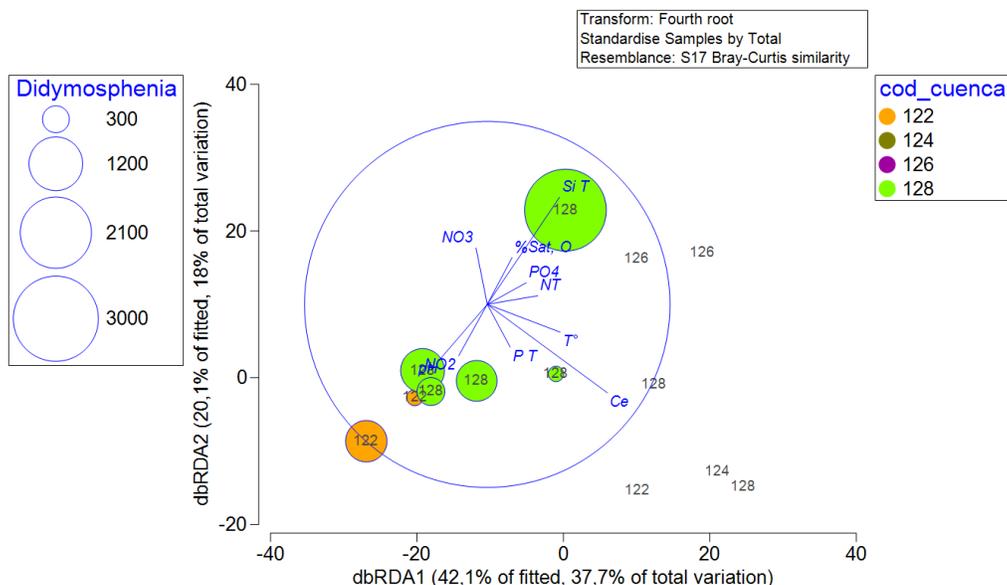
Por otro lado, los resultados obtenidos para la Zona Sur indicaron que el ajuste entre las variables ambientales y la matriz de diatomeas obtuvo un valor de  $R=0,96$ , resultando significativas las variables **fosfato, f3sforo total, nitrito y nitr3geno total**, por lo tanto, fueron las variables m3s relevantes en la estructura de los ensamblajes de diatomeas, exhibiendo valores de  $p<0,05$  (tabla 7, anexo 2). La temperatura, el fosfato, el f3sforo total y el nitr3geno total fueron las variables con mayores coeficientes de correlaci3n respecto al dbRDA1, mientras que la conductividad y el nitr3geno total fueron las variables que presentaron los valores m3s altos de correlaci3n con el dbRDA2 (tabla 8, anexo 2). Los dos primeros dbRDA explicaron el 70% de la variabilidad en el modelo ajustado y una 67,6% de la variabilidad total, donde la mayor proporci3n de la variabilidad se encuentra explicada por el dbRDA1 (tabla 9, anexo 2). Los ensamblajes invadidos por *D. geminata* se encuentran caracteristicamente en 3reas donde existieron menores concentraciones de nutrientes como nitr3geno total, f3sforo total y fosfato y una menor conductividad el3ctrica a excepci3n de la cuenca del Baker (115) donde es posible encontrar mayores concentraciones de nitr3geno total y una mayor conductividad en la Zona Sur (figura 24).



**Figura 24.** Análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales (limnológicas y geográficas) y los ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* en ríos de la Zona Sur. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker.

### Relación entre variables ambientales y ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* en la Zona Austral

Los resultados del modelo lineal basado en distancia (DISTLM) mostraron un  $R=0,89$ . La conductividad fue la variable más relevante ( $p<0,05$ ) para explicar la estructura y composición de los ensambles de diatomeas invadidos por Didymo (tabla 10, anexo 2). De acuerdo a la tabla 11 (anexo 2) la conductividad presenta el mayor coeficiente de correlación con el dbRDA1 junto con la temperatura y el sílice. El sílice fue la variable que presentó el mayor coeficiente de correlación respecto de dbRDA2, destacándose también las correlaciones con la conductividad, el nitrato y el pH. Los dos primeros dbRDA explican un 62,25 % de la variabilidad del modelo y un 55,71% de la variación total (tabla 12, anexo 2). Las mayores densidades de Didymo fueron detectadas en Tierra del Fuego (128), en ríos de menor conductividad y pH, y una mayor concentración de sílice y nitrato (figura 25)

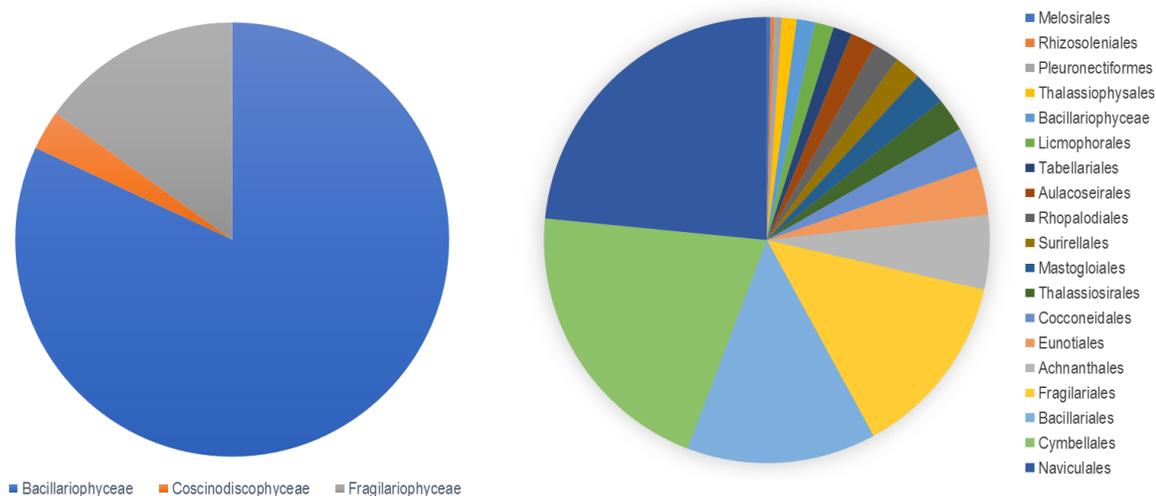


**Figura 25.** Análisis de redundancia basados en distancia (dbRDA) que muestra las relaciones entre las variables ambientales y los ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* en ríos de la Zona Sur. Los números sobre cada figura corresponden a los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.

Finalmente, a partir de los resultados mostrados en esta última parte del objetivo, se obtuvo que las variables ambientales que determinan la densidad de *D. geminata* actúan de acuerdo a las características de cada cuenca o de la zona geográfica donde se encuentra emplazada cada una de ellas. A escala regional, es decir, a lo largo de todo el rango de distribución de la especie plaga, las mayores densidades se encuentran en la Zona Sur y Austral, en aguas saturadas de oxígeno y en estaciones donde la conductividad y la concentración de sílice. Sin embargo, estas tendencias pueden cambiar o incluso ser otras variables cuando la escala espacial de estudio cambia o cuando se desplaza a través del rango latitudinal estudiado.

## 6.2 Objetivo específico II: Determinar la dinámica espacio-temporal de la densidad de *Didymosphenia geminata* dentro de la comunidad de microalgas bentónicas, en base a la información obtenida a través de las distintas etapas del monitoreo

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo total de duración de este programa de monitoreo, es posible determinar que los ensamblajes de diatomeas bentónicas están constituidos por 3 Clases, 16 Órdenes, 33 Familias, 81 Géneros y 371 especies. De acuerdo a la figura 26, la Clase de las Bacillariophyceae es la que se encuentra mayormente representada a nivel específico, y se encuentra constituida por 304 especies. Le sigue la Clase de las Fragilariophyceae y las Coscinodiscophyceae, representadas por 56 y 11 especies, respectivamente. En cuanto a los Órdenes, aquellos que presentaron un mayor número de especies fueron las Naviculales con 87 especies, las Cymbellales con 77 especies, las Bacillariales con 51 especies y las Fragilariales con 50 especies. El resto de los Órdenes registraron entre 1 y 20 especies de diatomeas bentónicas que pueden ser revisadas en la figura 2.1.

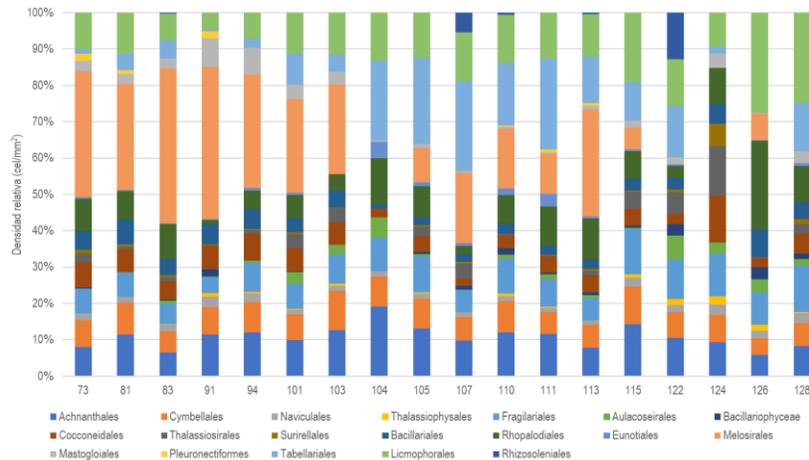


**Figura 26.** Proporción del número de especies de diatomeas que conforman las Clases (izquierda) y Órdenes (derecha) que han sido registradas durante todo el programa de Monitoreo.

En cuanto a la densidad acumulada (histórica total: 11066114,5 cél/mm<sup>2</sup>) de los principales grupos taxonómicos, se encontró que las diatomeas del Orden Cymbellales representa el 31% de este parámetro, seguida de las Fragilariales con un 21%, las Bacillariales y las Achnanthes con un 11%, y las Naviculales con un 8%. En relación a las Familias identificadas, aquellas que concentran las mayores densidades acumuladas fueron Fragilariaceae (19%), Gomphonemataceae (12%), Cymbellaceae (11%), Bacillariaceae (10%) y Achnanthidiaceae con un 6%. Dentro de las cinco especies de diatomeas que han registrado las mayores densidades a lo largo de este programa de monitoreo destacan *Achnanthidium minutissimum*, que acumula el 26% de la densidad total acumulada, mientras que con densidades que representaron un 5% se encontraron a *Diatoma moniliformis* y *Gomphonema aff pumilum*, y un 2% de la densidad acumulada estuvo representada por *Fragilaria vaucheriae* y *Rhoicosphenia abbreviata*. En el lugar número 20 de esta lista de 371 especies de diatomeas, se identificó a *Didymosphenia geminata*, con 141317,9 cél/mm<sup>2</sup> representando el 1% de la densidad acumulada histórica.



La variaci3n espacial de la densidad relativa de cada uno de los 3rdenes de diatomeas es presentado de manera general en la figura 27. Es posible notar que las Melosirales es uno de los grupos m1s abundantes y con mayor variaci3n geogr1fica, observ1ndose una marcada disminuci3n desde el r3o Petrohu3 hacia el sur. En tanto, las Tabellariales exhiben sus mayores densidades relativas entre las cuencas del r3o Bueno (103) y la cuenca del r3o Cisnes (111).



**Figura 27.** Densidad relativa promedio calculada para diatomeas por cada cuenca monitoreada (n1meros). Los n1meros sobre cada figura corresponden a los c3digos de cuencas seg1n el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biob3o, 91: Imperial, 94: Tolt3n, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n, 113: Ais3n, 115: Baker, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atl1ntico y 128: Tierra del Fuego.

### Variaciones espacio-temporales de la densidad celular acumulada de *Didymosphenia geminata*

En t3rminos generales, *D. geminata* es una de las especies m1s importantes en los ensamblajes de diatomeas bent3nicas fluviales considerando la densidad de c3lulas. Durante el periodo total de monitoreo (2016-2021) se ha muestreado en un total de 25 cuencas hidrogr1ficas entre las regiones del Maule y Magallanes. La mayor3a de las cuencas corresponde a 1reas de monitoreo y, en menor proporci3n, existen cuencas que han sido muestreadas con el fin de pesquisar la presencia de *D. geminata* en diatomeas bent3nicas. Si bien, todas las cuencas tienen distintos esfuerzos de muestreo, debido a las razones mencionadas en la secci3n "Materiales y M3todos" los grupos de cuencas que presentan similares n1meros de estaciones muestreadas no necesariamente presentan densidades acumuladas similares ( $r=0,68$ ).

Un ejemplo de lo anterior, corresponde a las cuencas de los r3os Biob3o (83) y Ays3n (113) que registran 249 y 244 estaciones de muestreo, respectivamente. No obstante, la densidad acumulada calculada para la cuenca del Ays3n supera en unas 8 veces el valor calculado para la cuenca del r3o Biob3o. Estas diferencias se repiten para las cuencas Bueno (103) y Palena (110), con 130 y 111 muestreadas, respectivamente, observ1ndose que la cuenca del Bueno present3 una densidad 3,5 veces menor a lo registrado en la cuenca del Palena. Para el caso de las cuencas Tierra del Fuego (128), Baker (115), Puelo (105), Costeras e Islas entre Palena y Ais3n (111) y Tolt3n (94) existen entre 72 y 78 estaciones de muestreo, las cuales exhibieron densidades que decrecen marcadamente desde Tierra del Fuego hasta la cuenca del Tolt3n (ver Tabla 2.1 del Anexo 10, figura 2.3).



Por otro lado, en relación las variaciones de las densidades acumuladas de *D. geminata* por Cuenca y por Etapa del Monitoreo, la figura 29 muestra que durante la **Etapa I** las densidades no superaron los  $4 \times 10^{-4}$  cél/mm<sup>2</sup>, siendo la cuenca del río Aysén aquella que mostró el valor máximo ( $3,5 \times 10^{-4}$  cél/mm<sup>2</sup>), seguida de las cuencas de los ríos Valdivia (101), Puelo (105) y Yelcho (110) que presentaron entre  $1,7$  y  $2,3 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. Las cuencas restantes registraron densidades menores a  $1 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. Además, de acuerdo a la figura 30 es posible observar que el 32,1% de la densidad de la cuenca del Puelo (105) fue registrada en esta Etapa, muy similar a lo detectado para la cuenca del río Valdivia (101) que registró un 28,2%.

Durante la **Etapa II** las densidades fueron marcadamente mayores que en la etapa anterior, registrándose que la cuenca del río Aysén presentó los valores más altos, con  $2,1 \times 10^{-4}$  cél/mm<sup>2</sup>. En orden decreciente, las cuencas Tierra del Fuego (128), Valdivia (110), Baker (115) y Yelcho (107) variaron entre los  $5,7$  y  $2,6 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. El resto de las cuencas muestreadas registran densidades menores a  $1,8 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. También es posible advertir que las mayores densidades (%) fueron aportadas por esta Etapa a las cuencas del Serrano (122) con un 42,7%, Tierra del Fuego (128) con un 33,4%, Aysén (113) exhibiendo un 32,5% y el Puelo (ver figura 30) con un 29,8%.

Luego, en la **Etapa III** las densidades exhibieron un incremento, siendo la cuenca del Aysén aquella que presentó el valor más alto de densidad acumulada, con  $2,6 \times 10^{-4}$  cél/mm<sup>2</sup>. Le siguen las cuencas Tierra del Fuego (128), Yelcho (107), Valdivia (110) y Baker (115) cuyas densidades fluctuaron entre los  $9,4$  y  $5,2 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. En relación a los porcentajes de contribución de la etapa a la densidad total de cada cuenca, en la figura 30 es posible ver que la Etapa III (verde) a partir de la cuenca del Yelcho (107) hacia el sur, los porcentajes incrementaron, mientras que hacia el norte los porcentajes son marcadamente menores. Las cuencas donde se registran las mayores contribuciones de esta etapa en su densidad acumulada fueron Costeras e Islas entre Palena y Aisén (111) con un 63,3%, Yelcho (107) con un 60,3%, Tierra del Fuego (128) con un 54,8% y Baker (115) con un 51,4%.

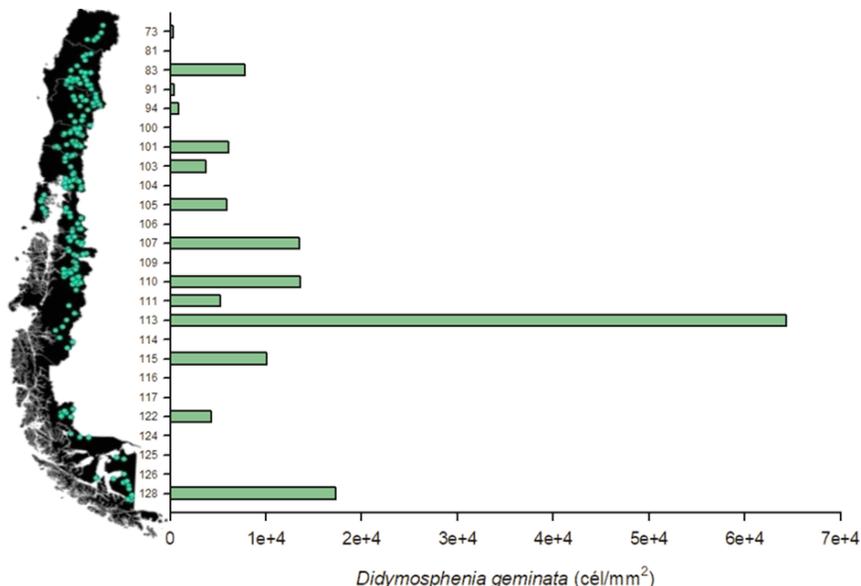
Posteriormente, durante la **Etapa IV**, se evidenció un decrecimiento de la densidad respecto a las dos etapas previas, siendo el valor máximo registrado para la cuenca del río Baker (115) con  $2,3 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>, el resto de las cuencas presentaron menos de  $535,2$  cél/mm<sup>2</sup>. De acuerdo a la figura 30, durante la Etapa IV (amarillo) se registraron los menores porcentajes de contribución para todas las cuencas, con el máximo de 6,5% en la cuenca del Serrano (122) y un 6,1% en el Puelo (105). Los porcentajes permanecen relativamente constantes a través de las cuencas, excepto para la cuenca del Toltén (94) donde el porcentaje es mínimo.

En tanto, la **Etapa V** del monitoreo, se registraron densidades similares a las encontradas para la Etapa I. La cuenca del Aysén (113) exhibió  $4,2 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>, mientras que las cuencas del Biobío (83), Bueno (103) y Valdivia (101) mostraron valores entre  $2,4$  y  $1,1 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. La densidad del resto de las cuencas varió entre los  $435$  y  $26$  cél/mm<sup>2</sup>. En relación a los porcentajes de contribución de esta Etapa a las distintas cuencas monitoreadas, la figura 30 muestra un 100% para la cuenca del río Ñuble (81) debido a que es el único evento en el que se ha detectado *Didymo* en las muestras de diatomeas. Además, en la figura se muestra que esta Etapa aportó mayormente a las cuencas del Imperial (91) en un 98,5%, del Bueno (103) en un 34,6% y del Biobío (83) en un 30,5%.

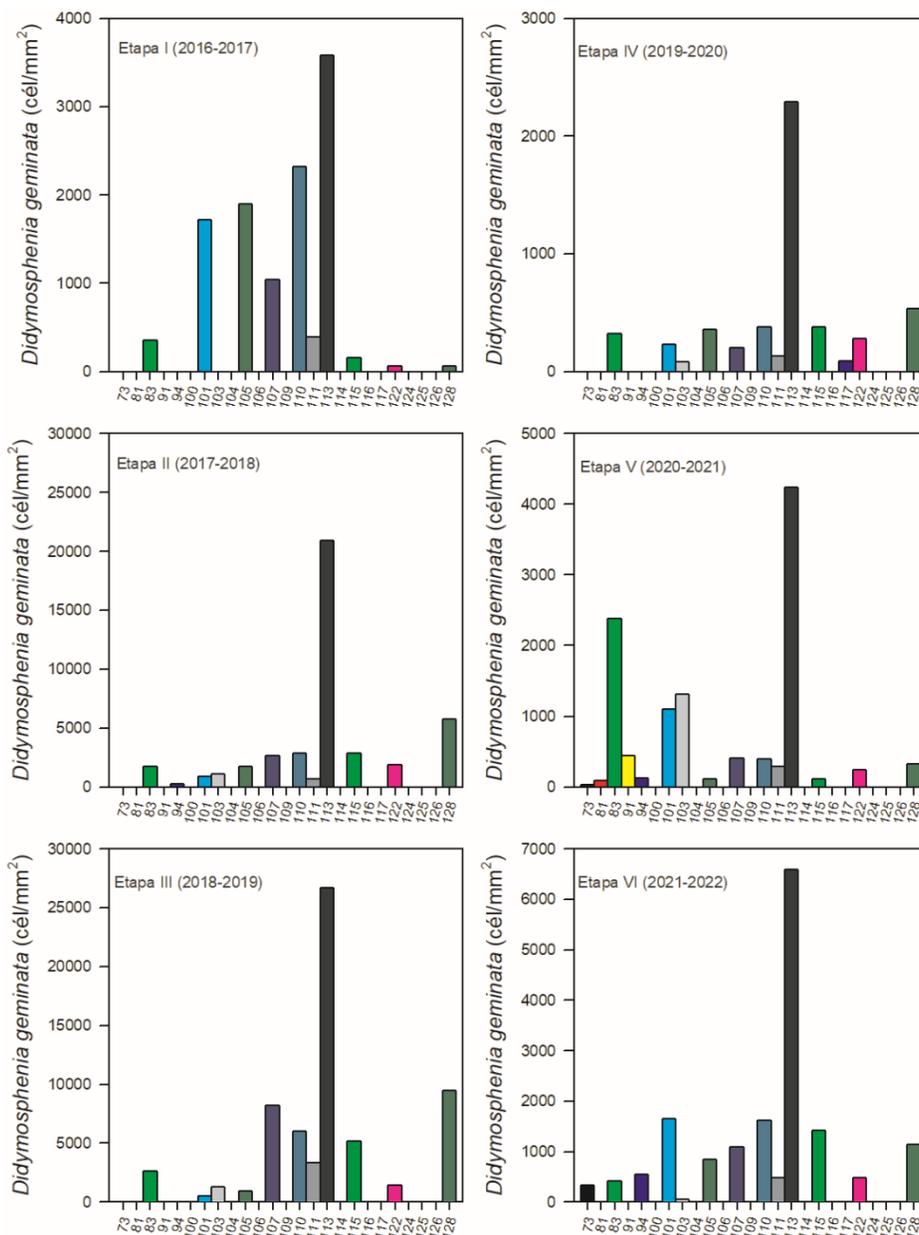
Finalmente, en el transcurso de la **Etapa VI** se registraron abundancias totales mayores a las registradas previamente, excepto en las etapas II y III. Como en las etapas anteriores, para la cuenca del Aysén (113) se registró el valor más elevado de densidad acumulada con  $6,5 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>, seguida de las cuencas del Valdivia (101), Palena (110), Baker (115), Tierra del Fuego (128) y Yelcho (107), cuyos valores fluctuaron entre los  $1,1$  y los  $1,6 \times 10^{-3}$  cél/mm<sup>2</sup>. Las cuencas restantes presentaron densidades  $< 847$  cél/mm<sup>2</sup>. Las mayores contribuciones de esta etapa ocurrieron en la cuenca del Maule (73) representando un 92,8% de su densidad acumulada, mientras que en la cuenca del Toltén (94) fue de un 59,6 % y en la cuenca del Valdivia fue de un



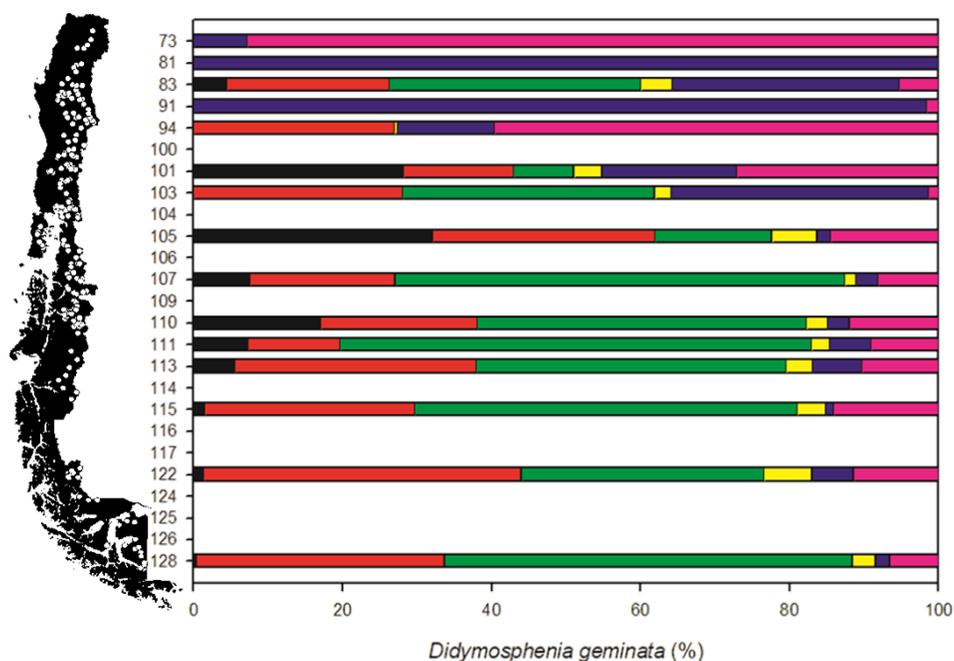
27,1%. Los menores porcentajes fueron detectados para las cuencas del Bueno (103) y Nuble (81) con un 1,5 y un 1,3%, respectivamente.



**Figura 28.** Variaciones espaciales de la densidad acumulada de *D. geminata* en las cuencas hidrográficas muestreadas en el periodo (2016-2022). Cada una de las barras representa una cuenca. Las cuencas que presentan valor 0 corresponde a ausencia de Didymo. Se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Holleberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.



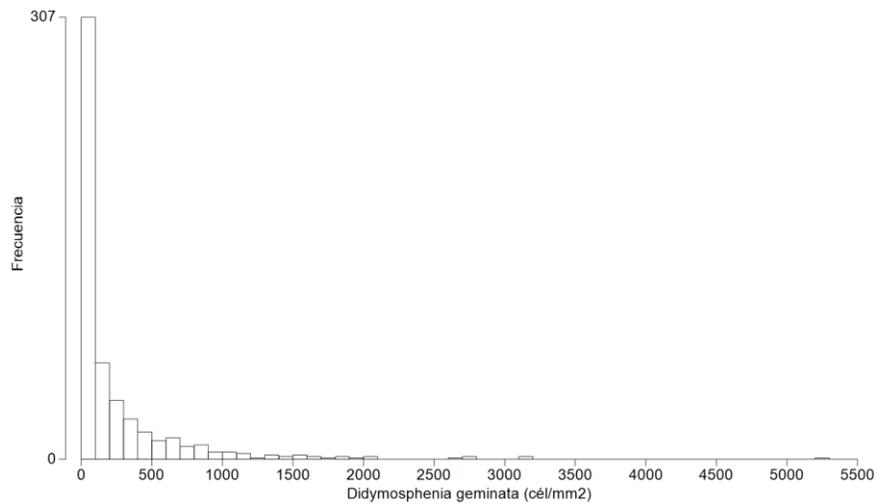
**Figura 29.** Variaciones de la densidad de *D. geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) a través de las Cuencas y Etapas del Monitoreo. En el eje X se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.



**Figura 30.** Distribución porcentual de la densidad acumulada de *Didymosphenia geminata* ordenada latitudinalmente según las cuencas hidrográficas (números) y por Etapa de Monitoreo. Cada Etapa está representada por distintos colores. Negro: Etapa I, rojo: Etapa II, verde: Etapa III, amarillo: Etapa IV, azul: Etapa V, fucsia: Etapa VI. Se mostraron los códigos de cuencas según el Inventario Nacional de Cuencas (DGA). 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 100: Costeras entre Límite Región y R. Valdivia, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 106: Costeras entre Puelo y Yelcho, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aysén, 113: Aysén, 114: Costeras e Islas entre Aysén y Baker y Canal Gral. Martínez, 115: Baker, 116: Costeras e Islas entre Baker y Pascua, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 125: Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.

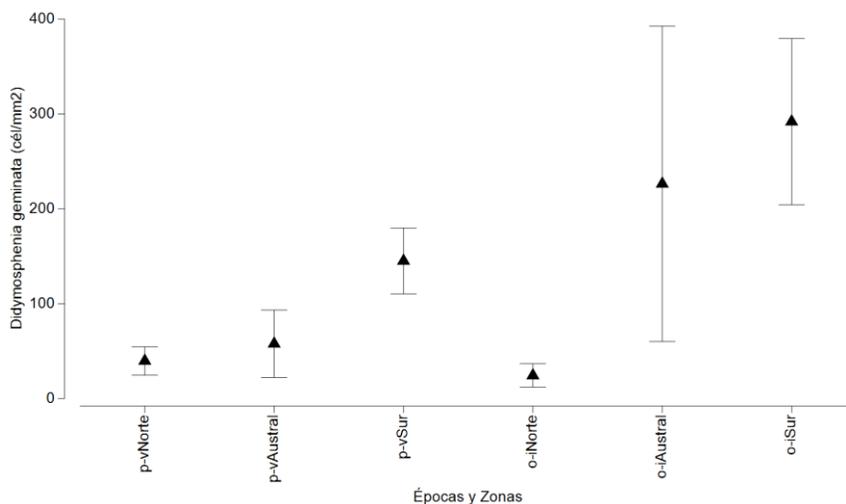
Los resultados de ANOSIM aplicados a una matriz de distancia euclidiana entre estaciones de muestreo basada en la densidad de *D. geminata*, no mostraron diferencias significativas para el efecto de los factores: Cuenca, Zona, Época ( $p > 5\%$ ).

En el periodo total de ejecución de este programa de monitoreo, se registraron 998 sitios donde *D. geminata* no fue detectado en muestras de diatomeas y 546 sitios donde la microalga fue encontrada en distintas densidades. *D. geminata* estuvo presente con mucha mayor frecuencia en densidades de hasta 500 células/mm<sup>2</sup>, con 362 estaciones que presentaron valores de densidad en este rango. Con una marcada disminución en la frecuencia de ocurrencia encontramos sitios con densidades de *D. geminata* hasta 2100 células/mm<sup>2</sup>. Los sitios con densidades superiores a 2600 y menores a 5258,8 células/mm<sup>2</sup> fueron raros. Densidades superiores solamente se han registrado en un total de 8 sitios. El valor máximo de la densidad de Didymo fue registrado en la estación Claro S (cuenca del Aysén), en la campaña 2 de la Etapa II (2017-2018) (ver figura 31).



**Figura 31.** Densidad de *Didymosphenia geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) expresada como frecuencia de registro de cada rango de valores en las estaciones de muestreo. Se excluyen la frecuencia de sitios donde *D. geminata* no fue registrada.

Además, la densidad promedio de esta especie varió significativamente a través de las zonas geográficas, y las dos épocas de muestreo en algunas de estas zonas. Más específicamente, las densidades de Didymo en la Zona Norte tienden a ser mayores en primavera-verano que en otoño-invierno, mientras que en la Zona Sur las densidades reflejan un incremento en otoño-invierno respecto a primavera-verano. La Zona Austral no presentó variaciones entre las dos épocas, sin embargo, se observa un aumento en la varianza de las densidades correspondientes a la época de otoño-invierno (figura 32).



**Figura 32.** Variaciones de la densidad promedio de *D. geminata* (cél/mm<sup>2</sup>) en las tres Zonas Geográficas (Norte, Sur y Austral) y ambas épocas de monitoreo (p-v: primavera-verano; o-i: otoño-invierno), utilizando un factor combinado. Los “bigotes” corresponden a la varianza de cada grupo.



Los patrones espaciales y temporales de los ensamblajes fluviales de diatomeas fueron analizados a través de la rutina ANOSIM cuyos resultados fueron representados a través de técnicas de ordenamiento espaciales 2D, tales como Escalamiento Multidimensional No Paramétrico (nMDS) y Análisis de Coordenadas Principales (PCO). Se utilizaron factores espaciales como la “Cuenca” (con 22 niveles), “Zona” (Norte, Sur y Austral), “Época” como un factor temporal (otoño-invierno, primavera-verano) y el factor Dg (+/-) que reúne la información sobre la presencia (+) y ausencia (-) de *D. geminata*. Se realizó una serie de análisis utilizando distintas escalas espaciales para identificar la relación de la matriz biológica con los factores a través de ANOSIM de una vía (un factor) y de dos vías cruzadas. Se constató la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la estructura y composición de diatomeas debidas a la presencia de *D. geminata* Dg (+/-) y las variables categóricas espaciales (Cuenca y Zona) mientras que la Época no mostró efectos significativos, excepto en el caso particular de la cuenca del río Biobío. A continuación, se mostraron los resultados obtenidos en distintas escalas espaciales.

#### **Patrones espaciales y temporales generales (macro escala espacial):**

Los patrones espaciales y temporales de las diatomeas fueron analizados a través de los paquetes estadísticos incluidos en PRIMER-e. En la tabla 11 se resumen los resultados más relevantes para responder la pregunta planteada en este objetivo. A través de ANOSIM (Análisis de Similitud) se constató la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la estructura y composición de diatomeas debidas al factor Dg (+/-) que representó la presencia (+) o ausencia (-) de *D. geminata*. La Zona fue uno de los factores más relevantes en términos del estadístico R global de ANOSIM de una vía (R=0,603, p=0,1%) seguido del factor DG+/- con R=0,513; p=0,1%). La Cuenca resultó en un R=0,345, p=0,9%, mucho menos relevante que los otros dos factores analizados. En el caso del factor Época se obtuvo un valor de R estadísticamente significativo, pero con un valor mínimo (R=0,016; p=2,5%). Las comparaciones pareadas realizadas para el factor Zona revelaron que existen diferencias significativas entre las tres Zonas con valores de R cercanos a 0,6 (p=0,1%).

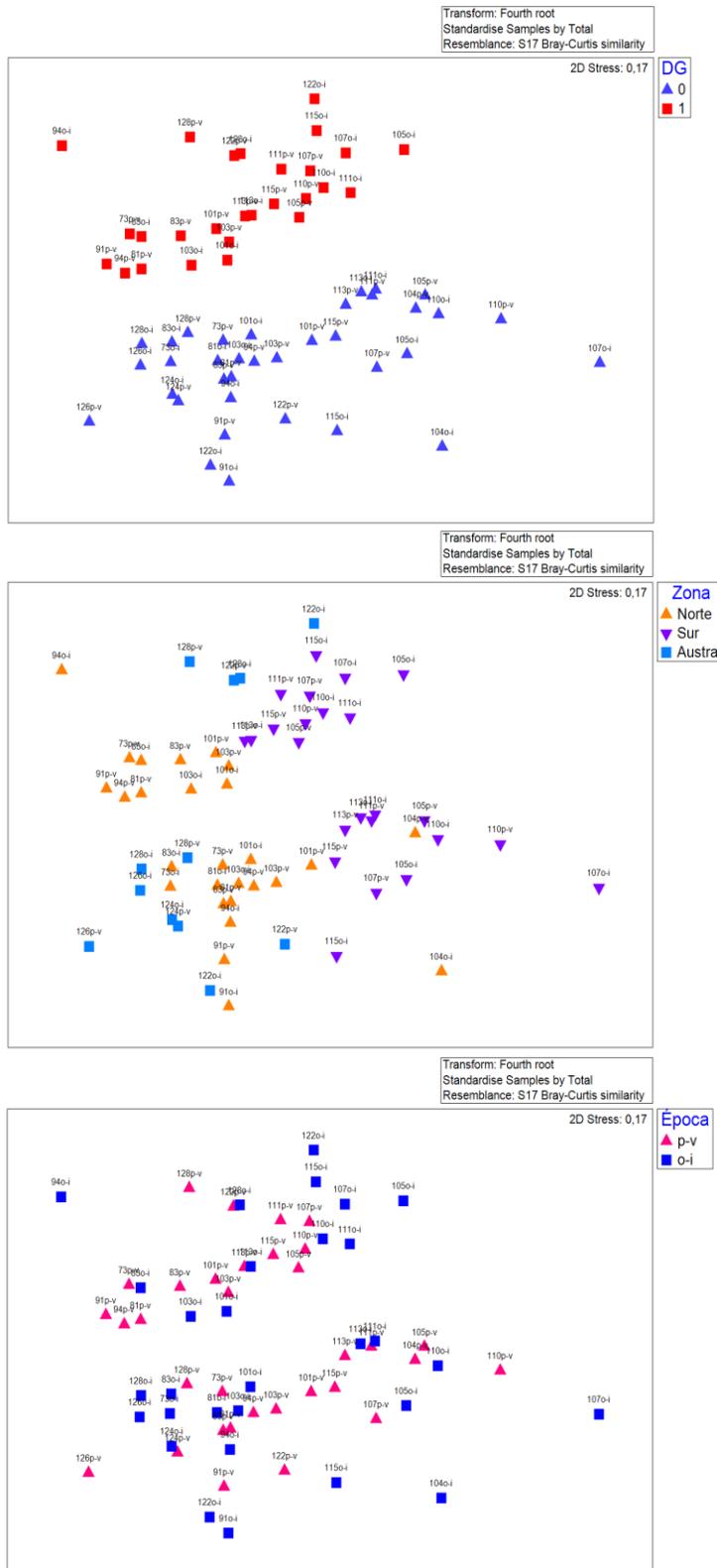
Seguidamente, se aplicó ANOSIM de dos vías para los siguientes pares de factores: Dg x Cuenca, Dg x Zona y Dg x Época. El valor de R global derivado de la prueba para evaluar las diferencias entre los dos grupos de Dg a través de las cuencas fue R=0,926 (p=0,1%), mientras que las diferencias entre los grupos de cuencas a través de los grupos de Dg, mostraron un R global de R=0,727 (p=0,1%). Cuando se analizó DgxZona, se encontró que el valor de R global entre los dos grupos de Dg a través de las tres Zonas, fue R=0,663 (p=0,1%), al igual que la comparación entre grupos de Zona a través de los grupos de Dg. Cuando se puso a prueba el efecto comunitario de los factores cruzados DgxÉpoca se encontró que las diferencias dadas entre los grupos de Dg a través de las Épocas fueron significativas, con R=0,486 (p=0,1%). Al contrario, al analizar las diferencias entre los grupos de Época a través de los dos grupos de Dg, no se encontraron diferencias significativas (tabla 11).



**Tabla 11.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bentónicas usando cuatro factores: Dg (+/-, presencia/ausencia), Zona (Norte, Sur, Austral), Cuenca (19 cuencas), Época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores cruzados en ANOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo ( $p > 5\%$ ). Número de permutaciones: 999.

Factores	R Global	p (%)
Dg (+/-)	0,513	0,1
Zona	0,603	0,1
Cuenca	0,491	0,1
Época	0,02	n.s
DgxZona	0,663	0,1
	0,663	0,1
DgxCuenca	0,926	0,1
	0,727	0,1
DgxÉpoca	0,486	0,1
	0,036	n.s

Las agrupaciones estadísticamente significativas pueden ser visualizadas en la figura 33 donde se exhibe una serie de tres gráficos correspondientes a análisis de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (nMDS). En estas tres figuras se refleja el efecto de los factores espaciales y el factor temporal, incluido en la rutina ANOSIM, sobre la estructuración de los grupos de estaciones de monitoreo en base a la estructura y composición de los ensambles de diatomeas. En primer lugar, en la figura 33 se destaca una evidente segregación de dos grupos que representan a las estaciones con presencia (arriba) y ausencia (abajo) de *D. geminata* que en la figura superior están diferenciadas con dos colores. En la figura 33 (superior) se da cuenta de representación específica del factor Dg+/-, mientras que en la figura 33 (medio) es posible apreciar que al interior de ambos grupos, las zonas geográficas tienen configuraciones distintas. En el grupo de estaciones sin *Didymo* (DG0), los grupos Austral y Sur presentaron una mayor similitud que en el grupo con *D. geminata* (DG1), en el cual el grupo Austral tiene mayor similitud respecto al grupo Norte. La figura 33 (inferior). Por último, la Figura 33 (inferior) refleja la ausencia del efecto de la Época en la estructuración de las estaciones.



**Figura 33.** Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS) que representa la estructura espacial 2D del ensamble de diatomeas. Estructura espacial de acuerdo a la presencia o ausencia de *D. geminata* (superior), Zona (medio) y la Época de muestreo: primavera-verano (p-v) y otoño-invierno (o-i) (inferior). Los números de las etiquetas representan el código de las cuencas. 73: Maule, 81: Itata, 83: Biobío, 91: Imperial, 94: Toltén, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Aisén, 115: Baker, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.



### Patrones espaciales y temporales a escala de Zonas (grupos de cuencas):

Un patrón similar fue detectado en escalas geográficas de menor magnitud. Se analizaron las variaciones espaciales y temporales del ensamble de diatomeas en el conjunto de cuencas correspondientes a las tres Zonas latitudinales (Norte, Sur y Austral). En términos generales, ANOSIM de una vía mostró que el efecto estructurador generado por la presencia/ausencia de *D. geminata* (Dg) fue siempre mayor que el efecto originado en los factores Cuenca y Época de muestreo.

En la tabla 12 es posible ver que, en la Zona Norte, el factor Dg (+/-) alcanzó un valor de  $R=0,587$  ( $p=0,1\%$ ) mientras que la Cuenca mostró un valor de  $R=0,15$  ( $p=2,9\%$ ). El factor Época no mostró un valor de R estadísticamente significativo. Posteriormente, se utilizó ANOSIM para identificar el efecto derivado de los factores cruzados. El ANOSIM de Dg x Cuenca mostró que las diferencias dadas entre grupos con presencia o ausencia de *D. geminata* a través de las cuencas, son significativas ( $R=0,911$ ;  $p=0,1\%$ ) al igual que las diferencias observadas entre pares de cuencas a través de los grupos de Dg (+/-) para lo cual se obtuvo  $R=0,248$  y  $p=0,1\%$ ). Seguidamente, los factores Dg x Época fueron analizados, encontrándose diferencias significativas entre grupos Dg (+/-) a través de las épocas ( $R=0,646$ ;  $p=0,1\%$ ) al igual que las diferencias observadas entre épocas a través de los grupos de Dg (+/-) para lo cual se obtuvo  $R=0,132$  y  $p=3,6\%$ .

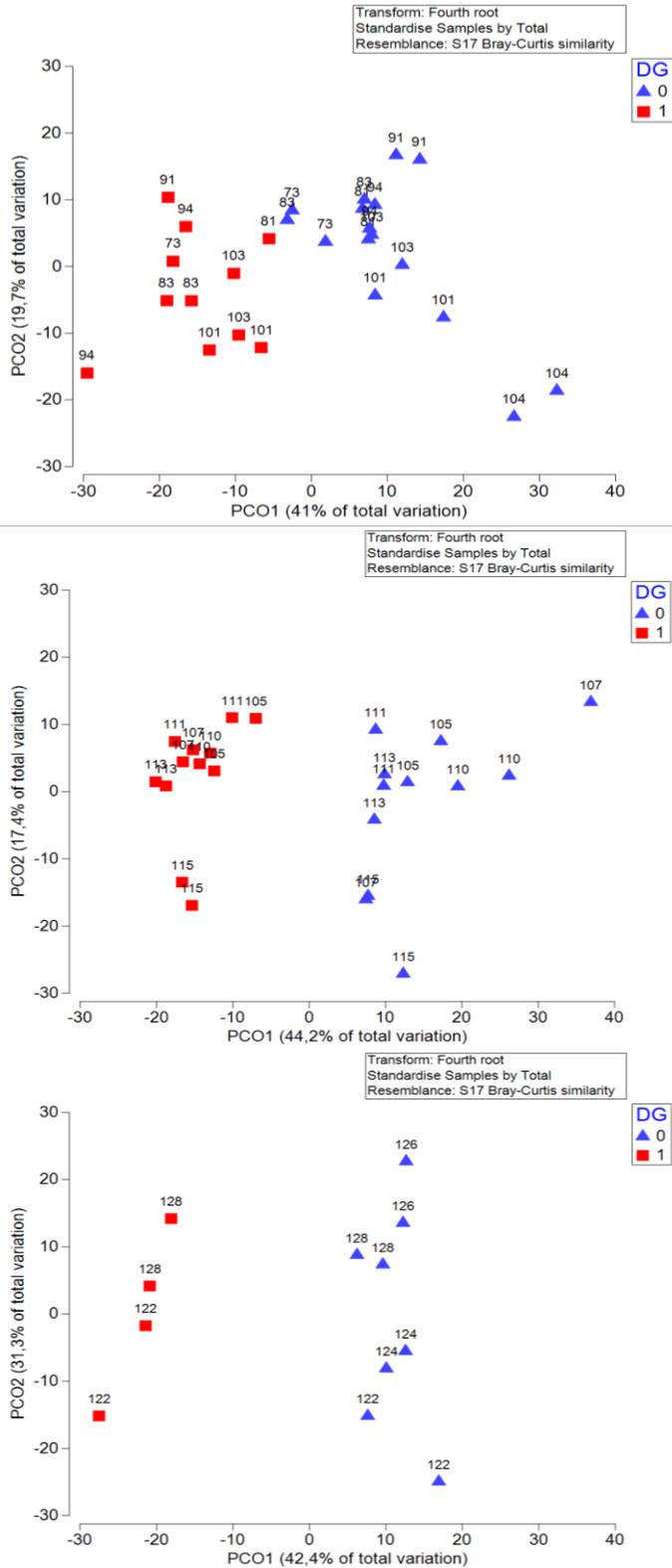
En la Zona Sur se encontró que el factor Dg (+/-) generó una estructuración significativa con  $R=0,732$  y  $p=0,1\%$ . Las cuencas muestreadas mostraron un valor de  $R=0,137$  y  $p=3\%$ . No obstante, las Épocas no mostraron resultados significativos para el valor de R global. Cuando se aplicó la rutina ANOSIM de dos vías con factores cruzados, se encontraron diferencias significativas al comparar grupos con presencia o ausencia de *D. geminata* a través de las cuencas ( $R=0,917$ ;  $p=0,1\%$ ) y, del mismo modo, al comparar pares de cuencas a través de los grupos de Dg (+/-) se obtuvieron resultados significativos ( $R=0,352$  y  $p=0,1\%$ ). Por otro lado, al analizar los factores Dg (+/-) y Época se logró identificar diferencias significativas entre los grupos de Dg (+/-) a través de las Épocas ( $R=0,757$ ;  $p=0,1$ ), pero no hubo diferencias entre épocas a través de los grupos de Dg (+/-).

En la Zona Austral se observaron resultados similares con un efecto significativo para el factor Dg (+/-) con  $R=0,794$  y  $p=0,1\%$ , y la Cuenca ( $R=0,317$  y  $p=1,9\%$ ). La Época no mostró resultados significativos al igual que en las otras dos Zonas. ANOSIM de dos vías con factores cruzados mostró que no se encontraron diferencias significativas al comparar grupos con presencia o ausencia de *D. geminata* a través de las cuencas ( $R=0,917$ ;  $p=0,1\%$ ) pero sí se obtuvieron resultados significativos al analizar pares de cuencas a través de los grupos de Dg (+/-) con  $R=0,827$  y  $p=0,5\%$ . Por otro lado, al analizar los factores Dg (+/-) y Época se logró identificar diferencias significativas entre los grupos de Dg (+/-) a través de las Épocas ( $R=0,75$ ;  $p=0,4$ ), pero no hubo diferencias entre épocas a través de los grupos de Dg (+/-).



