

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE  
CAUDALES Y LA ABUNDANCIA DE *Didymosphenia geminata* EN LOS RÍOS  
DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE**

**MARCELA ALEJANDRA ITURRIETA MATUS**

**Santiago, Chile  
2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LA ABUNDANCIA DE *Didymosphenia geminata* EN LOS RÍOS DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE**

**EXPLORATORY ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FLOW REGIME AND THE ABUNDANCE OF *Didymosphenia geminata* IN RIVERS IN CENTRAL AND SOUTH CHILE**

**MARCELA ALEJANDRA ITURRIETA MATUS**

**Santiago, Chile**  
**2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA RELACIÓN ENTRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LA ABUNDANCIA DE *Didymosphenia geminata* EN LOS RÍOS DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**MARCELA ALEJANDRA ITURRIETA MATUS**

	<b>Calificaciones</b>
<b>Profesor Guía</b>	
Rodrigo Fuster G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Luis Morales S. Profesor de Ciencias Naturales y Física, Mg. Sc. Dr.	7,0
Marcos Mora G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,7
<b>Colaborador</b>	
Matías Peredo P. Ingeniero Civil Hidráulico, Mg. Dr.	

**Santiago, Chile**  
**2016**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al proyecto FIP (Fondo de Investigación Pesquera) de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura 2013-25 “Evaluación de *Didymosphenia geminata* (Didymo) en cuerpos de agua de la zona centro-sur”.

A AMAKAIK Consultoría Ambiental, por el apoyo brindado y por hacerme parte del equipo Amakaik.

A la Plataforma de Investigación en Ecohidrología y Ecohidráulica, EcoHyd, por el apoyo incondicional por parte de Matías Peredo, por las enseñanzas y las oportunidades de trabajar con y junto a ellos.

A Rodrigo Fuster por su apoyo y guía en este proceso.

A mis compañeras y compañeros de la Universidad por sus buenas vibras y por todos los momentos que nos hicieron crecer como personas y como profesionales.

## ÍNDICE

1.1	Objetivo General .....	6
1.2	Objetivos Específicos.....	6
2.1	Área de estudio.....	7
2.2	Descripción del área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo .....	8
2.2.1	Cuenca del río Itata .....	8
2.2.2	Cuenca del río Bío-Bío.....	10
2.2.3	Cuenca del río Imperial.....	12
2.2.4	Cuenca del río Toltén .....	14
2.2.5	Cuenca del río Valdivia.....	16
2.2.6	Cuenca del río Bueno .....	18
2.3	Régimen de muestreo .....	20
2.4	Metodología de muestreo .....	20
2.4.1	Densidad de <i>D.geminata</i> .....	20
2.4.2	Cobertura algal .....	21
2.4.3	Espesor algal .....	21
2.4.4	Muestreo de parámetros físico-químicos e hidráulicos.....	22
3.1	Analizar la influencia de los caudales mínimos anuales sobre el establecimiento de <i>D. geminata</i> .....	23
3.2	Analizar la variación temporal de la abundancia de <i>D. geminata</i> en los puntos de muestreo .....	24
3.3	Analizar la variación temporal de las variables fisicoquímicas e hidráulicas en los puntos con <i>D. geminata</i> .....	25
3.4	Caracterizar el régimen de caudales en los puntos de muestreo con <i>D. geminata</i> .....	26
3.4.1	Magnitud .....	27
3.4.2	Tasas de cambio .....	27
3.4.3	Frecuencia de ocurrencia.....	28
3.4.4	Predictibilidad o estacionalidad .....	28