**Tabla 12.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bentónicas en dos de las Zonas geográficas estudiadas. Dg (+/-, presencia/ausencia), Cuenca (19 cuencas) y Época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores incluidos en ANOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo ( $p > 5\%$ ). Número de permutaciones: 999.

Zonas	Factores	R Global	p (%)
Norte	Dg	0,587	0,1
	Cuenca	0,15	2,9
	Época	0,064	n.s
	DgxCuenca	0,911	0,1
		0,248	0,8
	DgxÉpoca	0,646	0,1
0,132		3,6	
Sur	Dg	0,732	0,1
	Cuenca	0,137	3
	Época	-0,008	n.s
	DgxCuenca	0,917	0,1
		0,352	0,1
	DgxÉpoca	0,757	0,1
0,021		n.s	
Austral	Dg	0,794	0,2
	Cuenca	0,317	1,9
	Época	-0,085	n.s
	DgxCuenca	1	n.s
		0,827	0,5
	DgxÉpoca	0,75	0,4
-0,107		n.s	



**Figura 34.** Escalamiento Multidimensional no M3trico (nMDS) del ensamble de diatomeas de acuerdo a (a) la presencia (cuadros rojos) o ausencia de *D. geminata* (tri3ngulos azules) por la Zona Norte (a), Sur (b) y Austral (c). Los n3meros de las etiquetas representan el c3digo de las cuencas. 73: Maule, 81: Itata, 83: Biob3o, 91: Imperial, 94: Toltdn, 101: Valdivia, 103: Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Puelo, 107: Yelcho, 110: Palena y Costeras L3mite D3cima Regi3n, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Ais3n, 113: Ais3n, 115: Baker, 117: Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollelberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R. Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atl3ntico y 128: Tierra del Fuego.



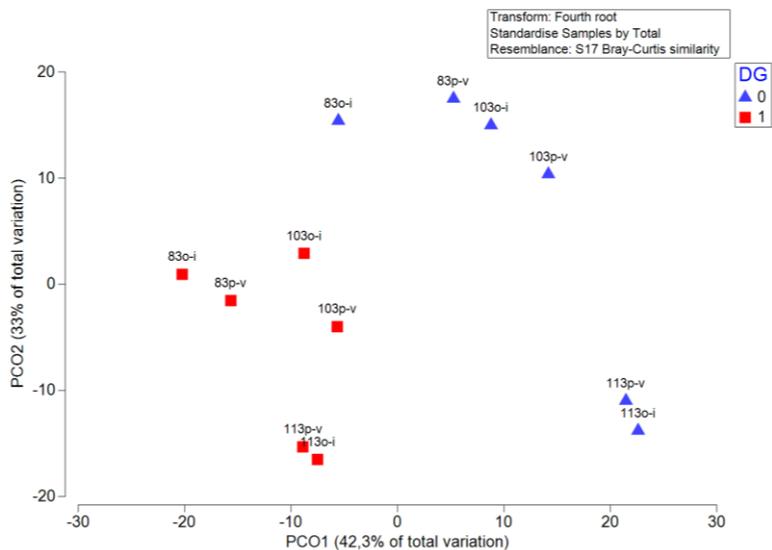
### Patrones espaciales y temporales a escala de cuenca hidrográfica

Se analizaron las cuencas de los ríos Biobío (83), Bueno (103) y Aysén (113), las cuales mantienen actividades de prospección, monitoreo y vigilancia en las épocas primavera-verano y otoño invierno, a partir de la Etapa I de este programa de monitoreo. Como una manera de conocer la dinámica temporal de las comunidades invadidas en una escala espacial menor que las consideradas previamente, se utilizó ANOSIM para dilucidar el efecto del factor Época sobre la estructura y composición del ensamble de diatomeas. En la escala espacial que abarca las tres cuencas mencionadas, no se observó un efecto significativo de la época, mientras que el efecto de los factores Cuenca y Dg (+/-) resultaron en un valor de R global altamente significativos. En el caso de la Cuenca se obtuvo  $R=0,482$ , con  $p=0,4\%$ , y para la presencia/ausencia de *D. geminata* se registró un  $R=0,674$  y  $p=0,2\%$ . Se analizaron los mismos factores de manera cruzada en ANOSIM y se obtuvieron resultados significativos para la Cuenca y Dg (+/-) pero no para la Época.

Los análisis específicos realizados para cada una de las tres cuencas se trabajaron calculando el centroide a partir de los grupos formados por los factores Subcuenca, Dg (+/-) y Época. ANOSIM mostró resultados similares a los descritos previamente, excepto en la cuenca del río Biobío, donde sí se detectó un efecto leve relacionado con la Época. En esta cuenca, los factores Dg (+/-) y Época exhibieron efectos significativos, encontrándose  $R=0,526$  y  $p=0,1\%$  para el factor Dg (+/-) y  $R=0,139$  ( $p=1,1\%$ ) para la Época. ANOSIM de dos vías cruzadas (DgxÉpoca) reveló un  $R=0,601$  ( $p=0,1\%$ ) al contrastar los grupos de Dg (+/-) a través de las épocas, y un  $R=0,238$  ( $p=0,2\%$ ) al contrastar los grupos de Épocas a través de Dg (+/-). En la cuenca del río Bueno no se encontraron diferencias significativas entre los grupos sometidos a prueba. En tanto, el efecto de la presencia/ausencia de *Didymo* fue significativo ( $R=0,665$ ;  $p=0,1$ ) en la cuenca del río Aysén, no así el efecto de la Época. Los resultados de ANOSIM de dos vías no fueron significativos (ver Tabla 13).

**Tabla 13.** Resultados del Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía y dos vías obtenidos para el ensamble de diatomeas bentónicas en tres cuencas hidrográficas. Dg (+/-, presencia/ausencia) y Época (primavera-verano, otoño-invierno). x indica factores incluidos en ANOSIM de dos vías; p (%): nivel de significancia estadística en %; n.s: no significativo ( $p>5\%$ ). Número de permutaciones: 999.

Cuencas	Factores	R Global	p (%)
General	Dg	0,674	0,2
	Cuenca	0,482	0,4
	Época	-0,124	n.s
Biobío	Dg	0,526	0,1
	Época	0,139	1,1
	DgxÉpoca	0,601	0,1
		0,238	0,2
Bueno	Dg	0,229	n.s
	Época	-0,099	n.s
	DgxÉpoca	0,254	n.s
		-0,161	n.s
Aysén	Dg	0,665	0,1
	Época	-0,041	n.s
	DgxÉpoca	0,672	0,1
		-0,072	n.s



**Figura 35.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Dg(+/-), Cuenca y Época en tres cuencas hidrográficas (83: Biobío, 103: Bueno; 113: Aysén). Más del 70% de la variación del set de datos analizados se encuentra representado por los primeros dos ejes. Las figuras anaranjadas representan la presencia de *D. geminata* y las azules corresponden a las estaciones sin Didymo. pv: primavera-verano, o-i: otoño-invierno.

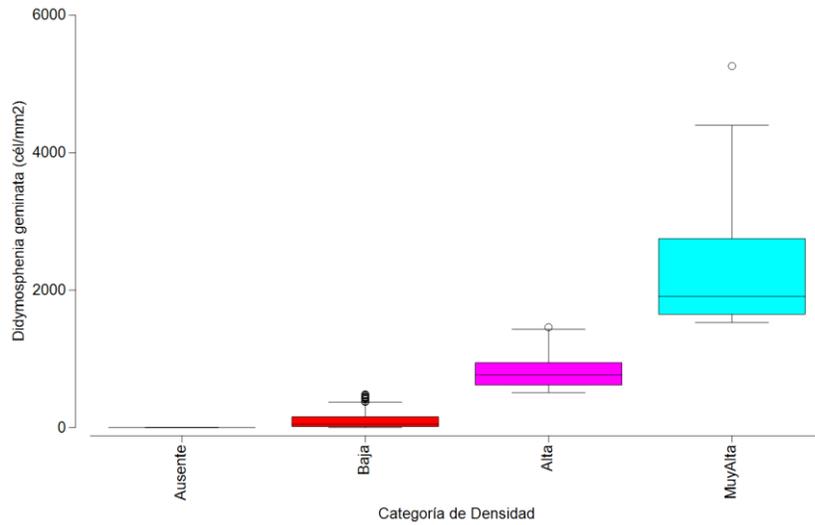


### 6.3 Objetivo específico III: Estudiar el efecto de la especie *D. geminata* sobre otros componentes bentónicos de relevancia para el funcionamiento de los sistemas afectados por la plaga y los servicios ecosistémicos asociados

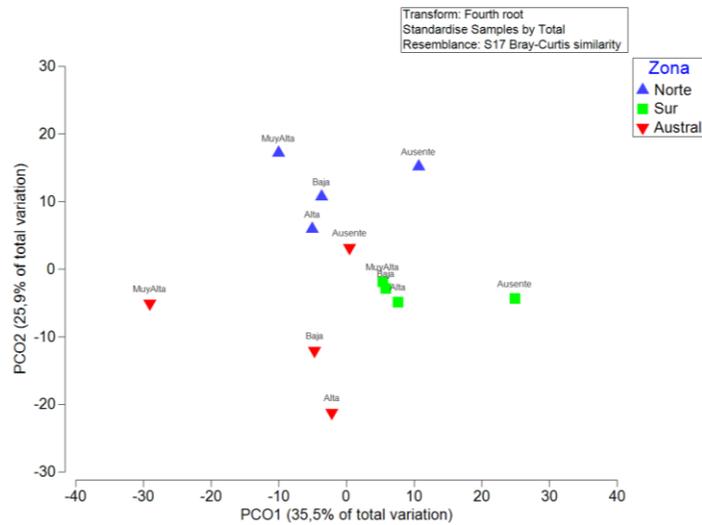
De acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo específico II, es posible determinar que *D. geminata* tiene un importante efecto estructurador de los ensambles de diatomeas bentónicas, lo cual es apreciable en distintas escalas espaciales, tanto a una macroescala como a mesoescala y a escala de cuenca hidrográfica. En el objetivo específico II, se observaron cambios significativos en la estructura y composición de los ensambles bentónicos de diatomeas asociados a la presencia y ausencia de *D. geminata* que corresponde a un factor con dos niveles. En este objetivo, se analizaron los efectos de *D. geminata* sobre comunidades bentónicas empleando un factor constituido por rangos de densidades celulares de *D. geminata* para evaluar si éstas generan diferencias significativas en relación a la composición y estructura de los grupos de estaciones. En primer lugar, se mostraron los resultados obtenidos para las diatomeas, luego para la comunidad fitobentónica total y, en tercer lugar, se indican las principales tendencias en macroinvertebrados bentónicos.

#### Efectos comunitarios de *D. geminata* en los ensambles de diatomeas bentónicas

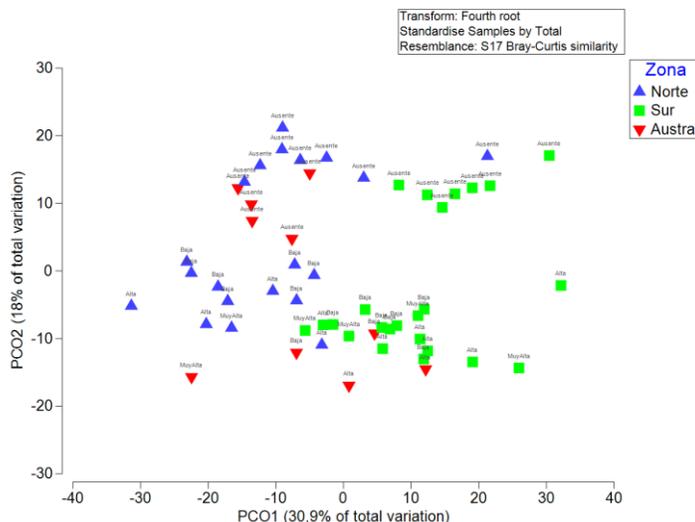
Las categorías y rangos de densidad de *D. geminata* fueron: Ausente, Baja (<500 cél./mm<sup>2</sup>), Alta (<1500 cél./mm<sup>2</sup>) y Muy Alta (<3500 cél./mm<sup>2</sup>) (figura 36). De acuerdo a los resultados de ANOSIM, los grupos de estaciones asociados a este factor presentaron diferencias significativas pero un con bajo valor de correlación (R=0,329; p=0,1%). En tanto, la Zona mostró R=0,329 (p=0,1%) y la Cuenca un R=0,502 (p=0,1%). Cuando se incorporó el efecto de Zona+Categoría se obtuvo R=0,646 (p=0,1%) y para el factor Cuenca+Categoría se obtuvo un R=0,323 (p=0,1%), destacándose que existe un efecto conjunto de las Categorías y la procedencia geográfica de las estaciones en distintas escalas espaciales, siendo más relevante la mesoescala representada por el factor Zona. En las figuras 37 y 38 se muestra la estructuración espacial de las estaciones de monitoreo en relación a los factores Zona+Categoría y Cuenca+Categoría, respectivamente. En la figura 37 es posible ver que las estaciones mostraron agrupaciones en relación a las zonas geográficas. Se aprecia que al interior de cada grupo de las zonas (norte, sur y austral) las estaciones se segregan en dos grupos, uno que reúnen a las estaciones sin *Didymo* (parte superior del gráfico) y otro grupo que reúne a las estaciones con presencia de *Didymo* independientemente de su categoría de crecimiento (parte inferior del gráfico). Por lo tanto, en el caso de las diatomeas, la presencia de *Didymo* es suficiente para generar cambios en la composición y estructura de este ensamble bentónico, y la configuración espacial de las estaciones se encuentra fuertemente influenciada por la zona de procedencia de los ríos estudiados. En la figura 38 es posible observar que en cada Zona los grupos de estaciones presentaron la misma configuración caracterizada por que los grupos correspondientes a Ausente tienen una mayor disimilitud que aquella que es posible visualizar entre las categorías. Se puede advertir también que, en la Zona Sur, los grupos de categorías son relativamente similares entre sí.



**Figura 36.** Variaci3n de la densidad promedio de *D. geminata* (c3l/mm<sup>2</sup>) a trav3s de los rangos definidos en base a la informaci3n recabada durante las Etapas I a VI del monitoreo (Ausente, Baja, Alta y MuyAlta. Los whiskers corresponden a los errores est3andar para cada una, mientras que los c3rculos son los valores extremos de cada rango.



**Figura 37.** An3lisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Categor3as de crecimiento de Didymo (etiquetas) y Zonas de origen de las estaciones de monitoreo (colores), basado en una matriz hist3rica de densidad de diatomeas que abarca entre la Etapa I y VI del Monitoreo. El 61% de la variaci3n de la matriz de diatomeas bent3nicas se encuentra representado por los primeros dos ejes.



**Figura 38.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) construido usando el factor Categorías de crecimiento de *Didymo* (etiquetas) y Cuencas de origen de las estaciones de monitoreo que están organizadas por Zonas (colores), basado en una matriz histórica de densidad de diatomeas que abarca entre la Etapa I y VI del Monitoreo. El 49% de la variación de la matriz de diatomeas bentónicas se encuentra representado por los primeros dos ejes.

Con el fin de identificar cuáles son las principales especies implicadas en las agrupaciones de mayor relevancia en los ensambles de diatomeas bentónicas, se realizó un análisis de coherencia en base a matrices de asociación limitando los resultados a 50 especies como límite máximo. La figura 39 muestra nueve tipos de patrones encontrados para las especies y es posible evidenciar los cambios en la densidad de especies debido a las categorías de crecimiento de *Didymo* a través de las zonas. diferencias detectadas. En el gráfico (A) se da cuenta de las variaciones respecto a las Zonas y las Categorías separadamente y de manera general, sin que se pueda evidenciar un patrón claro. En el gráfico (B) se observa un incremento general en la densidad de las especies *Achnanthis minutissimum*, *Encyonema minutiforme* y *Fragilaria vaucheriae*, especialmente, en las categorías Alta y Muy Alta de la Zona Sur, lo cual también ocurrió la Zona Norte y Austral, pero en densidades menores. En (C) se muestra la tendencia de las especies *Brachysira vitrea* y *Diatoma tenuis*, las cuales incrementan sus densidades en la Zona Austral, alcanzando un máximo cuando *Didymo* presentó densidades “Alta” para luego decrecer nuevamente cuando *Didymo* alcanzó la categoría “Muy Alta”. En (D) se encontró que *Diatoma mesodon*, *Fragilaria mazamaensis*, *Fragilaria recapitelata* y *Nitzschia liebetruithii* incrementaron sus densidades cuando *Didymo* presentó densidades “Muy Alta” en la Zona Norte y Sur. En el gráfico (E), las especies *Diatoma moniliformis*, *Nitzschia frustulum*, *Rhopalodia gibba*, *Staurisira venter*, *Staurisirella pinnata* y *Ulnaria ulna* tienen un patrón de variación similar a *Didymosphenia geminata* mostrando un incremento moderado en la Zona Norte en la categoría Alta y en la Zona Sur en las categorías Alta y Muy Alta. En la Zona Austral, se aprecia que las densidades incrementaron en la categoría Alta y alcanzaron un valor máximo en la categoría Muy Alta. El gráfico (F) muestra que la densidad de *Diatoma vulgare* incrementa notoriamente en la Zona Norte, en la categoría Ausente y Baja. También existe un leve incremento en las Zona Sur y Austral en las mismas categorías mencionadas previamente. y en la cuando la densidad es Baja en la Zona Norte con una densidad Baja. En el gráfico (G) también se observa que las densidades del conjunto de especies conformadas por *Distironella germainii*, *Encyonema minutum*, *Encyonema silesiacum*, *Fragilaria capucina*, *Fragilaria tenera*, *Hannaea arcus*, *Tabellaria flocculosa* y *Ulnaria ulna* presentaron cuatro peaks: Zona Norte-Alta, Sur-Ausente, Sur-Alta, Sur-MuyAlta y Austral Alta. En la categoría Austral-Muy Alta



todas estas especies llegan a los valores mínimos de densidad. El gráfico (H) muestra tres peaks en la densidad de las especies *Encyonema lange-bertalotti*, *E. minutiforme*, *Ephitemia sorex*, *Fragilaria capucina*, *Gomphoneis minuta*, *Gomphonema pumilum*, *Navicula cryptotenella* y *Nitzschia spp.* que se encuentran asociados a la presencia de Didymo. Se observaron incrementos moderados en la zona Norte Alta y Muy Alta, y un marcado aumento para todas las especies en la Zona Sur-Muy Alta. En el gráfico (I), las especies *Gomphoneis sp.*, *Gomphonema calcifugum* y *Nitzschia spp.* presentaron distintas tendencias dependiendo de cada zona. En la Zona Norte se observó que la mayoría de las especies disminuye su densidad a medida que aumenta la densidad de Didymo, con valores mínimos en Alta y Muy Alta. En la Zona Sur se encontró un leve incremento en la Zona Sur-Alta y Muy Alta, mientras que en la Zona Austral las densidades decrecieron conforme incrementó la densidad de *D. geminata*.

El efecto de *D. geminata* sobre la diversidad de los ensamblajes de diatomeas bentónicas son graficados en la figura 40. Se observó que los distintos parámetros de diversidad analizados reflejan las diferencias descritas previamente en relación a las Categorías de Crecimiento y su efecto relativo a las Zonas geográficas. Los índices univariados de diversidad mostraron, en general, un incremento de la diversidad cuando *D. geminata* está presente. Al contrario, la dispersión multivariada exhibió un decaimiento cuando *D. geminata* está presente e incrementa su densidad. A continuación, se describe en detalle los resultados obtenidos por cada uno de los parámetros, Zonas y Categorías de densidad de *D. geminata* (figura 40).

La *Riqueza*, o número de especies (S), registrada en la Zona Norte fue marcadamente mayor cuando *D. geminata* estuvo presente y presentó valores similares entre las tres Categorías de crecimiento. En la Zona Sur se observó esta tendencia de incremento en presencia de Didymo, pero la riqueza decreció a través de las tres categorías, con un valor más bajo en Muy Alta. En la Zona Austral el resultado fue algo diferente, y se encontró que la riqueza aumentó su valor en Baja para luego disminuir en Alta e incrementar nuevamente en Muy Alta, sin existir un patrón muy claro. El mayor número de especies fue encontrado en la Zona Austral-Muy Alta y en la Zona Norte en presencia de *D. geminata*. La menor riqueza fue registrada en la Zona Sur-Ausente (figura 40 superior izquierda).

La *Equitatividad* (J') resultante en la Zona Norte mostró un incremento en Baja respecto a la condición de Didymo Ausente, no obstante, en las categorías Alta y Muy Alta, no es posible establecer una tendencia. En la Zona Sur se encontró que los valores de la equitatividad de Ausente y Baja tienden a ser más elevadas que en Alta y Muy Alta, sin existir un patrón característico para esta Zona. En la Zona Austral se encontraron tendencias similares a la Zona Sur, donde la equitatividad de Ausente y Baja parecen ser menores que en Alta (figura 40, superior derecha).

La *Diversidad de Simpson* (1-lambda) exhibió tendencias similares a las descritas previamente. En la Zona Norte la tendencia observada se observó que, respecto a la categoría de Ausencia de Didymo, la diversidad incrementó notoriamente en la categoría Baja para luego decrecer en Alta e incrementar en Muy Alta. Esta tendencia resultó bastante más clara en la Zona Sur, donde la diversidad incrementó en Baja pero luego decreció en Alta y Muy Alta hasta obtener valores similares a la categoría Ausente. En la Zona Austral se observaron variaciones similares a las descritas para la Zona Norte y Sur. La diversidad más alta de la diversidad de Simpson fue registrada en la Zona Austral-Muy Alta, en tanto, los valores mínimos fueron registrados en la Zona Sur (figura 40 inferior izquierda).

En el caso de la *Dispersión Multivariada*, parámetro que fue utilizado como un estimador de la diversidad multivariada, se encontró un patrón inverso a lo registrado en los otros tres parámetros de diversidad univariada. Los resultados mostraron que en la Zona Norte la diversidad disminuyó fuertemente en Baja y Alta, respecto a la ausencia de *D. geminata*, aunque Baja y Alta presentaron valores similares entre sí. En la Zona Sur, la disminución de la diversidad también fue notoria en comparación a la condición de ausencia de *D. geminata*,



y además sostenida a través de las categorías Baja, Alta y Muy Alta, con el menor valor en esta última. En la Zona Austral los resultados mostraron que la disminución de la diversidad ocurrió a una tasa alta a través de las categorías Ausente, Baja y Alta. El valor más alto para la dispersión multivariada fue encontrado en la Zona Sur en ausencia de *D. geminata*, mientras que el valor más bajo fue registrado en la Zona Austral-Alta (figura 40 inferior derecha).

Lo anteriormente descrito en relación a la diversidad de diatomeas, podría estar indicando que *D. geminata*, en las categorías Baja, podría incrementar la heterogeneidad del sustrato de fondo, con lo cual incrementaría también el número de especies de microalgas en el bentos. A pesar de lo anterior, la dispersión multivariada indicó que los ensambles de diatomeas invadidos por *D. geminata* exhibieron una tendencia a ser menos diversas que cuando la plaga no estuvo presente, a lo largo de la Zona Norte, Sur y Austral. Aunque las tendencias son bastante claras, es necesario investigar los mecanismos ecológicos específicos que están operando en el proceso de pérdida de la diversidad a gran escala espacial.

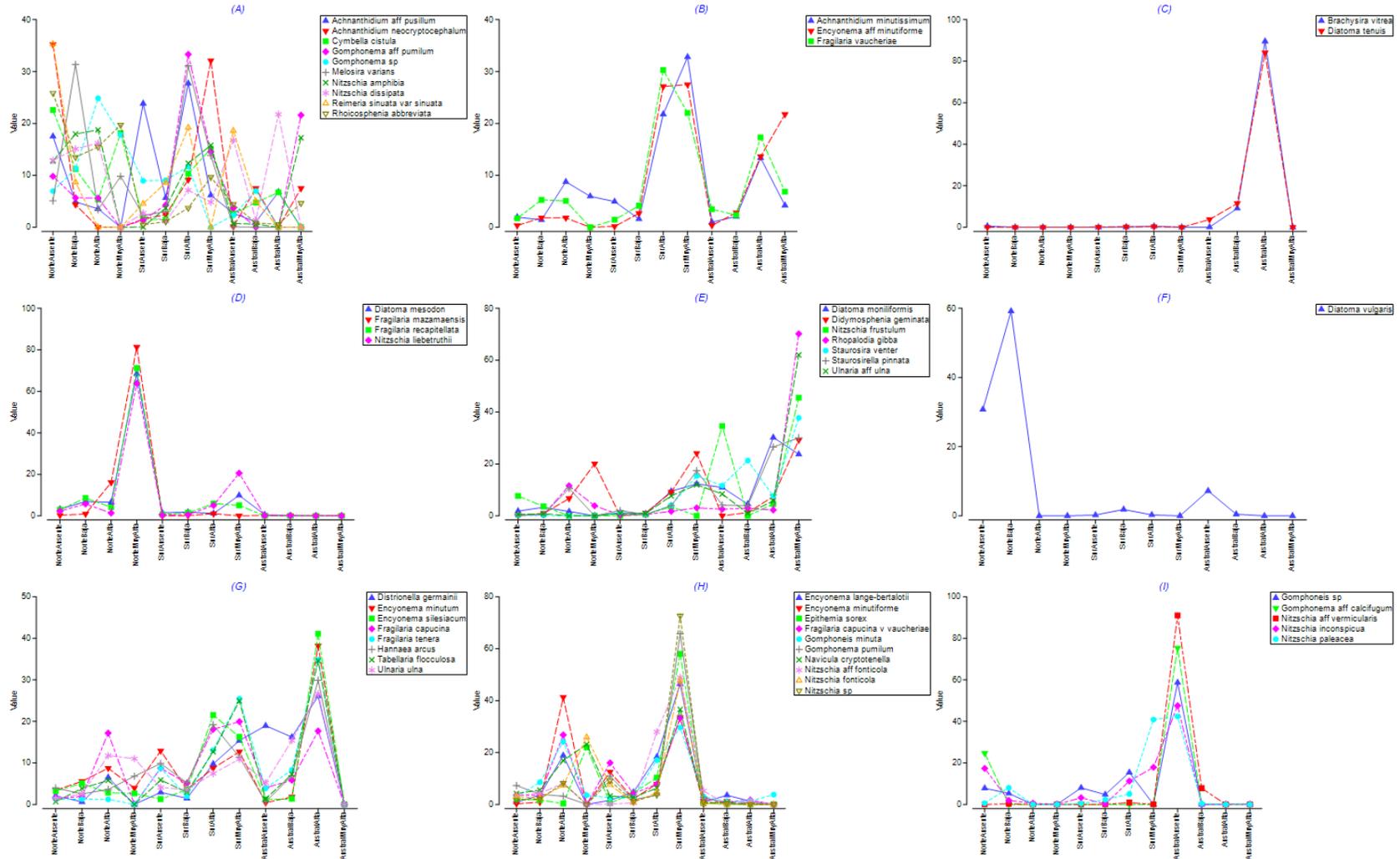
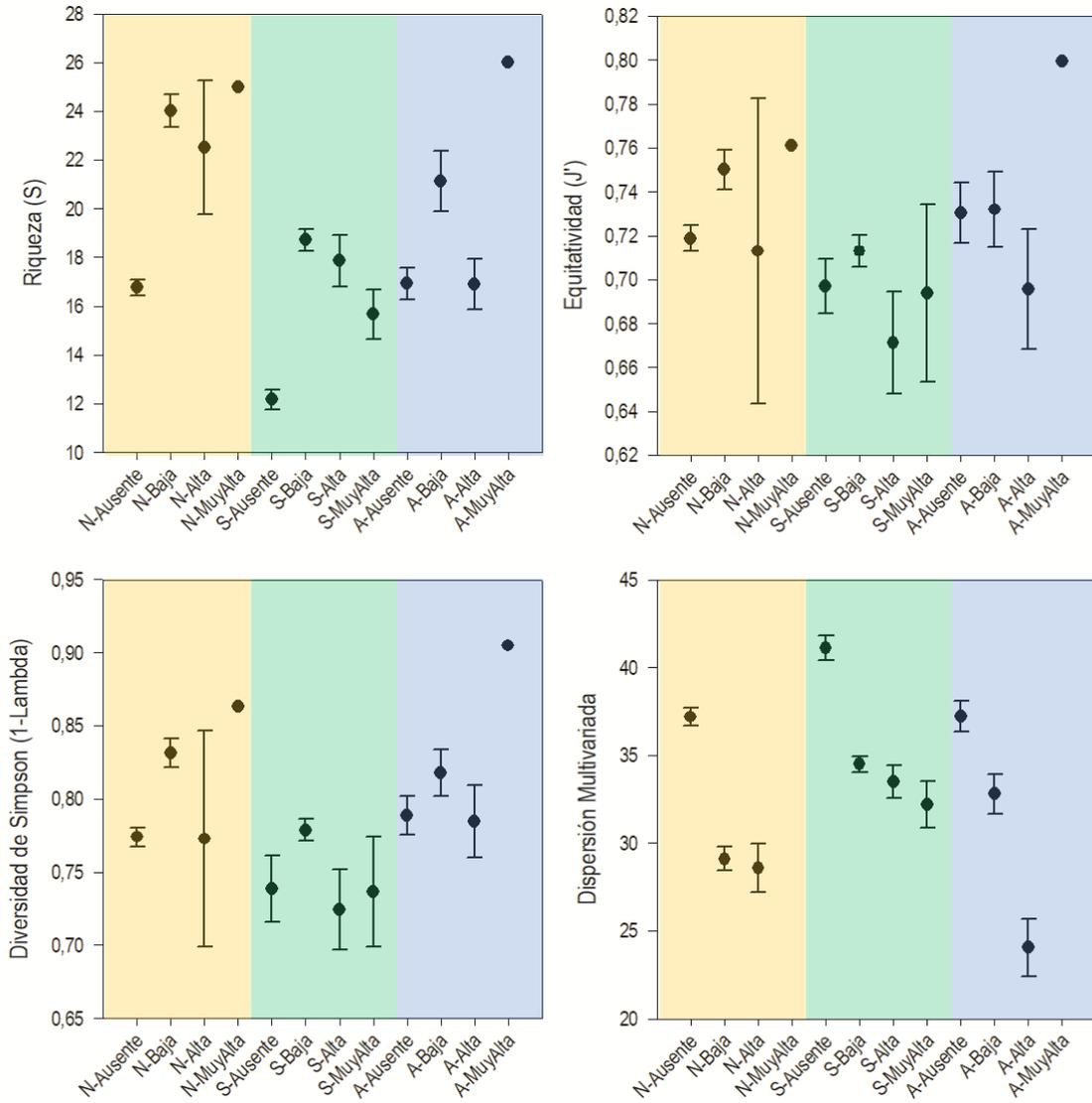


Figura 39. Gráficos de coherencia de especies construidos empleando el factor Categoría de crecimiento de *D. geminata*. Cada gráfico es un patrón de la variación de densidad de diatomeas y cada una de las curvas representa a una de las especies con un patrón de densidad específico.



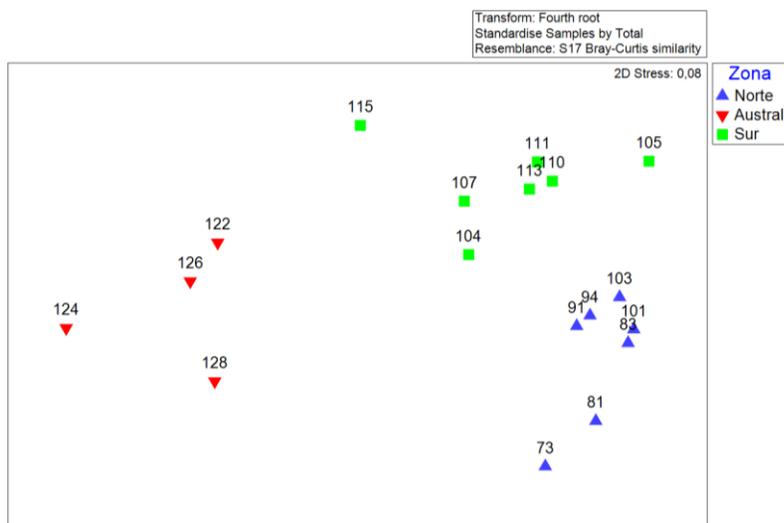
**Figura 40.** Variaci3n de la diversidad de diatomeas a trav3s de las distintas categor3as de crecimiento de *Didymosphenia geminata* (Ausente, Baja, Alta y Muy Alta) y las tres zonas geogr3ficas muestreadas (Norte: Amarillo, Sur: Verde, Austral: Sur). En el eje y de los cuatro gr3ficos aparece la variable diversidad y en el eje x el factor combinado Zona-Categor3a. Los c3rculos negros corresponden al valor promedio de cada par3metro de diversidad y los whiskers representan el error est3ndar.



### Efectos comunitarios de *Didymo* en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos

Se evaluaron los efectos de las variaciones de la densidad de *D. geminata* sobre las comunidades de macroinvertebrados. Se aplicó una secuencia de análisis multivariados muy similar a la utilizada en el set de datos de diatomeas. Se trabajó sobre la base de una matriz de abundancia ( $m^2$ ) de taxa de macroinvertebrados (género y familia) por sitio de muestreo. Se obtuvo una matriz constituida por 130 taxa que, en su mayoría, correspondieron a estadios inmaduros de insectos, siendo Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, los grupos predominantes en cuanto a la riqueza taxonómica.

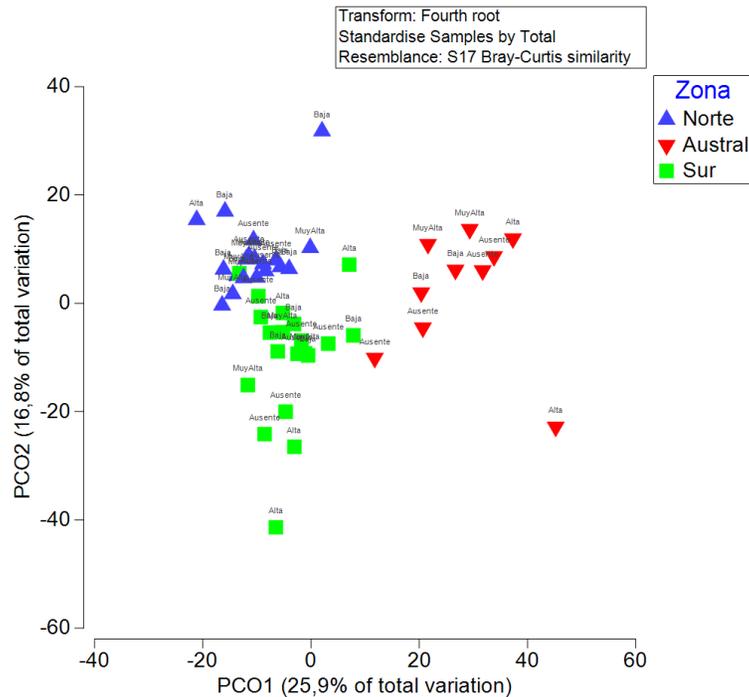
La matriz de datos de abundancia de macroinvertebrados fue sometida a análisis multivariados no paramétricos en PRIMER-E para conocer los patrones espaciales generales de la estructura y composición de estas comunidades, y el efecto de la especie plaga. A través de ANOSIM se encontró que las comunidades fueron significativamente distintas a través de las tres Zonas geográficas, resultando  $R=0,475$  y  $p=0,1\%$ , con las mayores diferencias entre las zonas Norte y Sur ( $R=0,411$ ;  $p=0,1\%$ ) y, Norte y Austral ( $R=0,832$ ;  $p=0,3\%$ ). En el nMDS de la figura 41 es posible observar el ordenamiento espacial de las cuencas y la disimilitud existente entre ellas, formando tres grupos que pueden ser ordenados latitudinalmente. Es necesario agregar que, en el caso de las comunidades macrozoobentónicas, la Zona Sur incluye la cuenca 104 (Costeras e Islas entre Bueno y Puelo) que en las diatomeas tiene mayor similitud con la Zona Norte.



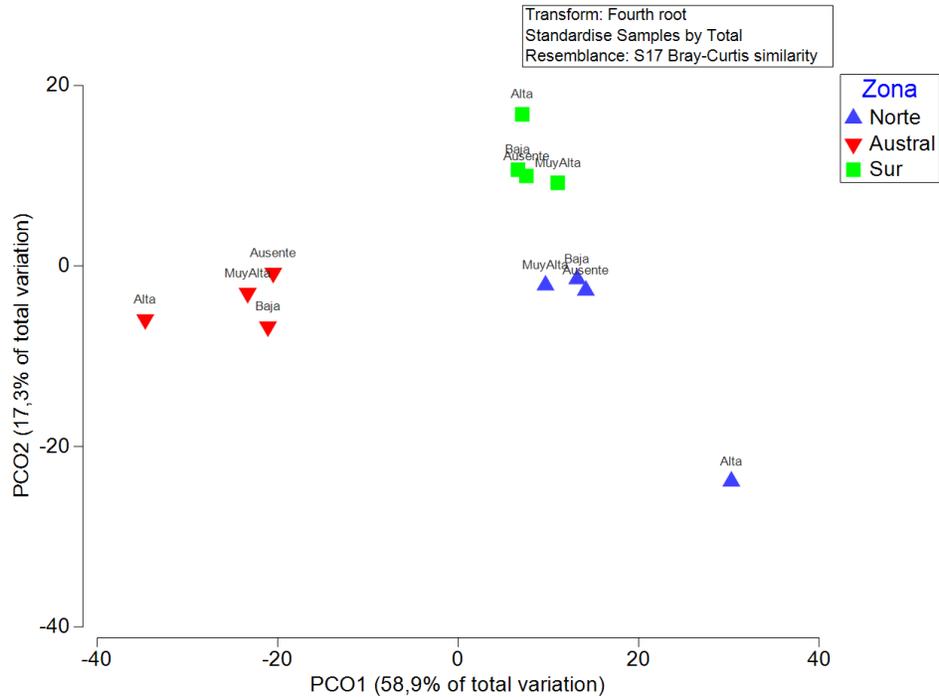
**Figura 41.** Escalamiento Multidimensional No Paramétrico (nMDS) de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentes en las cuencas y Zonas monitoreadas. Los números representan el código de las cuencas, de acuerdo al inventario de la DGA. 73: Río Maule, 81: Río Itata, 83: Río Biobío, 91: Río Imperial, 94: Río Toltén, 101: Río Valdivia, 103: Río Bueno, 104: Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo, 105: Río Puelo, 107: Río Yelcho, 110: Río Palena y Costeras Límite Décima Región, 111: Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén, 113: Río Aisén, 115: Río Baker, 117: Río Pascua, 122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente, 124: Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca, 126: Vertiente del Atlántico y 128: Tierra del Fuego.



Los efectos comunitarios de *D. geminata* sobre los macroinvertebrados mostraron que el factor de presencia/ausencia (Dg+/-) no mostr3 diferencias significativas a trav3 de ANOSIM. Al contrario, las categor3as de crecimiento (Ausente, Baja, Alta, Muy Alta) mostraron que existieron diferencias significativas entre los grupos de estaciones y que adicionalmente, este efecto estuvo relacionado con las zonas geogr3ficas. En primer lugar, para ANOSIM de una v3a para el factor Categor3a, se detect3 un valor de R que fue bajo en relaci3n a lo reportado para las diatomeas, pero altamente significativo ( $R=0,187$ ;  $p=0,1\%$ ). En el caso de la Zona, este factor present3 tambi3n un valor de  $R=0,431$ ;  $p=0,1\%$  y las tres comparaciones resultaron altamente significativas ( $p=0,1\%$ ). Adem3s, un ANOSIM cruzado entre las categor3as y los factores espaciales, revel3 diferencias significativas entre las Categor3as a trav3 de las Cuencas ( $R=0,525$ ;  $p=0,1\%$ ) y tambi3n entre las Cuencas a trav3 de las Categor3as ( $R=0,398$ ;  $p=0,4\%$ ) (figura 42). Del mismo modo, se encontraron diferencias significativas entre las Categor3as a trav3 de las tres Zonas ( $R=0,235$ ;  $p=0,1\%$ ) y entre las Zonas a trav3 de las Categor3as ( $R=0,522$ ;  $p=0,1\%$ ) (ver figura 43).



**Figura 42.** An3lisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de abundancia de macroinvertebrados bent3nicos por Cuenca+Categor3a correspondiente al periodo entre la Etapa I y VI de este programa de monitoreo. Categor3a: Ausente, Baja, Alta y Muy Alta.



**Figura 43.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de abundancia de macroinvertebrados bentónicos por Zona+Categoría correspondiente al periodo entre la Etapa I y VI de este programa de monitoreo. Categoría: Ausente, Baja, Alta y Muy Alta.

Los resultados de SIMPER indicaron que los taxa que contribuyeron mayormente a la similitud dentro de los grupos de cada categoría fueron los Chironomidae debido a que presentó la mayor abundancia tanto en presencia como en ausencia de *D. geminata* (tabla 14). Si bien, existe una familia dominante en las categorías de desarrollo de *D. geminata*, también se observaron otros taxa que contribuyeron de manera importante a la similitud de las comunidades características de cada categoría. En el grupo Ausente se encontró que Chironomidae, Meridialaris, Andesiops, Limnoperla, Elmidae, Chilina, Simuliidae y Antactoperla contribuyeron en conjunto en un 28% a la similitud del grupo, siguiendo en orden decreciente la contribución individual de cada taxa. En el grupo Baja contribuyeron a su similitud, en 31% los taxa Chironomidae, Meridialaris, Andesiops, Elmidae, Limnoperla, Chilina, Antactoperla, y Tipulidae. En el grupo Alta, los taxa Chironomidae y Meridialris contribuyeron en un 37% a la similitud grupal, mientras que, en Muy Alta, los taxa más relevantes fueron Chironomidae, Meridialris, Andesiops y Elmidae que contribuyeron en un 32%.



**Tabla 14.** Resultados del Análisis del Porcentaje de Similitud (SIMPER) realizado para una matriz promedio de abundancia por familia y Zona-Categoría, para conocer los taxa que mayormente aportan a la similitud intra grupal. Se detalla la abundancia y similitud promedio de cada familia, el % de contribución individual de cada taxa y el % de contribución acumulada. El límite para el corte de las contribuciones fue el 70% (contribución acumulada).

Categoría	Familia	Abundancia prom	Similitud prom.	Sim/SD	% Contribución	%Contribución Acumulada	
Norte	Ausente	Chironomidae	12,80	8,02	1,21	26,50	26,50
		Smicridea	7,90	4,20	0,84	13,86	40,36
		Meridialaris	7,23	3,57	0,73	11,78	52,15
		Andesiops	6,26	3,00	0,70	9,89	62,04
		Limnoperla	4,86	1,85	0,53	6,10	68,14
		Chilina	4,84	1,54	0,47	5,10	73,23
	Baja	Chironomidae	15,86	10,33	1,40	31,32	31,32
		Meridialaris	8,93	4,85	0,88	14,71	46,03
		Smicridea	7,97	4,22	0,82	12,81	58,84
		Andesiops	6,07	2,77	0,65	8,41	67,25
	Alta	Tipulidae	5,79	2,41	0,57	7,30	74,55
		Smicridea	11,57	10,00	indet	20,69	20,69
		Chironomidae	13,55	8,71	indet	18,02	38,71
		Aegla	7,48	7,06	indet	14,61	53,32
		Andesiops	7,14	7,06	indet	14,61	67,93
		Penaphlebia	7,77	6,25	indet	12,93	80,85
	Muy Alta	Chironomidae	19,45	15,30	3,35	40,77	40,77
		Meridialaris	9,08	5,05	0,87	13,46	54,23
		Smicridea	7,37	4,12	0,80	10,97	65,20
		Tipulidae	7,07	2,85	0,55	7,59	72,79
Sur	Ausente	Chironomidae	14,67	9,78	1,40	35,46	35,46
		Meridialaris	10,17	5,40	0,84	19,58	55,04
		Andesiops	6,27	2,53	0,57	9,19	64,23
		Limnoperla	4,53	1,32	0,38	4,80	69,02
		Smicridea	3,87	0,98	0,34	3,57	72,59
		Chironomidae	14,94	10,07	1,37	34,53	34,53
	Baja	Meridialaris	10,36	5,65	0,87	19,36	53,89
		Andesiops	5,63	2,14	0,52	7,35	61,24
		Smicridea	4,93	1,58	0,43	5,42	66,66
		Elmidae	4,32	1,26	0,37	4,33	71,00
		Chironomidae	18,96	13,60	2,51	41,27	41,27
	Alta	Meridialaris	11,45	7,26	1,32	22,03	63,29
		Smicridea	7,91	2,76	0,50	8,37	71,67
		Chironomidae	15,94	10,34	1,36	31,93	31,93
	Muy Alta	Meridialaris	10,91	6,81	1,25	21,01	52,94
		Smicridea	7,16	3,34	0,72	10,30	63,24
		Chilina	4,61	1,81	0,57	5,60	68,84
		Andesiops	5,14	1,75	0,48	5,40	74,23
		Hyaella	15,48	9,74	1,13	28,52	28,52
	Austral	Ausente	Chironomidae	14,43	8,91	1,13	26,09
Meridialaris			7,89	3,92	0,74	11,48	66,08
Chilina			6,12	2,31	0,55	6,77	72,85
Chironomidae			18,21	15,66	3,91	39,46	39,46
Baja		Hyaella	13,75	9,20	1,24	23,17	62,63
		Simuliidae	6,37	3,00	0,64	7,55	70,18
		Hyaella	19,77	15,45	4,24	53,71	53,71
Alta		Chironomidae	17,40	8,53	0,58	29,67	83,38
		Chironomidae	19,52	16,64	3,90	41,73	41,73
Muy Alta		Hyaella	10,60	4,89	0,76	12,26	53,99
		Littoridina	9,04	4,49	0,78	11,27	65,26
		Hirudinea	7,52	3,36	0,74	8,42	73,69



En t3rminos de la disimilitud encontrada entre los grupos dado el factor Zona-Categoría, SIMPER entregó el listado de taxa que presentaron las mayores contribuciones a esta disimilitud. Lo anterior puede ser detectado a trav3s de las variaciones en la abundancia promedio entre los grupos comparados. En la tabla 15 esta informaci3n se resume incluyendo los cinco primeros taxa que tuvieron los mayores porcentajes de contribuci3n en cada una de las comparaciones pareadas. Adem3s, las abundancias de estos taxa fueron representados como burbujas sobrepuestas en el PCO de la figura 43, con el fin de evidenciar las diferencias que ocurren entre los grupos puestos a prueba usando ANOSIM (figura 44). Los taxa con mayor porcentaje de contribuci3n fueron, de acuerdo a la tabla 15, fueron: *Hyalella* (Amphipoda), Chironomidae y Simuliidae (Diptera), *Limnoperla* (Plecoptera), *Smicridea* y Limnephilidae (Trichoptera), *Littoridina* y *Chilina* (Gastropoda). Adem3s, otros taxa relevante fueron los géneros *Aegla* (Decapoda), *Meridialaris* y *Penaphlebia* (Ephemeroptera) debido al porcentaje de contribuci3n y las profundas variaciones debidas a las proliferaciones de *D. geminata*. En la figura 44 es posible apreciar que el patr3n general de la abundancia de estos taxa es que en la Zona Norte las abundancias disminuyen conforme aumenta la densidad de *Didymo*. Si bien, en la Zona Sur parece haber una menor respecto a la Zona Norte, tambi3n es posible observar este patr3n de disminuci3n de acuerdo al incremento de la densidad de *D. geminata*. En la Zona Austral, se observó que una parte importante de los taxa presentaron abundancias mayores que en las otras dos zonas (*Hyalella*, *Limnoperla*, Simuliidae, *Chilina* y *Littoridina*), otros taxa no se encuentran presentes en esta zona (e.g. *Aegla*, *Smicridea* y *Penaphlebia*), mientras que otro grupo presentó abundancias menores que en las otras dos zonas (*Meridialaris* y *Andesiops*). Igualmente, se observó una importante disminuci3n en las abundancias cuando *D. geminata* estuvo presente.

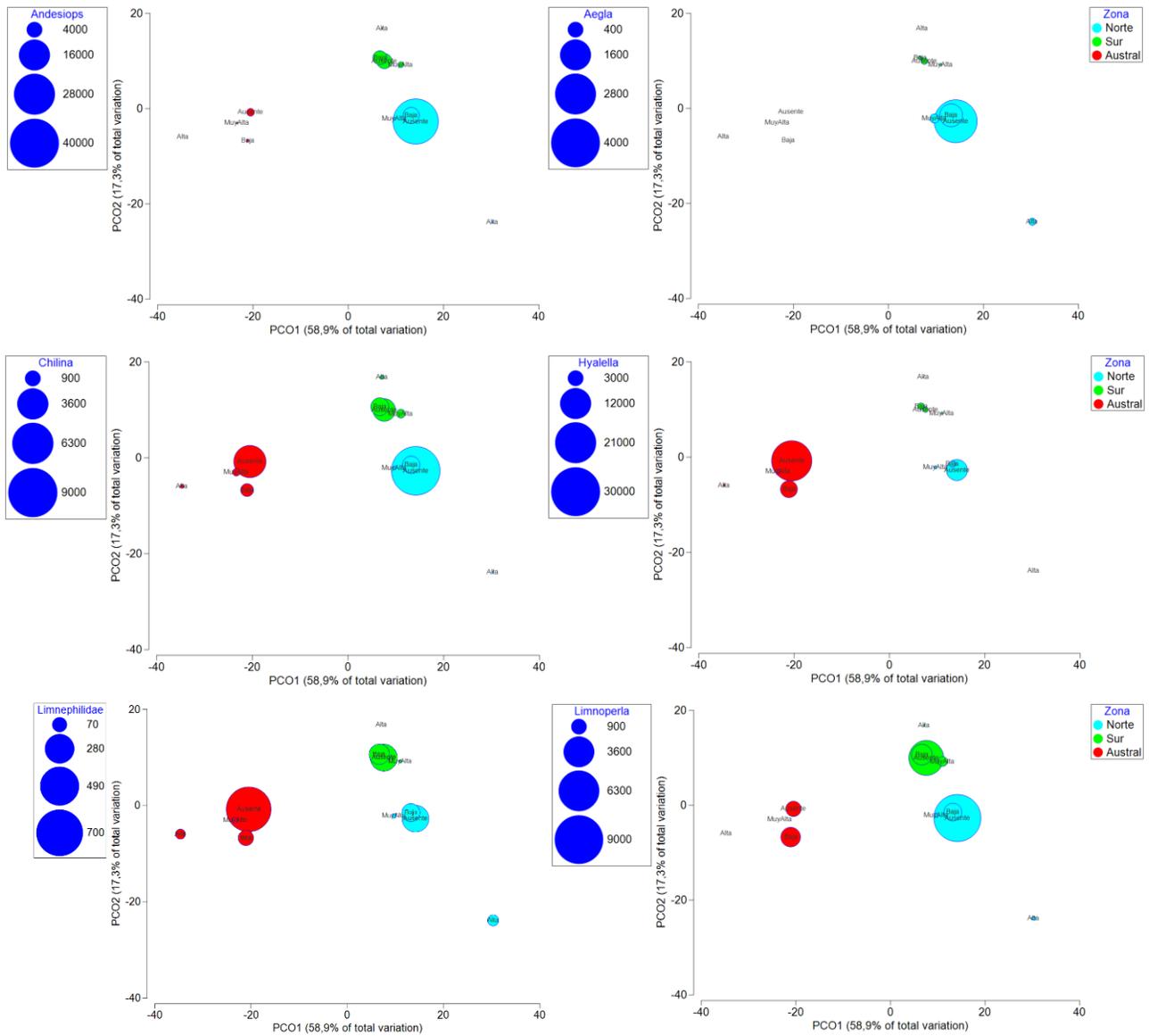
Se analizaron distintos parámetros de diversidad de macroinvertebrados para describir las comunidades de cada Zona-Categoría. En el caso de la riqueza de especies (figura 46. superior izquierda), no se encontró una tendencia clara que permita caracterizar las comunidades de acuerdo a las Zonas-Categorías. Se observó una disminuci3n latitudinal de la riqueza (hacia el sur) y tambi3n se observó que la diversidad tiende a incrementar en las categorías Alta y Muy Alta en las tres Zonas. La diversidad de Simpson (figura 46 superior derecha) mostró que en la Zona Norte experimentó una caída en la Categoría Muy Alta respecto a la categoría Ausente y Baja. En la Zona Sur se evidenció una disminuci3n de la diversidad en Alta que en la condici3n Muy Alta experimentó un incremento hasta alcanzar los valores de Ausente y Baja. En la Zona Austral la tendencia es diferente ya que la diversidad incrementó en relaci3n a la Categoría Ausente. La equitatividad (figura 46 inferior derecha) de las Zonas Norte y Sur mostró una tendencia general de disminuci3n se acuerdo al incremento de la densidad, no así en la Zona Austral donde se encontró que este parámetro incrementó respecto a la categoría Ausente. Para el caso particular de la Dispersi3n Multivariada o recambio de especies (figura 46 inferior izquierda) se pudo observar que en la Zona Norte el parámetro disminuyó en Muy Alta en relaci3n a Ausente, en la Zona Sur se encontró una tendencia general de disminuci3n cuando la densidad de *D. geminata* fue mayor y la Zona Austral exhibió valores mayores en Alta y Muy Alta en comparaci3n a Ausente y Baja.

Se analizaron los mismos parámetros de diversidad incluyendo solamente las cuencas de los ríos Biobío (83), Bueno (103) y Aysén (113) para obtener resultados en una escala espacial más acotada (figura 47). La riqueza (figura 47 superior) no mostró tendencias claras, excepto en Aysén, donde se encontró que el número de especies fue mayor en Muy Alta en relaci3n a Ausente. La diversidad de Simpson (figura 47 medio) mostró que en la cuenca del río Aysén la diversidad fue menor en Baja respecto a Ausente, sin exhibir patrones evidentes. En cambio, la dispersi3n multivariada (figura 47 inferior) muestra una marcada disminuci3n de la diversidad conforme incrementó la densidad de *D. geminata* tanto en la cuenca del Biobío, como en las cuencas del Bueno y el Aysén, destacándose el efecto de pérdida de diversidad a gran escala espacial.

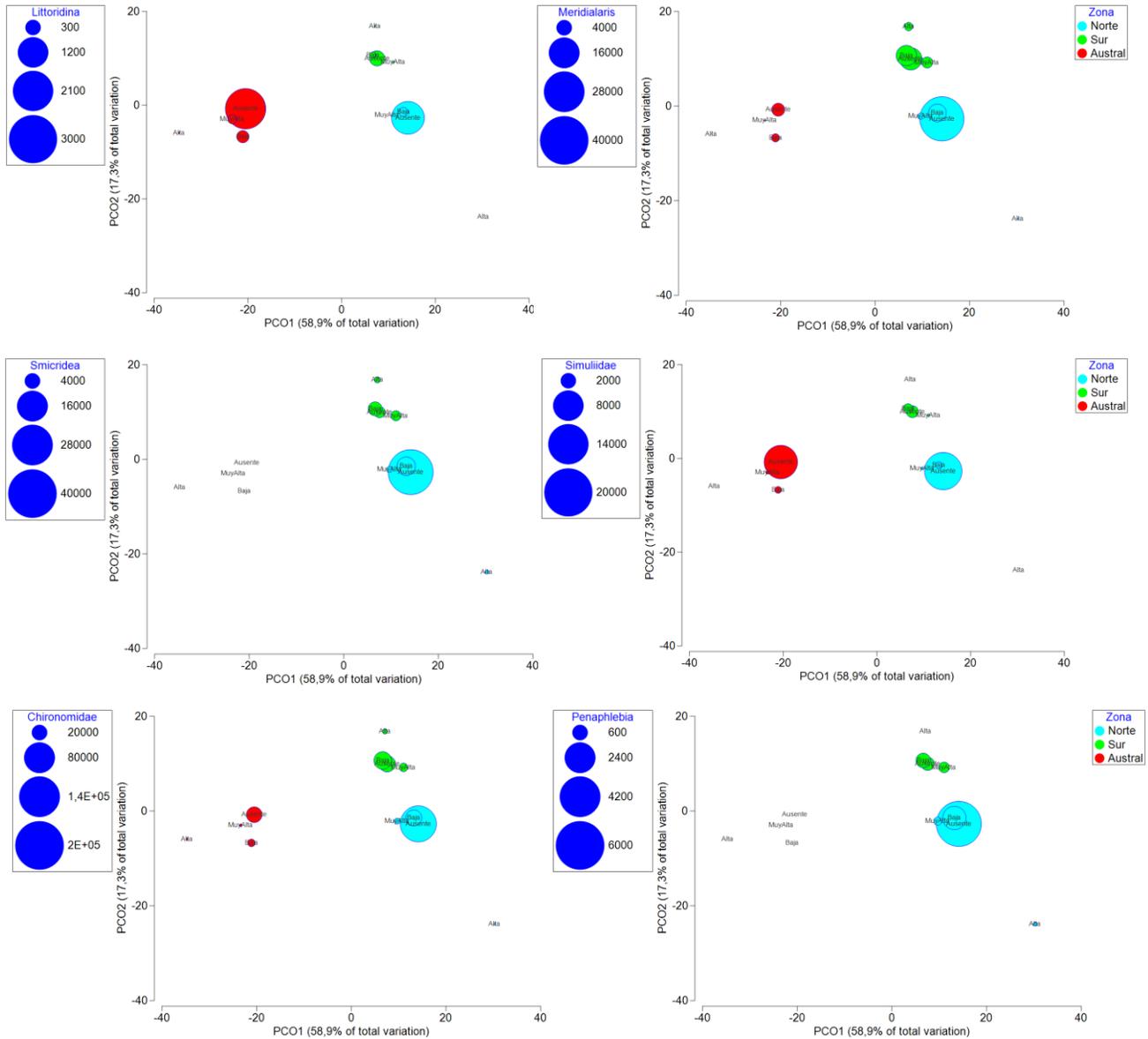


**Tabla 15.** Análisis del Porcentaje de Similitud (SIMPER) de los taxa de macroinvertebrados a la disimilitud de los grupos correspondientes a las Categorías.

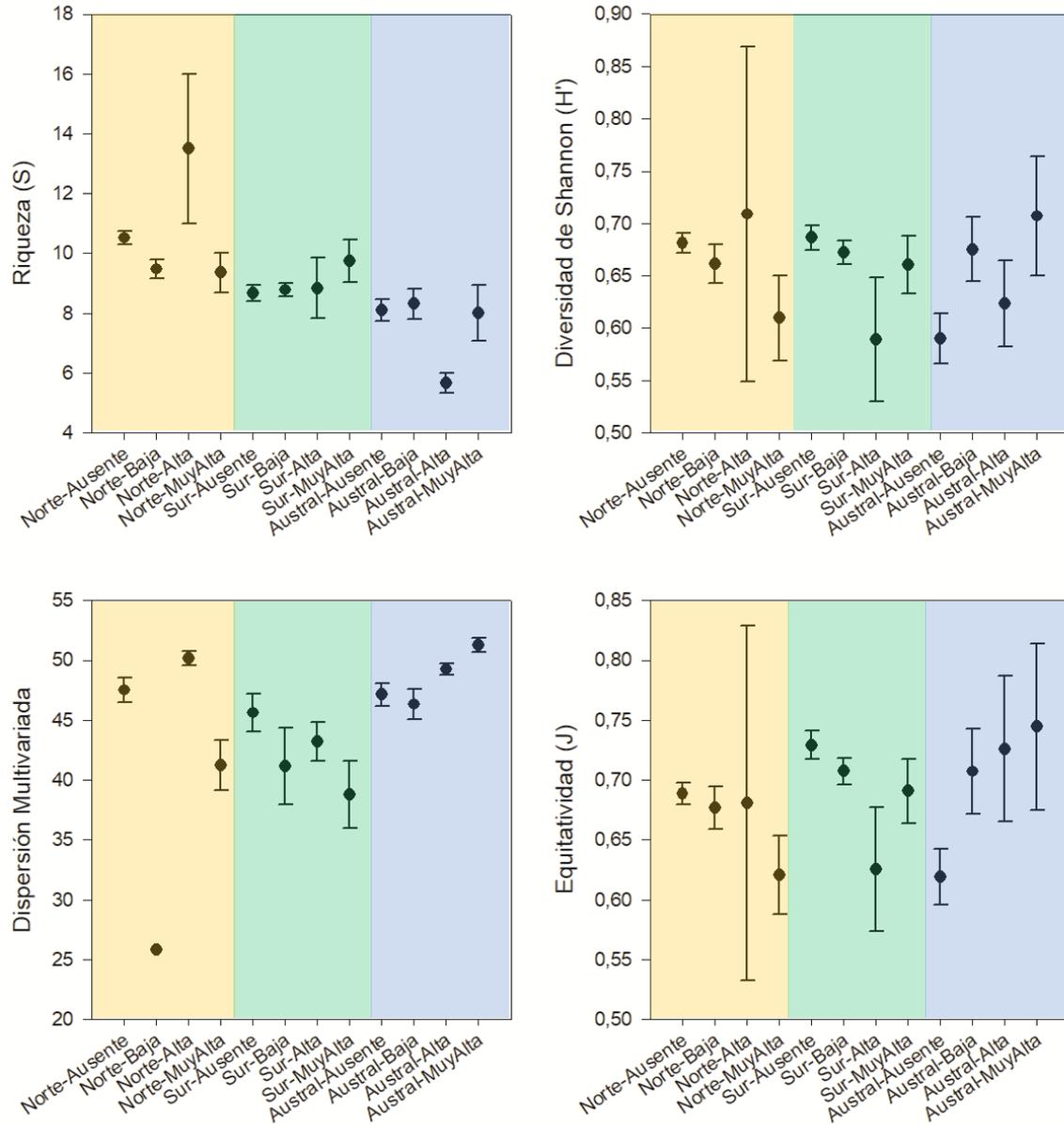
Ausente & Baja (Disimilitud Promedio: 34,71)						
Taxa	Ab. Prom.	Ab. Prom.	Disim. Prom	Disim/DE	Contrib%	Acum.%
Hyaella	2,81	3,36	1,12	1	3,24	3,24
Chironomidae	4,21	5,32	0,82	1,34	2,36	5,6
Limnoperla	2,26	3,21	0,63	0,92	1,83	7,43
Simuliidae	2,77	2,43	0,62	1,04	1,79	9,22
Smicridea	1,74	2,31	0,53	1,35	1,53	10,75
Ausente & Alta (Disimilitud Promedio: 64,42)						
Chironomidae	4,21	10,87	3,33	1,59	5,17	5,17
Limnephilidae	1,41	4,67	2,1	1,64	3,26	8,42
Simullium	2,02	4,86	2,1	1,27	3,25	11,68
Smicridea	1,74	4,72	2,07	1,68	3,21	14,89
Hyaella	2,81	3,91	1,95	1,15	3,03	17,91
Ausente & Muy Alta (Disimilitud Promedio: 48,37)						
Chironomidae	4,21	7,27	1,58	1,39	3,26	3,26
Hyaella	2,81	4,12	1,38	1,16	2,85	6,1
Littoridina	1,84	2,49	1,23	1,26	2,55	8,65
Chilina	2,48	4,15	1,12	0,96	2,31	10,97
Smicridea	1,74	2,73	1,07	2,24	2,22	13,19
Baja & Alta (Disimilitud Promedio: 58,70)						
Chironomidae	5,32	10,87	2,77	1,29	4,73	4,73
Simullium	2,02	4,86	2,1	1,27	3,57	8,29
Limnephilidae	1,62	4,67	2,06	1,72	3,51	11,81
Hyaella	3,36	3,91	2,02	1,2	3,45	15,26
Smicridea	2,31	4,72	1,97	1,88	3,36	18,62
Baja & Muy Alta (Disimilitud Promedio: 42,31)						
Hyaella	3,36	4,12	1,38	1,09	3,27	3,27
Chironomidae	5,32	7,27	1,28	1,32	3,03	6,3
Littoridina	1,77	2,49	1,23	1,19	2,9	9,2
Chilina	2,8	4,15	1,11	0,99	2,61	11,82
Smicridea	2,31	2,73	0,98	2	2,31	14,13
Alta & Muy Alta (Disimilitud Promedio: 57,02)						
Chironomidae	10,87	7,27	2,21	1,19	3,88	3,88
Hyaella	3,91	4,12	2,15	1,34	3,77	7,65
Simullium	4,86	1,96	2,11	1,14	3,69	11,34
Limnephilidae	4,67	1,97	2	1,68	3,52	14,86
Smicridea	4,72	2,73	1,9	1,43	3,34	18,2



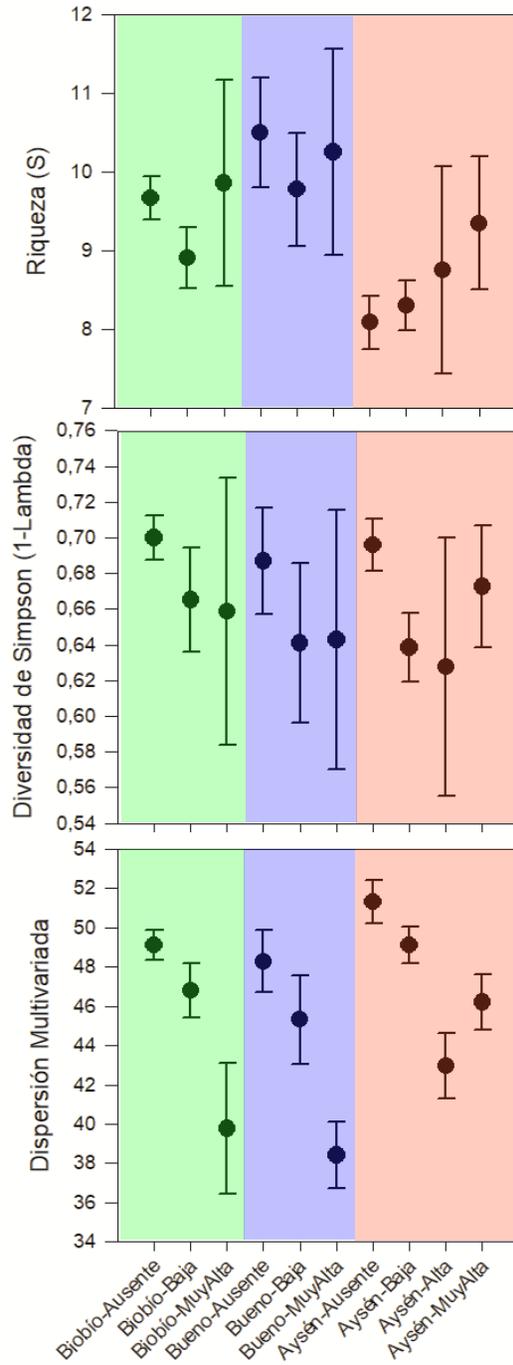
**Figura 44.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de macroinvertebrados bentónicos por grupo Zona-Categoría registrados entre la Etapa I y VI con sobreposici3n de burbujas que representan la abundancia de los taxa más relevantes de acuerdo a SIMPER.



**Figura 45.** Análisis de Coordenadas Principales (PCO) basado en una matriz de macroinvertebrados bentónicos registrados por grupo Zona-Categoría entre las Etapa I y VI. Las abundancias de los taxa que contribuyeron a la disimilitud entre grupos fueron sobrepuestos al PCO como burbujas donde los colores corresponden a las Zonas y las etiquetas a las categorías de Crecimiento de *D. geminata*. El tamaño de las burbujas es proporcional a la abundancia de los taxa.



**Figura 46.** Variaci3n de la diversidad comunitaria promedio de macroinvertebrados bent3nicos a trav3s de las distintas Zonas y Categorías de crecimiento de *Didymo*. En el eje y aparecen cuatro parámetros de diversidad comunitaria: Número de especies o riqueza (izquierda superior), Diversidad de Simpson (derecha superior), Dispersi3n Multivariada (inferior izquierda) y Equitatividad (inferior derecha). Cada símbolo representa el valor promedio y los whiskers corresponden al error estándar de cada parámetro.



**Figura 47.** Variaci3n de la diversidad comunitaria de macroinvertebrados bent3nicos en las cuencas de los ríos Biobío (83), Bueno (103) y Aysén (113) a trav3s de las distintas Categorías de crecimiento de *D. geminata*. En el eje y aparecen cuatro parámetros de diversidad comunitaria: Número de especies o riqueza (superior), Diversidad de Simpson (medio) y Dispersi3n Multivariada (inferior izquierda). Cada símbolo representa el valor promedio y los whiskers corresponden al error estándar de cada parámetro.



#### **6.4 Objetivo específico IV: Crear una base de datos de acceso abierto utilizando un formato estandarizado y validado que incluya los eventos de monitoreo de las Etapas II, III y IV.**

La publicación de los datos pertenecientes al monitoreo genera una apertura al mundo del trabajo realizado en el estudio de la especie plaga *D. geminata*, sus alcances y la distribución que ha alcanzado en el territorio chileno. En una primera instancia y por labores realizados por Constanza Figueroa (practicante), Leisy Amaya, Paulina Stowas, ambas profesionales del MMA y en conjunto con profesionales de la SSPA y el equipo de trabajo del presente proyecto, se realizó la primera publicación de los datos del monitoreo, todos pertenecientes a la Etapa I. Dentro del proceso resaltan actividades como:

- i. Mayo 2021, inicio trabajo coordinación con equipo técnico de SSPA, MMA y equipo de trabajo proyecto Didymo (IFOP).
- ii. 4 de junio 2021, inscripción de la SSPA en GBIF.
- iii. 24 de junio 2021, inicio trabajo con estudiante en práctica.
- iv. 8 de julio 2021, taller de capacitación del MMA a SSPA e IFOP “Gestión y publicación de datos de biodiversidad a través de GBIF”
- v. Agosto-noviembre 2021, trabajo en elaboración de Bases de datos, revisión de fichas, metadatos y ficha de inventario nacional de especies.
- vi. Noviembre 2021, la Subsecretaría se inscribe como organismo miembro para la publicación de datos en la plataforma GBIF
- vii. 22 de noviembre 2021, publicación de datos en plataforma GBIF, convirtiéndose en las una de las primeras instituciones públicas en Chile en dar libre acceso a un conjunto de datos
- viii. El 22 de diciembre de 2021 la SSPA, publica por primera vez un set de datos en GBIF correspondiente al estudio Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la zona centro sur austral de Chile, Etapa I (2016 - 2017)”

Para este proceso de publicación las planillas de “Event core” constituyeron 27 encabezados y 330 eventos de muestreo, mientras que la planilla de “occurrence” se constituyó a partir de 22 encabezados y 1320 registros. Por último, la planilla de “measurementOrFact” se constituyó de 8 encabezados y 990 registros. En la plataforma de GBIF se puede encontrar el recurso registrado con DOI 10.15468/wryneh y con enlace <http://gbif-chile.mma.gob.cl/jpt/resource?r=didymo>

Para el caso de la segunda publicación, se realizaron las siguientes actividades en conjunto con el MMA y la SSPA

- 4 de julio de 2022, primera instancia de coordinación SSPA y MMA para publicación a cargo de IFOP
- 11 de agosto y 12 de octubre de 2022, reunión en conjunto con profesionales de la SSPA y MMA para revisión de los recursos que fueron subidos a la plataforma GBIF
- 20 de octubre de 2022, carga de la primera parte de los datos en la plataforma GBIF.
- 25 de octubre de 2022, carga completa de los datos a la plataforma GBIF

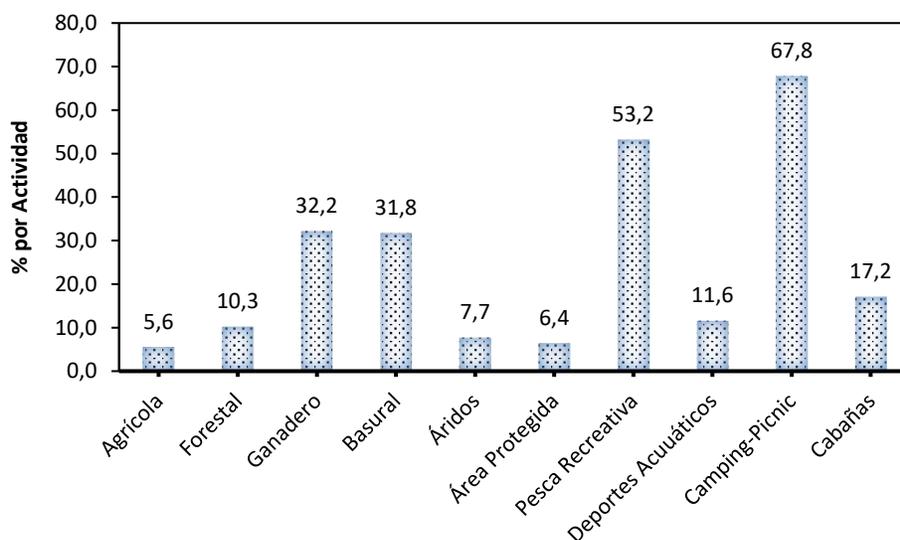


En esta segunda instancia de publicación, la cual corresponde a las Etapas II, Etapa III y Etapa IV y se llevó a cabo mediante la generación de las planillas “Event core”, “occurrence” y “measurementOrFact” y con los mismo encabezados, de forma que se mantuviera la estructura de las diversas publicaciones que se quieren realizar como proyecto de monitoreo. La generación de la información de cada una de las planillas y metadatos se realizó con responsabilidad absoluta del equipo de trabajo del proyecto Didymo-IFOP, obteniendo un total de 821 registros para la planilla “Event core”, 3.284 registros para la planilla “occurrence” y 2.463 registros para la planilla “measurementOrFact”. El recurso se encuentra registrado en GBIF bajo el DOI 10.15468/vw9fcc y el enlace [http://gbif-chile.mma.gob.cl/ipt/resource?r=didymo\\_2\\_3\\_4](http://gbif-chile.mma.gob.cl/ipt/resource?r=didymo_2_3_4)



### 6.5 Objetivo especfico V: Identificar y evaluar las diferentes vfas de dispersi3n de la plaga en base a las actividades locales

Dada la importancia de las actividades identificadas en terreno y en la literatura disponible, se realiz3 una categorizaci3n en t3rminos de los vectores y f3mites relacionados a la plaga, considerando, adem3s el nivel de alcance geogr3fico que podrfa tener su dispersi3n. Las actividades ejecutadas en los cursos de agua que tienen mayor preponderancia, de acuerdo a bibliograffa, corresponden a la pesca recreativa y deportes acu3ticos, coincidentemente la actividad m3s frecuente vista en terreno, corresponde a camping-picnic, seguido por pesca recreativa (figura 48). El desglose de las actividades, vectores, f3mites y alcances geogr3ficos se encuentran reflejadas en la tabla 16.



**Figura 48.** Sntesis de las distintas actividades econ3micas desarrolladas en las cuencas monitoreadas. Los n3meros est3n expresados en porcentajes de sitios por el total de sitios muestreados en la presente etapa.



**Tabla 16.** Actividades, vectores, fómites y alcances geográficos identificados para la facilitación de la dispersión de *Didymosphenia geminata* en Chile.

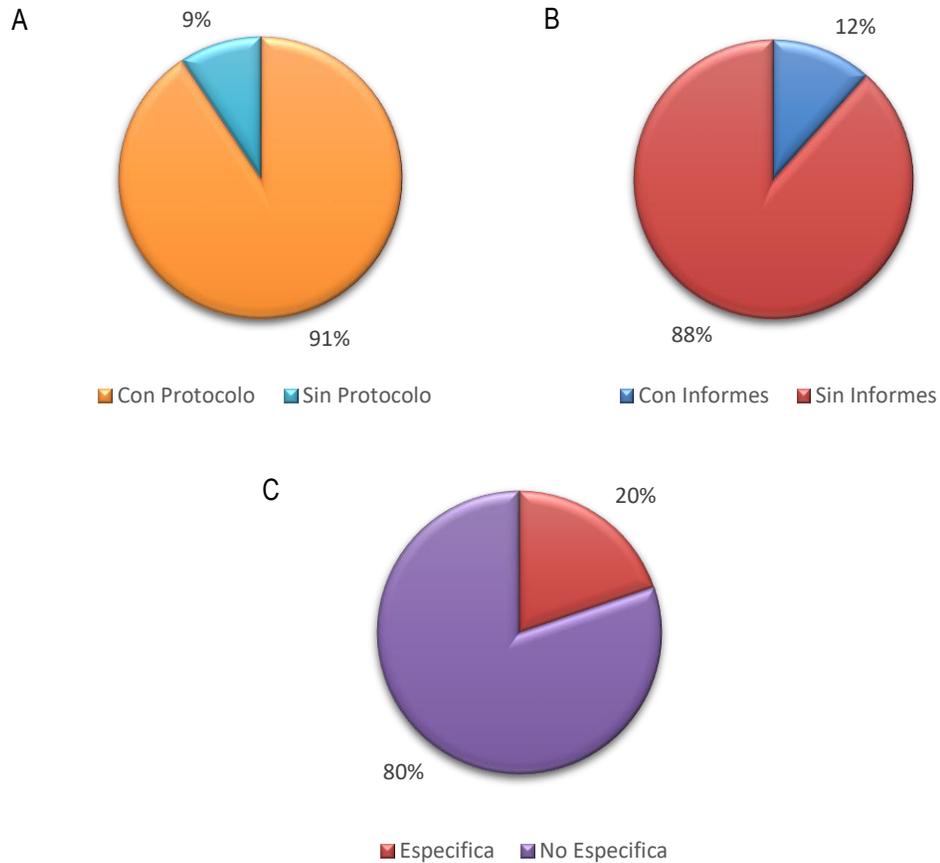
Factores	Vectores	Fómites asociados	Alcance geográfico	Bibliografía
<b>Turismo</b>				
Pesca recreativa	Personas	Vadeadores, aparejos de pesca y botes a motor	Tramo / Intercuencia, Inter-regional, Internacional	(Beamud et al., 2019; Max L. Bothwell et al., 2009; Max L. Bothwell & Kilroy, 2011; Bus Leone, 2013; Díaz et al., 2016; C. Gillis et al., 2018; C Kilroy & Bothwell, 2014; C Kilroy & Unwin, 2011; Larson & Carreiro, 2008; Spaulding & Elwell, 2007)
Deportes acuáticos	Personas	Kayak, Botes, motos, motor, indumentaria	Tramo / Intercuencia, Inter-regional, Internacional	(Beamud et al., 2019; Bus Leone, 2013; Díaz et al., 2016; C Kilroy & Unwin, 2011; Larson & Carreiro, 2008)
Camping & Picnic	Personas	Indumentaria, equipamiento	Tramo / Intercuencia	(Bus Leone, 2013; Díaz et al., 2016)
Contemplación	Personas	Indumentaria	Tramo / Intercuencia	(Bus Leone, 2013; Díaz et al., 2016)
<b>Ganadería</b>	Vacunos, ovejas, caballos, perros.		Tramo / Subcuenca	(C Kilroy & Unwin, 2011)
<b>Agricultura</b>	Caballos	Canales de regadío	Subsubcuenca / Subcuenca	(C Kilroy & Unwin, 2011)
<b>Piscicultura</b>				
Internación de especies (e.g. ovas)		Estanques, Agua contaminada	Subcuenca / Intercuencia, inter-regional, Internacional	
Escape de peces	Peces	-	Tramo / Intercuencia	
Traslado de ovas u otros estadios dentro del país	Peces	Estanques, Agua contaminada	Tramo / Intercuencia	
<b>Investigación y consultoría</b>	Personas	Indumentaria, equipamiento	Tramo / Intercuencia, Inter-regional, Internacional	(Kaštokský et al., 2010; C Kilroy & Unwin, 2011)
<b>Extracción de áridos</b>	Sedimentos		Tramo / Intercuencia	
<b>Especies exóticas</b>	Salmónidos, visón, castor, animales de acuario		Tramo / Intercuencia	(Bus Leone, 2013; Copp et al., 2007; C Kilroy & Unwin, 2011; Cathy Kilroy et al., 2021; Leone et al., 2014)
<b>Fauna silvestre</b>	Aves y mamíferos		Tramo / Intercuencia	(C Kilroy & Unwin, 2011; Cathy Kilroy et al., 2021; Leone et al., 2014)
<b>Viento</b>		Viento	Tramo / Subcuenca	
<b>Macrófitas</b>	Macrófitas		Tramo / Subcuenca	
<b>Material flotante en deriva</b>		Troncos, objetos	Tramo / Subcuenca	
<b>Facilitadores de la prevalencia de floraciones</b>				
<b>Pulsos de inundación</b>	-	Agua	Tramo / Subcuenca	(C Kilroy & Unwin, 2011)
<b>Generación hidroeléctrica</b>	-	-	Subcuenca, cuenca	(Hammond, 2013; Cathy Kilroy et al., 2021)

Como se puede observar en la tabla 16, se establecen diferentes factores que pueden propiciar las condiciones idóneas para el traslado de células viables de *D. geminata* para que pueda dispersar, en este bloque se exponen dos factores que serían clave, como lo son la investigación y consultoría y la pesca recreativa al ser actividades en las que se necesita tener contacto directo con el agua.



## Investigaci3n y consultor3a

Uno de los factores importantes que facilitan la dispersi3n de la plaga corresponde a la investigaci3n y consultor3a asociada a los cursos y cuerpos de agua continental, en la que cada vez que se visita un punto o estaci3n para levantar datos y muestras, ingresan a lo menos, tres personas lo que constituye un equipo b3sico para estos fines. Esto toma relevancia ya que, a trav3s de la SSPA, se solicit3 informaci3n sobre estudios limnol3gicos asociados a la cuenca del r3o Bueno, por lo cual entregaron la cantidad de 86 resoluciones distribuidas en un horizonte temporal desde el a3o 2012 al 2019 (figura 49). Se realiz3 una revisi3n de estas con el fin de determinar en cu3ntas de estas se incluyeron protocolos de desinfecci3n, informes asociados y su extensi3n territorial. Dado esto se obtuvo que en 69 resoluciones (80%), fueron solicitadas y emitidas sin informar la extensi3n real de los estudios, esto ya que se mencionan en t3rminos generales que se realizar3a en territorio chileno sin especificar donde ser3an ejecutadas las actividades, o en su defecto, incluyendo cuatro regiones o m3s, todo esto sin adjuntar informes (s3lo 10). Sin embargo, en 78 resoluciones (91%) fueron incluidas expl3citamente en un apartado, las medidas que se deben contemplar, de car3cter obligatorio, para desinfectar todos los materiales y equipos como redes, botas, zapatos, fluj3metro, veh3culos y motores (SSPA, 2011) que hayan tenido contacto directo con el agua para aplicar la desinfecci3n correspondiente. Adem3s, se menciona que los investigadores deban avisar si en los an3lisis de microalgas se registraron c3lulas de *D. geminata*.



**Figura 49.** Características relevantes de Permisos de pesca de investigaci3n que contribuyen a la dispersi3n de *D. geminata*, durante siete a1os (2012-2019), n1mero que incluyen protocolos de desinfecci3n (A) de *Didymosphenia geminata* (Con protocolo) y que no incluyeron (Sin Protocolo); n1mero de permisos que incluyeron informe (Con Informes) y n1mero de aquellos que no incluyeron informes (Sin Informes) (B), y n1mero de permisos (C) que incluían extensi3n territorial especifca (Especifca) y las que no (No Especifca).

Estos resultados sugieren que en investigaci3n y consultoría y los permisos asociados a esta actividad, la gran mayoría de las resoluciones presenta protocolos de desinfecci3n para evitar la dispersi3n de *D. geminata*. Por otro lado, se evidencia que se solicitan permisos de pesca para extensos territorios incluso para todo el país, lo cual, no se logra corroborar la extensi3n geográfica real del estudio, ya que se incluy3 una parte de los informes al estudio realizado.

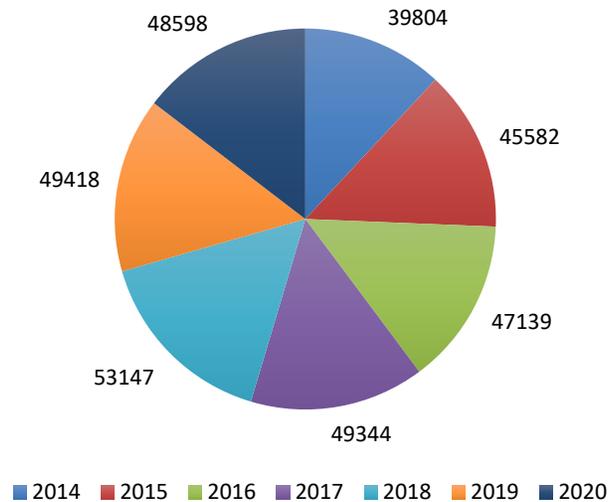
Es importante se1alar que para desarrollar correctamente la actividad de investigaci3n limnol3gica en cursos y cuerpos de agua es necesario contar con al menos tres investigadores por sitio o estaci3n de muestreo, lo cual la suma de este factor asciende a 258 investigadores en cada punto de muestreo y, que eventualmente se movilizaron a otros puntos donde realizan investigaci3n, ya sea dentro o fuera de la cuenca del Rí3 Bueno.



## Pesca Recreativa

### Licencias de pesca

Otro factor, a3n m1s relevante que la investigaci3n y consultor3a, al momento de evaluar la dispersi3n de la especie plaga, corresponde a la pesca recreativa, por lo que es fundamental poseer informaci3n asociada a esta actividad. En Chile existen estudios asociados a la pesca recreativa relacionados a aspectos econ3micos y a la caracterizaci3n de esta actividad en r3os de la regi3n de Ays3n (Centro Trapananda, 2000,2002,2004,2005; N3ñez-Parrado & Niklitschek-Huaqu3n, 2010) pero no as3 en el resto de Chile. Un estimador de los vectores y presi3n de prop1gulos que adquiere relevancia son las ventas de licencias de pesca recreativa en Chile, lo que se observa en detalle en figura 50 y tabla 17. De acuerdo con esto, se han vendido en promedio 47.576 ( $\pm 4146,7$ ) unidades al a3o desde el 2014 al 2020. Para el a3o 2022 se observa la menor cantidad de licencias vendidas que en los 3ltimos tres a3os consecutivos anteriores, asociado eventualmente a los efectos de la pandemia del COVID-19. Se estima que al menos, por cada licencia vendida, le acompa3e una persona al pescador, lo cual duplica las posibilidades de ser vectores que tengan la capacidad de retenci3n de gran cantidad de c3lulas seg3n los materiales que utilicen en la actividad y, generar una mayor presi3n de prop1gulos en cursos o cuerpos de agua en donde a3n no se ha registrado la plaga en ninguna de sus fases.



**Figura 50.** Licencias de pesca recreativa vendidas por a3o durante siete a3os (2014-2020). Elaboraci3n propia a partir de SERNAPESCA (2022b).



**Tabla 17.** Ventas anuales de licencias de pesca recreativa durante el per3odo 2014-2020 en Chile. Elaboraci3n propia a partir de SERNAPESCA (2022b).

Año	Total Nacional	Total Extranjeros
2014	37.441	2.363
2015	42.627	2.955
2016	43.868	3.271
2017	45.834	3.51
2018	49.86	3.287
2019	46.408	3.01
2020	47.061	1.537

### Áreas de pesca

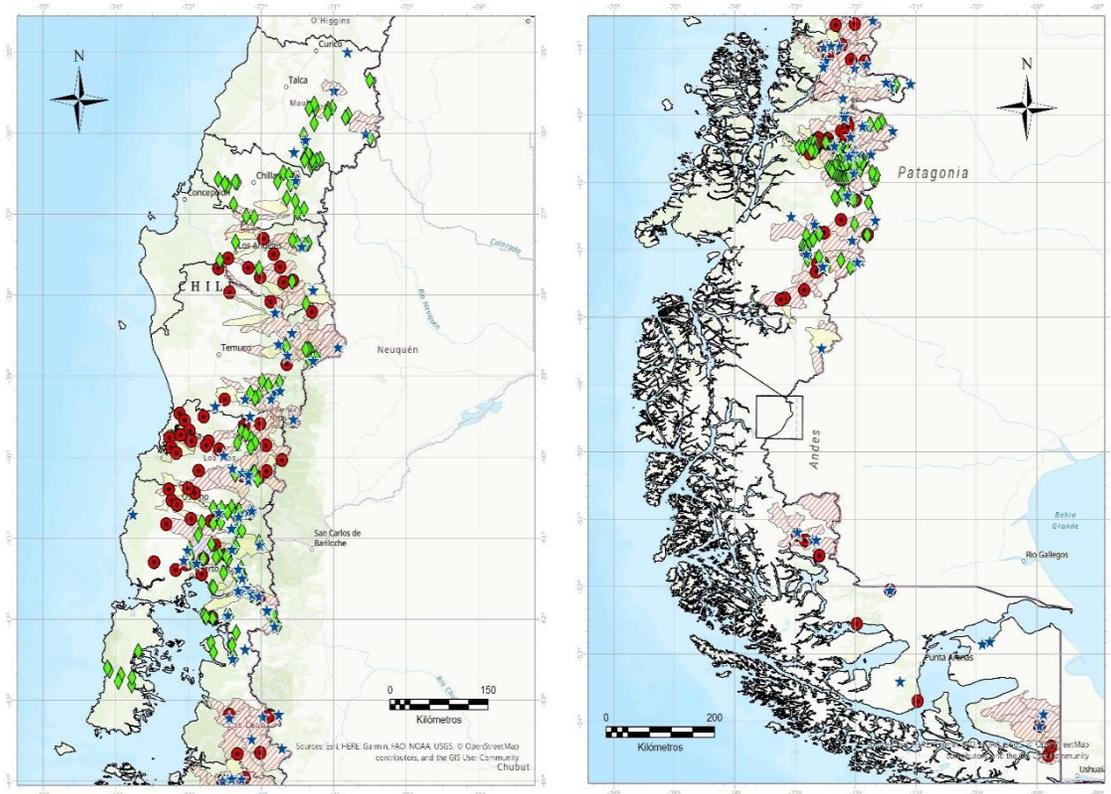
Asociado a las actividades acuáticas, es que toma relevancia conocer la ubicaci3n de las zonas de pesca recreativa en donde poder realizar un seguimiento o levantar informaci3n con el fin de evaluar el estado de los cursos de agua en donde se lleva a cabo esta actividad en t3rminos de la presencia de la plaga. Es en este contexto que se georreferenciaron puntos o zonas de pesca recreativa que corresponden al a3o 2007 desde la regi3n del Maule hasta la regi3n de Ays3n. En la regi3n de Magallanes y la Antártica Chilena no se registraron zonas de pesca.

Asociado a estas zonas est3n las especies objetivo que buscan los pescadores recreativos, estas especies son: *Salmo trutta* (trucha fario o marr3n), *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoiris), *Basilichthys microlepidotus* (pejerrey chileno), *Percichthys trucha* (perca trucha), *Odontesthes bonariensis* (pejerrey argentino), *Oncorhynchus kisutch* (salm3n coho), *Salmo salar* (salm3n salar) y *Oncorhynchus tshawytscha* (salm3n Chinook).

### Estaciones Desinfecci3n

Otro aspecto relevante son los lugares donde el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, ha fijado estaciones de desinfecci3n, lo cual permite tener un alcance real y espec3fico de los sectores donde eventualmente se realiza desinfecci3n. Estas estaciones actúan como barrera sanitaria evitando la introducci3n o, en su defecto, la dispersi3n hacia otros cursos y/o cuerpos de agua, siempre y cuando se sigan estrictamente los protocolos. Los protocolos de desinfecci3n basan su uso en lo mencionado en la resoluci3n exenta 332/2011 en donde se explica en detalle c3mo desinfectar de manera adecuada todo lo que haya tenido contacto con el agua.

Para lograr obtener un orden y su correcta visualizaci3n es que se gener3 un mapa (figura 1) en el que se incluyen las áreas de pesca de SERNAPESCA (2022a), estaciones de desinfecci3n (SERNAPESCA, 2022b) y las estaciones en donde se registr3 actividad de pesca recreativa tales como: pescadores *in situ*, lienza, anzuelos, envases de insumos para pesca, plomos (pesas), tornos, entre otros. Sumado a esto se le agreg3 una capa que contiene las áreas declaradas riesgo de plaga y plaga derivadas de la resoluci3n exenta 1854/2022 de la SSPA.



**Figura 51.** Distribución geográfica de las estaciones de desinfección para el control de la plaga *Didymo* (estrellas azules) y áreas de pesca desde Maule a Aysén determinadas por SERNAPESCA (rombos verdes), pesca recreativa en círculos rojos con punto negro en el centro y áreas declaradas plaga (achurado rojo) y áreas declaradas en riesgo de plaga (achurado amarillo).

Se puede observar que gran parte de las áreas de pesca identificadas y las estaciones de desinfección se concentran hacia la zona este de las cuencas/regiones, así como también están distribuidas las áreas declaradas. Las estaciones de monitoreo donde se registró actividad asociada a la pesca recreativa se distribuyeron de similar manera, solo rompiéndose este patrón en las cuencas de los ríos Valdivia y Bueno. De esta manera se logra observar que hay una relación entre las tres estudios y la presencia de áreas de plaga donde se encuentran los puntos o que colindan con estas áreas.



### 6.5.1 Presión de propágulo y pruebas desinfección.

En este apartado se presentan los resultados de las pruebas de presión de propágulos y desinfección realizadas en cuatro ríos en la cuenca del Bueno en época de invierno (2021) y verano (2022), poniendo a prueba las diferencias en la utilización de dos trajes de distintos materiales asociados a las actividades de pesca e investigación.