3.4.5 Duración.....	28
3.5 Identificar parámetros hidrológicos y variables fisicoquímicas e hidráulicas que influyan sobre la abundancia de <i>D. geminata</i> .....	29
4.1 Analizar la influencia de los caudales mínimos anuales sobre el establecimiento de <i>D. geminata</i> .....	31
4.1.1 Caudal mínimo para un periodo de retorno de dos años.....	31
4.1.2 Caudal mínimo para un periodo de retorno de cinco años.....	32
4.1.3 Caudal mínimo para un periodo de retorno de 10 años .....	33
4.1.4 Caudal mínimo para un periodo de retorno de 20 años .....	34
4.2 Análisis de la variación temporal de la abundancia de <i>Didymosphenia geminata</i> en los puntos de muestreo .....	35
4.3 Analizar la variación temporal de las variables fisicoquímicas e hidráulicas en los puntos con <i>D. geminata</i> .....	40
4.4 Caracterización del régimen de caudales en los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	41
4.4.1 Amk-SernapLQM .....	43
4.4.2 F-amk-Sernap2BC y Punto5-Sernap.....	45
4.4.3 Huahum 1 y Huahum 2 .....	48
4.4.4 Fuy 1 .....	51
4.4.5 Fuy 2 .....	51
4.4.6 San Pedro 2 .....	52
4.5 Identificar variables hidrológicas, variables fisicoquímicas e hidráulicas que influyan sobre la abundancia de <i>D. geminata</i> .....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías de clasificación de la cobertura algal .....	21
Cuadro 2. Tabla de reclasificación de los valores de cobertura y espesor algal .....	25
Cuadro 3. Variación de la densidad, cobertura y espesor entre ambas campañas .....	36

Cuadro 4. Resultados del test Kruskal Wallis y la mediana de las variables de abundancia para ambos muestreos (n=20) .....	37
Cuadro 5. Promedio (desviación estándar) y mediana de las densidades por cuenca y periodo de muestreo .....	39
Cuadro 6. Variación mostrada por las variables fisicoquímicas e hidráulicas entre ambas campañas (n=20) .....	40
Cuadro 7. Estaciones fluviométricas asociadas a los puntos de muestreo .....	41
Cuadro 8. Resultados del AIC para los modelos candidatos con una variable .....	54
Cuadro 9. Resultados de los GLM con una variable .....	54
Cuadro 10. Modelos que mejor se correlacionaron con el ln(densidad) (n=16) .....	54
Cuadro 11. Resultados de los GLM con dos variables .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regiones y cuencas comprendidas en el área de estudio .....	7
Figura 2. Red hídrica de la cuenca del río Itata junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	9
Figura 3. Red hídrica de la cuenca del río Bío-Bío junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	11
Figura 4. Red hídrica de la cuenca del río Imperial junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	13
Figura 5. Red hídrica de la cuenca del río Toltén junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	15
Figura 6. Red hídrica de la cuenca del río Valdivia junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	17
Figura 7. Red hídrica de la cuenca del río Bueno junto con los puntos de muestreo de <i>D. geminata</i> .....	19
Figura 8. Ejemplos de las categorías de espesor algal. A: Inicial; B: Mediana y C: Alta ...	22
Figura 9. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de dos años (50% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio) .....	32
Figura 10. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de cinco años (20% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio) .....	33
Figura 11. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de 10 años (10% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio) .....	34
Figura 12. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de 20 años (5% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio) .....	35
Figura 13. Gráficas de los valores de densidad, cobertura y espesor algal de ambas campañas, por cuenca y punto de muestreo, junto con un diagrama unifilar de los ríos .....	38

Figura 14. Puntos de muestreo con presencia/ausencia de <i>D. geminata</i> asociados a estaciones fluviométricas por Villarroel (2014), junto con los 8 puntos asociados para la caracterización del régimen de caudales .....	42
Figura 15. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Lonquimay antes junta río Bío-Bío junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno .....	44
Figura 16. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Bío-Bío en Llanquén junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno .....	46
Figura 17. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Bío-Bío en Llanquén junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> en el Punto5-Sernap y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno .....	47
Figura 18. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Huahum en la Frontera junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> en el punto AMK-Huahum 1 y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno .....	49
Figura 19. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Huahum en la Frontera junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> en el punto AMK-Huahum 2 y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno .....	50
Figura 20. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Fui en desagüe lago Pirihueico junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> en el punto Amk-Fuy1 .....	51
Figura 21. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Fui en desagüe lago Pirihueico junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> en el punto Amk-Fuy 2.....	52
Figura 22. Hidrograma de caudales medios diarios E. río San Pedro en desagüe lago Riñihue junto con la abundancia de <i>D. geminata</i> .....	53