#### 6.5.1.1 Presión de Propágulos

##### *Invierno (2021)*

De acuerdo a la información recabada en la prueba de propágulo (tabla 18), se puede visualizar que el río Gol Gol no presentó *D. geminata* al momento de realizar las pruebas, mientras que los ríos Calcurrupe y Pillanleufú sí registraron *D. geminata* en el fitobentos y se encontraron células en muestras de fitoplancton en los ríos Calcurrupe, Florín y Pillanleufú. En cuanto al número de células encontradas en los vadeadores, resalta la cantidad de células en el río Calcurrupe para el vadeador de neopreno con suela de fieltro, el cual presentó la mayor cantidad de células adheridas al vadeador a los 5 minutos, mientras que el vadeador de PVC presentó una menor abundancia de células, alcanzando la mayor cantidad de células adheridas también en a los 5 minutos. Además, la mayor cantidad de células encontradas en los vadeadores para el río Calcurrupe, corresponde a una exposición de tan sólo de 5 minutos al lecho del río. Por otra parte, en el río Pillanleufú, solo el vadeador de neopreno alojó células de *D. geminata*, pero esta vez, en los 50 y 60 min de exposición en el lecho del río. Es relevante señalar que en el río Florín, donde se detectaron células solo en el fitoplancton, no se observaron células en ninguno de los dos vadeadores.

**Tabla 18.** Resultados de la prueba de presión de propágulos obtenida en 4 ríos de la cuenca del río Bueno: Calcurrupe, Florín, Pillanleufú y Gol Gol, durante época de invierno. En la primera columna se mostraron los tiempos de exposición de los vadeadores en el lecho de los ríos, así como las muestras extraídas del río, las siguientes columnas se presentan la cantidad de células obtenidas de *D. geminata* por cada río, tipo de vadeador y las muestras ambientales (Amb.) de perifiton (cél/mm<sup>2</sup>), fitoplancton (cél/100L).

	Calcurrupe			Florín			Pillanleufú			Gol Gol		
	Neoprén	PVC	Amb.	Neoprén	PVC	Amb.	Neoprén	PVC	Amb.	Neoprén	PVC	Amb.
5 min	12	6		0	0		0	0		0	0	
10 min	6	4		0	0		0	0		0	0	
20 min	4	2		0	0		0	0		0	0	
30 min	4	3		0	0		0	0		0	0	
40 min	5	2		0	0		0	0		0	0	
50 min	4	3		0	0		2	0		0	0	
60 min	5	4		0	0		1	0		0	0	
Fitoplancton			6			4			8			0
Fitobentos			1			0			2			0

##### *Primavera-verano (2022)*

Esta prueba fue realizada en la campaña 1 de la presente durante el mes de marzo, donde por razones de ingreso a la estación Florín se reemplazó por otro río llamado Curriñe, ubicado en las cercanías de la localidad de Maihue, en la comuna de Futrono.



Esta prueba fue realizada en verano, con el fin de contrastar la informaci3n recabada en la campaa de otoaio-invierno de la etapa V, en donde las condiciones meteorol3gicas y del r3o propiamente tales no fueron las id3neas, pero que sin embargo mostraron la realidad de los cursos de agua.

En general, se puede observar que en esta oportunidad se detectaron floraciones (Curriñe) y se registraron c3lulas en los 4 r3os muestreados para ambos vadeadores, neopreno y pvc respectivamente. Em tanto, el r3o donde se registr3 la mayor abundancia celular fue Curriñe, alcanzando las 53386 unidades a los 10 minutos de exposici3n en el vadeador de neopreno. Por otro lado, el r3o Gol Gol no registr3 c3lulas de *D. geminata* en las exposiciones de 5, 10, 20, 30 y 40 minutos para el vadeador de pvc.

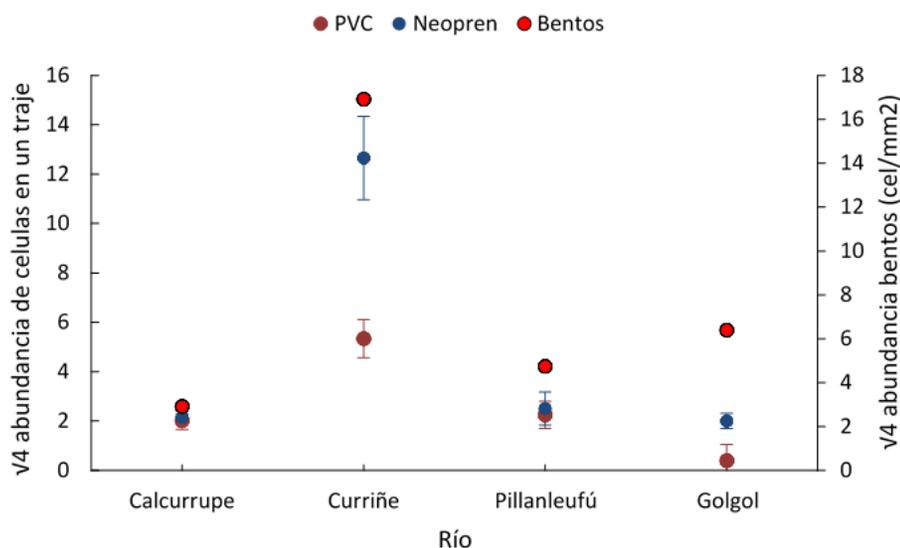
**Tabla 19.** Resultados de la prueba de presi3n de prop3gulos obtenida en 4 r3os de la cuenca del r3o Bueno: Calcurrupe, Curriñe, Pillanleuf3 y Gol Gol, durante 3poca de verano. En la primera columna se mostraron los tiempos de exposici3n de los vadeadores en el lecho de los r3os, as3 como las muestras extra3das del r3o, las siguientes columnas se presentan la cantidad de c3lulas obtenidas de *D. geminata* por cada r3o, tipo de vadeador y las muestras ambientales (Amb.) de perifiton (c3l/mm<sup>2</sup>), fitoplancton (c3l/100L).

	Calcurrupe			Curriñe			Pillanleuf3			Gol Gol		
	Neopren	PVC	Amb.	Neopren	PVC	Amb.	Neopren	PVC	Amb.	Neopren	PVC	Amb.
5 min	16	17	33	48106	312	48418	72	26	98	12	0	12
10 min	15	15	30	53386	439	53825	21	8	29	15	0	15
20 min	24	18	42	16500	728	17228	31	7	38	15	0	15
30 min	21	6	27	15166	1506	16672	118	100	218	16	0	16
40 min	27	53	80	17040	785	17825	105	25	130	10	0	10
50 min	20	21	41	22100	1489	23589	4	17	21	51	4	55
60 min	28	8	88	24200	1012	25212	24	55	79	10	3	13
Fitoplancton			39			3600			82			43
Fitobentos			72			81666			504			1668

Con el fin de identificar alguna relaci3n entre los diferentes factores evaluados, se llev3 a cabo la rutina ANOSIM con los datos transformados mediante ra3z cuarta. Para el factor combinado R3o+Vadeador se obtuvo un valor  $R = 0.596$  ( $p = 0.1\%$ ) mostrando que existen diferencias si se consideran el factor R3o y el factor Vadeador. En el caso del ANOSIM de dos v3as donde se consider3 el factor Tiempo y el factor R3o mostr3 un valor  $R = 0.321$  ( $p = 0.1\%$ ) para la evaluaci3n en base del factor R3o a trav3s de todos los grupos de Tiempo, mientras que para la prueba que observa las diferencias del factor Tiempo a trav3s de los grupos R3os se obtuvo un  $R = -0.122$  ( $p = 90.7\%$ ). Estos resultados muestran que existen diferencias significativas entre cuando se considera el R3o y el vadeador en conjunto. A su vez, se observa que existen diferencias significativas entre la presi3n de prop3gulos entre los diferentes R3os y que no existen diferencias significativas entre el tiempo exposici3n para la captaci3n de prop3gulos de *D. geminata*.

Es importante considerar tambi3n los efectos que genera cada uno de los trajes en cada uno de los r3os y de acuerdo a lo obtenido en la presi3n de prop3gulos se observa que en cualquiera fuera el r3o donde se realiz3 la prueba de presi3n de prop3gulos, el vadeador con suela de fieltro fue el vadeador que contaba con m3s c3lulas. Cabe destacar que, como indicaba el an3lisis entre los diferentes R3os, los r3os donde se realizaron las pruebas son diferentes y, esta diferencia tambi3n se observa a la hora de identificar la cantidad de c3lulas captadas por cada vadeador. Para el caso de los r3os Calcurrupe y Pillanleuf3, la densidad obtenida a partir del muestreo del bentos alcanz3 densidades de 72 cel/mm<sup>2</sup> y 504 cel/mm<sup>2</sup>, respectivamente y mostr3 baja

diferencia entre la cantidad de c3lulas adheridas en los vadeadores de acuerdo al an3lisis de Kruskal Wallis, el an3lisis arroja un valor  $p=0.224$  y  $p=0.406$ , respectivamente, mostrando que no existieron diferencias significativas entre los vadeadores. Por otra parte, el r3o Gol Gol present3 densidad de  $1668 \text{ cel/mm}^2$  en el bentos y obtuvo un valor  $p= 0.002$  para Kruskal Wallis, mostrando que existieron diferencias significativas entre ambos vadeadores. Este mismo efecto se observ3 para el r3o Curri3e, donde se obtuvo una densidad de  $81.666 \text{ cel/mm}^2$  y valor  $p=0.002$  para Kruskal Wallis, mostrando as3 que existen diferencias significativas entre ambos vadeadores (ver figura 35)



**Figura 52.** Abundancia de c3lulas obtenidas en el ambiente bent3nicos ( $\text{cel/mm}^2$ ) y en el vadeador de neopreno y PVC (c3lulas en un traje) en cada uno de los r3os donde se realiz3 la prueba de prop3gulos. Se incorpora para ambos vadeadores su desviaci3n est3ndar. Adem3s, se se3ala los valores obtenidos a trav3s el an3lisis no param3trico de Kruskal Wallis para identificar las diferencias estad3sticas entre los dos vadeadores en cada r3o.

### 6.5.1.2 Prueba de desinfecci3n

Para la prueba de desinfecci3n realizada en invierno del 2021, donde las densidades de *D. geminata* en el bentos son sumamente bajas, se obtuvo que para los tratamientos con concentraci3n m3s bajas (Lavalozas 2,5%, Cloro 1%, Cloro 1%-Lavalozas 2,5%) se encontraron c3lulas viables de *D. geminata* solo para el vadeador de neopreno, alcanzando una efectividad de desinfecci3n (proporci3n de c3lulas muertas) del 71% para Lavalozas 2,5%, 75% de efectividad de desinfecci3n para el Cloro 1% y 86% efectividad de desinfecci3n para la mezcla Cloro 1%-Lavalozas 2,5%.

En el caso de las concentraciones medias que, a su vez, son las utilizadas en protocolos de desinfecci3n (Sal 5%, Lavalozas 5%, Cloro 2% y Cloro 2%-Lavalozas 5%) se evidenci3 que en ambos vadeadores desinfectados con sal al 5% mantiene c3lulas viables, alcanzando un 50% de efectividad de desinfecci3n para el vadeador de neopreno, y 0% de efectividad para el caso del vadeador de PVC. En la desinfecci3n realizada con lavalozas no se logr3 identificar c3lulas viables, pero hay que destacar que para este tratamiento solo se encontraron 2

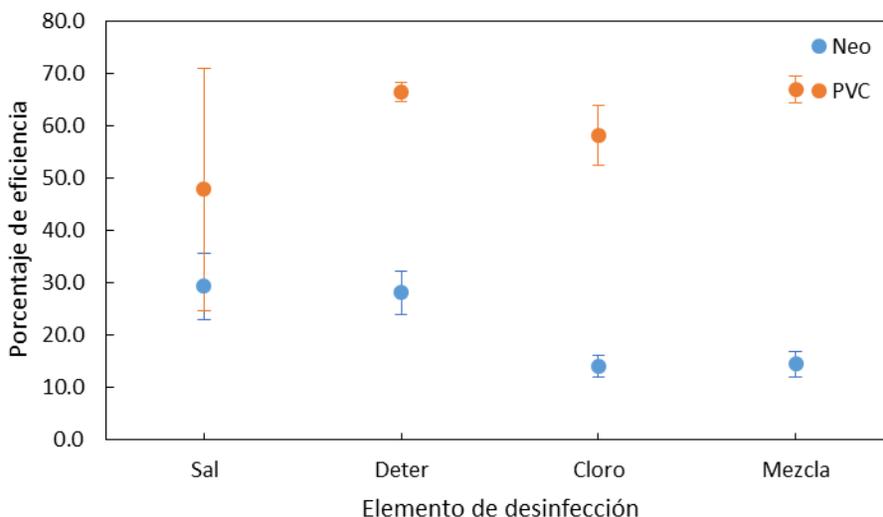


c3lulas en el vadeador de neopreno. Por su parte, el Cloro 2% present3 una c3lula viable en el vadeador de neopreno, pero una efectividad de desinfecci3n del 89%, mientras que la efectividad de desinfecci3n de vadeador de PVC lleg3 al 100%. Para el caso de la mezcla de Cloro 2%-Lavalozas 5% solo se detectaron 2 c3lulas no viables en el vadeador de neopreno, mientras que en el vadeador de PVC no se hallaron c3lulas.

Para las concentraciones m3s altas de los tratamientos (Sal 10%, Lavalozas 10%, Cloro 4% y Cloro 4%-Lavalozas 10%) se observ3 un 100% de eficiencia de desinfecci3n.

Para el caso de la prueba de desinfecci3n realizada en la 3poca de verano, donde la densidad de *D. geminata* a3n se mantiene alta en los r3os afectados por la plaga mostro que, para el caso de la desinfecci3n realizada en el vadeador de PVC la soluci3n de salina es la menos eficiente para realizar la desinfecci3n, alcanzando 47% de eficiencia de desinfecci3n y presentando un error est3ndar de 23.1, mientras que el cloro alcanza un 58% y un error est3ndar de 5.8. En este sentido, las soluciones m3s eficientes cuando se considera un r3o donde la densidad es sumamente alta y el vadeador corresponda a PVC es la soluci3n de detergente Lavalozas y la mezcla entre el detergente y el cloro, porque presentan el 66.4% y 66.9% de eficiencia y un error est3ndar de 1.8 y 2.5, respectivamente.

En cuanto a los resultados obtenidos midiendo la eficiencia de desinfecci3n en el vadeador de neopreno, se observ3 que, la soluci3n salina es la soluci3n que tiene mayor eficiencia de desinfecci3n, alcanzando un 29.2 y un error est3ndar de 6.4, mientras que la desinfecci3n realizada por el detergente lavalozas alcanzo una eficiencia de desinfecci3n de 28 y un error est3ndar de 4.3. Para el caso de la desinfecci3n tanto de cloro como de la mezcla de desinfectantes, se observ3 una eficiencia del 13.9 y 14.4 con errores est3ndar de 2.2 y 2.4, respectivamente.



**Figura 53.** Variaci3n en la eficiencia de desinfecci3n utilizando sal, detergente lavalozas, cloro y mezcla de cloro y detergente sobre vadeadores de PVC y neopreno con suela de fieltro en r3o invadido por la especie plaga *D. geminata*



### 6.6 Objetivo específico VI: Apoyar y asesorar a la autoridad en materias relativas a dispersión y control de *Didymosphenia geminata*.

- III. Las actividades asociadas en este objetivo se encuentran en periodo de programación. Las actividades proyectadas en este ámbito son, al menos, las siguientes:
- a) Participación en reuniones y mesas de trabajo: Los investigadores del proyecto participarán de estas actividades en la medida de lo posible, con información actualizada y su opinión experta.
- i. Estrategia Control Didymo en Áreas Protegidas: El objetivo de esta iniciativa es establecer los pilares para la elaboración de una estrategia que impida el arribo de *D. geminata* en áreas protegidas privadas y del Estado. Fundación Kreen, WCS y CONAF Magallanes presentan las necesidades y el contexto de acción de esta estrategia para ser trabajada posteriormente con los organismos públicos con competencias en la gestión de especies exóticas invasoras acuáticas.
  - ii. Museo de Zoología de la Universidad de Concepción. Un Convenio de colaboración entre MZUC y el IFOP se encuentra en etapa de finalización de su tramitación. El objetivo principal de este convenio es fortalecer la colección del Museo a través de la contribución de los individuos de macroinvertebrados que sean obtenidos durante las campañas de monitoreo realizadas por IFOP. Los expertos en taxonomía del MZUC ayudarán a aclarar las dudas existentes respecto a la determinación de insectos, moluscos y crustáceos.
  - iii. Universidad de Talca. Un grupo de investigadoras de la Universidad de Talca solicitó apoyo en el conocimiento de la plaga *D. geminata* y en el aporte de muestras de floraciones de esta microalga para el desarrollo de un dispositivo basado en análisis moleculares que sea capaz de detectar la presencia de Didymo *in situ*.
  - iv. DAEM Puerto Montt. Se estableció contacto con profesionales del Departamento de Educación de la Municipalidad de Puerto Montt para evaluar posibilidades de articular colaboraciones tendientes a la difusión del problema ambiental que deriva de las proliferaciones masivas de *D. geminata* y a la incorporación de este tópico en los contenidos de educación ambiental del Plan Anual de Desarrollo de la Educación Municipal de Puerto Montt (PADEM).
  - v. Municipalidad de Curanilahue: Se coordinó una reunión informativa con profesionales de la Oficina de Medio Ambiente de la Municipalidad de Curanilahue respecto a la situación actual de la distribución de *D. geminata* en el país, y en específico, en la Región del Biobío, para evaluar posibles acciones en relación a la transferencia de información y obtención de muestras para pesquisar la presencia de Didymo en la cuenca del río Carampangue.
  - vi. Dirección de práctica profesional: Durante el periodo diciembre 2021 y marzo 2022, una estudiante de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Católica de Temuco realizó su práctica profesional. Durante esta actividad la estudiante participó en la colecta de muestras de microalgas para determinar la presencia de Didymo en ríos de las regiones del Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Magallanes y la Antártica Chilena.
- b) Taller de capacitación interno: el objetivo de esta actividad es la **actualización permanente de los profesionales de los servicios públicos en temas relacionados con esta esta especie plaga**, en los resultados y avances concretos del monitoreo, patrones de comportamiento de esta plaga según el tipo de ambiente, como también sobre las características de otras microalgas muy similares a esta plaga. Al mismo tiempo, será una instancia de retroalimentación de los investigadores de IFOP, en las necesidades y brechas



identificadas por los organismos de estados, para en forma conjunta orientar eficientemente los esfuerzos de monitoreo e investigaci3n.

- i. Charla informativa CONAF-Los Lagos (diciembre, 2021). De manera previa a las actividades al interior del Parque Nacional Vicente P3rez Rosales (Regi3n de Los Lagos), se realiz3 una charla en modalidad h3brida en la que se dio a conocer en detalle cada una de las actividades a realizar y la situaci3n actual de la distribuci3n de la especie plaga, *D. geminata*, en el pa3 y en la regi3n.
- ii. Alien Species Prioritisation Process – FRESH WATER” (marzo a junio, 2022): En esta instancia se asesor3 al Ministerio de Medio Ambiente en el proceso de generaci3n de una Lista Priorizada de EEI para su gesti3n en ecosistemas dulceacu3colas, definiendo un conjunto de especies ex3ticas invasoras erradicables, especies ex3ticas invasoras manejables y otras especies que ameriten estar en una categor3a de vigilancia. De acuerdo a la informaci3n ecol3gica recabada por este programa de Monitoreo, se elabor3 una ficha que categoriza a *Didymosphenia geminata* como una especie manejable.
- iii. Taller Movilizaci3n de datos abiertos de Biodiversidad en Chile (julio, 2022): El objetivo de este taller fue entregar opiniones y contexto de las instituciones p3blicas para desarrollar lineamientos en torno a la gesti3n estandarizada y abierta de datos de biodiversidad. Se realiz3 una presentaci3n conjunta entre SSPA y el IFOP, titulada: “Monitoreo de Didymo, desde los sistemas acu3ticos hasta la publicaci3n de una base de datos abierta”, con el fin de dar a conocer el contexto y proceso completo desde la obtenci3n de datos en terreno hasta la publicaci3n de datos con est3ndar Darwin Core en GBIF.
- iv. Municipalidad de Futaleuf3 (septiembre, 2022): Durante esta reuni3n el equipo de trabajo particip3 dando a conocer las distintas actividades que el programa de monitoreo IFOP realiza en la comuna de Futaleuf3 y la cuenca del r3o Yelcho, entregando informaci3n sobre la presencia de Didymo en el 3rea, posibles medidas a incluir dentro de un plan de control y contenci3n de la plaga, y se evalu3 la posibilidad de un trabajo conjunto en el contexto de la campaa que ser3 ejecutada durante primavera-verano de la Etapa VII (2022-2023).
- v. Visualizaci3n de las subsubcuencas declaradas Plaga y Riesgo de Plaga (septiembre, 2022): en base a la actual resoluci3n exenta 1854/2022 emitida por la Subsecretar3a de Pesca y Acuicultura que declara 3reas de plaga y riesgo de plaga a nivel nacional, es que se gener3 un mapa online con el fin de facilitar la visualizaci3n en vivo, la cual se puede cargar, incluso, desde un tel3fono inteligente. Junto con esto, se cargaron capas asociadas a las estaciones de muestreo que se han realizado en cada etapa de este monitoreo por parte del Instituto de Fomento Pesquero desde el a3o 2016 a la fecha (Etapas I, II, III, IV, V Y VI).

El mapa se puede cargar en el siguiente enlace:  
<https://www.google.com/maps/d/viewer?hl=es&mid=1tjAWjmGwtRNVK3M6hSmyldxS3-IFMqc>

Y adem3s se puede ingresar con el siguiente c3digo QR:





- c) Seminario-Taller de Difusión de Resultados: Esta actividad tiene la finalidad de difundir los resultados obtenidos a las autoridades, científicos, profesionales de instituciones públicas y privadas, así como usuarios de los servicios asociados a los ecosistemas acuáticos continentales invadidos o en riesgo de ser invadidos por *Didymosphenia geminata*. Este taller deberá realizarse posteriormente a la entrega del Informe Final, previa coordinación entre la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y el Instituto de Fomento Pesquero.
- i. Taller de Difusión de Resultados Etapa VI: Esta actividad está programada para el día 15 de noviembre a las 9:30 hrs en modalidad telemática. A la fecha de entrega de este informe, la convocatoria desde la Jefatura de División de Investigación en Acuicultura se encuentra realizada y fue dirigida a los profesionales correspondientes a las instituciones públicas que tienen un rol en la gestión de especies exóticas invasoras dulceacuícolas. Además, fueron incluidos profesionales del área de la limnología con experiencia en el estudio de microalgas y/o especies exóticas invasoras. También fueron convocados otros actores relevantes de las comunidades presentes en las áreas de plaga, tales como docentes y escolares, y algunas entidades relacionadas con el desarrollo de conocimiento ecológico y también con la concientización sobre la importancia de la salud y biodiversidad de los ecosistemas fluviales y lacustres. Otros actores relevantes invitados, son las empresas del rubro turístico que incluyen actividades que constituyen factores de dispersión de Didymo como la pesca recreativa y navegación, que también podrían ser afectadas por las proliferaciones masivas de esta microalga.
  - ii. Conmemoración del Día del Agua (marzo, 2022): "*Didymosphenia geminata*, una amenaza microscópica con efectos macroscópicos y a gran escala sobre los ecosistemas dulceacuícolas magallánicos" (CONAF-Magallanes). En esta intervención se abordaron temas como la distribución de Didymo en la región de Magallanes, los efectos ecológicos estudiados en el programa de monitoreo y las vías para frenar la dispersión de esta especie plaga.
  - iii. Charla de difusión del proyecto para Conservación Marina (mayo, 2022): Charla informativa realizada para la instancia dirigida a la conservación del río Maullín. Se contextualizó el significado del problema ambiental de la presencia de Didymo para los ecosistemas dulceacuícolas, y las amenazas para la diversidad del río Maullín. Además, se recomendaron algunas formas de frenar la dispersión de esta especie plaga en la Región de Los Lagos y en específico en el ecosistema Lago Llanquihue-río Maullín.
  - iv. Charla conmemoración día del Medio Ambiente en Liceo Isidora Zegers (junio, 2022). Se realizó una charla en el contexto de la efeméride ambiental y la asignatura de Biología para estudiantes de tercer año de enseñanza media en la cual se abordaron tópicos generales de ecología acuática y sobre la invasión de Didymo en Chile. La charla fue titulada como "*Didymosphenia geminata*, una microalga con efectos macroscópicos en los ecosistemas de agua dulce".

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados de la Etapa VI del Monitoreo permitieron comprobar que la invasión de la especie *Didymosphenia geminata* es una amenaza de gran magnitud para la biodiversidad dulceacuícola, los servicios ecosistémicos y



los sectores productivos que se desarrollan en base a los ecosistemas acuáticos de Chile. La distribuci3n geogrÁfica de *Didymo* se extiende a trav3s de un rango latitudinal de cerca de 2500 km, abarcando los principales sistemas hidrogrÁficos chilenos distribuidos entre la Regi3n del Maule y la Regi3n de Magallanes y la AntÁrtica Chilena. En relaci3n a las etapas previas de este Monitoreo y otras iniciativas ejecutadas por POCH, Amakaik y CEQUA, en la Etapa VI se evidenci3 una expansi3n del Área de distribuci3n de la especie hacia la porci3n cordillerana de la cuenca del rÍo Maule. La informaci3n generada confirm3 la presencia de la especie plaga en las cuencas de los rÍos Maule (73), Itata (81), Biobío (83), Imperial (94), Valdivia (101), Bueno (103), Puelo (105), Yelcho (107), cuencas Costeras LÍmite Regi3n de Los Lagos (110), cuencas costeras e Islas RÍo Palena-RÍo Ays3n (111), Ays3n (113), Baker (115), Bravo (116), Pascua (117), Cuencas costeras Seno Andrew y RÍo Hollemberg (122) y Tierra del Fuego (128).

En relaci3n a los aspectos distribucionales de *D. geminata*, la literatura seÑala que el lÍmite norte de la distribuci3n de la especie en Chile corresponde a la localidad de Mejillones en la Regi3n de Antofagasta, cuyo registro data de 1964 bajo el nombre de *Gomphonema geminatum*, mientras que el lÍmite sur serÍa el Lago Sarmiento, Regi3n de Magallanes (Blanco & Ector, 2009; Rivera et al., 2013). No obstante, con posterioridad a la fecha de publicaci3n de estos trabajos, no se han reportado nuevos registros para estas dos localidades, por lo tanto, la presencia de *D. geminata* no ha sido confirmada fuera del rango geogrÁfico comprendido entre la cuenca del Maule y Tierra del Fuego y en sistemas con caracterÍsticas oligotr3ficas o con baja carga de nutrientes (Bray, 2016)

Según los resultados informados para la Etapa VI, el rÍo Claro (cuenca del rÍo Maule) corresponde al registro actual mÁs septentrional de *Didymo* en Chile. La cuenca del rÍo Itata, localizada inmediatamente al sur de la cuenca del Maule, se mantuvo libre de la especie plaga hasta que los nuevos hallazgos de la Etapa VI confirmaron la presencia de *D. geminata* en el curso principal del rÍo Itata, en forma de proliferaciones bent3nicas de baja densidad, y en el rÍo Diguillín, donde se ha detectado formando parte de las microalgas planct3nicas. Considerando la escala espacial de cuenca hidrogrÁfica, se observ3 una distribuci3n heterog3nea 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 y precordilleranos de bajo orden, similarmente a la distribuci3n descrita en etapas previas este Monitoreo. En cuencas de la Zona Sur y Austral, se observ3 una tendencia distinta, donde *D. geminata* mostr3 una distribuci3n mÁs homog3nea, con registros positivos tanto en la zona alta, como en la zona media y baja de las cuencas. Los estudios de descripci3n y modelaci3n 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 intervenci3n antr3pica (Spaulding & Elwell, 2007). En Chile, estas condiciones tienden a mantenerse en los sistemas hidrogrÁficos patag3nicos, fueguinos y en las zonas altas de las cuencas entre la Regi3n del Maule y Los Lagos, los cuales coinciden con la distribuci3n descrita para *D. geminata* en Chile desde al aÑo 2010 a la fecha.

*Didymo* fue registrado tanto en los ensambles bent3nicos como planct3nicos de microalgas, aunque en algunas estaciones *Didymo* ha sido detectado solamente en la columna de agua. En toda el Área de estudio la presencia de *D. geminata* ocurre simultÁneamente en la comunidad de microalgas bent3nicas, en el ensamble de diatomeas bent3nicas, proliferando en distintas categorÍas de densidad a trav3s de las zonas geogrÁficas y las cuencas, pudiendo alcanzar densidades tan elevadas como 1.397 cél/mm<sup>2</sup> en el rÍo La Paloma, en la Etapa VI, y 5.258 cél/mm<sup>2</sup> como registro hist3rico obtenido en el rÍo Claro de la cuenca del Ays3n, en la Etapa II del programa de monitoreo. Consecuentemente, en todas las estaciones donde *D. geminata* form3 parte de la comunidad bent3nica tambi3n estuvo presente en la columna de agua, por este hecho, es imprescindible realizar actividades de prospecci3n a trav3s del anÁlisis de muestras fitoplanct3nicas. Sucede con frecuencia que las floraciones de *Didymo* no son detectadas, principalmente, debido a problemas metodol3gicos relacionados con la falta de conocimiento de las t3cnicas de muestreo en agua dulce (i.e. esfuerzo de muestreo insuficiente, selecci3n inadecuada de sitios de muestreo), y de las condiciones ambientales adversas



específicas de los sitios a prospectar (i.e. elevada turbidez, incremento de caudal, baja visibilidad), lo cual es subsanado a través de la obtención de una muestra de fitoplancton empleando las técnicas de muestreo descritas inicialmente en este documento en base a las recomendaciones de Díaz *et al.*, (2017).

Los ríos de la Patagonia y Tierra del Fuego, y los ríos cordilleranos de la Zona Central constituyen un área extremadamente vulnerable a los efectos de las proliferaciones masivas 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 & Torres, 2014; Reid *et al.*, 2012; Segura, 2011). Coincidentemente con lo planteado en la literatura, durante la Etapa VI se observó que el mayor número de estaciones afectadas y las mayores abundancias relativas de *Didymo* se concentraron en la Zona Sur, correspondiente a las cuencas ubicadas entre río Puelo (105) y río Baker (115), y en la Zona Austral representada por Tierra del Fuego (128). Es importante mencionar que los primeros registros de proliferaciones de *D. geminata* fueron reportados en los ríos Futaleufú y Espolón en el año 2010 y desde esa fecha se ha observado un avance progresivo de la plaga hacia ríos de la Zona Central de Chile. En relación a la dispersión de esta especie, 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) pero también puede ser facilitada por alteración hidrológica generada por la generación hidroeléctrica y los cambios ecosistémicos como consecuencias locales del cambio global.

La relación de *D. geminata* con las variables ambientales es un aspecto que está en constante estudio y que requiere diversas estrategias metodológicas, incluyendo estudios genómicos, fisiológicos, poblacionales, comunitarios en distintas escalas espaciales, con énfasis en escalas espaciales de hábitats, y a lo largo de gradientes ambientales que reflejen la diversidad de los ecosistemas invadidos por la plaga, en riesgo de ser amenazados o que se encuentren libres de ser invadidos. Los estudios ecológicos de una especie de alta invasividad constituyen un desafío relevante dada la amplia variabilidad de contextos ambientales de las cuencas que existen a lo largo del territorio. Las tendencias generales de nuestros resultados muestran que existen diferencias espaciales importantes en cuanto a la disponibilidad de nutrientes y a la variabilidad de los parámetros físicos y químicos cuantificados.

Este monitoreo ofrece la posibilidad de realizar análisis históricos de las implicancias de la especie plaga *D. geminata*, donde la definición de una escala geográfica de estudio es fundamental para determinar la relación entre la especie plaga y los ecosistemas receptores. En términos generales, considerando una amplia escala espacial, fue posible dilucidar que la baja concentración de elementos como Sílice, Fósforo, Fosfato, Nitrógeno Total, y una baja conductividad eléctrica fueron variables relevantes para explicar las diferencias entre las comunidades de microalgas invadidas y no invadidas por *D. geminata*, lo cual coincide parcialmente con otros estudios realizados. Adicionalmente, estas variables no permiten explicar del todo estas diferencias a nivel comunitario y la densidad de *Didymo* puesto que, a través de la amplitud de la escala espacial utilizada, las variaciones de estos elementos también están influenciadas por aspectos de distinto origen, incluyendo los impactos de las actividades antrópicas.

En relación a los efectos sobre las comunidades de microalgas bentónicas los resultados obtenidos indicaron que existe una evidente estructuración debida a la sola presencia de *D. geminata* y también una estructuración que se debe a las distintas categorías de la densidad de esta especie. La magnitud del efecto es diferencial dependiendo de la Zona geográfica analizada, no obstante, existe un patrón generalizado para toda el área geográfica invadida. De la literatura se desprende que *D. geminata* afecta la composición taxonómica, 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). En esta Etapa no fue posible identificar los mecanismos específicos que subyacen a los efectos detectados, pero sí fue posible observar que existe una marcada y significativa tendencia a la homogenización de la diversidad de microalgas, y macroinvertebrados bentónicos. Las implicancias de la invasión por *Didymo* deben



ser estudiadas detalladamente en otros grupos tróficos y otros ecosistemas de alto valor para la conservación, especialmente, debido a que se evidencia un proceso de pérdida de diversidad acuática a escala de ecorregión.

Las proliferaciones masivas de *D. geminata* tienen capacidad de desplazar a las especies bentónicas nativas, contribuyendo al dominio de pequeñas diatomeas como respuesta a la competencia por recursos y afectando a las comunidades de macroinvertebrados (Ladrera *et al.*, 2018), pudiendo alterar a los niveles superiores de las tramas tróficas (Reid & Torres 2014). Esta alteración ecológica puede causar un impacto sobre los servicios ecosistémicos y componentes económicos, a través de los potenciales efectos sobre la calidad el agua, el hábitat trófico, de reproducción, refugio y reclutamiento de especies ícticas nativas y de interés comercial. El efecto de *D. geminata* sobre diversas actividades económicas asociadas a los ecosistemas dulceacuícolas se encuentran bien documentado para aquellas relacionadas con fines recreacionales (Beville *et al.*, 2012). En ríos de Columbia Británica, Polonia, Canadá, principalmente, las floraciones de *D. geminata* obstruyen ductos de captación y devolución de agua, generando costos económicos adicionales y permanentes a la industria acuícola e hidroeléctrica (Kawecka & Sanecki 2003, Campbell 2005).

Los estudios realizados en Chile respecto al impacto de esta especie han estado concentrados en el impacto ecológico sobre las comunidades bentónicas (Salvo & Oyanedel, 2019) y afecta a las líneas celulares de los salmones (Olivares *et al.*, 2015). Al mismo tiempo, existe un vacío de conocimiento importante en el estudio de los impactos económicos en el país, sobre todo en el sector turístico que basa su desarrollo en la gran diversidad de ecosistemas acuáticos naturales de la zona centro, sur y austral, que constituyen destinos turísticos de orden global, permitiendo atraer ingresos económicos asociados a alrededor de 8 a 10 mil visitantes por año que ingresan a Chile para desarrollar actividades deportivas acuáticas (ProChile 2003). A pesar del elevado conocimiento respecto a la distribución de la plaga en nuestro país, parece existir poca investigación enfocada a conocer y entender los impactos de esta especie sobre la economía y el turismo (Kilroy & Bothwell 2014).

Considerando la falta de estudios respecto a los impactos económicos de las invasiones biológicas en el país, y por la evolución que ha tenido esta plaga en Europa y Norteamérica, existe una alta probabilidad que *D. geminata* pueda llegar a causar efectos negativos de alta magnitud en los cuerpos de agua continentales de Chile. Al verse afectado el ecosistema, también se afectan aquellas actividades que se benefician por el buen estado de este, generando por consiguiente potenciales efectos a nivel económico. Esto debido a la degradación estética, la cual afecta el turismo, y las distintas actividades acuáticas de entretenimiento, además de pérdidas económicas por los bloqueos de los motores de lanchas, botes, sumado a los efectos negativos que causa la presencia que *D. geminata* sobre los pescadores deportivos. En la Etapa IV se propusieron las bases para desarrollar futuros estudios del impacto económico utilizando como aproximación el Valor Económico Total (VET) de los ecosistemas afectados por la plaga, considerando los valores actuales y futuros en las estrategias de gobierno en la gestión de plagas y recursos naturales de los ecosistemas dulceacuícolas (Dushin & Yurak, 2019; Zappi, 2011; PNUD, 2017).

La secuencia de etapas que preceden a una invasión fue descrita por Lockwood *et al.*, (2005) para el caso de la invasión de *D. geminata*. Antes de que esta plaga lograra generar impactos significativos, inicialmente, las células viables son transferidas a través de uno o más vectores hacia un tramo de río o hacia un lago. Dado que las condiciones ambientales del sistema afectado son favorables, la plaga logra establecerse, generar poblaciones autosustentables y luego incrementar su tamaño poblacional y posteriormente expandir su rango geográfico. Sin embargo, esta secuencia puede ser acelerada si la presión de propágulo aumenta en frecuencia y/o en intensidad, ya que de este modo se logra maximizar la probabilidad de éxito en el establecimiento de las poblaciones y el incremento en el rango geográfico de éstas. En otras palabras, el número de diatomeas que ingresan a un ecosistema es determinante en la viabilidad de las poblaciones y el éxito del establecimiento de



la plaga. Sin embargo, Lockwood *et al.*, (2005) no consideran la importancia de la escala espacial en la que operan los vectores en el establecimiento de una plaga como *D. geminata* en una cuenca hidrográfica.

De acuerdo a lo anterior, existe una estrecha relación entre las propiedades de los vectores y fómites que actúan en cada cuenca, y la presión de propágulo. Carlton & Ruiz (2005) describieron el efecto, en distintos escenarios, la frecuencia de un vector (unidades/área) y la intensidad medida como área geográfica afectada por un vector, sobre la presión de propágulo o número de células de *D. geminata* que potencialmente ingresan a un sistema. Esta última es reconocida como uno de los factores más importantes que intervienen en el éxito de una invasión (Puth & Post 2005; Drake & Lodge 2006), y es definida como una medida del número de individuos que son liberados en un área donde la especie no es nativa (Carlton 1996). La causa de su relevancia se debe a que su incremento conduce a un incremento en la probabilidad de dispersión de individuos, establecimiento de nuevas poblaciones y consecuentemente el éxito de la invasión (Leung *et al.*, 2004).

*Didymosphenia geminata* es una especie con gran capacidad de invasión puesto a que posee alta capacidad de proliferación en conjunto con una alta dispersión, número de propágulos y rápida tasa de reproducción vegetativa (Montecino *et al.* 2016). La alta capacidad de dispersión se atribuye a vectores antropogénicos como equipos de pesca, entre otros (Bothwell *et al.*, 2009). Aunque todas las formas de uso recreativo de los ríos son vectores potenciales para el transporte de didymo, los sitios fluviales de la mayoría de las infestaciones tempranas descritas para la Isla Sur en Nueva Zelanda son muy accesibles para los pescadores de truchas (Kilroy 2008, Bothwell *et al.*, 2009). Es en este contexto que toma relevancia los vectores de dispersión (humano) el cual transporta y utiliza fómites para realizar actividades de pesca recreativa, por otro lado, la capacidad de *D. geminata* para sobrevivir fuera de su entorno en donde puede sobrevivir y permanecer con éxito su viabilidad en condiciones frescas y húmedas por al menos 40 días (Kilroy 2005).

Es ampliamente conocido que los pescadores e investigadores de ecosistemas límnicos, utilizan vadeadores para ingresar a los ríos los cuales pueden alojar células dentro de los poros sobre todo en las botas de fieltro. A pesar de la bajísima carga de células de Didymo encontradas en las muestras de fitobentos y fitoplancton, las botas de neopreno con suela de fieltro evidenciaron una mayor cantidad de células respecto al de material PVC para ambas pruebas realizadas y, pese a realizar desinfección a distintas concentraciones de desinfectantes comerciales, las concentraciones más altas de los tratamientos (Sal 10%, Lavalozas 10%, Cloro 4% y Cloro 4%-Lavalozas 10%) se observó un 100% de eficiencia de desinfección, al contrario de los tratamientos a concentraciones medias, donde se observó una célula viable para el caso del tratamiento Cloro 2% en bota de Neopreno. De forma preliminar, los resultados de la presión de propágulos y desinfección se conciben con Kilroy *et al.* (2007) y Kilroy (2008) quienes indican como vector para el transporte de Didymo, los fieltros los cuales pueden ser la pieza de arte de pesca más problemática en uso generalizado. Sin embargo, es importante tener presente que los vectores de dispersión no residen en el humano solamente, sino que también puede ser propagado por insectos, peces, aves y mamíferos (Kristiansen 1996) lo cual dificulta más aun el determinar la presión de propágulos en las cuencas que se distribuye *D. geminata*, siendo las microcuencas, subcuencas y cuencas aleañosas y que no se ha registrado la especie, aquellas que poseen un riesgo inminente de presencia en el corto plazo.

De las actividades identificadas en la cuenca del río Bueno, derivan diversos problemas que podrían generarse debido a la presencia de floraciones masivas de *D. geminata*. A su vez esto generaría impactos ecológicos y económicos, provocando un detrimento, por ejemplo, en el abastecimiento de agua potable y disminución de la demanda por servicios asociados al turismo del territorio. En ciertas circunstancias, los impactos simplemente no pueden ser identificados, cuantificados, ni valorados económicamente, dado que el conocimiento científico actual no lo permite. Esto puede ocurrir porque no se conocen todos los efectos nocivos producidos por la plaga o las respuestas biológicas de los organismos individuales (especie), o en su conjunto (ecosistema) frente a la misma. De los impactos que sí son susceptibles de ser identificados, puede ocurrir que sólo algunos logren ser



cuantificados, y de aquellos, s3lo un n3mero menor pueda ser valorado econ3micamente. Por lo mismo, la valoraci3n econ3mica no deber3a ser el 3nico factor de decisi3n que permita decidir si llevar a cabo o no los mecanismos de control. De esta forma, en escenarios de incertidumbre de informaci3n, es necesario por lo tanto establecer cu3les son los m3nimos globales de informaci3n (ver secci3n 5.2.2), para poder determinar impactos econ3micamente. Para muchos SSEE, en particular aquellos que reflejan los valores de no uso es dif3cil abordarlos dada la no disponibilidad de informaci3n, existiendo alta incertidumbre sobre variables econ3micas. Sin embargo, es esencial abordar de forma comprehensiva su presencia y percepci3n, buscando su identificaci3n, cuantificaci3n, y en la medida de lo posible, valoraci3n. Dado lo expuesto, cuando se limitan los an3lisis a mera expresiones econ3mico-financieras es posible excluir importantes beneficios sociales o tender a contrastar entre servicios que, dada la naturaleza de sus fuentes de informaci3n, sus magnitudes no necesariamente son capaces de reflejar el valor de estos para la sociedad. As3, los valores encontrados se reconocen como un piso m3nimo del valor posible, el que puede ser ajustado con nuevos estudios para reflejar en mejor medida los valores y estrechar la brecha entre valor de intercambio y valor de existencia. Teniendo lo descrito en consideraci3n, se podr3a realizar una evaluaci3n cuantitativa, y una valoraci3n monetaria para algunos de los costos y beneficios de los ecosistemas identificados (WBCSD, 2011), aunque no necesariamente se pueda comparar entre ellos.



## 8. CONCLUSI3N

---

De acuerdo a la informaci3n generada durante la Etapa VI en relaci3n a los an3lisis de las comunidades de macroinvertebrados y microalgas bent3nicas, variables f3sicas y qu3micas del agua, y de las relaciones entre diferentes variables monitoreadas durante las campa1as de primavera-verano y oto1o-invierno, se concluye que:

- Existieron diferencias significativas en la estructura y composici3n de las comunidades bent3nicas de microalgas y macroinvertebrados que explican por la presencia de *Didymo* y las distintas categor3as de densidad de esta especie, en los ecosistemas dulceacu3colas de toda el 3rea de monitoreo, entre las cuencas del r3o Maule a Tierra del Fuego.
- Los r3os distribuidos en la Zona Sur y la Zona Austral concentraron los mayores valores de la densidad celular de *D. geminata*, donde adem3s existi3 una alta proporci3n de sitios invadidos. Lo anterior estar3a indicando que los ecosistemas patag3nicos y fueguinos se encontrar3an altamente afectados en relaci3n a la Zona Central del pa3s, y requieren concentrar esfuerzos para evitar la propagaci3n hacia ecosistemas de alto valor de conservaci3n, de baja intervenci3n antropog3nica y el Sistema de 3reas Protegidas del Estado.
- Los ecosistemas fluviales invadidos muestran una clara tendencia a la homogenizaci3n de la diversidad de microalgas y macroinvertebrados, la cual fue medida como dispersi3n multivariada, efecto que estar3a ocurriendo a una escala regional, afectando a una gran variedad de ecosistemas a lo largo del pa3s. Adem3s, a partir de nuestros resultados, se vislumbr3 que el uso de 3ndices univariados de diversidad no es adecuado para medir el efecto de esta especie plaga, dado que muestran un incremento de la riqueza cuando la abundancia de *Didymo* es baja, probablemente, contribuyendo a subestimar el efecto de esta especie ex3tica.
- *Didymosphenia geminata* se encuentra en una gran variedad de ecosistemas dulceacu3colas (lagos, desag3es de lagos, r3os andinos, r3os con descarga glacial, r3os costeros, r3os de pampa) y su presencia estuvo relacionada a macroescala con variables de calidad de agua (fosfato, s3lice, conductividad), mientras que a nivel de grupos de cuencas, tambi3n fueron relevantes otras variables como conductividad, fosfato, f3sforo, nitrato, s3lice y calcio, junto a ciertas caracter3sticas f3sicas del h3bitat, tales como el estr3s hidr3ulico, el tama1o del sustrato de fondo y la turbidez, donde tambi3n intervienen de manera relevante los gradientes latitudinales, longitudinales y altitudinales.
- La magnitud de la presi3n de prop3gulo en *D. geminata* para las actividades acu3ticas recreativas y/o de investigaci3n est3 asociada importantemente al tipo de indumentaria utilizada. Se encontraron diferencias estad3sticamente significativas entre dos materiales con los que son fabricados frecuentemente los vadeadores, waders o botas de pescador. Fue posible constatar que el wader fabricado con PVC tiene una menor capacidad de transportar c3lulas de *Didymo* que el wader de Neopreno y un efecto coadyuvante de las soluciones de desinfecci3n. La presi3n de prop3gulo fue un 97% m3s alta que aquella cuantificada para el PVC.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, S. E., Closs, G. P., & Matthaei, C. D. (2020). Agricultural Land-Use Legacy, The Invasive Alga *Didymosphenia geminata* and Invertebrate Communities in Upland Streams with Natural Flow Regimes. *Environmental Management*, 65(6), 804–817. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01285-6>
- Araos, A., Cerda, C., Skewes, O., Cruz, G., Tapia, P., & Baeriswyl, F. (2020). Estimated economic impacts of seven invasive alien species in Chile. *Human Dimensions of Wildlife*, 25(4), 398–403. <https://doi.org/10.1080/10871209.2020.1740837>
- Basuelto, S., Rivera, P., Ccruces, F., Ector, L., & Aascencio, E. (2016). *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt y *Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer (Bacillariophyta), especies presentes en ríos de la VIII Región, Chile, formadoras de proliferaciones con aspecto muy similar. In *Gayana. Botánica* (Vol. 73, pp. 457–461). scielocl.
- Battarbee, R. W. (1988). The use of diatom analysis in archaeology: A review. *Journal of Archaeological Science*, 15, 621–644. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(88\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0305-4403(88)90057-X)
- Beamud, S., Laffitte, L., Saavedra, J., Baffico, G., Laurenzano, B., Diaz, M., & Pedrozo, F. (2019). Controlling factors affecting the presence and distribution of *Didymosphenia geminata* in lakes and rivers of the Neuquén province, Argentina. *Ecology*, 12. <https://doi.org/10.1002/eco.2148>
- Bergey, E. A., Cooper, J. T., & Phillips, B. C. (2010). Substrate characteristics affect colonization by the bloom-forming diatom *Didymosphenia geminata*. *Aquatic Ecology*, 44(1), 33–40. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9247-6>
- Beville, S. T., Kerr, G. N., & Hughey, K. F. D. (2012). Valuing impacts of the invasive alga *Didymosphenia geminata* on recreational angling. *Ecological Economics*, 82, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2012.08.004>
- 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. <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2009/0088-0347>
- Bothwell, M L, Spaulding, S. A., Canada., Oceans., D. of F. and, Region., P., Branch., S., Federation., A. S., Canada., & Canada., E. (2008). Proceedings of the 2007 International Workshop on *Didymosphenia geminata*. Fisheries and Oceans Canada, Science Branch, Pacific Region. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/333424.pdf>
- Bothwell, Max. 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(8), 382–388. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-34.8.382>



Bothwell, Max 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02524.x>

Brand, C., & Grech, M. (2020). Recent invasion of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt in a Patagonian regulated river promotes changes in composition and density of macroinvertebrate community. *Biological Invasions*, 22. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02230-8>

Branson, J., & Clough, P. (2006). *Didymosphenia geminata* economic impact assessment: Wellington, New Zealand. New Zealand Institute of Economic Research Report, March, 1–22.