## RESUMEN

La diatomea *Didymosphenia geminata*, conocida como Didymo, se ha propagado rápidamente durante las últimas décadas por los ríos del mundo. Tiene la capacidad de generar floraciones algales bajo condiciones oligotróficas, en ríos correntosos y fríos, impactando los ecosistemas fluviales. Se describió en la cuenca del río Futaleufú (Chile) el 2010 y hoy se encuentra en la cabecera de los ríos, desde la cuenca del río Bío-Bío hasta la Región de Magallanes. La importancia de estudiar su relación con el régimen de caudales radica en generar información para el control de esta especie.

Se empleó la base de datos de SERNAPESCA del muestreo de 20 variables físico-químicas y 4 hidráulicas en 92 puntos distribuidos en las cuencas de los ríos Itata, Bío-Bío, Imperial, Toltén, Valdivia y Bueno en noviembre del 2013 y mayo del 2014. Se analizó la influencia de los caudales mínimos anuales en el establecimiento de la diatomea utilizando probabilidades de no excedencia y el análisis de kruskal-Wallis. Se realizó un análisis descriptivo de las variaciones de la densidad, cobertura y espesor algal entre ambos muestreos a través de medidas de tendencia central, Kruskal-Wallis y gráficas. Se caracterizó el régimen de caudales para los puntos con *D. geminata* a través de hidrogramas, y de las variables para cada componente del régimen: magnitud, tasas de cambio, frecuencia, duración y temporalidad. Se identificaron las variables que podrían influir en la variación de la densidad a través de, Modelos Lineales Generalizados (GLM) entre el  $\ln(\text{densidad})$  y las variables en estudio, decidiéndose por los modelos con un mejor Criterio de Información de Akaike (AIC).

Se determinó que los caudales mínimos no influenciaron el establecimiento de *D. geminata* en la zona de estudio. Generalmente, se obtuvieron mayores abundancias de la diatomea en primavera que en otoño. Los resultados de los GLM realizados con una variable predictora junto con el AIC indicaron que el Fe y el Ca son las variables que mejor explicaron la variación de la densidad, aunque no fueron significativas ( $p > 0,1$ ). En cambio, los GLM realizados con dos variables junto con el AIC indicaron que el modelo que mejor explicó la densidad de *D. geminata* fue el construido por el Ca y la media de las tasas diarias de cambio positivas de caudales ocurridas los cinco días previos a cada muestreo ( $p < 0,05$ ,  $R^2 = 0,579$ ).

Por lo que, se sugiere que sí existe una relación entre el régimen de caudales y la abundancia de *D. geminata* regulado por la brusquedad de las variaciones del caudal a corto plazo (tasas de cambio) junto con el calcio.

Palabras clave: Didymo, Régimen hidrológico.

## ABSTRACT

*Didymosphenia geminata*, known as Didymo, has world spread rapidly in recent decades on rivers around the globe. It has the ability to generate algal blooms under oligotrophic conditions in streamy and cold rivers, affecting riparian ecosystems. Didymo was described in the basin of Futaleufú river (Chile) in 2010 and today is in the headwaters of the rivers, from the Bío-Bío basin to the Magallanes Region. The importance of studying their relationship with the flow regime is generate information for the Didymo control.

SERNAPESCA database was used for sampling of 20 physicochemical variables and 4 hydraulics in 92 points distributed in the basins of the Itata, Bío-Bío, Imperial, Toltén, Valdivia and Bueno rivers in November 2013 and May 2014. It was analyzed the influence of the annual minimum flows in the establishment of the diatom using non-exceedance probabilities and Kruskal-Wallis statistical analysis. It was held a descriptive analysis of variations of density, algal coverage and thickness between both samples through measures of central tendency, Kruskal-Wallis and graphics. It was characterized the flow regime for points with *D. geminata* through hydrographs, and variables for each component of the regime: magnitude, exchange rates, frequency, duration and timing. variables that could influence density variation were identified through the Generalized Linear Models (GLM) between  $\ln$  (density) and the variables studied, opting for models with better Akaike Information Criterion (AIC).