Bray, J. (2016). The invasion ecology of *Didymosphenia geminata* [University of Canterbury]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3212.4401>

Bray, J. P., Kilroy, C., Gerbeaux, P., Burdon, F. J., & Harding, J. S. (2020). Ecological processes mediate the effects of the invasive bloom-forming diatom *Didymosphenia geminata* on stream algal and invertebrate assemblages. *Hydrobiologia*, 847(1), 177–190. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04080-5>

Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349.

Bus Leone, P. R. (2013). Visión (Neovision vison) como posible vector de transmisión del alga invasora *Didymosphenia geminata*. [Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/fcb976v/doc/fcb976v.pdf>

Byle, J. (2014). Ecological Drivers and Species Interactions of Whirling Disease.

Castella, E., Adalsteinsson, H., Brittain, J. E., Gislason, G. M., Lehmann, A., Lencioni, V., Lods-Crozet, B., Maiolini, B., Milner, A. M., Olafsson, J. S., Saltveit, S. J., & Snook, D. L. (2001). Macrobenthic invertebrate richness and composition along a latitudinal gradient of European glacier-fed streams. *Freshwater Biology*, 46(12), 1811–1831. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00860.x>

Centro Trapananda, Universidad Austral de Chile. 2000. Diseño y aplicación experimental de un modelo de administración de áreas de pesca deportiva en el Río Ñirehuao. Reporte final proyecto FONTEC 1996-1999, Coyhaique, Chile.

Centro Trapananda, Universidad Austral de Chile. 2002. Estudio del ciclo reproductivo de las principales especies objetivo de la pesca deportiva en la XI región. Reporte Final proyecto del Fondo de Innovación Pesquera (FIP) 2000-2001, Coyhaique, Chile.

Centro Trapananda, Universidad Austral de Chile. 2004. Manejo y administración para la sustentabilidad y el mejoramiento cuantitativo y cualitativo de la pesca deportiva en ríos de gran atractivo turístico en la región de Aysén. Reporte final del proyecto FDI 2001-2003, Coyhaique, Chile.



Centro Trapananda, Universidad Austral de Chile. 2005. Programa Patagonia Aysén, CORFO, XI Región CODESSER, XI Región 2003-2004. Estudio Línea Base Biológico-Pesquera Río Baker, Región de Aysén. Primera y segunda etapa, Coyhaique, Chile.

Charles, H., & Dukes, J. (2007). Impacts of Invasive Species on Ecosystem Services. In *Biol. Invasions* (Vol. 193, pp. 217–237). [https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_13)

Clancy, N., Brahney, J., Dunnigan, J., & Budy, P. (2021). Effects of a diatom ecosystem engineer (*Didymosphenia geminata*) on stream food webs: implications for native fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1–11. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2020-0121>

Clarke, K., Gorley, R. N., Somerfield, P. J., & Warwick, R. . (2014). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 3rd edition. PRIMER-E: Plymouth.

Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1994). Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Marine Biology*, 118(1), 167–176. <https://doi.org/10.1007/BF00699231>

Copp, G. H., Templeton, M., & Gozlan, R. E. (2007). Propagule pressure and the invasion risks of non-native freshwater fishes: a case study in England. *Journal of Fish Biology*, 71, 148–159.

Cottier-Cook, E., Ashton, G., Campbell, M., Coutts, A., Gollasch, S., Hewitt, C., Hui, L., Minchin, D., Ruiz, G., & Shucksmith, R. (2007). Non-Native Aquaculture Species Releases: Implications for Aquatic Ecosystems. In *Aquaculture in the Ecosystem* (pp. 155–184). [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6810-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6810-2_5)

Cullis, J., Sscknight, D., Spaulding, S., & Prairier, Y. (2015). Hydrodynamic control of benthic mats of *Didymosphenia geminata* at the reach scale. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72, 1–13. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0314>

Díaz, C., Molina, X., & Montecino, V. (2016). Manual para el monitoreo e identificación de la microalga bentónica *Didymosphenia geminata*. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Dunnigan, J., & Terrazas, M. (2021). Factors Influencing Rainbow Trout Annual Growth in a Large Regulated River. In *Transactions of the American Fisheries Society* (Vol. 150).

Ejaz, H., Somanader, E., Dave, U., Ehrlich, H., & Rahman, A. (2021). Didymo and its polysaccharide stalks: beneficial to the environment or not? *Polysaccharides*, 2, 69–79. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2010005>

Ellwood, N. T. W., & Whitton, B. A. (2007). Importance of organic phosphate hydrolyzed in stalks of the lotic diatom *Didymosphenia geminata* and the possible impact of atmospheric and climatic changes. *Hydrobiologia*, 592(1), 121–133. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0728-0>

Figuroa, Fabián A, Abdala-Díaz, R., Hernández, V., Pedreros, P., Aranda, M., Cabrera-Pardo, J. R., Pérez, C., Becerra, J., & Urrutia, R. (2020). Invasive diatom *Didymosphenia geminata* as a source of polysaccharides with



antioxidant and immunomodulatory effects on macrophage cell lines. *Journal of Applied Phycology*, 32(1), 93–102. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01976-6>

Figueroa, Fabian A, Pedreros, P., Cruces, F., Abdala Díaz, R., Hernandez, V., Jose, B., & Urrutia, R. (2018). Effect of *Didymosphenia geminata* coverage on the phytobenthic community in an Andean basin of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 91. <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0080-y>

Gates, K., Guy, C., Zale, A., & Horton, T. (2008). Adherence of *Myxobolus cerebralis* Myxospores to Waders: Implications for Disease Dissemination. *North American Journal of Fisheries Management*, 28, 1453–1458. <https://doi.org/10.1577/M08-025.1>

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 (Quebec, Canada). *Hydrobiologia*, 647, 63–70. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9832-7>

Gillis, C., Dugdale, S., & Bergeron, N. (2018). Effect of discharge and habitat type on the occurrence and severity of *Didymosphenia geminata* mats in the Restigouche River, eastern Canada. *Ecohydrology*, 11, \&NA;

Gowdy, J., Howarth, R., & Tisdell, C. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*.

Green, M. W., Blum, P. W., Sellers, S. C., Gangloff, M. M., Jacobus, L. M., & Tuberty, S. R. (2019). Mesohabitat current velocity effects on *Didymosphenia geminata* and macroinvertebrates in a SE USA hypolimnetic tailwater. *Aquatic Ecology*, 53(4), 607–628. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09712-5>

Gretz, M. R. (2008). The stalks of *Didymo*. In M. L. Bothwell, & S. A. Spaulding (Eds.), *Proceedings of the 2007 International Workshop on Didymosphenia geminata*. Nanaimo: Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2795.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2012). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Version 4.1)*. 17. [https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/09/CICES-V4\\_Final\\_26092012.pdf](https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/09/CICES-V4_Final_26092012.pdf)

Haines, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure*. Available from [www.cices.eu](http://www.cices.eu)., 53. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>

Hammond, V. A. (2013). *The invasion ecology of Didymosphenia geminata in New Zealand* [University of Otago, New Zealand]. <https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/4077>

Hix, L. A. (2015). *Factors regulating the presence and abundance of the invasive alga, Didymosphenia geminata, in the upper Tennessee River Watershed*. Tennessee Technological University.

Hix, L., & Murdock, J. (2019). *Didymosphenia geminata* habitat requirements are unique and variable for cell establishment and mat accumulation. *Hydrobiologia*, 828. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3809-3>



James, D. A., & Chipps, S. R. (2016). Influence of *Didymosphenia geminata* blooms on prey composition and associated diet and growth of brown trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 145(1), 195–205. <https://doi.org/10.1080/00028487.2015.1111255>

James, D., Ranney, S., Chipps, S., & Spindler, B. (2010). Invertebrate composition and abundance associated with *Didymosphenia geminata* in a montane stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 25, 235–241. <https://doi.org/10.1080/02705060.2010.9665073>

Jonsson, G. S., Jonsson, I., Björnsson, M., & Einarsson, S. (2000). Using regionalization in mapping the distribution of the diatom species *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Smith in Icelandic rivers.

Kaštovský, J., Hauer, T., Mareš, J., Krautová, M., Bešta, T., Komárek, J., Desortová, B., Heteša, J., Hindáková, A., Houk, V., Janeček, E., Kopp, R., Marvan, P., Pummann, P., Skácelová, O., & Zapomělová, E. (2010). A review of the alien and expansive species of freshwater cyanobacteria and algae in the Czech Republic. *Biological Invasions*, 12(10), 3599–3625. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9754-3>

Kawecka, B., & Sanecki, J. (2003). *Didymosphenia geminata* in running waters of southern Poland – symptoms of change in water quality? *Hydrobiologia*, 495(1), 193–201. <https://doi.org/10.1023/A:1025469500265>

Keller, R. P., & Lodge, D. M. (2009). *Invasive Species* (G. E. B. T.-E. of I. W. Likens (ed.); pp. 92–99). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00226-X>

Kilroy, C., & Bothwell, M. (2014). Attachment and short-term stalk development of *Didymosphenia geminata*: effects of light, temperature and nutrients. *Diatom Research*, 29, 237–248.

Kilroy, C., & Unwin, M. (2011). The arrival and spread of the bloom-forming freshwater diatom, *Didymosphenia geminata*, in New Zealand. *Aquatic Invasions*, 6, 349–362.

Kilroy, Cathy. (2004). A new alien diatom, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt: its biology, distribution, effects and potential risks for New Zealand Fresh Waters. *New Zealand National Institute of Water and Atmospheric (NIWA) Research*, 40.

Kilroy, Cathy, Larned, S., & Biggs, B. (2009). The non-indigenous diatom *Didymosphenia Geminata* alters benthic communities in New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, 54, 1990–2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02247.x>

Kilroy, Cathy, Whitehead, A., Wood, S., Vandergoes, M., Lambert, P., & Novis, P. (2021). Predicting the potential distribution of the invasive freshwater diatom *Lindavia intermedia* in New Zealand lakes. *Aquatic Invasions*, 16, 415–442. <https://doi.org/10.3391/ai.2021.16.3.03>

Kirkwood, A., Shea, T., Jackson, L., & Scauley, E. (2007). *Didymosphenia geminata* in two Alberta headwater rivers: An emerging invasive species that challenges conventional views on algal bloom development. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64, 1703–1709. <https://doi.org/10.1139/f07-152>



Ladrera, R., Gomà, J., & Prat, N. (2018). Effects of *Didymosphenia geminata* massive growth on stream communities: Smaller organisms and simplified food web structure. PLOS ONE, 13(3), e0193545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193545>

Larson, A., & Carreiro, J. (2008). Relationships between nuisance blooms of *Didymosphenia geminata* and measures of aquatic community composition in Rapid Creek, South Dakota.

Leone, 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. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.890957>

Lindstrom, E. ., & Skulberg, O. M. (2008). *Didymosphenia geminata*-a native diatom species of Norwegian rivers coexisting with the Atlantic salmon.

Lohr, M., & Wilhelm, C. (1999). Algae Displaying the Diadinoxanthin Cycle Also Possess the Violaxanthin Cycle. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96, 8784–8789. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.15.8784>

Merritt, R., & Cummins, K. (1996). An Introduction to The Aquatic Insects of North America. The Journal of Animal Ecology, 50. <https://doi.org/10.2307/1467288>

Núñez-Parrado D. & M. Niklitschek-Huaquín. 2010. Caracterización de la pesca recreativa en la Patagonia chilena. Una encuesta a turistas de larga distancia en la región de Aysén. Estudios y perspectivas de turismo. V.19 N.1. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-17322010000100005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17322010000100005)

Olivares, P., Hernandez, K., Peredo Parada, M., Chavez, V., Carmona, E., Astuya, A., & Parodi, J. (2019). Polyphenols obtained from *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmith altered the viability and proliferation of salmonids cells lines SHK-1 and CHSE-214. Aquatic Toxicology, 211, 141–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.03.022>

Olivares, P., Orellana, P., Guerra, G., Peredo, M., Chavez, V., Ramirez, A., & Parodi, J. (2015). Water contaminated with *Didymosphenia geminata* generates changes in *Salmo salar* spermatozoa activation times. Aquatic Toxicology. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.022>

Olmos, V. L., Vinctoriano, P., Habit, E., & Valdovinos, C. (2003). Parásitos de peces nativos de la cuenca del Río Laja (Chile Central) y alcances sobre sus ciclos de vida. Archivos de Medicina Veterinaria, 35, 195–203. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-732X2003000200007&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2003000200007&nrm=iso)

Oyanedel, A., Ordóñez, P & Rojas, R. (2021). Informe Final: Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la zona centro, sur y austral, Etapa V. Departamento de Medio Ambiente. Instituto de Fomento Pesquero.

Pearce, D., & Moran, D. (1994). The economic value of biodiversity. In Earthscan. <https://www.cbd.int/financial/values/g-economicvalue-iucn.pdf>



Pereira, J., & Oyanedel, A. (2019). Community signals of the effect of *Didymosphenia geminata* (Lingbye) M. Schmidt on benthic diatom communities in Chilean rivers. *Revista Chilena de Historia Natural*, 92. <https://doi.org/10.1186/s40693-019-0084-2>

Pinto, M., Frangópulos, M., Ruiz, S., & Mora, C. (2017). Relationship between viable cell transport of the diatom *Didymosphenia geminata* and other invasive species in Tierra del Fuego Island, Chile. *MARINE AND FRESH-WATER HARMFUL ALGAE*, 66.

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. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.05.003>

Reinoso Guerra, E., Aristizabal, J., Arce, B., Zurob, E., Dennett, G., Fuentes Urrutia, R., Suescún, V., Cardenas, L., Cunha, T., Cabezas, R., Garcia-Herrera, C., & Parra, C. (2021). Nanostructured *Didymosphenia geminata*-based membrane for efficient lead adsorption from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 105269. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105269>

Rost, A. L., Fritsen, C. H., Memmott, J., Davis, C., & Wirthlin, E. (2008). Environmental controls and potential food web impacts of *Didymosphenia geminata*, a comparative ecosystem study. In: Bothwell, M.L., Spaulding, S.A. (Eds.), *Proceedings of the 2007 International Workshop on Didymosphenia geminata*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 25.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). 2022a. Áreas de pesca recreativa de Chile. <http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/zonas-de-pesca-recreativa> Consultado en agosto de 2022.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). 2022b. Estadísticas de ventas de licencias de pesca recreativa en Chile 2014-2020. <http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/estadisticas-de-venta-de-licencias-de-pesca-recreativa>

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). 2022c. Estaciones de desinfección para el control de la plaga *Didymosphenia geminata* en Chile. Solicitado a través del portal de ley de transparencia.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA). 2022. Resolución Exenta 1854: Declara área de plaga y riesgo de plaga que indica en cuerpos de agua que señala. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1181885>

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA). 2021. Resoluciones que autorizan pesca de investigación otorgados para la cuenca del río Bueno período 2012-2019. Solicitado a través de oficina OIRS.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA). 2011. Resolución Exenta 322: Establece protocolo de limpieza y desinfección de fómites de la microalga *Didymosphenia geminata*. 6p. Disponible en <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1023194&f=2011-02-18>



Shank, M. (2016). *Didymosphenia geminata* in Pennsylvania: an investigation of current and historic distribution, habitat suitability, and nutritional content. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16606.84807>

Shearer, J., & Erickson, J. (2006). *Didymosphenia geminata* and the Rapid Creek brown trout fishery, South Dakota. In Spaulding, S., R. Wiltshire & L. Elwell (conference organizers), *Current Knowledge of Didymosphenia geminata: Developing a Research and Management Response*. Federation of Fly. 22.

Simberloff, D. (2009). The Role of Propagule Pressure in Biological Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 81–102. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120304>

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, 33.

Statzner, B., & Holm, T. F. (1982). Morphological adaptations of benthic invertebrates to stream flow — An old question studied by means of a new technique (Laser Doppler Anemometry). *Oecologia*, 53(3), 290–292. <https://doi.org/10.1007/BF00389001>

Whitton, B. A., Ellwood, N. T. W., & Kawecka, B. (2009). Biology of the freshwater diatom *Didymosphenia*: a review. *Hydrobiologia*, 630, 1–37. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9753-5>



## 10. ANEXOS

---

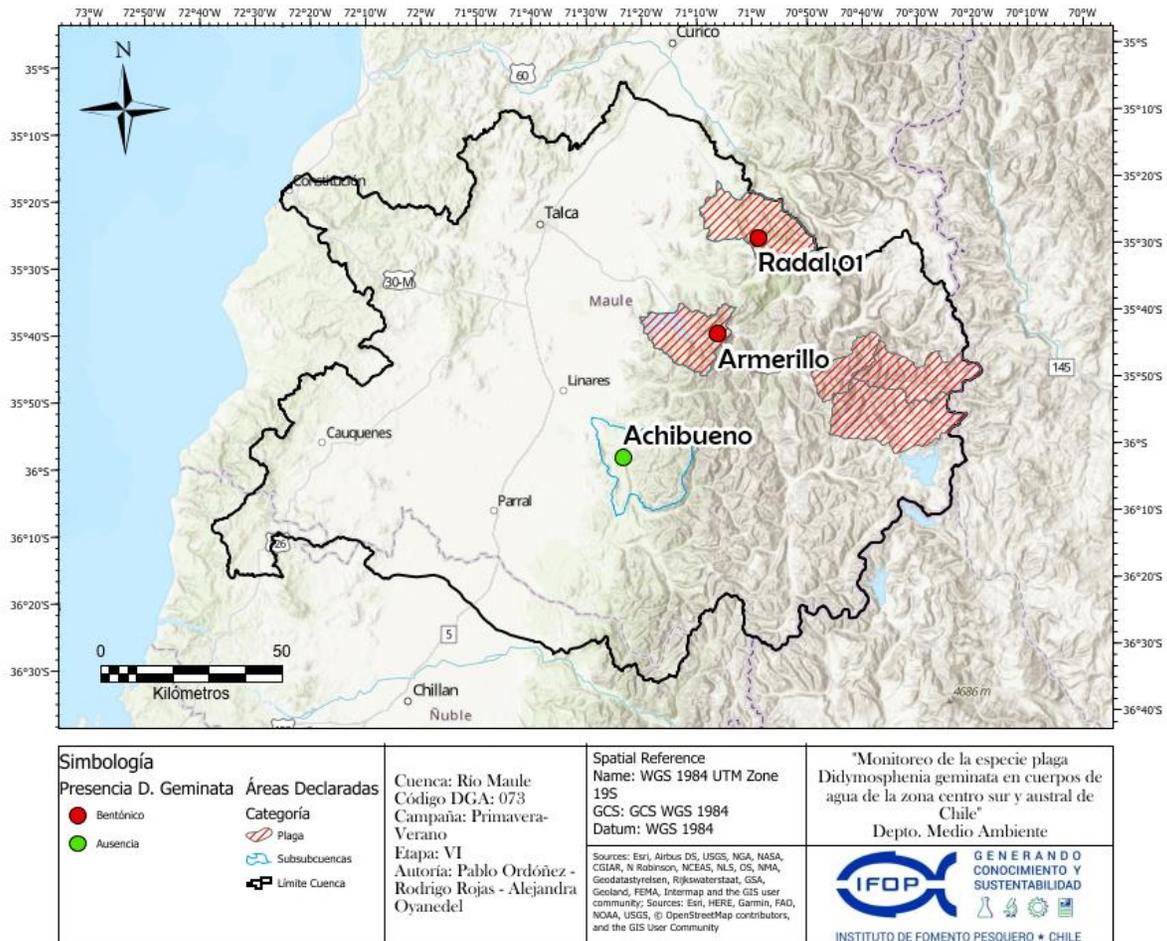


# ANEXO 1: FIGURAS

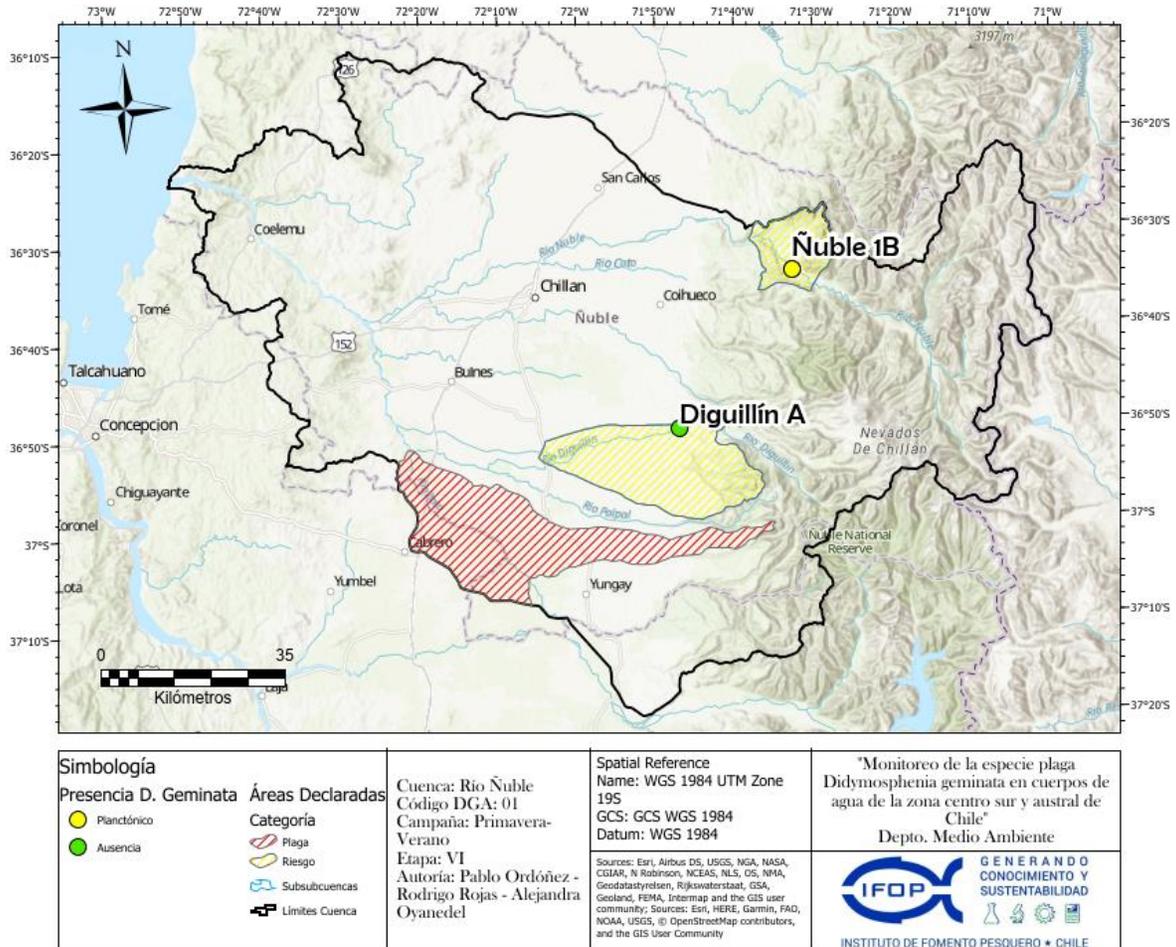
---



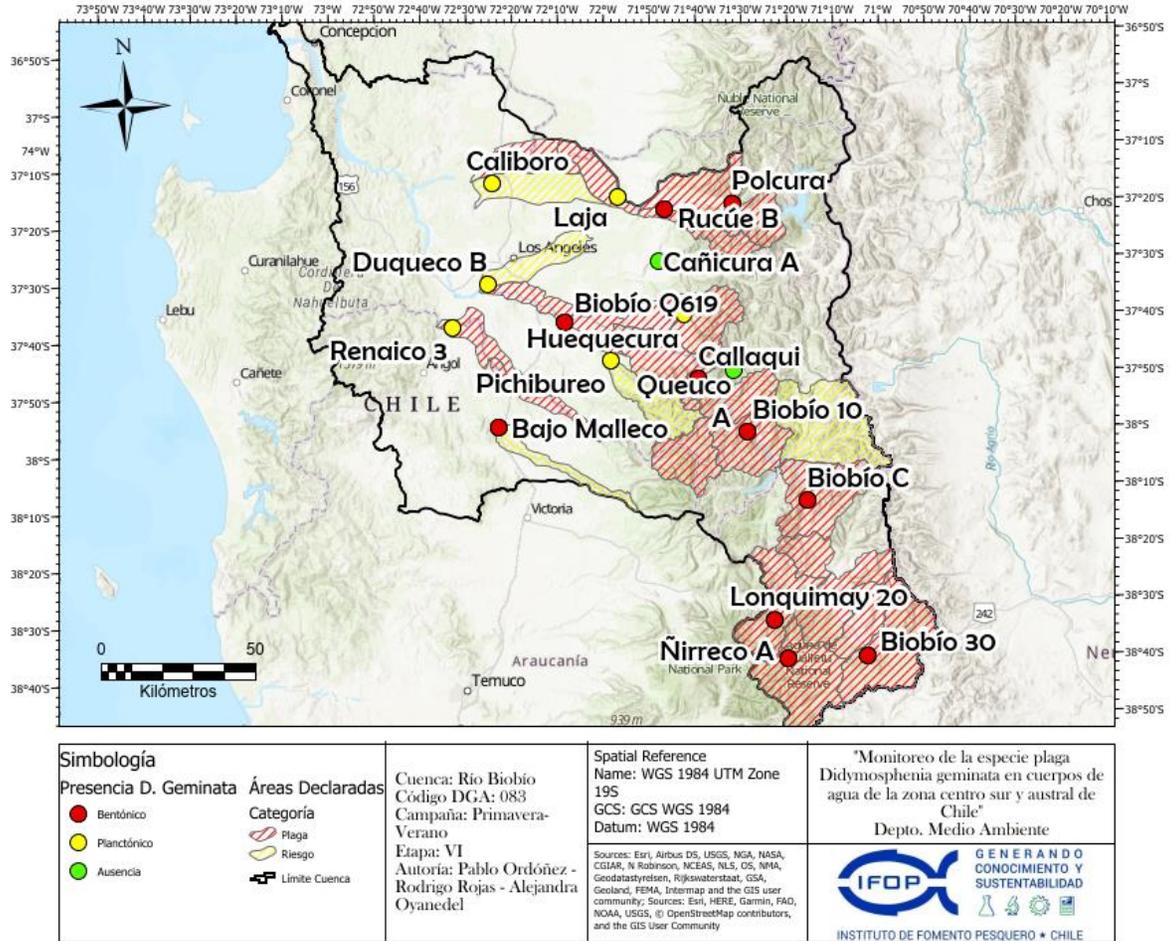
## MAPAS DE DISTRIBUCI3N DE LA CAMPAÑA PRIMAVERA-VERANO



**Figura 1.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del r3o Maule (073) y su categor3a seg3n ambiente detectado.



**Figura 2.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Itata (081) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 3.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Biobío (083) y su categoría según ambiente detectado.

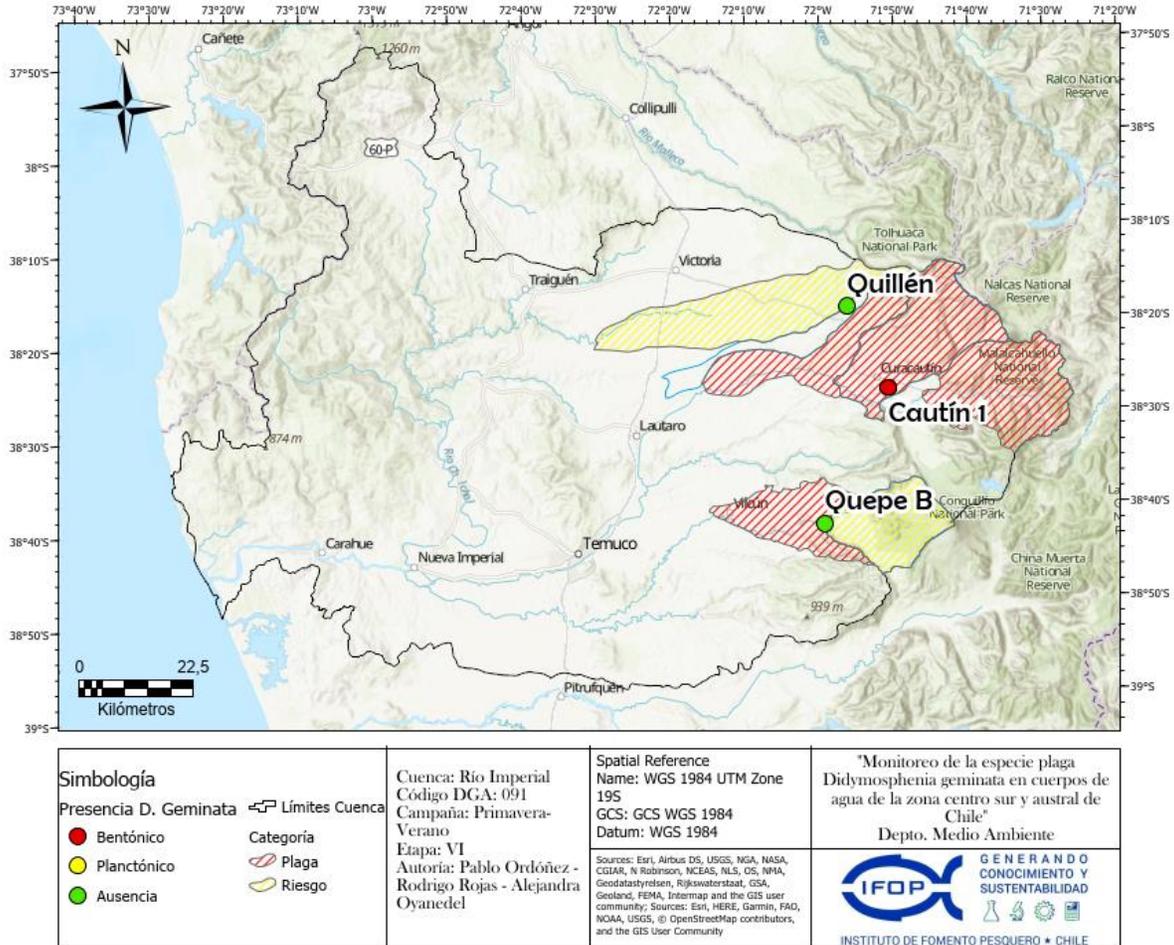
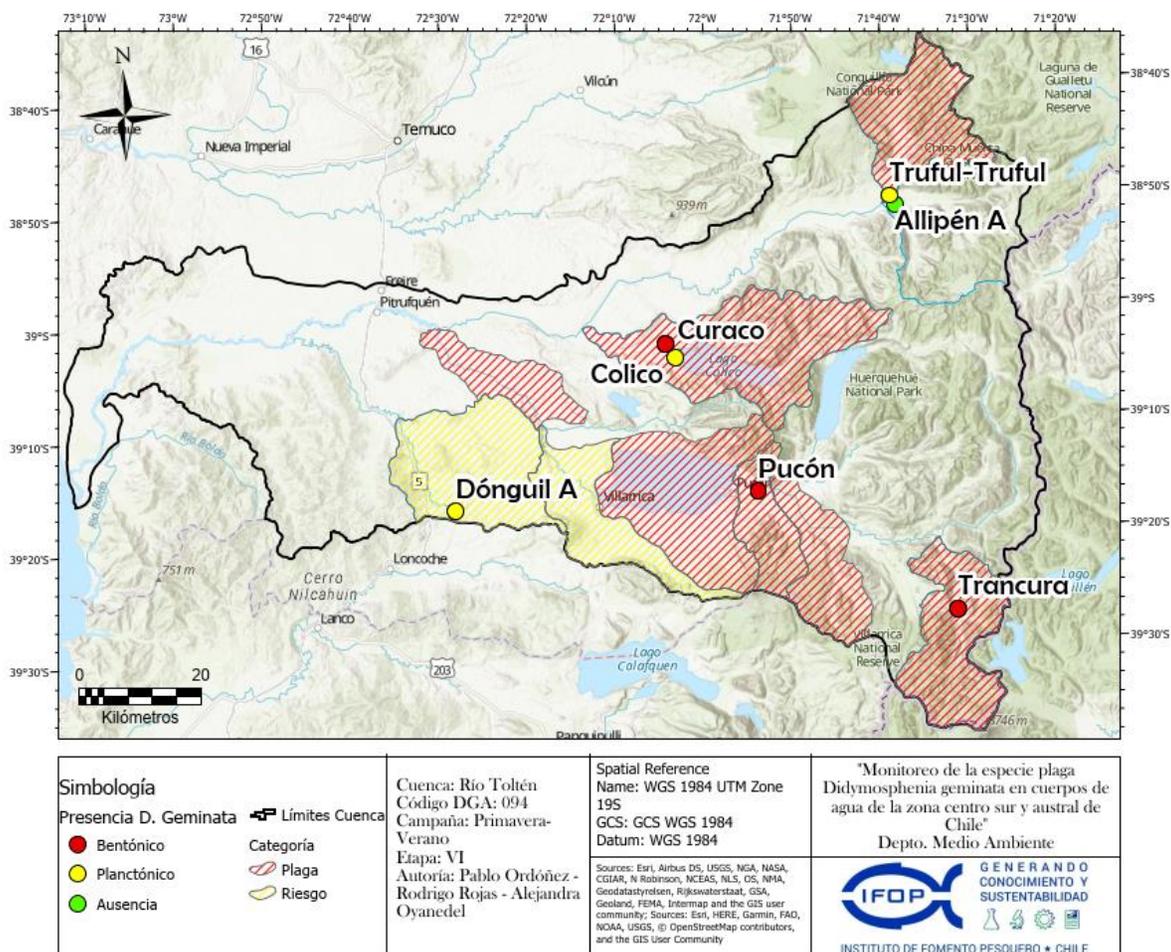
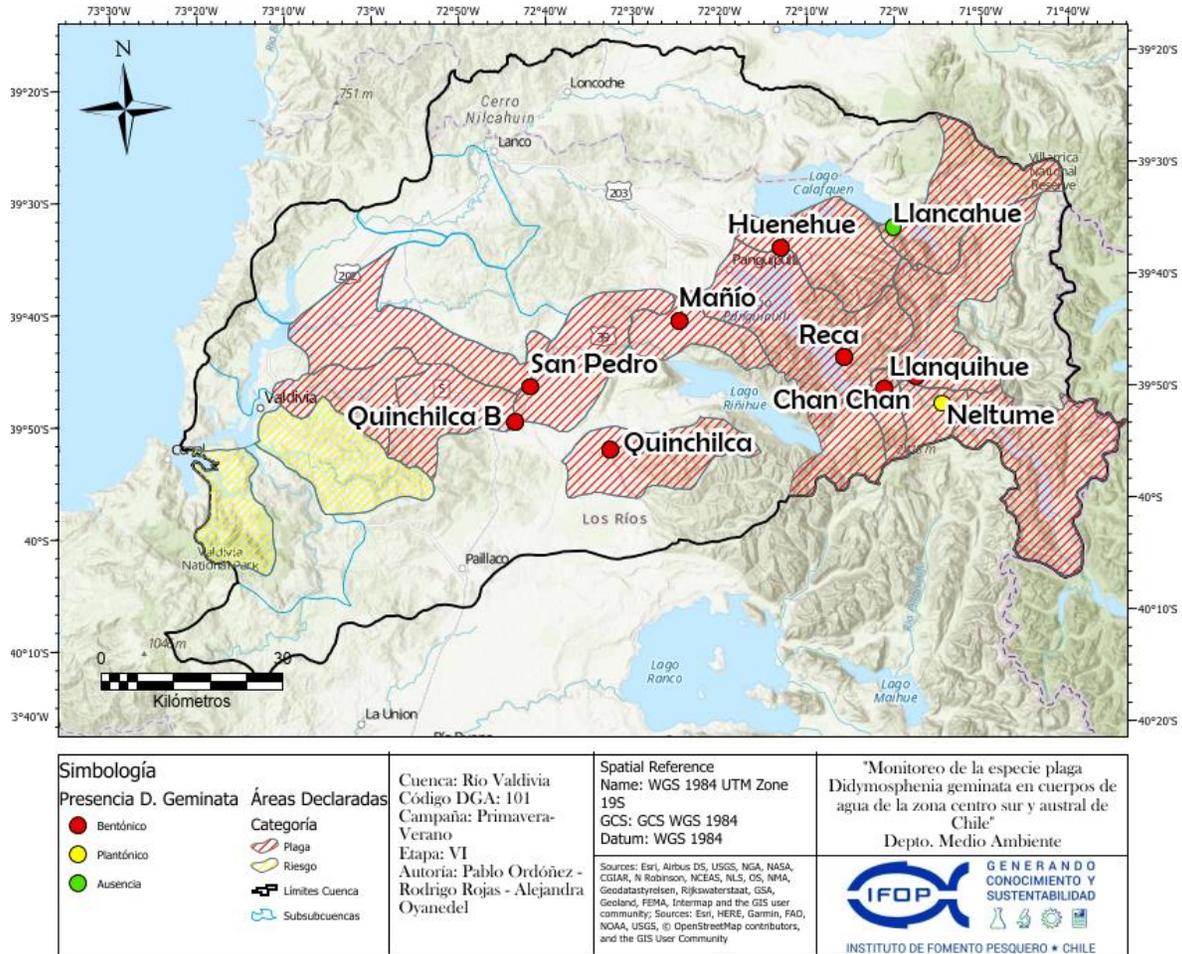


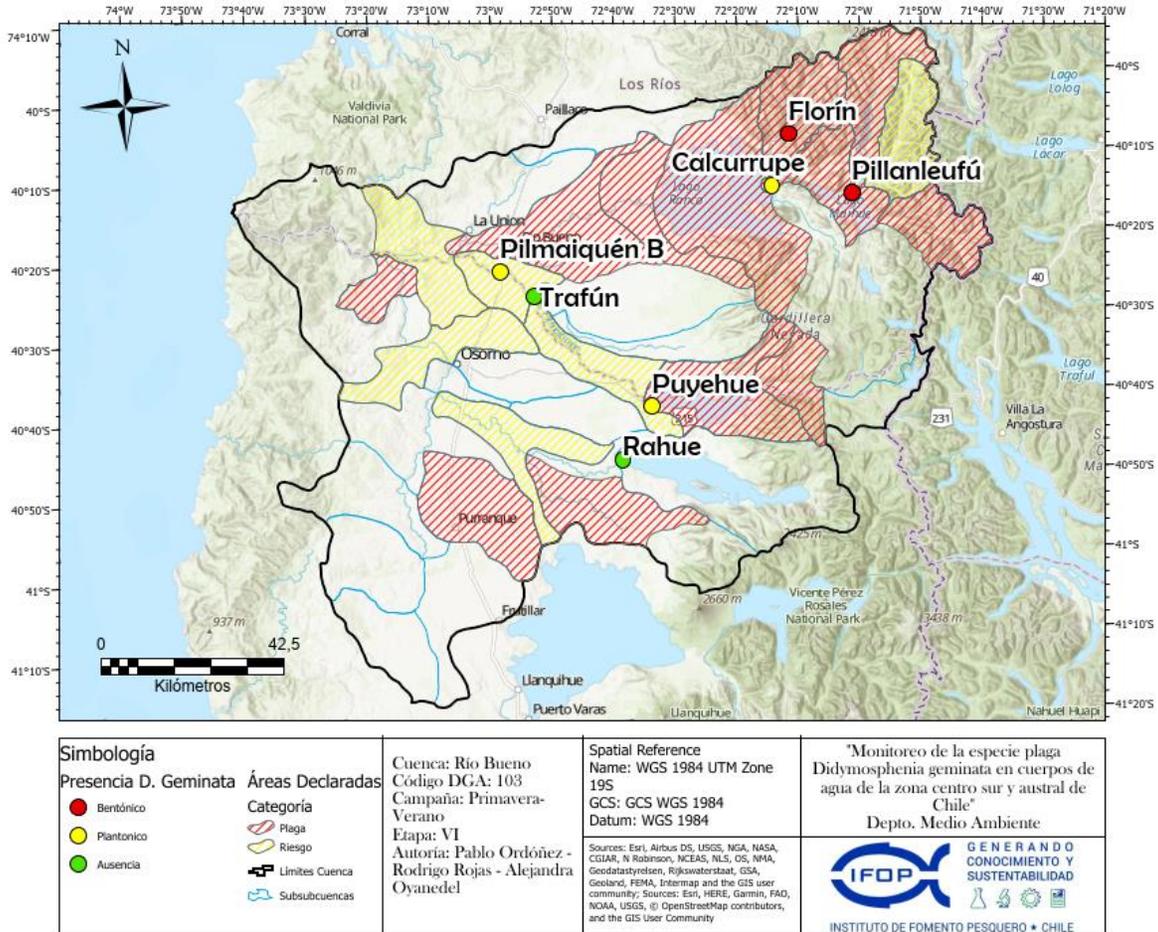
Figura 4.- Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Imperial (091) y su categoría según ambiente detectado.



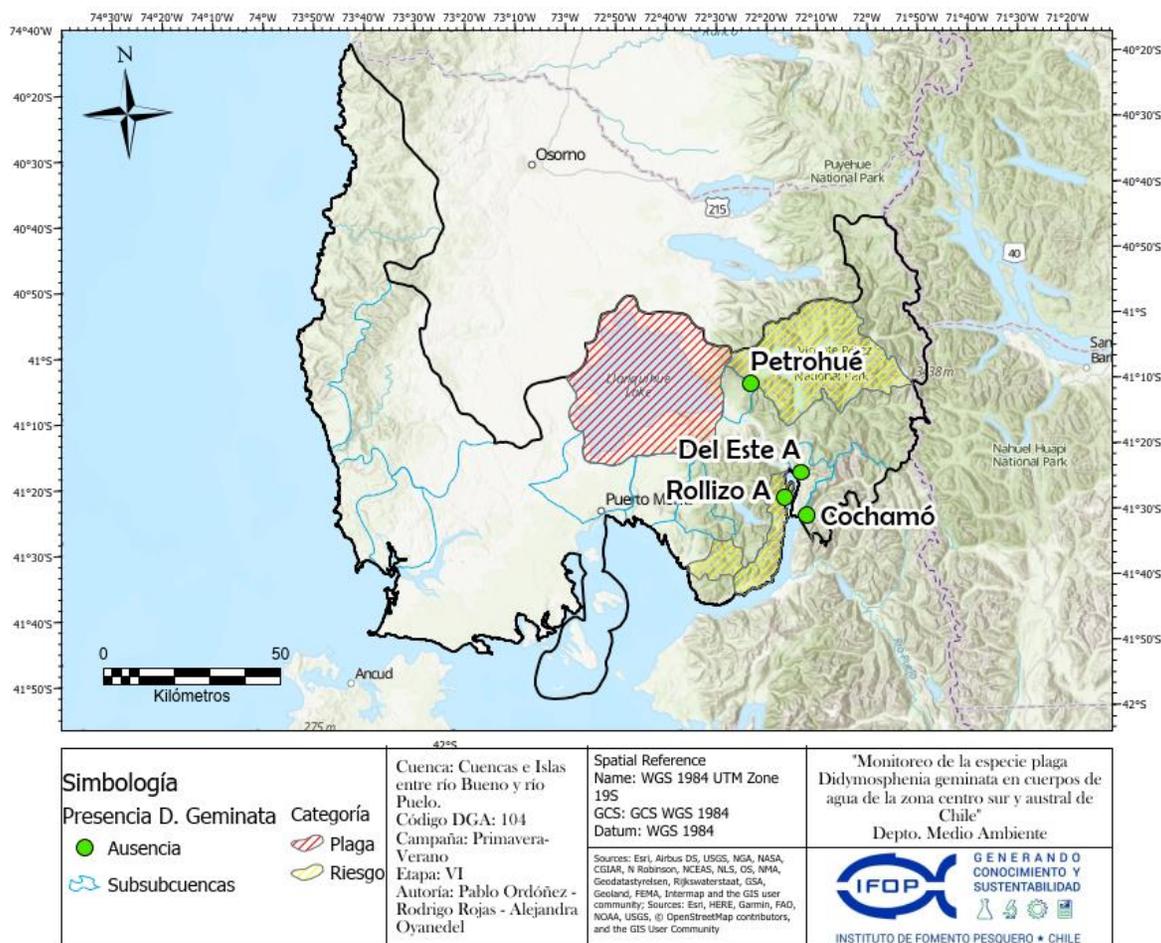
**Figura 5.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Toltén (094) y su categoría según ambiente detectado.