Minimum flows did not influence the establishment of *D. geminata* in the study area. Generally, were obtained higher abundances of Didymo in spring than in autumn. The results of GLM made with a predictor variable together with AIC, indicated that the Fe and Ca are the variables that best explained the variation of density, but they were not significant ( $p > 0.1$ ). Instead, GLM performed with two variables together with the AIC indicated that the model that best explained the density of *D. geminata* was built by Ca and average daily rates of flow positive change occurred five days before each sampling ( $p < 0.05$ ,  $R^2 = 0.579$ ).

So, it is suggested that there exists a relationship between the flow regime and the abundance of *D. geminata* regulated by the abruptness of changes rate in short-term (exchange rate) along with calcium.

Key words: Didymo, Hydrological regime.

## 1 INTRODUCCIÓN

*Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt es una diatomea (alga unicelular) bentónica altamente invasiva, cuyos pedúnculos compuestos por polisacáridos favorecen su adhesión al sustrato rocoso y a estructuras sumergidas en ríos y lagos de agua dulce. Se le denomina “Didymo” o “moco de roca” por su aspecto mucilaginoso color amarillo parduzco, y blanquecino en estado de senescencia (Morales et al., 2012).

El Didymo puede llegar a cubrir la totalidad del lecho de ríos y lagos por varios meses, ya que sus pedúnculos son resistentes a la degradación y persisten aun cuando las células mueren. Estas floraciones son más frecuentes en aguas oligotróficas, ya que sus pedúnculos se desarrollan más largos y ramificados que en aguas ricas en nutrientes, produciendo una mayor biomasa, la que puede sobrepasar los 20 cm de espesor y extenderse por más de 20 km (Morales et al., 2012; Blanco y Ector, 2009; Spaulding y Elwell, 2007; Kilroy et al., 2005). Esta capacidad de formar grandes floraciones algales en aguas frías, oligotróficas y correntosas, es única en su tipo, y se le conoce como la paradoja del Didymo (Cullis et al., 2012; Kirkwood et al., 2009).

*D. geminata* se encuentra históricamente en ríos y lagos alpinos y boreales de Norteamérica y Europa (Krammer y Lange-Bertalot, 1986, citado por Miller et al., 2009). Su distribución se ha expandido hacia aguas más cálidas de Estados Unidos, Canadá, India, Italia, Nueva Zelanda (Miller et al., 2009) y Argentina (Beamud et al., 2013), hallándose, principalmente, en la cabecera de los ríos (Ladrera et al., 2015). A pesar de esto, Taylor y Bothwell (2014) en base a registros fósiles y registros históricos, señalan que ésta ya se encontraba en todos los continentes a excepción de África, Australia y la Antártica, infiriendo que esta especie es nativa en los países donde en la actualidad se dice que es exótica e invasora.

En Chile *D. geminata* fue registrada por primera vez en el lago Sarmiento (Región de Magallanes) y en el río Cisnes en 1962 (Región de Aysén) (Asprey et al., 1964), aunque en la actualidad no existen evidencias de registro en esta zona (Amakaik-EcoHyd, 2014a). El siguiente registro ocurrió a comienzos del 2010 en los ríos Espolón y Futaleufú declarándose plaga en la subcuenca del río Futaleufú (Región de Los Lagos) (Resolución Ext. 3064/2010). En la actualidad, se distribuye de forma parchosa desde la Región de Magallanes hasta la Región del Bío-Bío (Amakaik-EcoHyd, 2014b). Y la distribución potencial de la diatomea indica que podría propagarse hasta la Región del Maule (36° latitud sur) (Montecino et al., 2014).

El principal vector de dispersión de la diatomea es el ser humano, el que a través del desarrollo de actividades acuáticas como el kayaking, rafting y la pesca deportiva ha ido propagando el alga de río en río y de un país a otro, siendo los reportes de floraciones de Didymo más recurrentes desde mediados de los 80's (Bothwell y Kilroy, 2011; Spaulding y

Elwell, 2007; Kilroy, 2004). Cabe señalar que la propagación de *Didymo* se debe en gran parte a que los medios de transporte son más asequibles para las personas a causa de la globalización (Jellyman et al., 2011).

Ante las grandes floraciones de *Didymo*, se evidencian impactos económicos negativos asociados al turismo, a la pesca y a los deportes acuáticos a causa del deterioro estético del cuerpo de agua (Beville et al., 2012; Morales et al., 2012; Whitton et al., 2009). También, se evidencian alteraciones sobre los macroinvertebrados bentónicos, las que generalmente implican: la homogenización de la comunidad, aumento de la abundancia y de la riqueza de ciertas especies de macroinvertebrados (Rost y Fritsen, 2014; Ladrera et al., 2015; Gillis y Chalifour, 2010; Kilroy et al., 2009). También, puede estar alternado a la comunidad de peces y anfibios (Furey et al., 2014; Bothwell y Spaulding, 2008), así como su reproducción (Olivares et al., 2015). Esto, está generando una potencial amenaza sobre la estructura de la cadena trófica y el funcionamiento de los ecosistemas fluviales (Bothwell y Spaulding, 2008; Spaulding y Elwell, 2007).

Las condiciones ambientales que favorecen el establecimiento de *Didymo* son: estabilidad del sustrato, presencia de rocas y bolones, flujo de agua constante, alta luminosidad, pH cercano al neutro, aguas frías y oligotróficas, siendo el factor clave la concentración de fósforo en los cuerpos de agua (Bothwell et al., 2014; Whitton et al., 2009). A pesar de esto, los estudios que relacionan el comportamiento de los caudales con el establecimiento y/o abundancia de *Didymo* son escasos.

La importancia de estudiar las relaciones existentes entre el régimen de caudales y el medio biótico de los ecosistemas fluviales fue abordado por Poff et al. (1997) en el paradigma del régimen natural de caudales. En éste, indica que “la magnitud, temporalidad, frecuencia, duración y tasa de cambio de las condiciones hidrológicas son los componentes críticos del régimen de caudales que regulan los procesos ecológicos de los ecosistemas fluviales” y por ende, determinan en gran parte, la distribución, composición y abundancia de las especies (Poff et al., 1997). Por lo que, caracterizar el régimen de caudales que favorece el establecimiento y desarrollo de *D. geminata* en Chile, puede aportar información para la toma de decisiones respecto al control de esta especie.

Según Biggs y Stokseth (1996, citado por Cullis, 2013) los principales mecanismos de remoción del perifiton ocurren a velocidades de fondo elevadas. Estos mecanismos son: 1) remoción del sustrato, 2) abrasión, debido al aumento de los sedimentos en suspensión, y 3) aumento de la fricción (remoción cortante).

Se han realizado algunos estudios que relacionan directa e indirectamente el régimen de caudales junto a estos tres mecanismos de control y la abundancia de *Didymo*. A pesar de que la mayoría de estas investigaciones se han desarrollado en ríos represados, sus resultados sugieren que existe una relación inversa entre la abundancia y la magnitud de los caudales, asimismo, con la variación de los caudales (tasas de cambio), con la profundidad de los cauces y con la distancia a las compuertas del embalse (Hammond, 2013; Kirkwood et al., 2009; Miller et al., 2009; Kirkwood et al., 2007).

Cullis et al. (2013) en un experimento de laboratorio, emplearon muestras de sustrato con *Didymo* y las sometieron a diferentes esfuerzos de corte en una cámara de flujo. Como resultado obtuvieron que menos del 25% de la biomasa fue removida al simular un esfuerzo de corte que perturbaría el lecho bajo condiciones normales. Con esto, apoyan las hipótesis que sugiere que la abrasión física en los periodos de perturbación del lecho es el primer mecanismo de remoción de *Didymo* (más que esfuerzos de corte elevados).