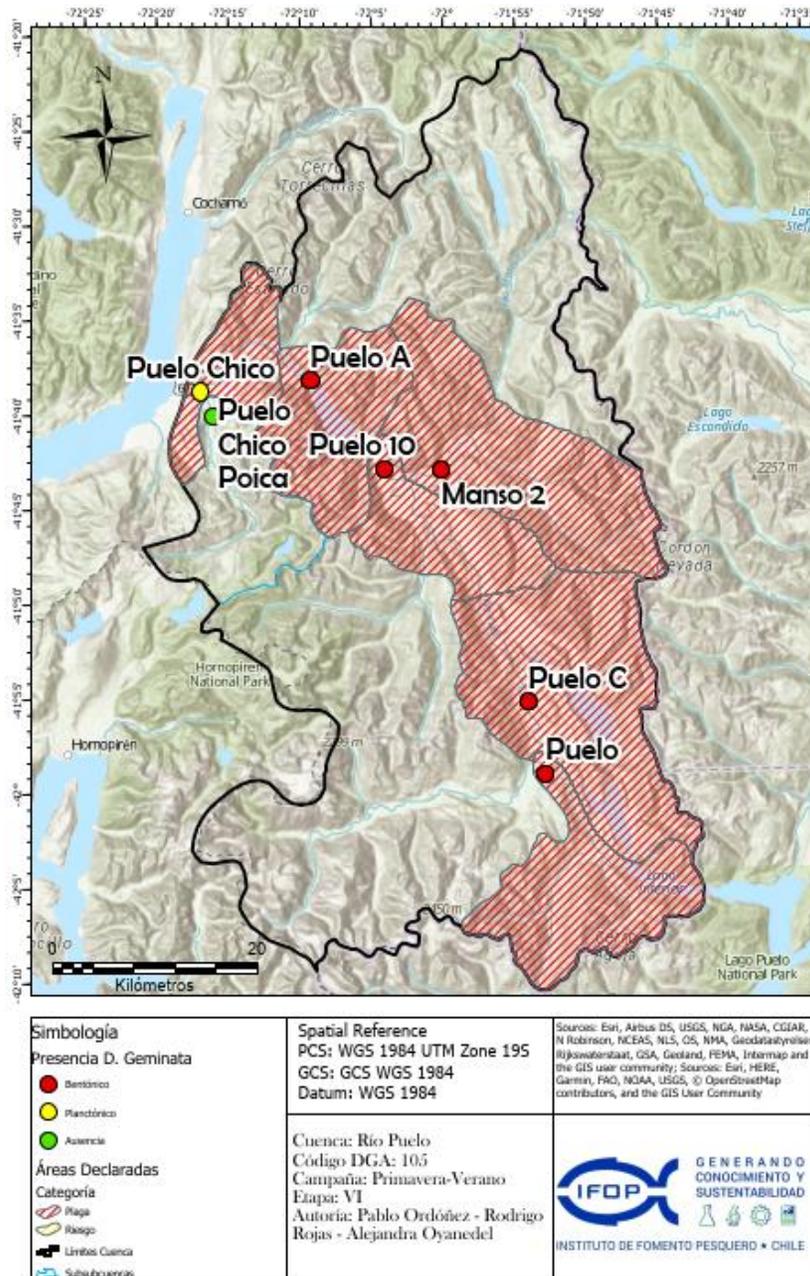
**Figura 6.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del r3o Valdivia (101) y su categor3a seg3n ambiente detectado.



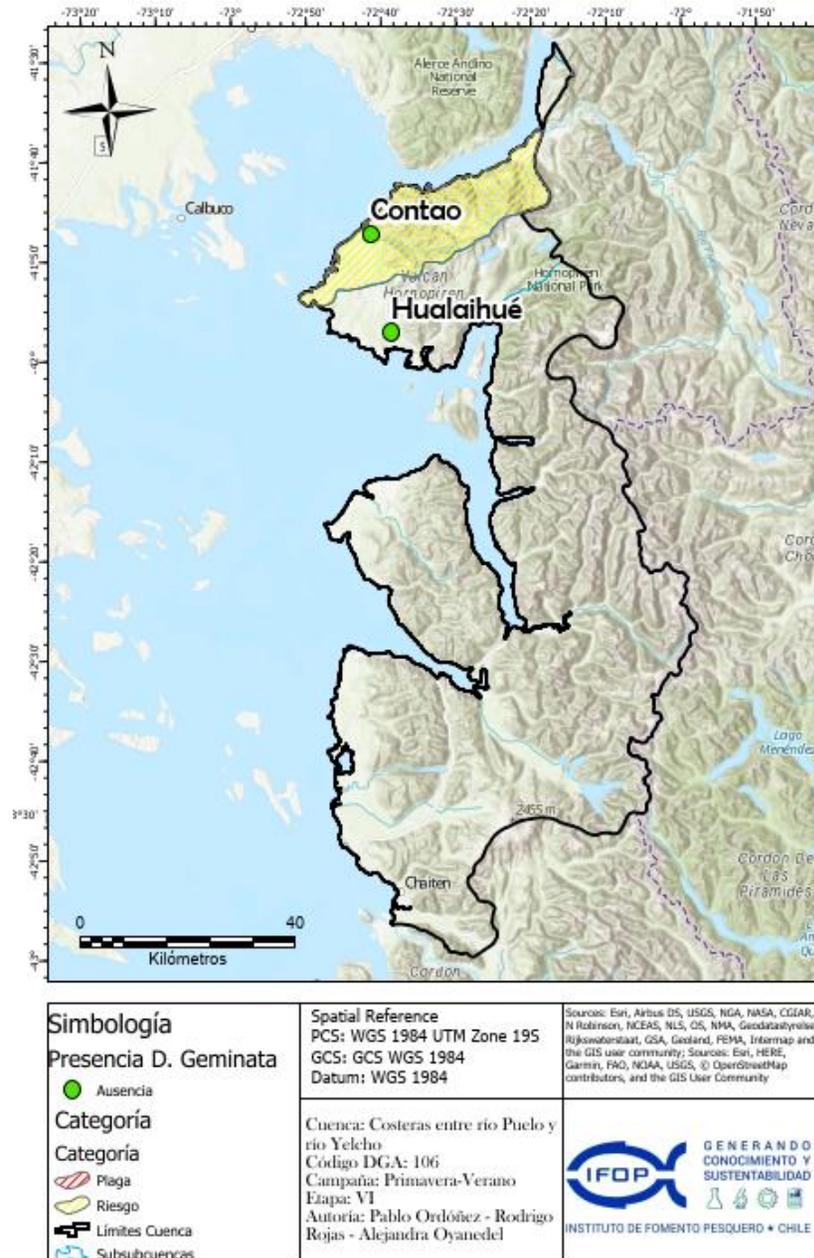
**Figura 7.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Bueno (103) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 8.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca e Islas entre río Bueno y río Puelo (104) y su categoría según ambiente detectado.

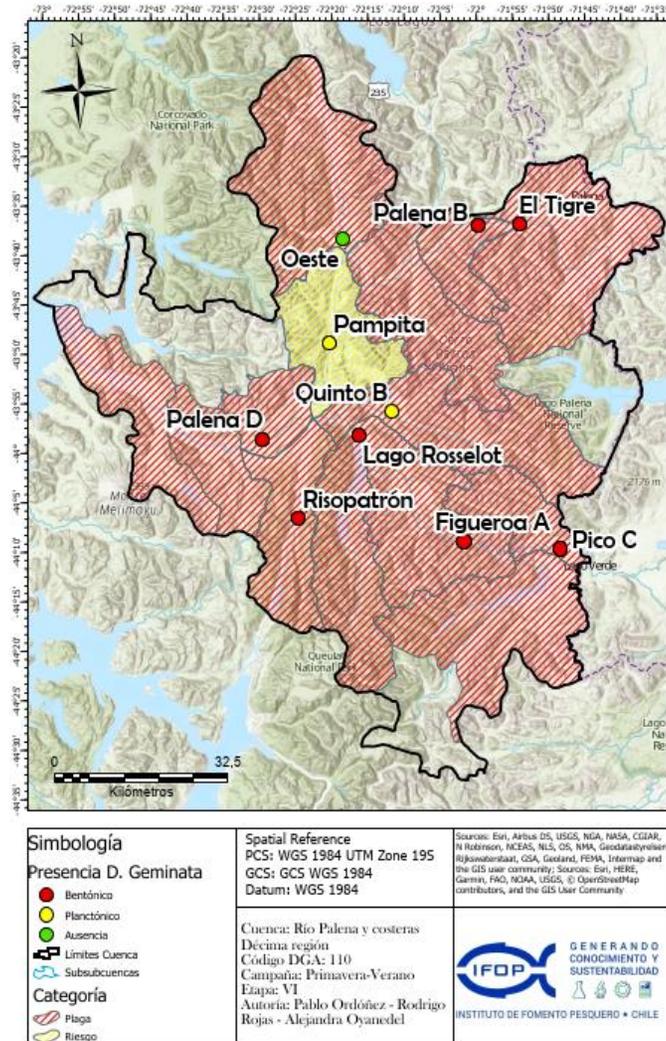


**Figura 9.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Puelo (105) y su categoría según ambiente detectado.

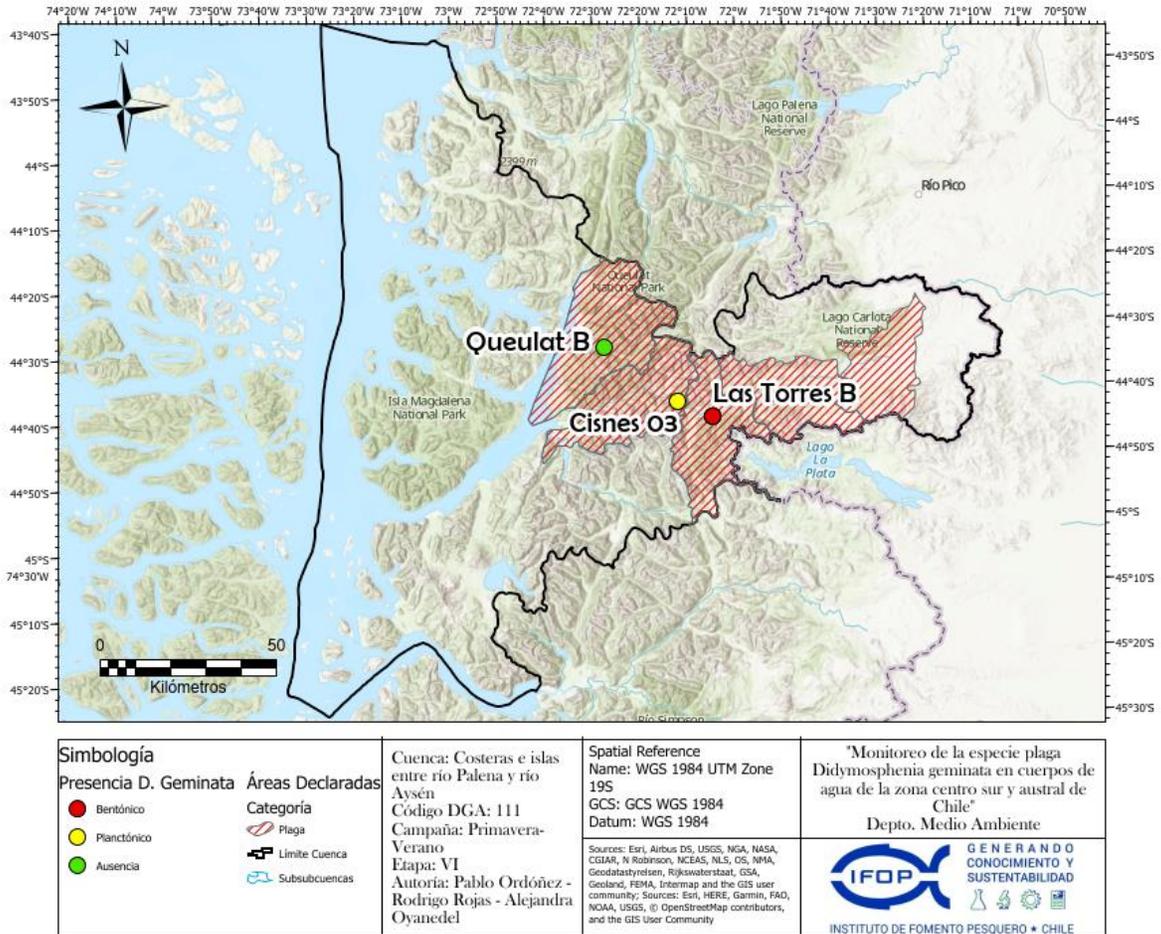


**Figura 10.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Costeras entre río Puelo y río Yelcho (106) y su categoría según ambiente detectado.





**Figura 12.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca de r3o Palena y Costeras l3mite d3cima regi3n (110) y su categor3a seg3n ambiente detectado.



**Figura 13.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Costeras entre río Palena y río Aysén (111) y su categoría según ambiente detectado.

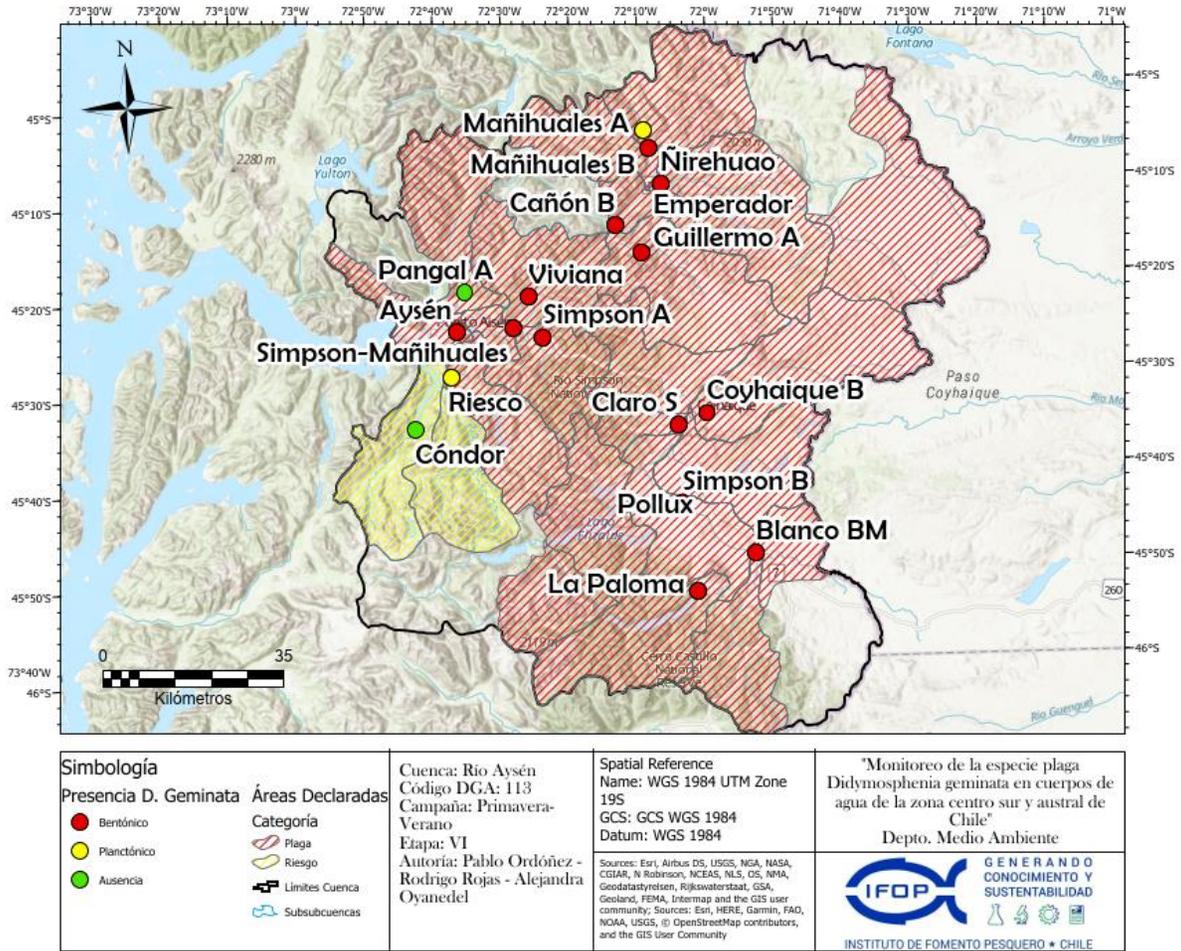
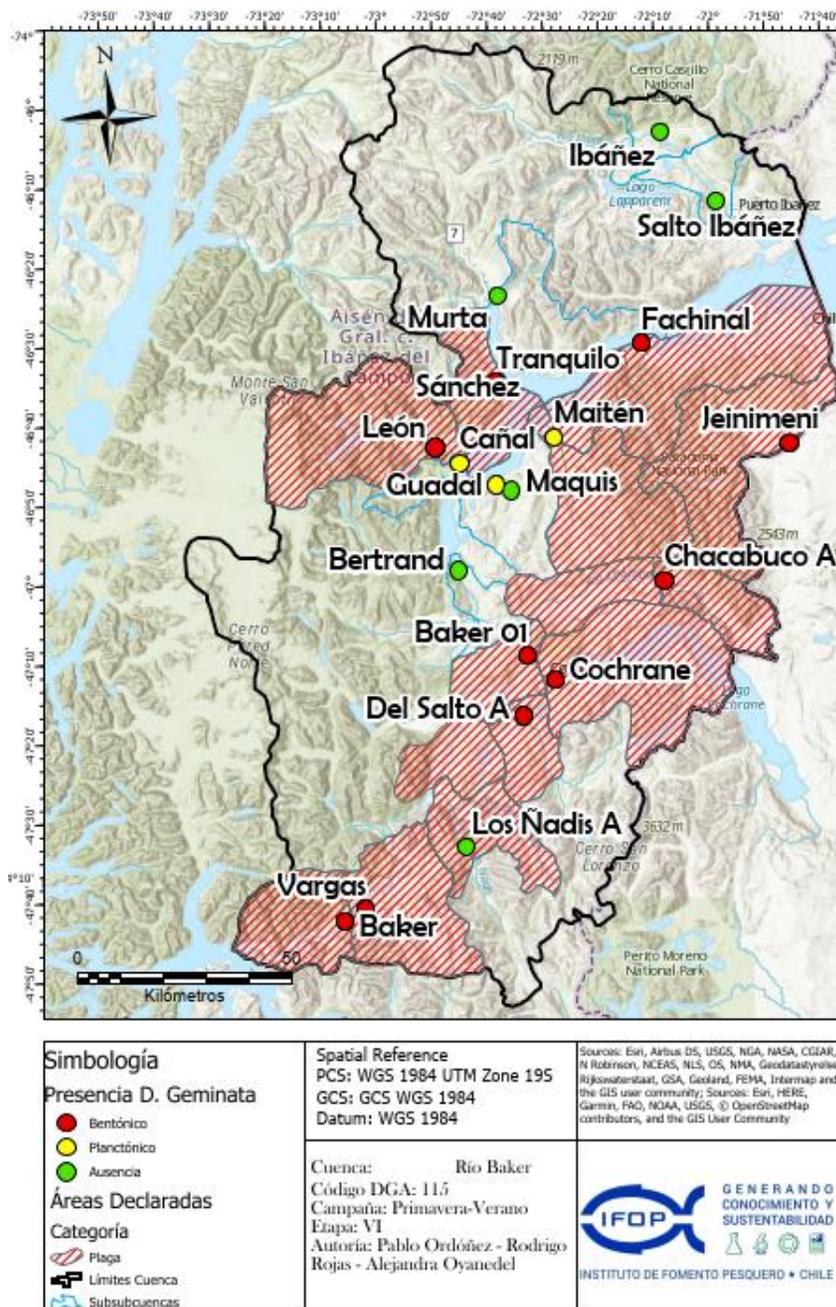
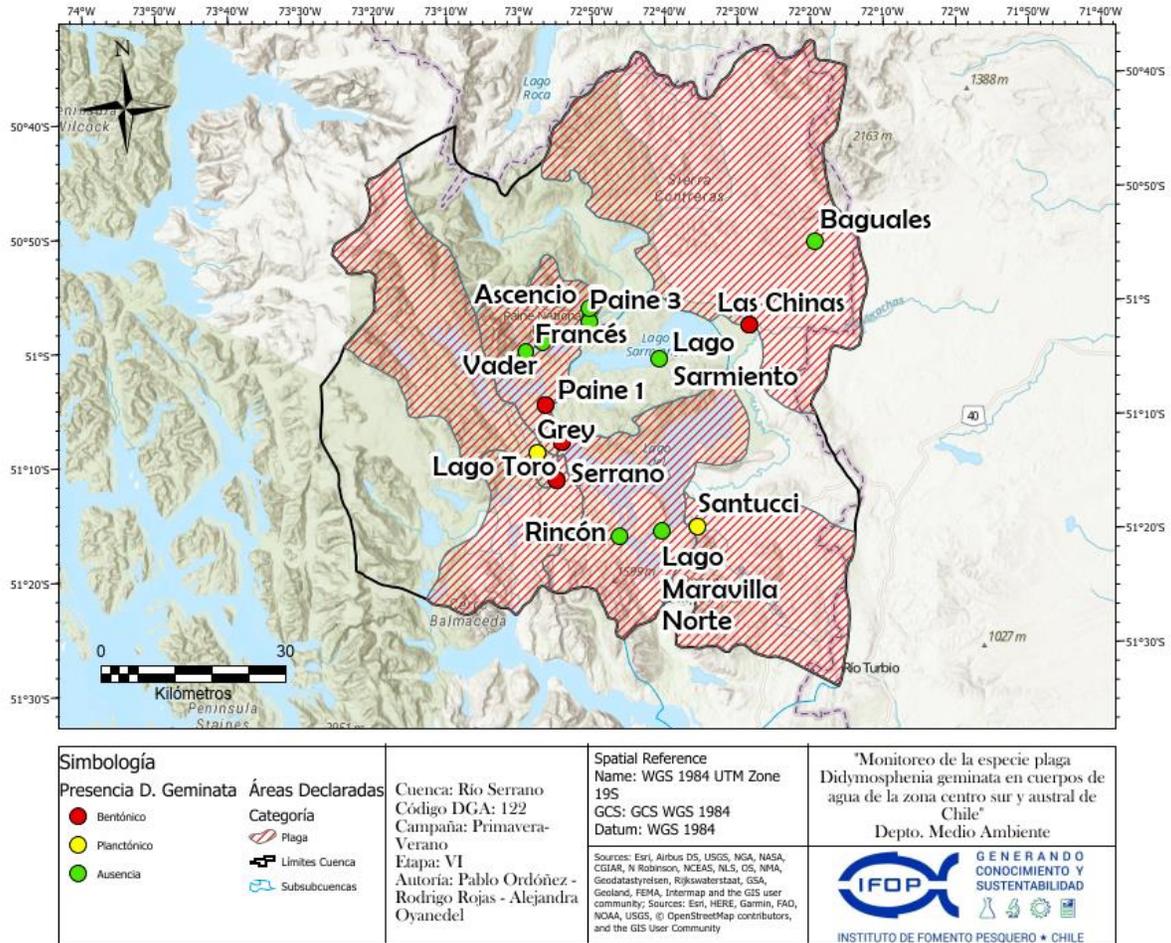


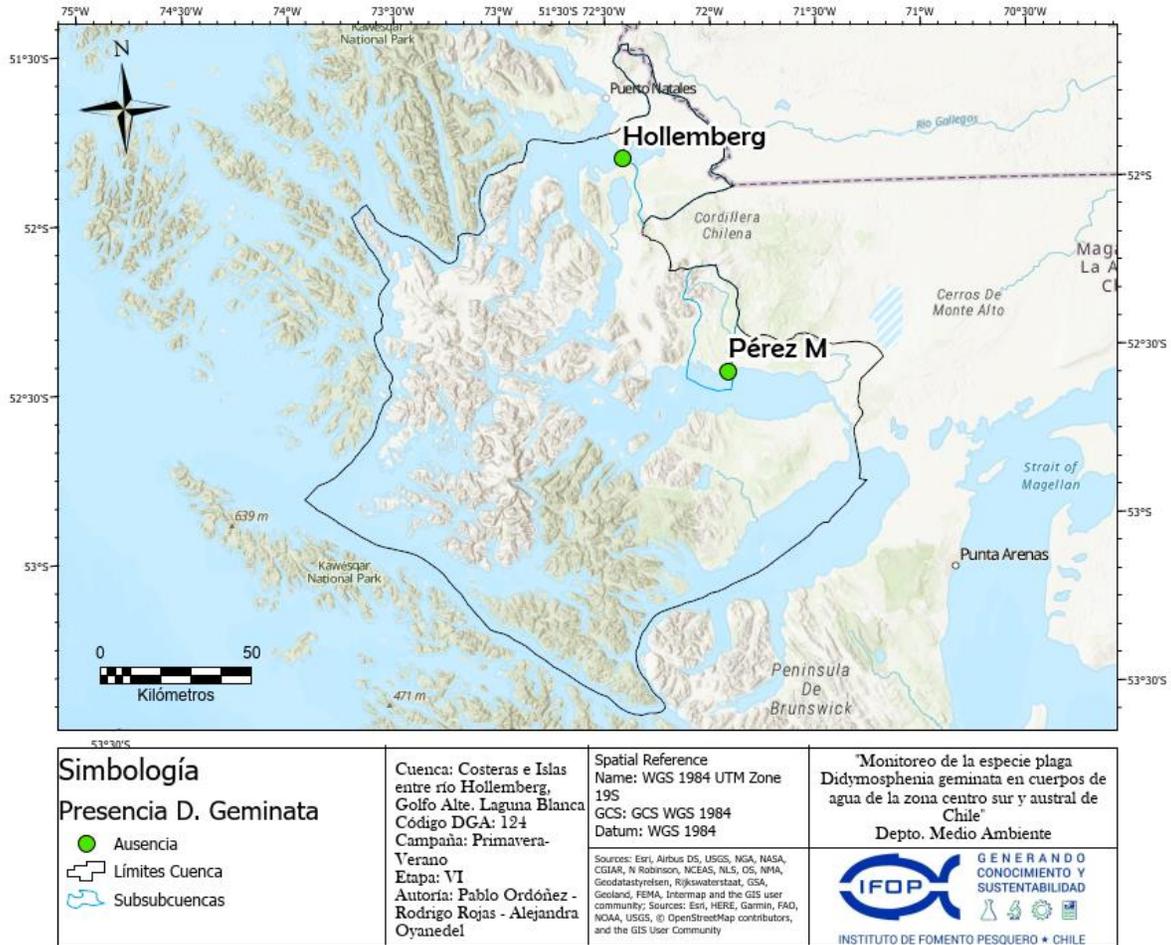
Figura 14.- Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del r3o Ays3n (113) y su categor3a seg3n ambiente detectado.



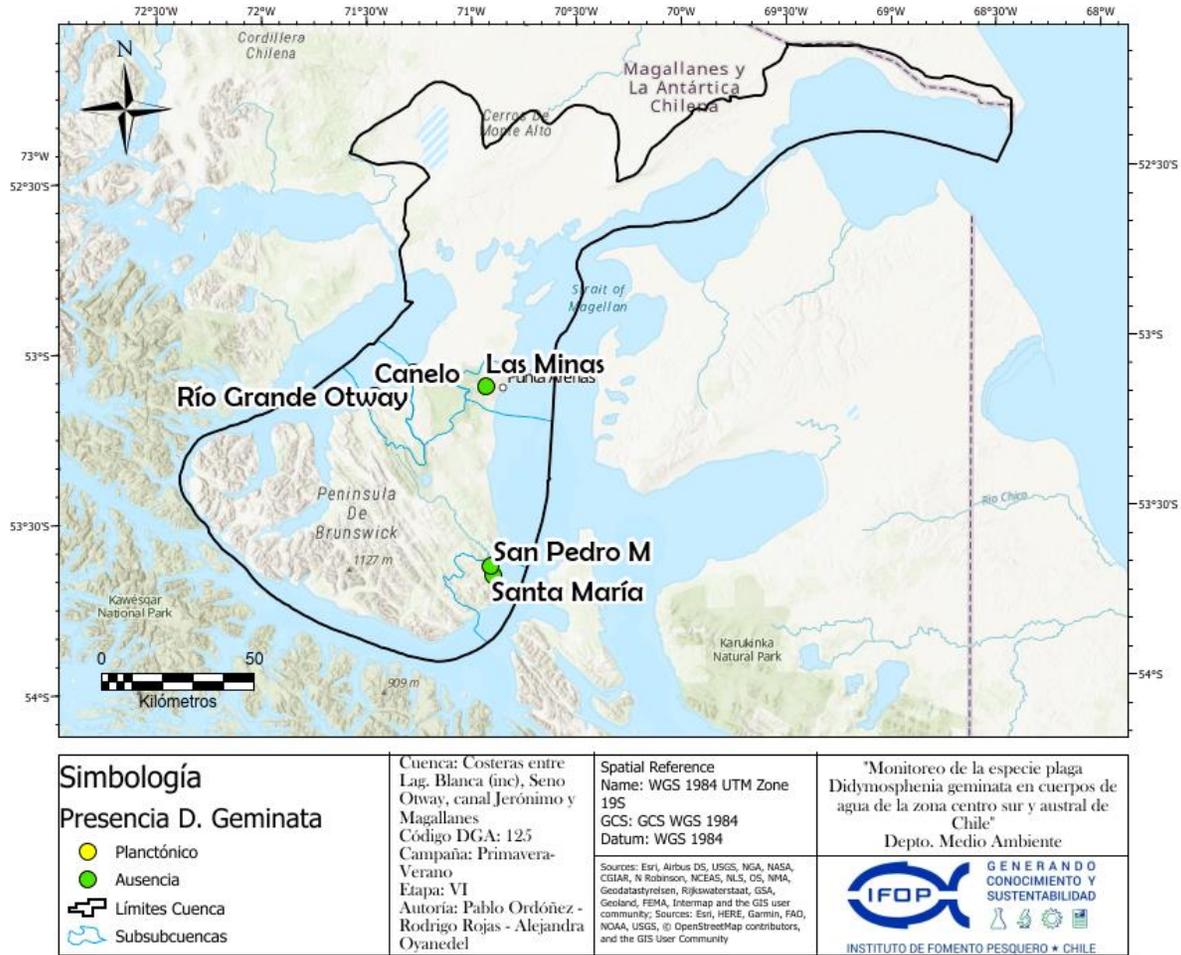
**Figura 15.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Baker (115) y su categoría según ambiente detectado.



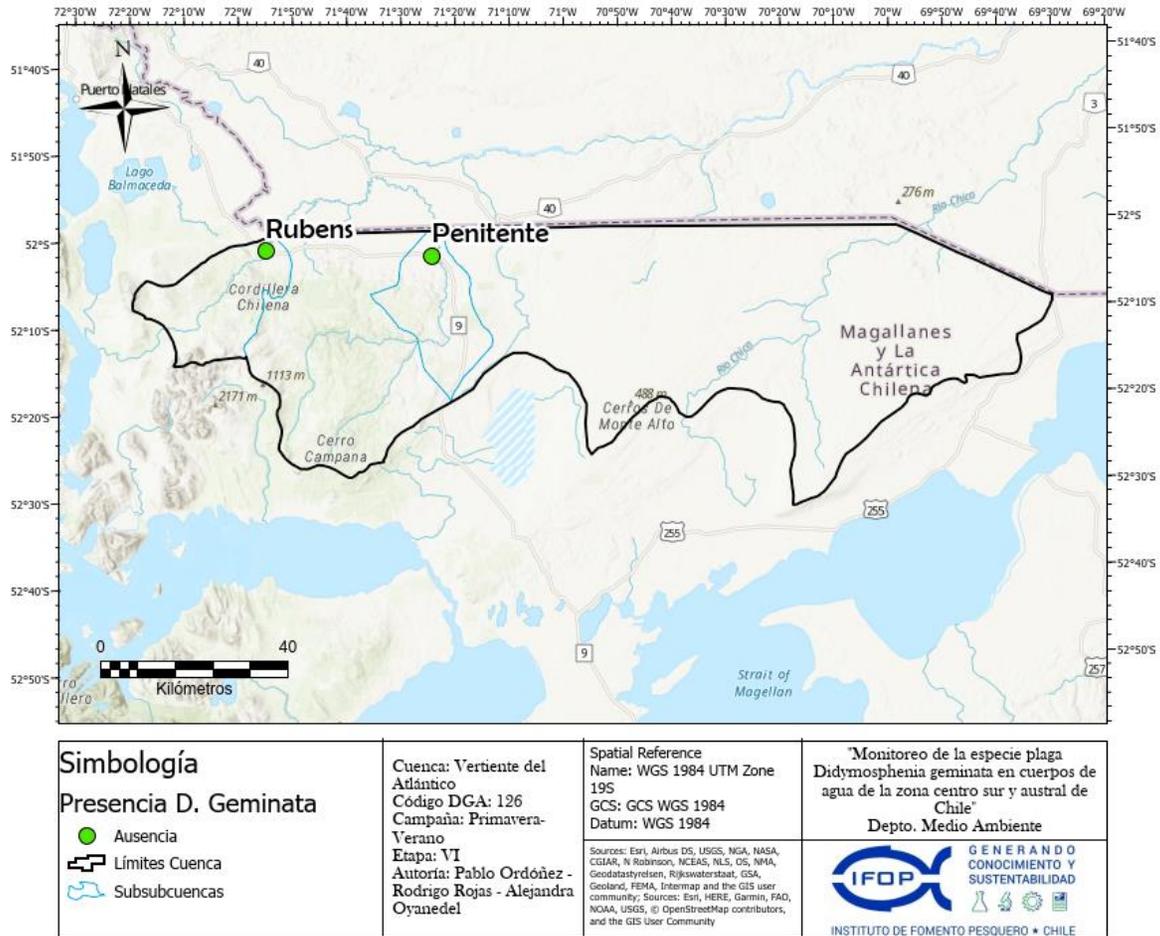
**Figura 16.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca Costeras entre Seno Andrew y río Holleberg e islas al oriente (122) y su categoría según ambiente detectado.



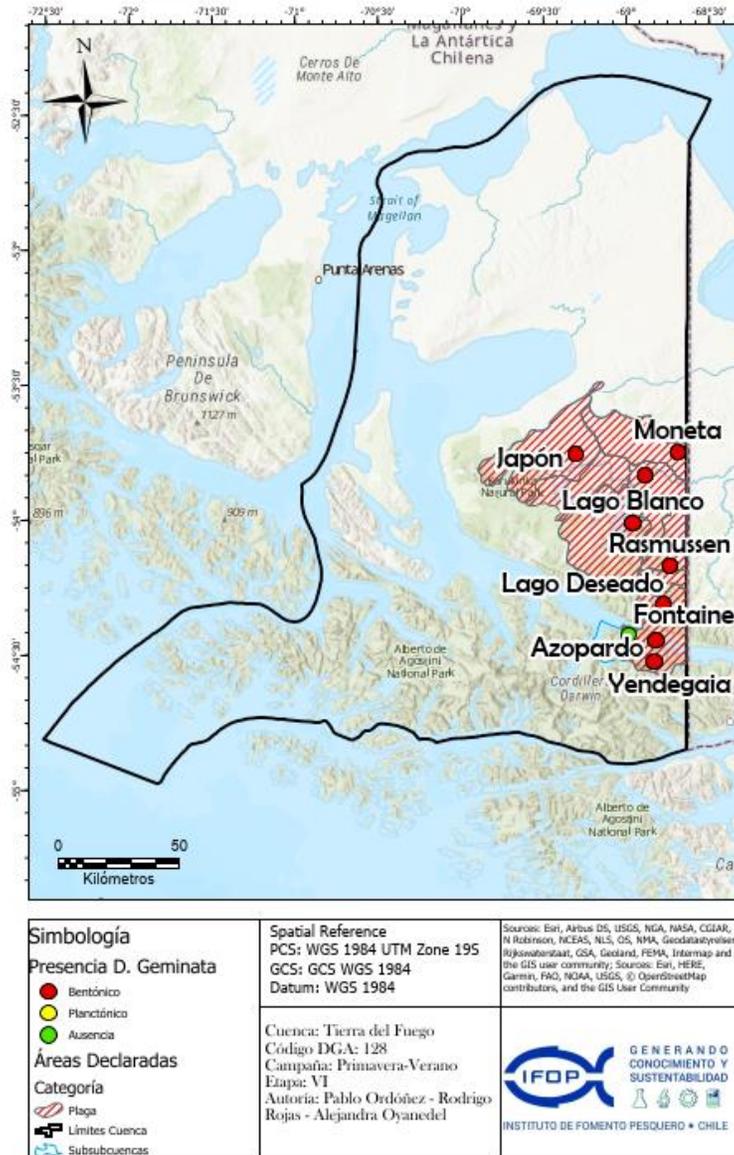
**Figura 17.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca Costeras entre r3o Hollelberg, Golfo Alte. Laguna Blanca (124) y su categoría seg3n ambiente detectado.



**Figura 18.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca Costeras entre Laguna Blanca (inc), Seno Otway, canal Jer3nimo y Magallanes (125) y su categoría seg3n ambiente detectado.



**Figura 19.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca Vertientes del Atlántico (126) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 20.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca Tierra del Fuego (128) y su categoría según ambiente detectado.



MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES DE LA CAMPAÑA OTOÑO-INVIerno

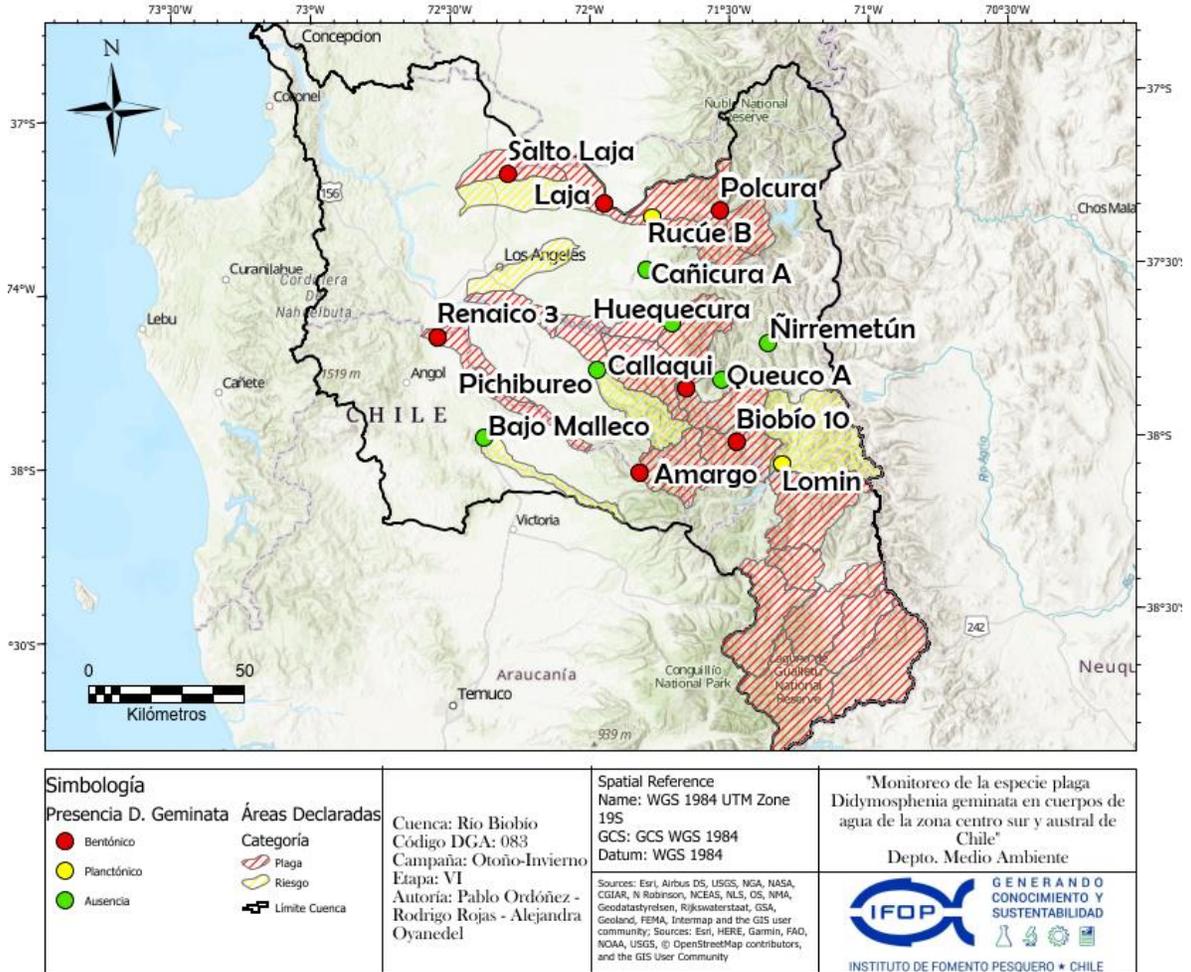
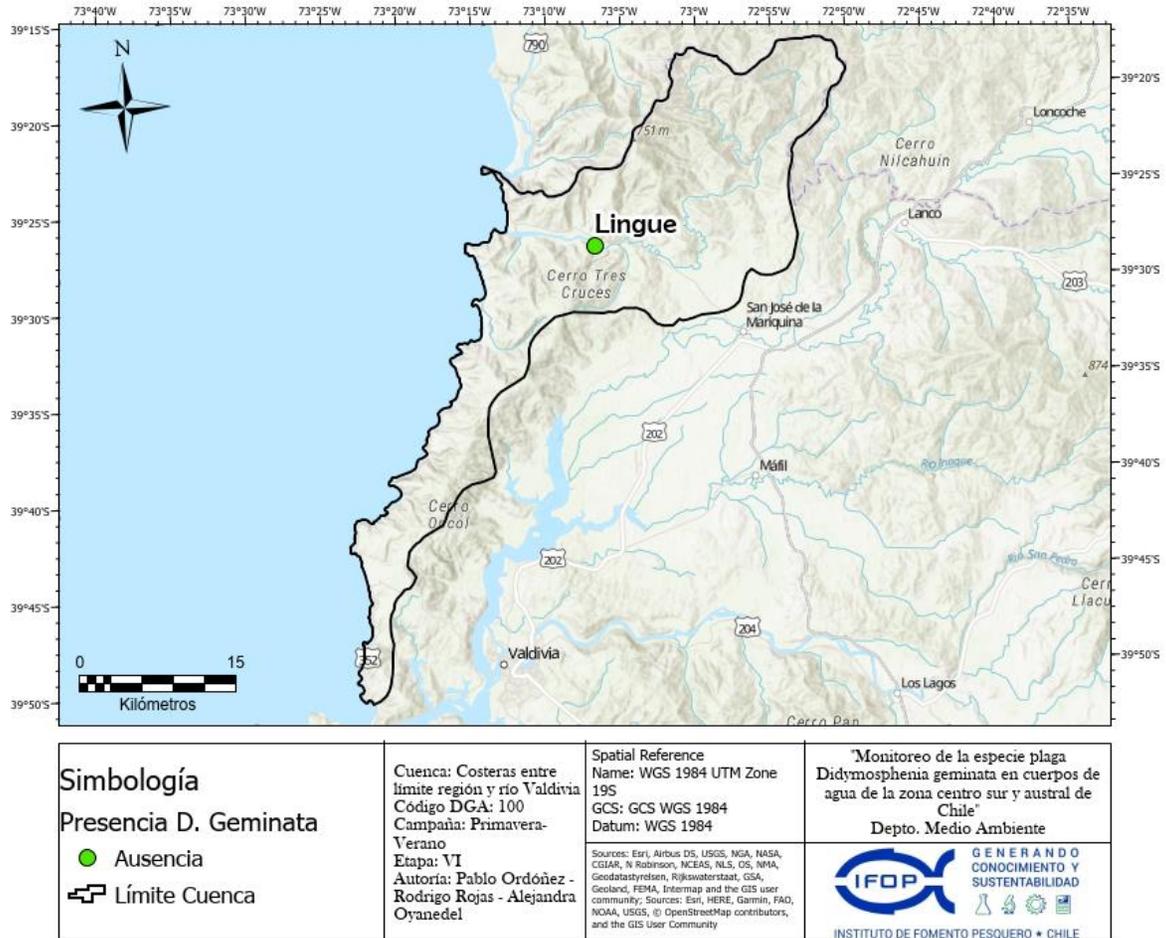
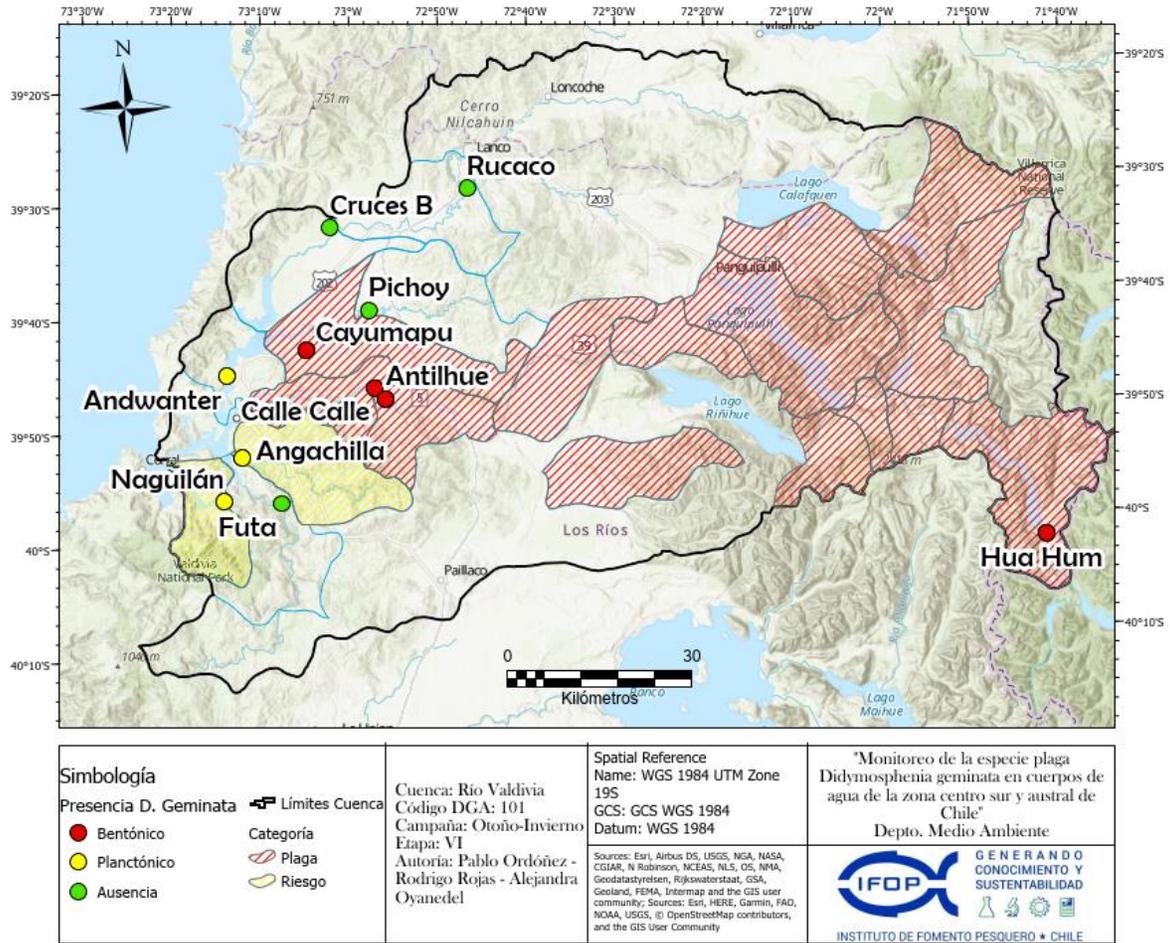


Figura 21.- Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Biobío (083) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 22.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca Costeras entre límite regional y río Valdivia (100) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 23.-** Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del r3o Valdivia (101) y su categor3a seg3n ambiente detectado.