Una investigación, similar a la que aquí se plantea, fue realizada por Cullis (2010) en el río Boulder Creek (Colorado, Estados Unidos), en donde se analizó la relación entre un índice cualitativo de espesor y cobertura algal con los caudales medios diarios, y las magnitudes de los caudales máximos anuales para periodos de retorno de 2 y 5 años. Sus resultados sugieren que los caudales altos son importantes para controlar el crecimiento de *Didymo*, ya que la abundancia disminuyó significativamente al presentarse una tormenta fuera de temporada, la que produjo un caudal con un periodo de retorno mayor a dos años. Asimismo, cuando se presentaron regularmente caudales altos (cerca al periodo de retorno de 2 años), éstos mantuvieron limitado el crecimiento de *Didymo*. En cambio, los caudales bajos no significaron un impacto en la abundancia de la diatomea. Ante esto, sugirió un caudal crítico de  $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para la remoción de *Didymo* en ese río (Cullis, 2010).

El presente estudio se enmarca dentro del proyecto FIP 2013-25: “Evaluación de *Didymosphenia geminata* (*Didymo*) en cuerpos de agua de la zona centro-sur”, elaborado para la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, con el objetivo de evaluar la presencia/ausencia de *D. geminata* en ríos de importancia para la acuicultura y pesca recreativa de las regiones del Bío-Bío, de La Araucanía y de Los Ríos; y evaluar las medidas para su control.

## 1.1 Objetivo General

Analizar la relación entre el régimen de caudales y la abundancia de *Didymosphenia geminata* en ríos de importancia para la pesca y la acuicultura en la zona centro sur de Chile.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Analizar la influencia de los caudales mínimos anuales sobre el establecimiento de *D. geminata*.
- Analizar la variación temporal de la abundancia de *D. geminata* en los puntos de muestreo.
- Analizar la variación temporal de las variables fisicoquímicas e hidráulicas en los puntos de muestreo.
- Caracterizar el régimen de caudales en los puntos de muestreo de *D. geminata*.
- Identificar parámetros hidrológicos y variables fisicoquímicas e hidráulicas que influyan sobre la abundancia de *D. geminata*.

## 2 ANTECEDENTES

El presente estudio contempla el análisis en gabinete de los datos obtenidos durante la realización del proyecto FIP 2013-25 (en adelante, el proyecto) y que datan desde antes del inicio de esta memoria. Por lo tanto, no se tuvo injerencia en la elección de los puntos de muestreo, ni en la metodología de muestreo en terreno, ni en la metodología empleada en los análisis de laboratorio. Sin embargo, es de importancia dar a conocer estos antecedentes para comprender a cabalidad esta memoria.

### 2.1 Área de estudio

De acuerdo con el proyecto, el área de estudio corresponde a 18 subcuencas cordilleranas pertenecientes a las cuencas del río Itata, río Bío-Bío, río Imperial, río Toltén, río Valdivia y río Bueno, comprendidas en las regiones del Bío-Bío, de la Araucanía, de Los Ríos y de Los Lagos (Figura 1).

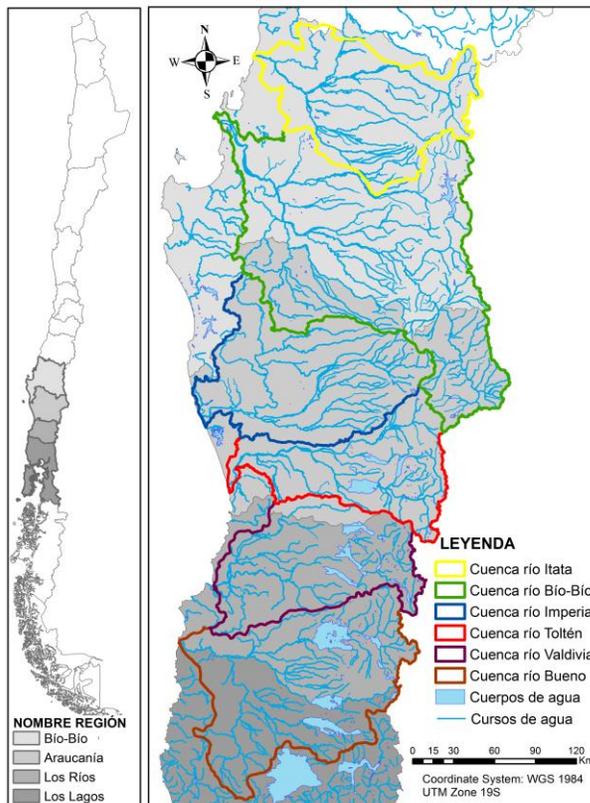


Figura 1. Regiones y cuencas comprendidas en el área de estudio

## 2.2 Descripción del área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo

### 2.2.1 Cuenca del río Itata

La cuenca del río Itata se encuentra entre los paralelos 36°12' y 37°16' latitud sur abarcando una superficie de 11.294 km<sup>2</sup>, ubicándose al norte de la cuenca del río Bío-Bío en la Región del Bío-Bío (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004a).

**2.2.1.1 Hidrografía:** Los principales ríos de la cuenca son el río Itata y el río Ñuble. El río Itata nace de la confluencia de los ríos Huépil y Cholguán, en el sector precordillerano de la comuna de Tucapel (500 m.s.n.m.). Recorre cerca de 85 km hasta la confluencia con el río Ñuble. Durante ese recorrido desembocan en él sus principales afluentes: río Trilaleo, Danicalqui, Diguillín y Larqui, cuyas nacientes se encuentran en la cordillera de Los Andes. Luego de la confluencia, desemboca en el Itata el río Lonquén, cuyas nacientes se encuentran en la cordillera de la Costa (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004a).

En cuanto al río Ñuble, su cuenca portante abarca una superficie de 5.097 km<sup>2</sup>, nace al oriente de los Nevados de Chillán en la cordillera de Los Andes. Sus principales afluentes son los ríos: Los Sauces, Chillán, Changatal y Cato (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004a).

Estos afluentes forman parte de una extensa red de ríos y esteros que aumentan en la depresión intermedia producto de la baja profundidad de los acuíferos, lo que permite zonas de surgencia formándose numerosos esteros, como se puede ver en la Figura 2.