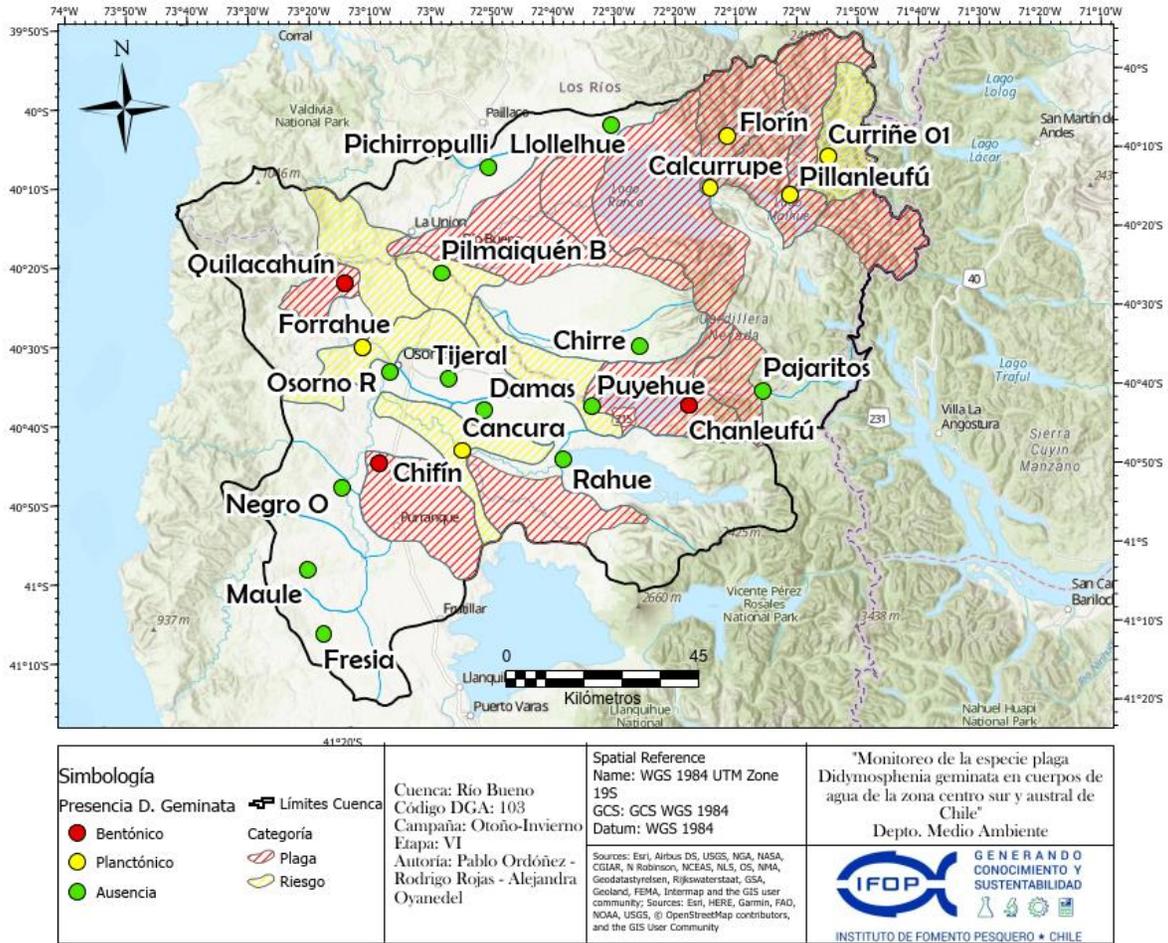
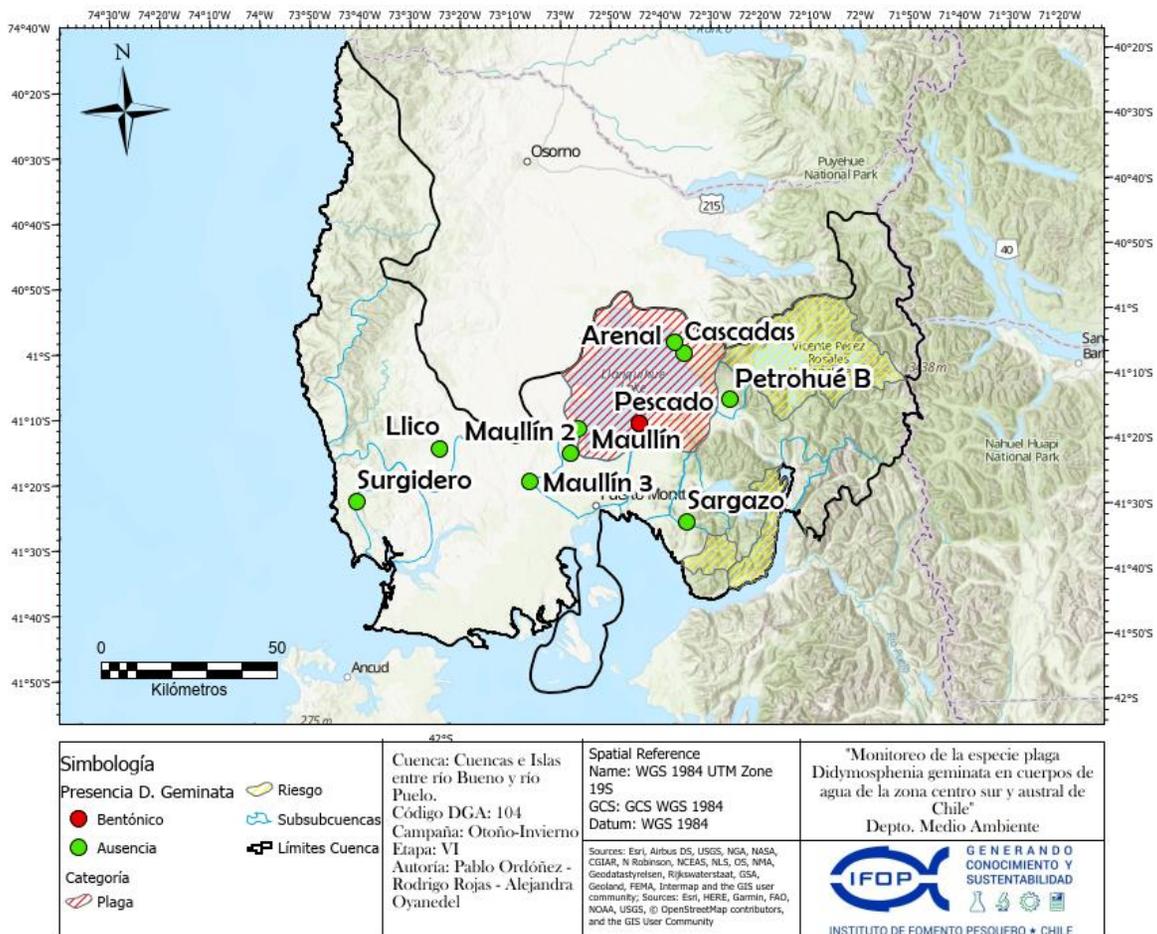
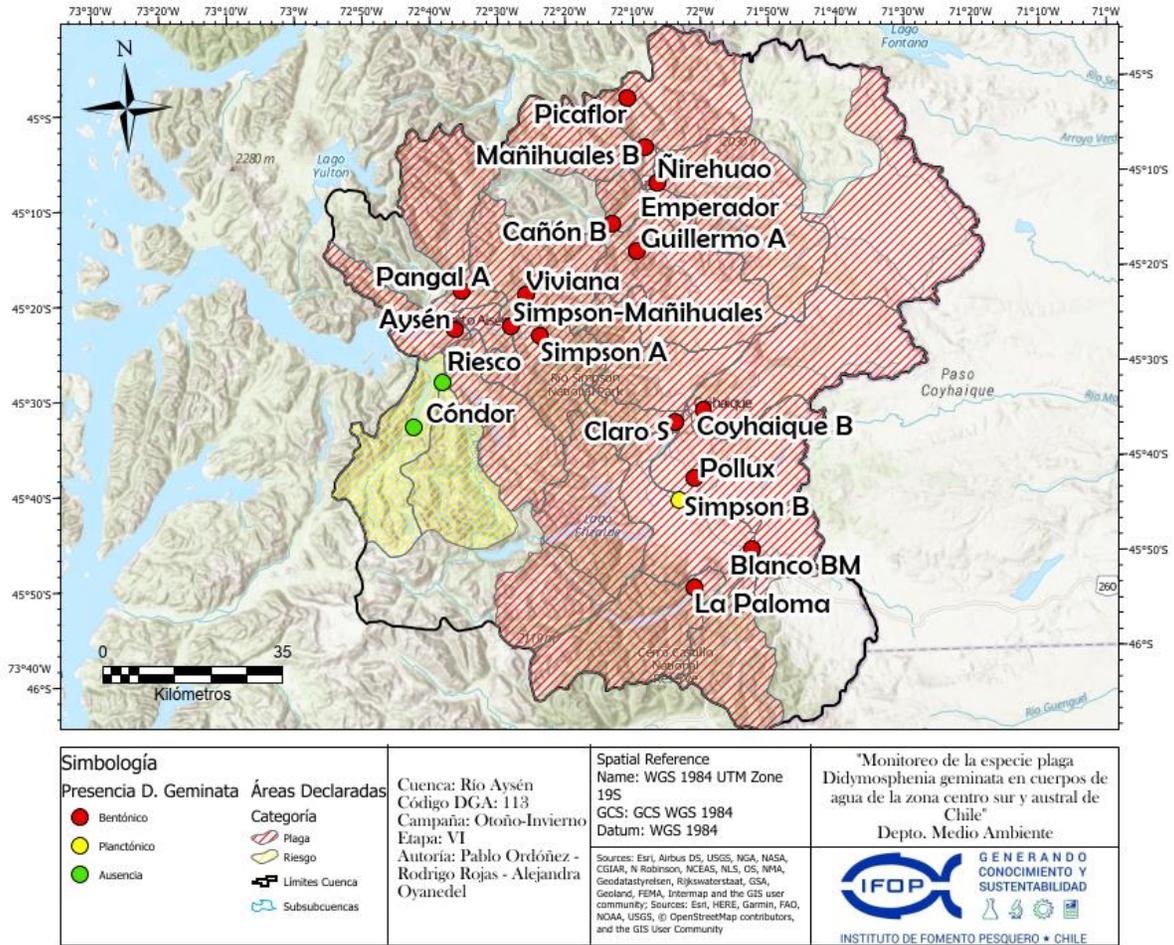


Figura 24.- Ubicaci3n de estaciones muestreadas en la Cuenca del r3o Bueno (103) y su categor3a seg3n ambiente detectado.



**Figura 25.-** Ubicación de estaciones muestreadas en Cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo (104) y su categoría según ambiente detectado.



**Figura 26.-** Ubicación de estaciones muestreadas en la Cuenca del río Aysén (113) y su categoría según ambiente detectado.



## **ANEXO 2: TABLAS**

---



**Tabla 1.-** Localización de las estaciones de monitoreo incluidas en ambas campañas de muestreo de la Etapa VI. Las estaciones aparecen clasificadas por región, código de cuenca (Cod CC), código Subsubcuenca (Cod SSC), y se indican las coordenadas geográficas en coordenadas WGS 84. Además, se detalla la fecha y hora en la que se realizó el muestreo de cada estación.

ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
1	Radal 01	Maule	73	7370	-35.4760	-70.9943	4-12-2021	11:40
2	Armerillo	Maule	73	7321	-35.7136	-71.1228	4-12-2021	15:35
3	Achibueno	Maule	73	7354	-36.0172	-71.4214	4-12-2021	19:30
4	Ñuble 1B	Ñuble	81	8106	-36.5732	-71.5554	5-12-2021	11:12
5	Diguillín A	Ñuble	81	8131	-36.8408	-71.8037	5-12-2021	14:14
6	Caliboro	Biobío	83	8382	-37.2514	-72.4257	5-12-2021	16:50
7	Laja	Biobío	83	8380	-37.3029	-71.9685	5-12-2021	18:40
8	Polcura	Biobío	83	8375	-37.3305	-71.5503	6-12-2021	10:15
9	Rucúe B	Biobío	83	8376	-37.3430	-71.7970	6-12-2021	11:50
10	Cañicura A	Biobío	83	8321	-37.4947	-71.8248	6-12-2021	13:26
11	Biobío 10	Biobío	83	8312	-37.9993	-71.5147	7-12-2021	10:35
12	Queuco A	Biobío	83	8315	-37.8194	-71.5620	7-12-2021	12:25
13	Huequecura	Biobío	83	8316	-37.6528	-71.7376	7-12-2021	16:30
14	Callaqui	Biobío	83	8313	-37.8413	-71.6906	7-12-2021	18:15
15	Duqueco B	Biobío	83	8324	-37.5457	-72.4559	8-12-2021	11:00
16	Pichibureo	Biobío	83	8331	-37.7798	-72.0122	8-12-2021	13:20
17	Biobío Q619	Biobío	83	8319	-37.6634	-72.1756	8-12-2021	14:40
18	Renaico 3	Biobío	83	8344	-37.6687	-72.5898	9-12-2021	16:50
19	Bajo Malleco	La Araucanía	83	8351	-37.9650	-72.4350	9-12-2021	10:00
20	Quillén	La Araucanía	91	9110	-38.3083	-71.9553	9-12-2021	13:23
21	Biobío C	La Araucanía	83	8307	-38.2063	-71.2998	9-12-2021	17:05
22	Biobío 30	La Araucanía	83	8301	-38.6645	-71.0877	10-12-2021	9:05
23	Ñirreco A	La Araucanía	83	8300	-38.6674	-71.3869	10-12-2021	12:40
24	Lonquimay 20	La Araucanía	83	8304	-38.5537	-71.4335	10-12-2021	17:30
25	Cautín 1	La Araucanía	91	9122	-38.4551	-71.8673	11-12-2021	11:30
26	Quepe B	La Araucanía	91	9130	-38.6942	-72.0213	11-12-2021	13:40
27	Allipén A	La Araucanía	94	9401	-38.8527	-71.6468	12-12-2021	10:00
28	Truful-Truful	La Araucanía	94	9400	-38.8394	-71.6560	12-12-2021	13:00
29	Curaco	La Araucanía	94	9405	-39.0504	-72.0911	12-12-2021	13:00
30	Colico	La Araucanía	94	9405	-39.0707	-72.0720	12-12-2021	14:15



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
31	Trancura	La Araucanía	94	9412	-39.4567	-71.5479	13-12-2021	10:50
32	Pucón	La Araucanía	94	9418	-39.2732	-71.9230	13-12-2021	12:20
33	Dónguila A	La Araucanía	94	9431	-39.2872	-72.5014	13-12-2021	14:30
34	Llancahue	Los Ríos	101	10105	-39.5875	-72.0149	15-12-2021	9:50
35	Huenehue	Los Ríos	101	10107	-39.6122	-72.2317	15-12-2021	11:00
36	Reca	Los Ríos	101	10108	-39.7784	-72.1180	15-12-2021	12:00
37	Llanquihue	Los Ríos	101	10104	-39.8272	-72.0426	15-12-2021	13:20
38	Chan Chan	Los Ríos	101	10103	-39.8102	-71.9810	15-12-2021	16:00
39	Neltume	Los Ríos	101	10101	-39.8521	-71.9327	15-12-2021	17:30
40	Mañío	Los Ríos	101	10112	-39.7154	-72.4336	16-12-2021	11:50
41	San Pedro	Los Ríos	101	10113	-39.8048	-72.7248	16-12-2021	13:00
42	Quinchilca B	Los Ríos	101	10122	-39.8567	-72.7564	16-12-2021	14:00
43	Quinchilca	Los Ríos	101	10116	-39.9039	-72.5765	16-12-2021	15:30
44	Florín	Los Ríos	103	10305	-40.1209	-72.2020	17-12-2021	10:40
45	Pillanleufú	Los Ríos	103	10301	-40.2493	-72.0352	17-12-2021	12:10
46	Calcurrupe	Los Ríos	103	10304	-40.2276	-72.2532	17-12-2021	14:00
47	Pilmaiquén B	Los Lagos	103	10328	-40.3847	-73.0029	18-12-2021	12:00
48	Trafún	Los Lagos	103	10324	-40.4403	-72.9123	18-12-2021	13:15
49	Puyehue	Los Lagos	103	10323	-40.6799	-72.6030	18-12-2021	14:50
50	Rahue	Los Lagos	103	10340	-40.7888	-72.6897	18-12-2021	16:30
51	Petrohué	Los Lagos	104	10454	-41.1537	-72.4325	20-12-2021	10:30
52	Rollizo A	Los Lagos	104	10443	-41.4459	-72.3325	20-12-2021	12:40
53	Del Este A	Los Lagos	104	10460	-41.3841	-72.2745	20-12-2021	14:00
54	Puelo 10	Los Lagos	105	10514	-41.7255	-72.0862	21-12-2021	9:00
55	Manso 2	Los Lagos	105	10503	-41.7280	-72.0192	21-12-2021	10:15
56	Puelo	Los Lagos	105	10510	-41.9982	-71.9089	21-12-2021	12:30
57	Puelo C	Los Lagos	105	10512	-41.9347	-71.9265	21-12-2021	14:00
58	Puelo A	Los Lagos	105	10520	-41.6451	-72.1691	22-12-2021	10:50
59	Puelo Chico	Los Lagos	105	10523	-41.6516	-72.2984	22-12-2021	12:20
60	Cochamó	Los Lagos	104	10461	-41.4940	-72.2593	22-12-2021	15:40
61	Puelo Chico Poica	Los Lagos	105	10522	-41.6737	-72.2850	22-12-2021	17:00
62	Contao	Los Lagos	106	10600	-41.8124	-72.7099	23-12-2021	10:30
63	Amarillo	Los Lagos	107	10712	-43.0103	-72.4810	6-1-2022	10:20
64	Michinmahuida	Los Lagos	107	10711	-43.1073	-72.4551	6-1-2022	11:30



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
65	Yelcho B	Los Lagos	107	10710	-43.1759	-72.4399	6-1-2022	12:40
66	Espolón A	Los Lagos	107	10702	-43.1875	-71.8731	7-1-2022	9:30
67	Espolón B	Los Lagos	107	10701	-43.2047	-71.9131	7-1-2022	11:09
68	Futaleufú C	Los Lagos	107	10703	-43.4277	-72.0892	7-1-2022	12:50
69	El Tigre	Los Lagos	110	11020	-43.6492	-71.9175	8-1-2022	10:20
70	Malito	Los Lagos	107	10704	-43.5053	-72.1006	8-1-2022	13:10
71	Palena B	Los Lagos	110	11021	-43.6483	-72.0129	8-1-2022	14:40
72	Oeste	Los Lagos	110	11023	-43.6630	-72.3283	9-1-2022	9:35
73	Pampita	Aysén	110	11024	-43.8380	-72.3697	9-1-2022	11:35
74	Palena D	Aysén	110	11040	-43.9955	-72.5347	9-1-2022	12:43
75	Quinto B	Aysén	110	11035	-43.9568	-72.2304	9-1-2022	14:40
76	Risopatrón	Aysén	110	11041	-44.1298	-72.4578	10-1-2022	9:20
77	Pico C	Aysén	110	11032	-44.1988	-71.8476	10-1-2022	12:20
78	Figueroa A	Aysén	110	11033	-44.1806	-72.0732	10-1-2022	14:10
79	Lago Rosselot	Aysén	110	11034	-43.9950	-72.3097	10-1-2022	15:50
80	Queulat B	Aysén	111	11130	-44.5401	-72.5050	11-1-2022	11:40
81	Cisnes 03	Aysén	111	11147	-44.6845	-72.2485	11-1-2022	13:40
82	Las Torres B	Aysén	111	11144	-44.7264	-72.1253	11-1-2022	15:00
83	Emperador Guillermo A	Aysén	113	11307	-45.2828	-72.1765	12-1-2022	9:30
84	Cañón B	Aysén	113	11305	-45.2336	-72.2374	12-1-2022	10:40
85	Mañihuales A	Aysén	113	11303	-45.0705	-72.1599	12-1-2022	12:25
86	Mañihuales B	Aysén	113	11304	-45.1012	-72.1491	12-1-2022	13:10
87	Ñirehuao	Aysén	113	11302	-45.1651	-72.1217	12-1-2022	14:00
88	Viviana	Aysén	113	11308	-45.3518	-72.4584	13-1-2022	9:40
89	Simpson A	Aysén	113	11318	-45.4244	-72.4271	13-1-2022	10:40
90	Simpson-Mañihuales	Aysén	113	11320	-45.4066	-72.4998	13-1-2022	12:00
91	Pangal A	Aysén	113	11340	-45.3406	-72.6159	13-1-2022	13:05
92	Cóndor	Aysén	113	11336	-45.5753	-72.7529	14-1-2022	10:00
93	Riesco	Aysén	113	11337	-45.4878	-72.6575	14-1-2022	11:35
94	Aysén	Aysén	113	11342	-45.4078	-72.6393	14-1-2022	12:40
95	Blanco BM	Aysén	113	11312	-45.8142	-71.9198	15-1-2022	11:00
96	La Paloma	Aysén	113	11330	-45.8774	-72.0676	15-1-2022	12:30
97	Simpson B	Aysén	113	11313	-45.7231	-72.0982	15-1-2022	13:40
98	Pollux	Aysén	113	11314	-45.6850	-72.0568	15-1-2022	14:50



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
99	Coyhaique B	Aysén	113	11316	-45.5670	-72.0289	16-1-2022	11:00
100	Claro S	Aysén	113	11315	-45.5866	-72.1010	16-1-2022	12:20
101	Tranquilo	Aysén	115	11515	-46.6236	-72.6879	18-1-2022	13:20
102	Murta	Aysén	115	11513	-46.4420	-72.6723	18-1-2022	16:10
103	Sánchez	Aysén	115	11513	-46.5830	-72.5974	18-1-2022	19:00
104	León	Aysén	115	11516	-46.7552	-72.8833	19-1-2022	11:20
105	Cañal	Aysén	115	11517	-46.7907	-72.8106	19-1-2022	12:30
106	Bertrand	Aysén	115	11533	-47.0156	-72.8313	19-1-2022	14:10
107	Chacabuco A	Aysén	115	11534	-47.0559	-72.1988	20-1-2022	10:10
108	Baker 01	Aysén	115	11539	-47.2018	-72.6307	20-1-2022	13:20
109	Del Salto A	Aysén	115	11538	-47.3277	-72.6521	20-1-2022	14:30
110	Cochrane	Aysén	115	11536	-47.2553	-72.5485	20-1-2022	16:00
111	Los Ñadis A	Aysén	115	11544	-47.5964	-72.8479	21-1-2022	11:15
112	Vargas	Aysén	115	11548	-47.7182	-73.1707	21-1-2022	15:00
113	Baker	Aysén	115	11549	-47.7394	-73.2374	21-1-2022	13:50
114	Maquis	Aysén	115	11523	-46.8534	-72.6563	22-1-2022	11:55
115	Guadal	Aysén	115	11523	-46.8400	-72.7015	22-1-2022	13:20
116	Maitén	Aysén	115	11522	-46.7457	-72.5183	23-1-2022	9:45
117	Fachinal	Aysén	115	11521	-46.5551	-72.2398	23-1-2022	11:30
118	Jeinimeni	Aysén	115	11520	-46.7768	-71.7994	24-1-2022	11:45
119	Salto Ibáñez	Aysén	115	11505	-46.2624	-71.9966	25-1-2022	11:50
120	Ibáñez	Aysén	115	11503	-46.1115	-72.1566	25-1-2022	14:00
121	Hualaihué	Los Lagos	106	10610	-41.9778	-72.6727	27-1-2022	19:50
122	Chamiza	Los Lagos	104	10432	-41.4465	-72.8170	28-1-2022	12:10
123	Penitente	Magallanes	126	12622	-52.0547	-71.4279	11-1-2022	13:00
124	Rubens	Magallanes	126	12600	-52.0332	-71.9442	11-1-2022	15:40
125	Lago Sofía	Magallanes	122	12291	-51.5398	-72.5991	12-1-2022	9:40
126	Rincón	Magallanes	122	12286	-51.3152	-72.8310	12-1-2022	11:50
127	Serrano	Magallanes	122	12289	-51.2284	-72.9698	12-1-2022	13:00
128	Grey	Magallanes	122	12287	-51.1862	-73.0122	12-1-2022	17:00
129	Lago Toro	Magallanes	122	12286	-51.1731	-72.9544	12-1-2022	18:00
130	Francés	Magallanes	122	12282	-51.0383	-73.0262	13-1-2022	10:50
131	Vader	Magallanes	122	12282	-51.0247	-72.9858	13-1-2022	11:20
132	Paine 3	Magallanes	122	12282	-50.9991	-72.8748	13-1-2022	14:40



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
133	Ascencio	Magallanes	122	12282	-50.9798	-72.8739	13-1-2022	16:30
134	Paine 2	Magallanes	122	12280	-50.9745	-72.8017	13-1-2022	17:30
135	Paine 1	Magallanes	122	12282	-51.1167	-72.9877	14-1-2022	9:30
136	Baguales	Magallanes	122	12283	-50.8979	-72.3456	14-1-2022	13:24
137	Las Chinas	Magallanes	122	12283	-51.0156	-72.5058	14-1-2022	14:40
138	Lago Sarmiento	Magallanes	122	12281	-51.0584	-72.7178	14-1-2022	17:10
139	Holleberg	Magallanes	124	12400	-51.9075	-72.4440	15-1-2022	13:20
140	Santucci	Magallanes	122	12285	-51.3060	-72.6484	15-1-2022	17:15
141	Lago Maravilla Norte	Magallanes	122	12286	-51.3107	-72.7319	15-1-2022	18:20
142	Pérez M	Magallanes	124	12452	-52.5522	-71.9794	16-1-2022	13:30
143	Canelo	Magallanes	125	12562	-53.1628	-71.5251	16-1-2022	17:50
144	Río Grande Otway	Magallanes	125	12561	-53.0965	-71.3325	16-1-2022	18:50
145	San Pedro M	Magallanes	125	12581	-53.6988	-70.9708	17-1-2022	11:40
146	Santa María	Magallanes	125	12581	-53.6735	-70.9790	17-1-2022	12:30
147	Japón	Magallanes	128	12873	-53.8141	-69.3187	19-1-2022	16:20
148	Fontaine	Magallanes	128	12830	-54.4841	-68.9856	20-1-2022	12:20
149	Yendegaia	Magallanes	128	12825	-54.5837	-68.8219	20-1-2022	13:40
150	Azopardo	Magallanes	128	12825	-54.5062	-68.8114	20-1-2022	16:00
151	Lago Deseado	Magallanes	128	12879	-54.3729	-68.7640	20-1-2022	18:50
152	Rasmussen	Magallanes	128	12878	-54.2279	-68.7259	21-1-2022	11:40
153	Moneta	Magallanes	128	12872	-53.8066	-68.6785	21-1-2022	14:30
154	Grande	Magallanes	128	12876	-53.8928	-68.8817	21-1-2022	17:40
155	Lago Blanco	Magallanes	128	12875	-54.0696	-68.9585	21-1-2022	18:50
156	Las Minas	Magallanes	125	12586	-53.1448	-70.9806	22-1-2022	11:10
157	Hua Hum	Los Ríos	101	10100	-40.033	-71.714	20-3-2022	13:20
158	Rucaco	Los Ríos	101	10134	-39.498	-72.790	21-3-2022	12:20
159	Lingue	Los Ríos	100	10000	-39.460	-73.122	21-3-2022	13:30
160	Cruces B	Los Ríos	101	10135	-39.547	-73.052	21-3-2022	13:55
161	Pichoy	Los Ríos	101	10137	-39.671	-72.986	22-3-2022	10:21
162	Calle Calle	Los Ríos	101	10122	-39.784	-72.981	22-3-2022	12:27
163	Antilhue	Los Ríos	101	10122	-39.801	-72.961	22-3-2022	13:30
164	Cayumapu	Los Ríos	101	10138	-39.725	-73.108	22-3-2022	15:05
165	Andwanter	Los Ríos	101	10139	-39.758	-73.261	23-3-2022	10:50
166	Angachilla	Los Ríos	101	10140	-39.879	-73.238	23-3-2022	12:10



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
167	Naguilán	Los Ríos	101	10143	-39.941	-73.277	23-3-2022	13:30
168	Futa	Los Ríos	101	10142	-39.948	-73.168	23-3-2022	14:40
169	Forrahue	Los Lagos	103	10363	-40.533	-73.230	24-3-2022	10:14
170	Osorno R	Los Lagos	103	10360	-40.589	-73.157	24-3-2022	11:21
171	Negro O	Los Lagos	103	10353	-40.827	-73.306	24-3-2022	13:41
172	Chifín	Los Lagos	103	10355	-40.779	-73.198	24-3-2022	14:43
173	Tijeral	Los Lagos	103	10362	-40.607	-72.996	25-3-2022	9:43
174	Damas	Los Lagos	103	10361	-40.677	-72.901	25-3-2022	11:10
175	Cancura	Los Lagos	103	10344	-40.761	-72.967	25-3-2022	12:00
176	Pescado	Los Lagos	104	10410	-41.256	-72.796	26-3-2022	10:21
177	Petrohué B	Los Lagos	104	10455	-41.204	-72.485	26-3-2022	12:10
178	Cascadas	Los Lagos	104	10410	-41.082	-72.632	26-3-2022	13:00
179	Arenal	Los Lagos	104	10410	-41.051	-72.663	26-3-2022	16:08
180	Mauilín 2	Los Lagos	104	10411	-41.325	-73.032	27-3-2022	11:10
181	Mauilín 3	Los Lagos	104	10411	-41.392	-73.176	27-3-2022	12:50
182	Mauilín	Los Lagos	104	10411	-41.262	-73.003	27-3-2022	13:57
183	Maule	Los Lagos	103	10351	-40.997	-73.413	28-3-2022	11:16
184	Fresia	Los Lagos	103	10350	-41.134	-73.377	28-3-2022	12:17
185	Llico	Los Lagos	104	10405	-41.296	-73.474	28-3-2022	14:15
186	Surgidero	Los Lagos	104	10407	-41.420	-73.765	29-3-2022	9:30
187	Sargazo	Los Lagos	104	10431	-41.513	-72.648	29-3-2022	13:32
188	Blanco BM	Aysén	113	11312	-45.814	-71.920	7-4-2022	12:00
189	La Paloma	Aysén	113	11330	-45.877	-72.068	7-4-2022	13:25
190	Simpson B	Aysén	113	11313	-45.723	-72.098	7-4-2022	14:15
191	Pollux	Aysén	113	11314	-45.685	-72.057	7-4-2022	15:20
192	Coyhaique B	Aysén	113	11316	-45.567	-72.029	8-4-2022	10:30
193	Claro S	Aysén	113	11315	-45.587	-72.101	8-4-2022	14:00
194	Simpson A	Aysén	113	11318	-45.4244	-72.4271	9-4-2022	11:10
195	Simpson-Mañihuales	Aysén	113	11320	-45.406	-72.500	9-4-2022	12:30
196	Pangal A	Aysén	113	11340	-45.341	-72.617	9-4-2022	13:40
197	Cóndor	Aysén	113	11336	-45.575	-72.753	10-4-2022	9:30
198	Riesco	Aysén	113	11337	-45.500	-72.676	10-4-2022	11:29
199	Aysén	Aysén	113	11342	-45.408	-72.638	10-4-2022	13:00
200	Picaflor	Aysén	113	11303	-45.014	-72.188	11-4-2022	10:45



ID	Estación	Región	Cod CC	Cod SSC	Lat	Long	Fecha	Hora
201	Mañihuales B	Aysén	113	11304	-45.101	-72.149	11-4-2022	12:00
202	Cañón B	Aysén	113	11305	-45.234	-72.237	11-4-2022	15:30
203	Ñirehuao	Aysén	113	11302	-45.165	-72.122	11-4-2022	17:00
204	Emperador Guillermo A	Aysén	113	11307	-45.283	-72.180	12-4-2022	11:40
205	Viviana	Aysén	113	11308	-45.352	-72.459	12-4-2022	12:15
206	Salto Laja	Biobío	83	8381	-37.207	-72.314	11-5-2022	9:40
207	Laja	Biobío	83	8380	-37.301	-71.968	11-5-2022	13:35
208	Polcura	Biobío	83	8375	-37.331	-71.550	11-5-2022	16:05
209	Rucúe B	Biobío	83	8376	-37.343	-71.797	12-5-2022	11:20
210	Cañicura A	Biobío	83	8321	-37.495	-71.825	12-5-2022	12:45
211	Ñirremetún	Biobío	83	8314	-37.717	-71.390	13-5-2022	10:26
212	Queuco A	Biobío	83	8315	-37.819	-71.562	13-5-2022	11:50
213	Biobío 10	Biobío	83	8312	-37.999	-71.515	13-5-2022	13:43
214	Lomin	Biobío	83	8308	-38.066	-71.350	13-5-2022	15:44
215	Callaqui	Biobío	83	8313	-37.841	-71.691	14-5-2022	10:20
216	Huequecura	Biobío	83	8316	-37.652	-71.738	14-5-2022	11:58
217	Pichibureo	Biobío	83	8331	-37.780	-72.014	14-5-2022	13:38
218	Renaico 3	La Araucanía	83	8344	-37.669	-72.589	15-5-2022	10:00
219	Bajo Malleco	La Araucanía	83	8351	-37.965	-72.435	15-5-2022	12:00
220	Amargo	La Araucanía	83	8340	-38.080	-71.869	15-5-2022	13:50
221	Pichirropulli	Los Ríos	103	10313	-40.165	-72.860	16-5-2022	11:00
222	Llollehue	Los Ríos	103	10312	-40.087	-72.519	16-5-2022	12:50
223	Florín	Los Ríos	103	10305	-40.121	-72.202	16-5-2022	14:45
224	Pillanleufú	Los Ríos	103	10301	-40.249	-72.035	17-5-2022	10:40
225	Curriñe 01	Los Ríos	103	10300	-40.171	-71.926	17-5-2022	12:46
226	Calcurrupe	Los Ríos	103	10304	-40.229	-72.254	17-5-2022	16:05
227	Quilacahuín	Los Lagos	103	10365	-40.396	-73.270	18-5-2022	11:34
228	Pilmaiquén B	Los Lagos	103	10328	-40.385	-73.003	18-5-2022	12:50
229	Chirre	Los Ríos	103	10325	-40.557	-72.465	18-5-2022	15:50
230	Rahue	Los Lagos	103	10340	-40.789	-72.689	18-5-2022	16:59
231	Puyehue	Los Lagos	103	10323	-40.680	-72.603	19-5-2022	10:20
232	Pajaritos	Los Lagos	103	10321	-40.660	-72.128	19-5-2022	12:10
233	Chanleufú	Los Lagos	103	10323	-40.686	-72.335	19-5-2022	13:20



**Tabla 2.-** Valores parciales de la concentración de nutrientes registrados en las estaciones muestreadas durante ambas campañas de la Etapa VI. \* <0,001 mg/L; \*\* : <0,0004 mg/L; \*\*\* : <0,003 mg/L; + : <0,01 mg/L; n/a = estaciones prospección sin toma de muestras de agua para laboratorio.

ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
1	Radal 01	4.786	<0,001	0.004	0.021	0.845	0.004	0.24	0.045	9.6	0.34
2	Armerillo	14.025	0.015	0.015	0.021	0.212	0.001	0.1	0.048	25	0.44
3	Achibueno	6.579	0.031	s/i	0.017	0.252	<0,001	0.12	s/i	10.5	0.66
4	Ñuble 1B	8.455	0.012	0.005	0.021	0.099	<0,001	0.09	0.069	18.2	1.13
5	Diguillín A	7.758	0.058	0.025	0.03	0.136	0.001	0.03	<0,001	37.5	1.23
6	Caliboro	9.41	0.154	0.05	0.391	2.483	0.029	0.57	<0,001	32.7	8.37
7	Laja	7.86	0.034	0.022	0.14	0.191	0.002	0.08	0.041	18.2	1.03
8	Polcura	8.491	<0,001	0.004	0.038	0.209	0.001	0.08	0.032	16.9	0.54
9	Rucúe B	5.95	<0,001	0.003	0.013	0.026	<0,001	0.01	<0,001	13.7	0.22
10	Cañicura A	5.856	0.015	0.005	0.059	0.034	<0,001	0.05	0.039	21	1.91
11	Biobío 10	8.351	0.018	0.013	0.238	0.055	0.009	0.04	0.025	20.3	6.38
12	Queuco A	12.559	<0,001	0.006	0.066	0.05	0.001	0.01	<0,001	15.6	2.32
13	Huequecura	4.787	<0,001	0.011	0.042	0.245	0.001	0.07	0.013	11.3	0.46
14	Callaqui	9.395	<0,001	0.022	0.019	0.279	<0,001	0.06	<0,001	18.6	0.49
15	Duqueco B	9.419	0.003	0.022	0.08	2.482	0.025	0.57	<0,001	29.3	1.38
16	Pichibureo	5.762	0.012	0.005	0.028	0.059	<0,001	0.01	<0,001	15.8	0.4
17	Biobío Q619	7.387	0.015	0.008	0.043	0.119	0.002	0.03	<0,001	16.3	1.98
18	Renaico 3	7.088	0.012	0.006	0.164	0.288	0.008	0.08	0.008	18.6	1.76
19	Bajo Malleco	5.22	0.006	0.007	0.149	0.217	<0,001	0.05	<0,001	19	1.73
20	Quillén	3.891	0.034	0.022	0.084	0.117	0.002	0.03	<0,001	18	2.09
21	Biobío C	6.84	0.006	0.006	0.261	0.08	0.002	0.02	<0,001	18.8	4.84
22	Biobío 30	6.013	<0,001	0.005	0.081	0.166	0.002	0.07	0.036	21.4	0.89
23	Ñirreco A	5.989	0.046	0.019	0.159	0.321	0.001	0.12	0.051	16.3	4.94
24	Lonquimay 20	6.381	0.015	0.01	0.117	0.018	0.001	0.05	0.047	25.9	1.94
25	Cautín 1	5.697	0.012	0.008	0.06	0.055	0.002	0.03	0.017	23.1	1.19
26	Quepe B	4.602	0.046	0.047	0.056	0.272	<0,001	0.1	0.034	31	3.81
27	Allipén A	4.166	<0,001	0.03	0.378	0.031	0.001	0.02	0.009	23.1	34.2
28	Truful-Truful	5.77	0.015	0.033	0.116	0.072	<0,001	0.02	<0,001	26.3	0.4
29	Curaco	2.792	0.006	0.023	0.02	0.21	0.002	0.09	0.039	9.8	0.29
30	Colico	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
31	Trancura	5.008	0.052	0.023	0.052	0.18	0.001	0.04	<0,001	22.7	1.08



ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
32	Pucón	5.84	0.003	0.024	0.134	0.251	0.002	0.06	<0,001	25.5	3.4
33	Dónguila A	2.514	<0,001	0.01	0.66	0.043	0.002	0.01	<0,001	16.7	2.9
34	Llancahue	5.791	0.018	0.024	0.063	0.221	<0,001	0.05	<0,001	30.8	0.82
35	Huenehue	5.333	0.018	0.024	0.008	0.108	0.002	0.03	0.007	16.1	0.38
36	Reca	8.743	0.006	0.002	0.093	0.26	0.001	0.06	<0,001	20.5	0.54
37	Llanquihue	5.822	0.018	0.019	0.05	0.054	<0,001	0.01	<0,001	18.4	0.71
38	Chan Chan	6.231	0.043	0.017	0.042	0.029	<0,001	0.01	<0,001	25	0.49
39	Neltume	6.541	<0,001	0.003	0.036	0.232	<0,001	0.05	<0,001	13.7	0.63
40	Mañío	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
41	San Pedro	4.739	<0,001	0.003	0.006	0.24	0.002	0.05	<0,001	13.3	0.67
42	Quinchilca B	4.657	0.046	0.018	0.118	0.892	0.013	0.21	0.009	15.2	1.4
43	Quinchilca	4.443	0.031	0.016	0.025	0.215	0.009	0.05	<0,001	10.3	1.36
44	Florín	11.508	<0,001	<0,0004	0.094	0.213	0.002	0.05	<0,001	15	0.6
45	Pillanleufú	8.873	0.031	0.019	0.083	0.023	0.002	0.03	0.027	21.2	0.87
46	Calcurrupe	5.722	0.015	s/i	0.056	0.021	0.002	0.01	s/i	16.7	0.69
47	Pilmaiquén B	5.175	<0,001	0.01	0.069	0.12	0.003	0.03	0.005	18.2	0.76
48	Trafún	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
49	Puyehue	5.223	0.012	0.004	0.024	0.105	0.002	0.07	0.05	17.1	0.35
50	Rahue	4.579	0.015	0.008	0.016	0.093	<0,001	0.06	0.039	10.3	0.33
51	Petrohué	4.327	0.003	0.002	0.026	0.187	0.004	0.04	<0,001	6.4	0.43
52	Rollizo A	2.356	0.172	0.119	0.034	0.636	0.246	0.53	0.308	2.8	0.8
53	Del Este A	5.717	0.006	0.002	0.024	0.321	0.001	0.07	<0,001	4.9	0.2
54	Puelo 10	7.522	0.012	0.004	0.095	0.079	0.002	0.04	0.022	4.3	1.68
55	Manso 2	8.103	0.015	0.008	0.066	0.078	0.004	0.03	0.016	5.6	1.74
56	Puelo	6.949	0.006	0.002	0.01	0.042	0.003	0.05	0.04	3	0.3
57	Puelo C	5.97	0.006	0.003	0.029	0.493	0.001	0.12	0.005	2.4	1.4
58	Puelo A	6.287	0.015	0.008	0.071	0.393	0.003	0.11	0.024	3.2	1.093
59	Puelo Chico	6.06	0.034	0.015	0.018	0.509	0.003	0.17	0.059	6	0.18
60	Cochamó	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
61	Puelo Chico Poica	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
62	Contao	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
63	Amarillo	5.649	0.138	0.296	3.513	0.722	0.007	0.17	<0,001	19.7	211
64	Michinmahuida	2.697	0.015	0.018	0.332	0.286	0.001	0.06	<0,001	10.7	14.2
65	Yelcho B	5.29	<0,001	0.016	0.043	0.542	0.003	0.14	0.016	4.9	1.57



ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
66	Espolón A	4.504	<0,001	<0,0004	0.072	0.149	0.001	0.04	0.01	5.1	3.23
67	Espolón B	4.376	<0,001	<0,0004	0.135	0.116	0.003	0.03	<0,001	5.4	1.69
68	Futaleufú C	5.477	0.003	<0,0004	0.05	0.085	0.001	0.02	0.003	5.8	1.16
69	El Tigre	3.572	<0,001	<0,0004	0.103	0.201	0.001	0.05	0.008	4.1	1.35
70	Malito	4.034	<0,001	<0,0004	0.163	2.219	<0,001	0.5	0.001	4.5	1.51
71	Palena B	5.149	<0,001	<0,0004	0.02	0.148	0.004	0.03	<0,001	4.9	1.1
72	Oeste	1.82	0.003	0.003	0.173	0.207	0.003	0.05	<0,001	2.6	12.6
73	Pampita	6.162	<0,001	<0,0004	0.099	0.151	0.001	0.04	0.009	4.9	4.11
74	Palena D	3.872	<0,001	<0,0004	0.142	0.198	0.002	0.05	<0,001	4.1	3.1
75	Quinto B	3.334	<0,001	0.019	0.092	0.204	0.003	0.05	<0,001	5.6	0.44
76	Risopatrón	4.725	<0,001	<0,0004	0.11	0.557	0.001	0.13	<0,001	6	0.81
77	Pico C	5.054	<0,001	<0,0004	0.041	0.147	<0,001	0.03	<0,001	9.2	1.09
78	Figueroa A	4.33	<0,001	<0,0004	0.054	0.253	<0,001	0.06	<0,001	3.2	3.05
79	Lago Rosselot	3.409	<0,001	<0,0004	0.056	0.073	0.001	0.02	0.005	3.6	1.2
80	Queulat B	2.559	<0,001	<0,0004	0.072	0.172	0.001	0.07	0.027	2.6	1.76
81	Cisnes 03	5.06	<0,001	<0,0004	0.238	0.105	0.002	0.03	0.009	5.8	0.44
82	Las Torres B	5.704	<0,001	<0,0004	0.097	0.176	<0,001	0.04	0.005	6	0.4
83	Emperador Guillermo A	11.447	<0,001	<0,0004	0.04	0.194	0.001	0.05	0.009	9.6	0.66
84	Cañón B	6.476	<0,001	<0,0004	0.069	0.115	<0,001	0.03	0.004	8.3	0.5
85	Mañihuales A	5.449	0.015	<0,0004	0.123	0.252	<0,001	0.06	<0,001	6.6	0.53
86	Mañihuales B	5.64	<0,001	<0,0004	0.074	0.175	0.003	0.04	<0,001	6.8	0.52
87	Ñirehuao	10.167	<0,001	0.001	0.141	0.277	0.001	0.06	0.002	9.2	0.91
88	Viviana	5.148	<0,001	<0,0004	0.197	0.205	0.002	0.05	0.002	6.6	0.43
89	Simpson A	8.251	<0,001	<0,0004	0.088	0.143	0.027	0.07	0.027	5.1	0.83
90	Simpson-Mañihuales	6.469	<0,001	<0,0004	0.058	0.076	0.001	0.03	0.014	9.4	0.5
91	Pangal A	3.621	<0,001	<0,0004	0.637	0.184	0.003	0.07	0.029	7.5	0.84
92	Cóndor	2.13	0.006	0.006	0.3	0.123	<0,001	0.05	0.027	6.4	4.37
93	Riesco	2.101	<0,001	0.022	0.077	0.212	0.003	0.07	0.024	7.1	0.93
94	Aysén	4.217	<0,001	<0,0004	0.17	0.211	0.001	0.06	0.013	8.1	2.02
95	Blanco BM	12.954	<0,001	0.001	0.038	0.147	<0,001	0.03	<0,001	9.6	0.36
96	La Paloma	7.062	<0,001	<0,0004	0.107	0.065	0.004	0.04	0.026	10.1	0.44
97	Simpson B	14.602	<0,001	<0,0004	0.11	0.286	0.001	0.06	<0,001	13.5	1.05
98	Pollux	9.321	<0,001	<0,0004	0.244	0.208	0.002	0.06	0.008	6	0.77
99	Coyhaique B	2.894	<0,001	<0,0004	0.124	0.151	<0,001	0.04	0.008	17.1	0.49



ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
100	Claro S	3.844	<0,001	<0,0004	0.022	0.298	0.001	0.07	0.004	8.8	0.23
101	Tranquilo	19.058	<0,001	<0,0004	0.142	0.214	0.002	0.06	0.01	3.9	0.9
102	Murta	12.986	0.006	0.006	0.043	0.219	0.003	0.06	0.014	3.9	3.51
103	Sánchez	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
104	León	5.066	0.021	0.025	0.671	0.173	0.004	0.05	0.01	4.3	55.3
105	Cañal	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
106	Bertrand	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
107	Chacabuco A	25.093	0.157	0.005	0.182	0.08	0.005	0.03	0.015	5.4	3.83
108	Baker 01	10.18	0.055	0.021	0.748	0.196	<0,001	0.06	0.018	4.3	14.1
109	Del Salto A	7.496	0.049	0.03	0.267	0.203	0.001	0.05	0.005	2.4	22.1
110	Cochrane	22.776	0.012	0.007	<0,005	0.246	0.001	0.06	0.008	4.3	0.32
111	Los Ñadis A	8.99	<0,001	0.06	0.825	0.044	0.002	0.03	0.018	2.6	77.63
112	Vargas	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
113	Baker	8.634	0.028	0.037	0.308	0.778	0.005	0.19	0.015	4.7	58.2
114	Maquis	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
115	Guadal	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
116	Maitén	12.559	<0,001	0.002	0.06	0.076	0.003	0.03	0.01	2.1	5.17
117	Fachinal	10.548	0.037	0.015	0.132	0.155	0.002	0.04	0.004	1.3	10.7
118	Jeinimene	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
119	Salto Ibáñez	6.654	0.018	0.062	0.146	0.074	0.002	0.03	0.017	8.8	49.3
120	Ibáñez	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
121	Hualaihué	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
122	Chamiza	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
123	Penitente	8.811	<0,001	s/i	0.077	0.144	0.001	0.04	s/i	20.3	0.35
124	Rubens	9.521	0.003	0.003	0.16	1.826	0.002	0.41	<0,001	10.9	0.25
125	Lago Sofía	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
126	Rincón	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
127	Serrano	12.01	<0,001	<0,0004	0.06	0.062	0.002	0.02	0.006	1.5	0.3
128	Grey	4.501	0.031	0.018	0.595	0.117	0.001	0.04	0.009	1.5	21
129	Lago Toro	10.326	<0,001	0.002	0.01	0.838	<0,001	0.21	0.016	1.5	0.2
130	Francés	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
131	Vader	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
132	Paine 3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
133	Ascencio	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a



ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
134	Paine 2	6.401	0.012	0.008	0.411	0.106	0.003	0.03	0.005	1.3	10
135	Paine 1	6.234	<0,001	<0,0004	0.059	0.275	0.001	0.07	0.01	0.9	1.2
136	Baguales	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
137	Las Chinas	19.502	0.012	0.006	0.272	0.299	0.001	0.08	0.011	3	3.6
138	Lago Sarmiento	26.098	<0,001	0.001	0.082	0.676	<0,001	0.15	<0,001	2.6	0.35
139	Hollemborg	12.219	0.003	0.002	0.167	1.005	0.002	0.24	0.01	<0,2	0.8
140	Santucci	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
141	Lago Maravilla Norte	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
142	Pérez M	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
143	Canelo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
144	Río Grande Otway	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
145	San Pedro M	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
146	Santa María	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
147	Japón	9.323	0.006	0.002	0.174	0.259	0.001	0.08	0.017	9.6	0.4
148	Fontaine	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
149	Yendegaia	10.041	0.055	0.024	0.68	0.134	<0,001	0.04	0.014	2.1	12
150	Azopardo	10.521	0.006	0.003	0.052	0.26	0.002	0.08	0.016	2.4	0.4
151	Lago Deseado	10.172	0.003	0.003	0.039	0.237	0.006	0.08	0.02	1.9	0.35
152	Rasmussen	12.086	0.009	0.006	0.565	0.294	0.003	0.08	0.016	4.1	3.4
153	Moneta	9.868	0.018	0.006	0.331	0.081	0.001	0.04	0.022	4.3	2.1
154	Grande	11.917	0.006	0.007	0.134	0.096	<0,001	0.04	0.018	4.7	0.7
155	Lago Blanco	9.808	<0,001	0.001	0.027	1.341	0.002	0.32	0.016	3	0.35
156	Las Minas	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
157	Hua Hum	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
158	Rucaco	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
159	Lingue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
160	Cruces B	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
161	Pichoy	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
162	Calle Calle	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
163	Antihue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
164	Cayumapu	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
165	Andwanter	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
166	Angachilla	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
167	Naguilán	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a



## INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
168	Futa	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
169	Forrahue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
170	Osorno R	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
171	Negro O	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
172	Chifín	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
173	Tijeral	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
174	Damas	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
175	Cancura	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
176	Pescado	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
177	Petrohué B	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
178	Cascadas	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
179	Arenal	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
180	Mauflin 2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
181	Mauflin 3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
182	Mauflin	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
183	Maule	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
184	Fresia	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
185	Llico	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
186	Surgidero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
187	Sargazo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
188	Blanco BM	12.846	0.037	0.014	0.259	<0,003	<0,001	0.06	0.061	8.3	0.36
189	La Paloma	8.413	0.015	0.006	0.308	<0,003	<0,001	0.05	0.051	9	0.44
190	Simpson B	13.336	0.083	0.029	0.267	<0,003	<0,001	0.05	0.048	11.8	1.05
191	Pollux	10.445	0.025	0.01	0.172	<0,003	0.007	0.06	0.057	11.6	2.44
192	Coyhaique B	8.131	0.021	0.009	0.122	<0,003	<0,001	0.06	0.055	16.1	1.09
193	Claro S	3.803	0.003	0.002	0.042	<0,003	<0,001	0.06	0.061	10.1	0.36
194	Simpson A	6.828	0.015	0.008	0.156	0.209	0.012	0.12	0.072	11.1	3.98
195	Simpson-Mañihuales	5.542	0.009	0.005	0.076	<0,003	<0,001	0.04	0.043	9.6	0.74
196	Pangal A	4.177	0.006	0.004	0.354	<0,003	<0,001	0.06	0.056	11.1	0.62
197	Cóndor	3.169	0.034	0.013	0.313	<0,003	<0,001	0.05	0.052	11.6	1.45
198	Riesco	3.088	0.009	0.003	0.133	<0,003	<0,001	0.06	0.057	8.6	0.73
199	Aysén	5.831	0.018	0.006	0.457	<0,003	<0,001	0.04	0.043	10.3	1.23
200	Picaflor	3.223	0.006	0.004	0.119	<0,003	<0,001	0.04	0.037	7.7	0.36
201	Mañihuales B	5.871	0.04	0.013	0.107	<0,003	<0,001	0.05	0.049	8.8	0.47



ID	Estación	Ca	PO4	P T	Fe	NO3	NO2	NT	NKT	Si T	Turb
202	Cañón B	7.501	0.015	0.007	0.086	<0,003	<0,001	0.05	0.048	9.4	0.72
203	Ñirehuao	9.214	-	0.007	0.092	-	-	-	0.057	-	1.16
204	Emperador Guillermo A	10.288	0.021	0.009	0.033	<0,003	<0,001	0.04	0.04	11.1	0.52
205	Viviana	6.958	0.009	0.005	0.131	<0,003	<0,001	0.05	0.049	11.1	0.44
206	Salto Laja	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
207	Laja	8.965	0.015	0.006	0.044	0.228	<0,001	0.08	0.031	21.2	0.8
208	Polcura	9.21	<0,001	<0,0004	0.041	0.29	0.001	0.1	0.039	18.4	0.32
209	Rucúe B	5.164	<0,001	<0,0004	0.015	0.156	0.002	0.08	0.043	11.1	0.38
210	Cañicura A	5.681	<0,001	<0,0004	0.056	0.198	0.001	0.05	0.009	15	3.92
211	Ñirremetún	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
212	Queuco A	12.414	0.086	0.042	0.406	0.209	0.001	0.09	0.042	14.8	37.8
213	Biobío 10	8.925	0.006	<0,0004	0.061	0.106	0.003	0.08	0.051	18.8	1.83
214	Lomin	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
215	Callaqui	7.447	<0,001	<0,0004	0.053	0.188	0.003	0.07	0.029	15.8	1.84
216	Huequecura	3.82	<0,001	<0,0004	0.019	0.183	0.003	0.08	0.035	6.4	0.3
217	Pichibureo	4.847	<0,001	<0,0004	0.02	0.036	0.001	0.03	0.024	11.6	0.16
218	Renaico 3	6.551	<0,001	<0,0004	0.151	0.171	0.002	0.07	0.03	15.4	1.21
219	Bajo Malleco	4.063	<0,001	<0,0004	0.061	0.132	0.002	0.05	0.018	13.9	0.52
220	Amargo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
221	Pichirropulli	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
222	Llollehue	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
223	Florín	9.431	<0,001	<0,0004	0.044	0.057	0.002	0.05	0.033	13.7	0.52
224	Pillanleufú	9.211	0.037	0.018	0.041	0.25	0.002	0.08	0.019	22.5	0.56
225	Curriñe 01	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
226	Calcurrupe	6.098	<0,001	0.008	0.019	0.246	0.003	0.1	0.039	15.8	0.54
227	Quilacahuín	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
228	Pilmaiquén B	5.238	0.012	0.005	0.034	0.179	0.003	0.08	0.043	18.2	0.54
229	Chirre	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
230	Rahue	5.972	<0,001	<0,0004	0.015	0.246	0.003	0.08	0.022	10.3	0.41
231	Puyehue	5.309	<0,001	<0,0004	0.018	0.203	0.002	0.07	0.027	16.9	0.56
232	Pajaritos	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
233	Chanleufú	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 3.-** Parámetros físico-químicos medidos *in situ* en las estaciones muestreadas durante ambas campañas de la Etapa VI.

ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
1	Radal 01	13.55	6.84	43	22	7.5	94.8
2	Armerillo	20.42	8.43	240	120	9.75	120.2
3	Achibueno	20.46	7.22	59	29	9.26	111.1
4	Ñuble 1B	17.27	7.34	91	45	9.82	117
5	Diguillín A	19.2	7.86	197	99	9.38	116.6
6	Caliboro	19.64	7.01	169	85	10.16	115.8
7	Laja	15.5	6.89	91	45	9.2	102.9
8	Polcura	19.26	6.82	87	44	8.42	111
9	Rucúe B	19.87	6.71	60	30	9.3	116.5
10	Cañicura A	19.19	7.16	67	33	10.6	122.9
11	Biobío 10	8.96	6.72	101	50	11.31	112.5
12	Queuco A	18.5	7.29	151	76	10.14	122
13	Huequecura	17.47	6.15	44	22	9.57	111.4
14	Callaqui	13.8	7.86	82	41	10.08	114.7
15	Duqueco B	18.29	7.35	125	63	12.31	132.7
16	Pichibureo	18.95	7.13	62	31	10.88	126.2
17	Biobío Q619	17.7	7.69	89	45	11.46	128.7
18	Renaico 3	21.92	6.97	92	46	11.56	136.2
19	Bajo Malleco	20.61	6.78	65	33	10.58	123.8
20	Quillén	11.22	6.69	47	24	9.82	110.8
21	Biobío C	19.79	7.62	73	37	9.44	127
22	Biobío 30	20	6.96	73	32	8.58	123.2
23	Ñirreco A	12.089	7.24	70	30	9.09	119.7
24	Lonquimay 20	20.4	7.25	57	29	8.7	124.5
25	Cautín 1	14.44	6.46	65	32	11.48	131.2
26	Quepe B	9.14	6.62	57	28	11.87	116.6
27	Allipén A	9.08	6.52	86	43	11.18	119.9
28	Truful-Truful	9.27	7.02	87	44	10.8	109.4
29	Curaco	17.54	6.45	33	16	11.2	125.4
30	Colico	18.61	6.13	34	17	11.62	134.6
31	Trancura	10.49	6.48	71	36	11.93	116.3
32	Pucón	11.76	7.08	77	38	11.72	116.6



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
33	Dónguill A	13.36	6.22	42	21	12.55	122.9
34	Llancahue	11.08	6.44	92	46	11.75	110.6
35	Huenehue	19.65	7.81	76	38	12.19	135
36	Reca	15.31	6.85	85	42	11.81	121.1
37	Llanquihue	15.41	7.12	61	31	12.11	124
38	Chan Chan	13.42	7.01	76	38	12.62	125.8
39	Neltume	17.45	6.93	59	29	10.9	128.2
40	Mañío	13.06	6.82	37	19	11.9	121.2
41	San Pedro	19.03	7.17	56	28	12.18	131.1
42	Quinchilca B	20.4	8.04	60	30	12.47	142.8
43	Quinchilca	18.7	6.2	42	21	11.37	129.2
44	Florín	13.61	6.66	98	49	11.41	112.7
45	Pillanleufú	12.39	7.38	133	66	12.42	112.5
46	Calcurrupe	18.02	7.25	69	35	11.6	123.8
47	Pilmaiquén B	17.75	6.86	88	44	11.37	121.3
48	Trafún	19.53	7.16	94	47	11.91	128.5
49	Puyehue	18.17	7.47	87	44	12.7	131.9
50	Rahue	17.79	6.79	60	30	10.99	122
51	Petrohué	17.41	7.69	51	25	11.87	130.4
52	Rollizo A	13.11	6.69	30	15	11.58	112.5
53	Del Este A	14.1	7.55	48	24	11.75	117.2
54	Puelo 10	16.6	7.44	64	32	11.9	120.8
55	Manso 2	17.39	7.62	68	34	11.43	120.3
56	Puelo	15.1	7.75	57	29	11.34	120.4
57	Puelo C	15.63	7.69	48	24	12.82	130.4
58	Puelo A	17.02	7.51	53	27	12.28	126.8
59	Puelo Chico	18.35	7.47	63	31	11.34	123.6
60	Cochamó	16.3	7.37	42	21	12.25	126.8
61	Puelo Chico Poica	17.43	7.54	52	26	11.71	123.5
62	Contao	15.42	7.76	83	42	11.95	121.1
63	Amarillo	7.28	6.24	50	25	12.07	102.2
64	Michinmahuida	14.26	6.26	36	18	11.37	110.7
65	Yelcho B	14.73	6.25	46	23	10.46	109
66	Espolón A	15.33	6.27	38	19	10.86	117.6



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
67	Espolón B	15.92	6.43	36	18	10.66	119
68	Futaleufú C	17	6.68	49	25	10.48	108.8
69	El Tigre	15.86	6.93	29	15	10.44	110.2
70	Malito	22.2	7.31	29	14	11.18	119.7
71	Palena B	18.61	7.49	38	19	10.28	121.2
72	Oeste	11.9	6.69	21	10	11.36	107.7
73	Pampita	11.81	7.37	48	24	12	112.4
74	Palena D	17.73	7.34	33	16	11.38	118
75	Quinto B	14.68	7.08	26	13	14.84	117
76	Risopatrón	12.75	7.16	43	22	11.72	111
77	Pico C	17.24	7.95	49	25	11.64	128.9
78	Figueroa A	15.73	7.31	28	14	11.51	120.1
79	Lago Rosselot	18.97	7.39	28	14	11.73	128.2
80	Queulat B	10.21	6.86	27	13	12.91	112.3
81	Cisnes 03	15.3	7.54	42	21	11.71	120.8
82	Las Torres B	15.77	7.47	56	28	11.76	124.8
83	Emperador Guillermo A	14.2	7.52	90	45	11.3	116.4
84	Cañón B	16.56	7.45	57	29	11.76	123.5
85	Mañihuales A	16.28	7.28	51	26	11	118.3
86	Mañihuales B	19.12	7.49	52	26	11.32	125.9
87	Ñirehuao	20.22	8.36	86	43	11.32	128.9
88	Viviana	13.46	7.39	46	23	11.76	113.9
89	Simpson A	15.93	8.01	80	40	11.72	118.5
90	Simpson-Mañihuales	18.44	7.53	60	30	11.93	126.1
91	Pangal A	15.79	7.29	37	18	10.61	110.2
92	Cóndor	10.77	6.81	19	10	12.97	116.5
93	Riesco	15.88	7.14	24	12	11.81	118.6
94	Aysén	14.78	7.38	41	20	12.48	121.5
95	Blanco BM	11.95	8.42	114	57	12.01	122.5
96	La Paloma	11.44	7.86	65	32	12.23	120.7
97	Simpson B	12.21	8.46	139	70	12.72	126.9
98	Pollux	13.89	8.58	101	51	11.82	123.2
99	Coyhaique B	11.39	6.68	112	56	12.21	117.3
100	Claro S	10.62	5.97	36	18	12.17	114.9



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
101	Tranquilo	13.88	7.35	116	58	11.6	114.1
102	Murta	10.23	6.77	83	41	12.64	114.7
103	Sánchez	11.43	6.64	96	48	11.81	113.2
104	León	5.93	12.26	37	18	12.08	115.8
105	Cañal	11.38	6.49	53	27	12.61	117.6
106	Bertrand	20.43	6.61	71	36	11.24	127.3
107	Chacabuco A	12.29	7.17	184	92	11.82	117.8
108	Baker 01	14.01	6.53	67	34	13.69	131.4
109	Del Salto A	15.57	6.25	52	26	11.56	122.3
110	Cochrane	15.64	7.46	203	101	12.07	124.4
111	Los Ñadis A	10.77	5.83	61	31	12.53	116.6
112	Vargas	17.66	5.71	42	21	10.75	113.8
113	Baker	13.25	6.31	57	28	12.77	123.1
114	Maquis	13.48	7.23	33	16	10.62	119.2
115	Guadal	15.02	7.76	79	39	11.15	118.3
116	Maitén	7.93	7.28	85	42	12.39	113.1
117	Fachinal	9.59	7.64	65	32	12.58	117.1
118	Jeinimeni	11.23	7.97	116	58	11.03	119.3
119	Salto Ibáñez	13.39	7.54	50	25	11.78	117.2
120	Ibáñez	10.49	7.18	64	32	11.75	113.2
121	Hualaihué	16.53	7.61	61	30	10.38	105.9
122	Chamiza	18.81	7.36	105	53	10.92	116.2
123	Penitente	11.68	8.44	185	92	s/i	s/i
124	Rubens	15.56	7.8	109	56	s/i	s/i
125	Lago Sofía	13.76	7.9	171	85	10.3	102.4
126	Rincón	7.38	7.36	41	21	12.22	104.5
127	Serrano	8.99	7.7	74	37	12.12	107
128	Grey	7.37	7.16	31	16	13.91	115.6
129	Lago Toro	8.7	7.04	53	38	12.73	111.2
130	Francés	4.26	7.22	23	11	12.97	102.3
131	Vader	6.89	7.24	16	8	13.42	113.3
132	Paine 3	10.79	7.37	40	20	14.04	129.9
133	Ascencio	9.35	7.41	77	39	12.86	114.9
134	Paine 2	10.59	7.5	40	20	10.07	129.2



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
135	Paine 1	10.15	7.24	44	22	11.79	107.4
136	Baguales	9.37	8.45	258	129	12.74	116.3
137	Las Chinas	13.64	8.03	166	83	12.55	124
138	Lago Sarmiento	10.11	8.8	1305	652	11.85	108.5
139	Hollemborg	13.41	8.3	156	78	10.83	108.1
140	Santucci	13.31	8.3	200	100	11.71	115.3
141	Lago Maravilla Norte	13.6	7.64	51	26	11.44	111.8
142	Pérez M	10.5	7.62	48	24	10.87	96.2
143	Canelo	16.8	7.84	140	70	11.42	118.4
144	Río Grande Otway	15.5	8.29	188	94	11.56	116.8
145	San Pedro M	6.4	7.52	81	41	13.3	108.6
146	Santa María	8.8	7.39	89	45	12.87	111.3
147	Japón	17.8	8.1	115	58	6.89	74.8
148	Fontaine	9.76	7.5	55	28	11.71	104.2
149	Yendegaia	12.66	7.45	34	27	12.54	120
150	Azopardo	8.81	9.74	81	41	12.27	106.6
151	Lago Deseado	10.16	7.68	74	37	11.7	107.5
152	Rasmussen	14.4	7.54	84	42	11.3	116.8
153	Moneta	14.99	7.75	121	60	12.47	128.1
154	Grande	17.6	7.94	102	51	12.1	132.2
155	Lago Blanco	14.37	7.78	78	39	13.06	131.7
156	Las Minas	13.43	8.11	475	238	9.49	94.8
157	Hua Hum	14.68	7.42	56	28	10.59	111.6
158	Rucaco	14.59	7.22	53	27	11.87	109.2
159	Lingue	13.38	6.94	2409	1207	11.28	100.3
160	Cruces B	16.08	7.53	139	70	11.98	112
161	Pichoy	13.37	6.94	33	16	12.62	110.6
162	Calle Calle	17.26	7.01	47	23	12.79	120.5
163	Antilhue	17	7.29	46	23	12.61	120.5
164	Cayumapu	17.06	5.71	753	377	11.51	133.5
165	Andwanter	16.68	7	4193	2095	s/i	s/i
166	Angachilla	17.2	7.02	12490	6248	s/i	s/i
167	Naguilán	17.02	7.36	16420	8208	s/i	s/i
168	Futa	14.41	6.25	38	19	s/i	s/i



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
169	Forrahue	14.35	7.28	67	34	s/i	s/i
170	Osorno R	14.52	7.26	79	40	s/i	s/i
171	Negro O	12.69	7.28	91	46	s/i	s/i
172	Chifín	12.55	7.2	152	76	s/i	s/i
173	Tijeral	9.88	7.09	109	55	s/i	s/i
174	Damas	10.59	7.15	84	42	s/i	s/i
175	Cancura	14.76	7.43	108	54	s/i	s/i
176	Pescado	9.56	7.48	36	18	s/i	s/i
177	Petrohué B	16.47	7.73	39	28	s/i	s/i
178	Cascadas	10.72	7.63	67	36	s/i	s/i
179	Arenal	8.96	7.52	49	24	s/i	s/i
180	Mauilín 2	15.58	6.96	91	45	s/i	s/i
181	Mauilín 3	15.79	7.49	95	47	s/i	s/i
182	Mauilín	16.5	7.65	86	43	s/i	s/i
183	Maule	10.1	7.25	87	44	s/i	s/i
184	Fresia	9.88	6.76	55	28	s/i	s/i
185	Lico	11.02	6.58	51	26	s/i	s/i
186	Surgidero	10.32	6.84	54	27	s/i	s/i
187	Sargazo	9.27	6.4	17	8	s/i	s/i
188	Blanco BM	6.32	7.61	66	33	13.12	111.7
189	La Paloma	10.41	7.34	53	27	11.58	107
190	Simpson B	8.58	7.85	83	42	12.04	107.1
191	Pollux	11.51	8.64	80	40	11.83	113.8
192	Coyhaique B	7.77	7.69	58	29	12.5	108.3
193	Claro S	8.94	7.26	25	13	12.12	108.7
194	Simpson A	9.18	7.35	49	25	12.91	111.4
195	Simpson-Mañihuales	9.28	7.18	35	18	12.41	108.2
196	Pangal A	9.24	7.02	41	21	12.5	107.1
197	Cóndor	8.85	6.86	27	13	13	109.5
198	Riesco	11.96	7.09	21	11	12.03	108.8
199	Aysén	10.92	7.36	49	24	13.02	114.3
200	Picaflor	8.24	6.96	20	10	14.42	110
201	Mañihuales B	9.19	7.47	37	18	12.4	110.6
202	Cañón B	9.69	7.42	40	20	12.72	112.6



ID	Estación	T°	pH	Ce	TDS	OD	%Sat. O
203	Ñirehuao	9.44	7.66	58	29	12.61	111.1
204	Emperador Guillermo A	6.54	7.61	61	31	13.95	115.7
205	Viviana	9.05	7.35	40	20	12.59	108.4
206	Salto Laja	11.41	8.49	87	44	11.92	108.5
207	Laja	11.26	8.06	81	41	11.08	105.7
208	Polcura	10.11	7.9	75	38	10.91	110.4
209	Rucúe B	9.06	7.52	38	19	11.55	111.3
210	Cañicura A	9.46	7.53	46	23	11.6	108.7
211	Ñirremetún	6.17	7.93	158	79	11.62	109.5
212	Queuco A	8.23	7.64	98	49	12.16	111.6
213	Biobío 10	9.53	7.85	88	44	11.61	113.3
214	Lomin	6.78	7.79	102	50	12.6	113.9
215	Callaqui	10	7.71	74	37	12.33	114.3
216	Huequecura	7.02	7.25	25	12	13.1	114.6
217	Pichibureo	7.55	7.62	35	18	12.08	114.5
218	Renaico 3	10.03	6.99	60	30	12.06	103.8
219	Bajo Malleco	7.41	7.48	38	19	13.6	113.2
220	Amargo	7.51	7.64	32	16	12.53	112.6
221	Pichirropulli	6.99	7.53	87	43	13.53	109.1
222	Llollehue	6.6	7.34	66	33	12.6	103.9
223	Florín	8.34	7.58	68	34	13.71	116.1
224	Pillanleufú	6.76	8.03	104	52	14.69	118.2
225	Curriñe 01	6.55	7.67	42	21	13.5	116.6
226	Calcurrupe	11.89	7.78	59	29	12.46	113.4
227	Quilacahuín	9.92	7.32	63	32	12.3	105.3
228	Pilmaiquén B	10.33	7.45	71	35	13.11	113.5
229	Chirre	5.96	7.47	44	22	18.82	117.3
230	Rahue	13.49	7.51	49	25	11.4	109.7
231	Puyehue	11.66	7.44	74	37	11.32	105.9
232	Pajaritos	6.96	7.4	39	19	13.33	118.4
233	Chanleufú	7.93	7.68	65	32	13.67	119.2



**Tabla 4.-** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora la relación de las variables ambientales (limnológicas y geográficas) con la densidad de diatomeas bentónicas fluviales en la Zona Norte del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*. Test marginal y secuencial de las variables ambientales.

Test Marginal					Test secuencial						
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Variable	R <sup>2</sup>	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.
T°	333,48	0,90	0,47	0,06	T°	0,06	333,48	0,90	0,44	0,06	0,06
pH	525,43	1,48	0,22	0,10	pH	0,17	527,43	1,48	0,21	0,10	0,17
Ce	398,55	1,09	0,36	0,08	Ce	0,40	1169,60	4,14	<b>0,01</b>	0,23	0,40
%O	896,62	2,75	<b>0,04</b>	0,17	%O	0,51	569,04	2,24	0,09	0,11	0,51
PO4	1301,30	4,41	<b>0,01</b>	0,25	PO4	0,62	601,49	2,79	<b>0,03</b>	0,12	0,62
PT	973,75	3,04	<b>0,02</b>	0,19	PT	0,67	260,96	1,25	0,26	0,05	0,67
NO3	369,37	1,01	0,38	0,07	NO3	0,71	204,69	0,97	0,45	0,04	0,71
NO2	214,60	0,57	0,71	0,04	NO2	0,73	88,64	0,38	0,84	0,02	0,73
NT	1088,30	3,49	<b>0,02</b>	0,21	NT	0,77	214,77	0,92	0,49	0,04	0,77
SiT	1164,50	3,81	<b>0,02</b>	0,23	SiT	0,88	571,93	3,84	<b>0,04</b>	0,11	0,88

**Tabla 5.-** Relación entre los ejes del dbRDA y las variables ambientales (correlaciones múltiples parciales) en la Zona Norte del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*.

Variables	Ejes dbRDA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T°	0,21	0,34	-0,61	0,52	-0,04	0,38	0,03	-0,16	0,19	-0,02
pH	0,05	0,00	-0,08	-0,21	-0,42	0,53	0,03	0,58	-0,40	0,04
Ce	-0,29	-0,29	0,43	0,57	0,20	0,43	-0,03	-0,13	-0,26	-0,09
%Sat.O	-0,53	0,40	0,00	0,01	0,29	0,00	0,58	0,31	0,14	0,13
PO4	0,36	-0,50	0,12	0,18	-0,18	0,00	0,56	0,20	0,44	-0,03
P T	0,04	-0,01	0,19	-0,36	0,23	0,55	-0,21	-0,11	0,50	0,43
NO3	0,22	-0,14	-0,19	-0,39	0,36	0,23	0,46	-0,41	-0,40	-0,16
NO2	0,23	0,08	0,05	-0,05	0,50	0,08	-0,23	0,43	0,17	-0,64
NT	0,28	-0,19	-0,19	0,21	0,48	-0,20	-0,10	0,33	-0,27	0,58
Si T	-0,53	-0,58	-0,56	-0,11	0,05	0,03	-0,16	0,06	0,15	-0,11

**Tabla 6.-** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora el % de variación de la matriz de similitud basada en la densidad de diatomeas que es explicado por las variables ambientales (limnológicas y geográficas) en la Zona Norte del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*.

Eje	% variación explicada			
	modelo ajustado		total de la variación	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
1	52,49	52,49	46,39	46,39
2	22,71	75,19	20,07	66,46
3	10,01	85,2	8,85	75,32
4	4,46	89,67	3,95	79,26
5	3,67	93,34	3,24	82,51
6	3,28	96,62	2,9	85,4
7	1,67	98,28	1,47	86,88
8	1,17	99,46	1,04	87,91
9	0,32	99,78	0,28	88,2
10	0,22	100	0,19	88,39



**Tabla 7.-** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora la relación de las variables ambientales (limnológicas y geográficas) con la densidad de diatomeas bentónicas fluviales en la Zona Sur del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*. Test marginal y secuencial de las variables ambientales.

Test Marginal					Test secuencial						
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Variable	R <sup>2</sup>	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.
T°	337,79	0,92	0,43	0,08	T°	0,06	333,48	0,90	0,44	0,06	0,06
pH	401,30	1,11	0,33	0,10	pH	0,17	527,43	1,48	0,21	0,10	0,17
Ce	641,13	1,90	0,12	0,16	Ce	0,40	1169,60	4,14	<b>0,01</b>	0,23	0,40
%O	259,38	0,69	0,63	0,06	%O	0,51	569,04	2,24	0,09	0,11	0,51
PO4	1098,60	3,76	<b>0,01</b>	0,27	PO4	0,62	601,49	2,79	<b>0,03</b>	0,12	0,62
PT	1178,70	4,15	<b>0,00</b>	0,29	PT	0,67	260,96	1,25	0,26	0,05	0,67
NO3	615,00	1,81	0,12	0,15	NO3	0,71	204,69	0,97	0,45	0,04	0,71
NO2	1080,80	3,68	<b>0,01</b>	0,27	NO2	0,73	88,64	0,38	0,84	0,02	0,73
NT	748,32	2,29	<b>0,03</b>	0,19	NT	0,77	214,77	0,92	0,49	0,04	0,77
SiT	189,97	0,50	0,78	0,05	SiT	0,88	571,93	3,84	<b>0,04</b>	0,11	0,88

**Tabla 8.-** Relación entre los ejes del dbRDA y las variables ambientales (correlaciones múltiples parciales) en la Zona Sur del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*.

Variables	Ejes dbRDA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T°	-0,517	0,101	-0,356	0,025	-0,173	-0,212	-0,502	-0,2	0,392	0,272
pH	-0,041	0,024	0,023	0,046	-0,006	0,062	0,428	-0,773	-0,157	0,432
Ce	-0,171	<b>0,837</b>	0,143	0,308	0,153	-0,251	0,137	0,157	-0,159	0,022
%Sat.O	-0,011	0,124	0,091	-0,443	-0,764	-0,308	0,296	0,115	0,011	-0,016
PO4	<b>0,459</b>	0,085	-0,222	0,281	-0,189	0,219	0,1	0,342	0,283	<b>0,602</b>
P T	0,438	-0,184	-0,191	<b>0,382</b>	-0,089	-0,691	-0,156	-0,177	-0,194	-0,115
NO3	0,051	-0,105	0,706	-0,124	0,034	-0,158	-0,427	0,062	-0,173	0,48
NO2	0,069	0,189	-0,084	0,192	-0,47	<b>0,478</b>	-0,412	-0,146	-0,507	-0,132
NT	<b>0,54</b>	<b>0,43</b>	-0,027	-0,466	0,167	0,04	-0,267	-0,323	0,288	-0,135
Si T	-0,023	0,019	-0,502	-0,461	0,262	-0,114	-0,033	0,216	-0,555	0,312



**Tabla 9.-** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora el % de variación de la matriz de similitud basada en la densidad de diatomeas que es explicado por las variables ambientales (limnológicas y geográficas) en la Zona Sur del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*

Eje	% variación explicada			
	modelo ajustado		total de la variación	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
1	50,19	50,19	48,48	48,48
2	19,79	69,98	19,12	67,6
3	9,82	79,8	9,48	77,08
4	6,98	86,78	6,75	83,83
5	6,05	92,83	5,84	89,67
6	2,91	95,74	2,81	92,48
7	2,13	97,86	2,06	94,54
8	1,03	98,9	1	95,53
9	0,83	99,73	0,8	96,34
10	0,27	100	0,26	96,6

**Tabla 10.-** Resultados del Análisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora la relación de las variables ambientales (limnológicas y geográficas) con la densidad de diatomeas bentónicas fluviales en la Zona Austral del rango de distribución de la especie exótica invasora *D. geminata*. Test marginal y secuencial de las variables ambientales.

Test Marginal					Test secuencial						
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Variable	R <sup>2</sup>	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.
T°	907,76	1,11	0,33	0,09	T°	0,09	907,76	1,11	0,36	0,09	0,09
pH	746,68	0,90	0,47	0,08	pH	0,16	649,50	0,78	0,59	0,07	0,16
Ce	2292,60	3,31	<b>0,01</b>	0,23	Ce	0,41	2499,00	3,84	0,01	0,25	0,41
%O	755,19	0,91	0,47	0,08	%O	0,47	564,35	0,85	0,55	0,06	0,47
PO4	1654,20	2,20	<b>0,05</b>	0,17	PO4	0,57	1023,10	1,68	0,13	0,10	0,57
PT	811,11	0,98	0,43	0,08	PT	0,66	936,09	1,68	0,14	0,09	0,66
NO3	638,26	0,76	0,63	0,06	NO3	0,69	229,41	0,37	0,91	<b>0,02</b>	0,69
NO2	1097,50	1,37	0,20	0,11	NO2	0,79	1067,70	2,09	0,09	0,11	0,79
NT	430,47	0,50	0,83	0,04	NT	0,81	166,69	0,27	0,90	<b>0,02</b>	0,81
SiT	1422,10	1,84	0,08	0,14	SiT	0,90	831,31	1,60	0,30	0,08	0,90



**Tabla 11.-** Relaci3n entre los ejes del dbRDA y las variables ambientales (correlaciones mltiples parciales) en la Zona Austral del rango de distribuci3n de la especie ex3tica invasora *D. geminata*.

Variables	Ejes dbRDA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T°	0,399	-0,152	-0,066	0,539	-0,2	-0,338	-0,272	-0,212	0,151	0,475
pH	-0,261	-0,302	0,009	0,017	-0,164	-0,032	-0,795	0,251	0,03	-0,341
Ce	0,657	-0,483	0,247	-0,426	-0,078	0,136	0,006	-0,167	0,008	-0,2
%Sat.O	0,136	0,256	-0,456	-0,378	0,509	-0,007	-0,394	-0,299	0,219	0,114
PO4	0,213	0,118	-0,399	0,143	-0,305	0,361	0,141	0,283	0,623	-0,222
P T	0,126	-0,234	0,092	0,106	0,482	0,365	-0,058	0,598	-0,047	0,424
NO3	-0,062	0,308	0,377	0,069	-0,207	0,681	-0,277	-0,358	-0,01	0,205
NO2	-0,156	-0,281	0,203	0,446	0,511	0,085	0,116	-0,356	0,342	-0,362
NT	0,276	0,047	-0,426	0,366	0,073	0,258	-0,039	-0,077	-0,647	-0,329
Si T	0,395	0,585	0,441	0,124	0,18	-0,255	-0,15	0,274	0,043	-0,308

**Tabla 12.-** Resultados del Anlisis de Modelos Lineales basados en Distancia (DistLM) que incorpora el % de variaci3n de la matriz de similitud basada en la densidad de diatomeas que es explicado por las variables ambientales (limnol3gicas y geogrdficas) en la Zona Sur del rango de distribuci3n de la especie ex3tica invasora *D. geminata*.

Eje	% variaci3n explicada			
	modelo ajustado		total de la variaci3n	
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada
1	42,11	42,11	37,69	37,69
2	20,14	62,25	18,02	55,71
3	13,44	75,69	12,03	67,74
4	9,99	85,68	8,94	76,68
5	5,18	90,86	4,64	81,32
6	3,00	93,86	2,68	84,01
7	2,70	96,56	2,42	86,42
8	1,65	98,21	1,48	87,90
9	1,04	99,26	0,93	88,83
10	0,74	100,00	0,67	89,50



## **ANEXO 3**

---

### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



**ANEXO 3  
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Actividades	2021					2022											
	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N		
Toma de muestras primavera-verano			X	X	X												
Variables <i>in situ</i> primavera-verano			X	X	X												
Análisis químico de agua primavera-verano			X	X	X	X	X										
Análisis taxonómico primavera-verano			X	X	X	X	X										
Variables <i>in situ</i> otoño-invierno								X									
Toma de muestras otoño-invierno								X									
Análisis químico de agua otoño-invierno								X	X								
Análisis taxonómico otoño-invierno								X	X	X							
<b>OBE1</b>																	
Distribución de <i>D. geminata</i>							X	X	X	X	X						
Analizar variables ambientales asociadas								X	X	X	X	X					
<b>OBE2</b>																	
Análisis estacional del fitobentos							X	X	X	X	X	X	X				
Análisis espacial del fitobentos							X	X	X	X	X	X	X				
<b>OBE3</b>																	
Estudio relaciones abundancia entre <i>D. geminata</i> y fitobentos								X	X	X	X	X	X	X	X		
Estudio relaciones abundancia entre <i>D. geminata</i> y macrozoobentos								X	X	X	X	X	X	X	X		
<b>OBE4</b>																	
Describir actividades económicas susceptibles a invasión de <i>D. geminata</i>			X	X	X												
Determinar cualitativamente impactos sobre actividades económicas				X	X	X	X	X	X	X	X						
Representación gráfica de la información										X	X	X					
<b>OBE 5</b>																	
Identificar y evaluar las diferentes vías de dispersión de la plaga			X	X	X	X	X	X	X								
<b>OBE 6</b>																	
Seminario-Taller de difusión de resultados																X	
Taller de capacitación interno																X	
<b>Otras actividades</b>																	
Reunión de coordinación	X																
Reunión de Avance							X										
Documento de Avance 1							X										
Documento de Avance 2											X						
Informe Final																X	



# **A N E X O 4**

---

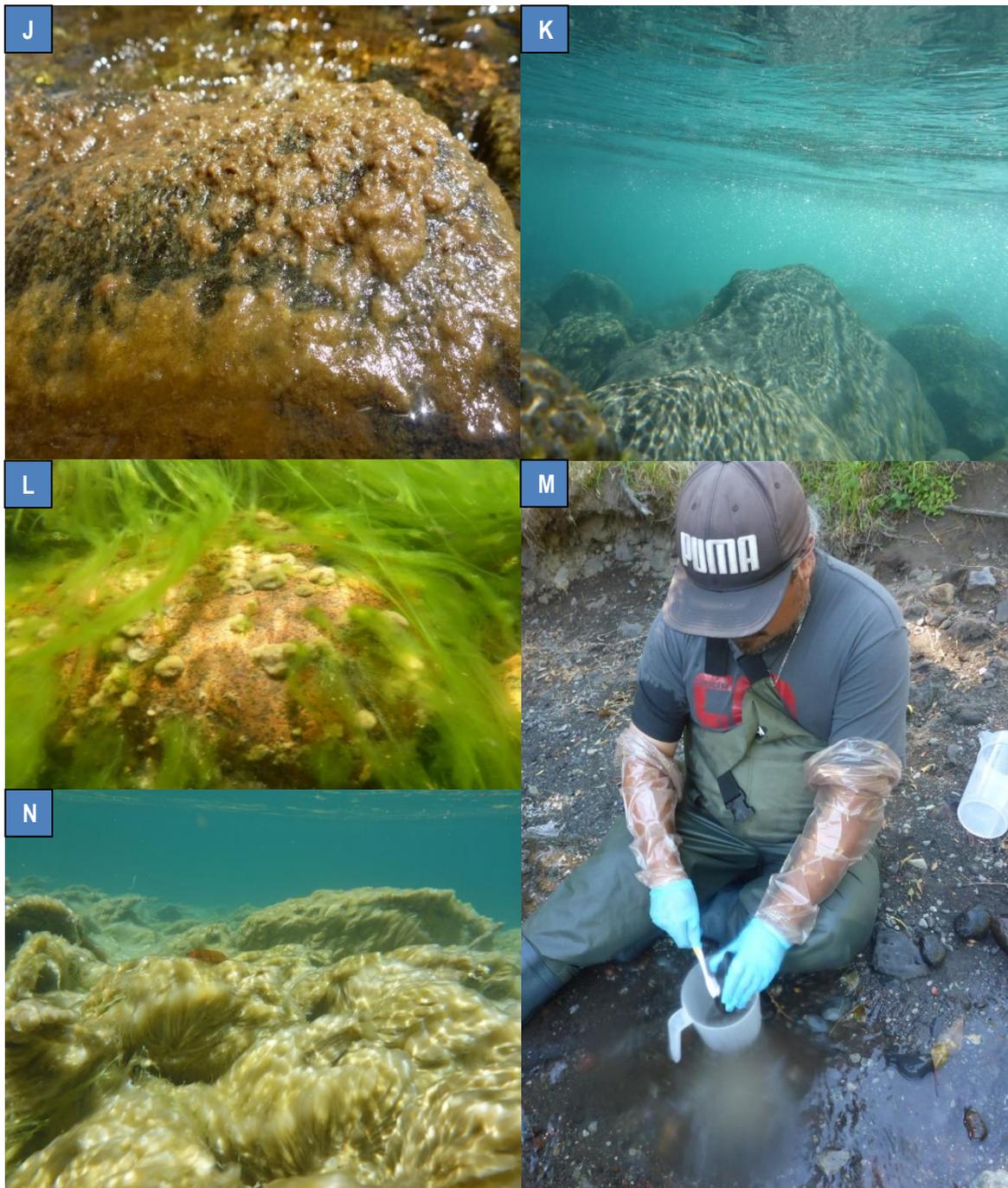
## FOTOGRAFÍAS DE TRABAJO EN TERRENO



**Figura 27.-** Floración de *D. geminata* en río Claro en Parque Nacional Radal Siete Tazas (A), Desinfección de redes (B), Medición de velocidad de la corriente en estación Polcura, comuna de Antuco, cuenca del río Biobío.(C), Balneario en estación Caliboro en las cercanías a Laja, cuenca del río Biobío.(D).



**Figura 28.-** Medición de parámetros físico-químicos in situ (E & I), Fijación de muestras (F), Hábitat bentónico en lago Colico, cuenca del río Toltén (G), Floraciones pomposas de *D. geminata* en estación Polcura (J).



**Figura 29.-** Didymo y cianobacterias en sustrato rocoso en río Reca, comuna de Panguipulli, cuenca del río Valdivia (J), Sustrato bentónico en río Petrohué, comuna de Puerto Varas (K), Roca con floraciones de *D. geminata* y filamentosas verdes, río Puelo. (L), Extracción de muestra fitobentónica (M), Floraciones masivas de *D. geminata* en río Puelo, sector de primer corral (N).



**Figura 28.-** Red fitoplanct3nica suspendida en columna de agua (O), Floraciones en bolones en r3o Emperador Guillermo (P) y r3o Cochrane (Q) en regi3n de Ays3n.



**Figura 29.-** Muestreo de fitoplancton en Lago Toro (P.N. Torres del Paine) (R), Obtención de muestra de macroinvertebrados en Lago Toro (P.N. Torres del Paine) (S), Aplicación de protocolo de desinfección de elementos de muestreo y waders (T y U)



**Figura 30.-** Aspecto de la floración de *D. geminata* en el río Azopardo, Tierra del Fuego (V), Aspecto de la floración masiva de *D. geminata* en el río Grande, sector puente nuevo, Tierra del Fuego (W).



---

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

---



---

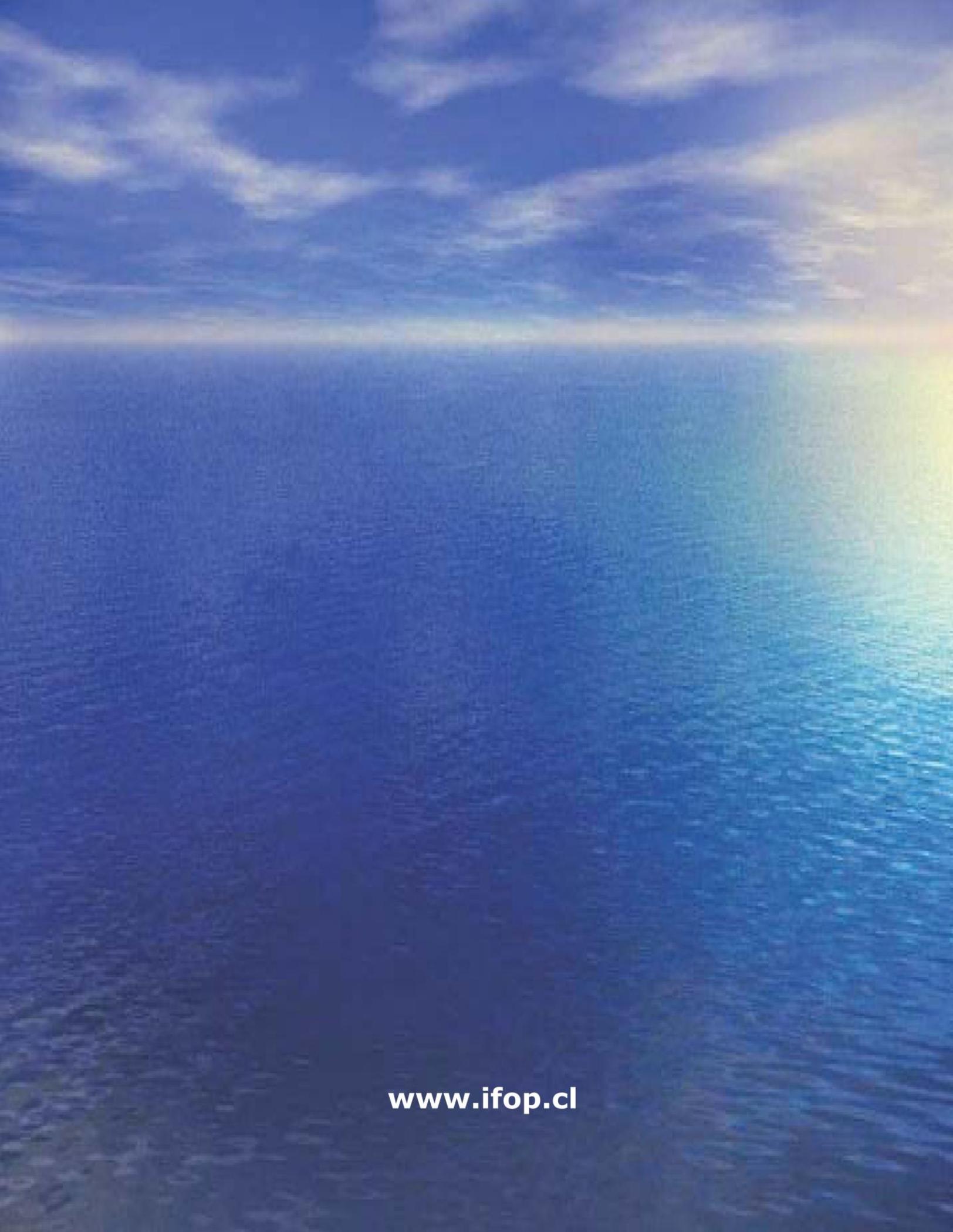
**INSTITUTO DE FOMENTO  
PESQUERO**

Blanco 839, Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---



[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)