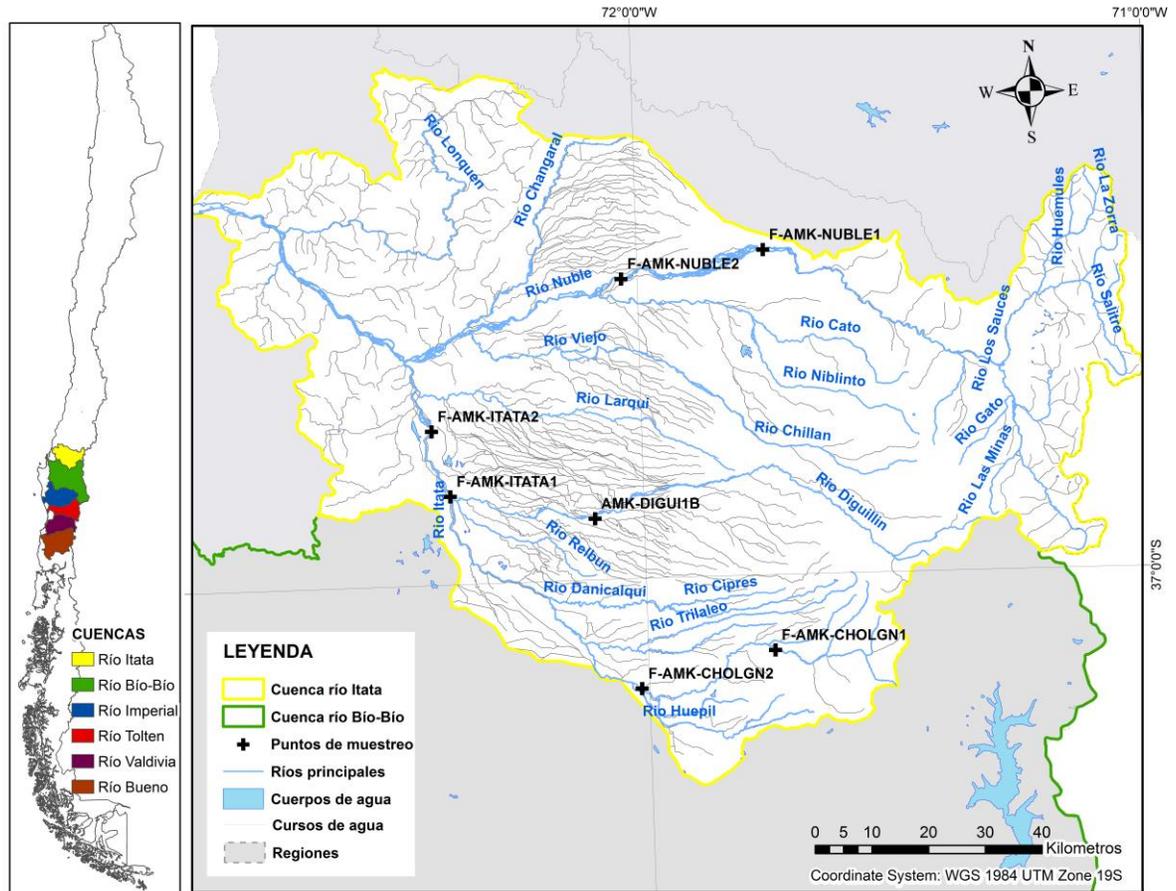


Figura 2. Red hídrica de la cuenca del río Itata junto con los puntos de muestreo de *D. geminata*

**2.2.1.2 Hidrología:** Esta cuenca presenta un régimen pluvial en su sección media y baja, por lo que los caudales elevados se concentran en invierno a causa de las lluvias. En años húmedos los caudales elevados se concentran en junio y julio, y los caudales menores se concentran entre enero y marzo. En cambio, en años secos, los caudales elevados se registran entre julio y septiembre, y los caudales bajos entre diciembre y marzo, aunque se observa una leve influencia nival proveniente de los deshielos en primavera (Villarroel, 2014; CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004a). Véase en el Anexo IV, la curva de variación estacional de la estación río Itata en General Cruz.

La sección alta de la cuenca, correspondiente a la parte alta del río Ñuble, presenta un régimen pluvio-nival, por lo que sus caudales mayores se concentran en invierno y en primavera a causa de las lluvias y de los deshielos, respectivamente. En años húmedos los caudales elevados se concentran entre los meses mayo-junio y octubre-noviembre, mientras que los caudales bajos se concentran entre febrero y abril. En cambio, en años secos, el régimen es nivo-pluvial, siendo el aporte de los deshielos más importante que el de las

lluvias (Villarroel, 2014; CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004a). Véase en el Anexo IV, la curva de variación estacional de la estación río Ñuble en San Fabián 2.

**2.2.1.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon siete puntos de muestreo, dos puntos ubicados en el río Ñuble, dos en el río Cholguán, dos en el río Itata y uno en el río Diguillín (Figura 2).

## **2.2.2 Cuenca del río Bío-Bío**

La cuenca del río Bío-Bío se encuentra entre los paralelos 36°42' y 38°49' latitud sur, en la Región del Bío-Bío y en la Región de la Araucanía, abarcando una superficie de 24.264 km<sup>2</sup> (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004b).

**2.2.2.1 Hidrografía:** Los principales ríos de la cuenca son el río Bío-Bío y el río Laja. El río Bío-Bío nace en la laguna Gualletué (1.160 m.s.n.m.) en la cordillera de Los Andes. Recorre 380 km antes de desembocar en el golfo de Arauco, próximo a la ciudad de Concepción. Durante su recorrido, en la cabecera del río, desembocan en él los ríos Lonquimay y Rehue, entre otros. Hacia la depresión intermedia, desembocan en él, principalmente, los ríos: Bureo, Duqueco, Vergara y Laja (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004b).

En cuanto al río Laja, es el afluente más importante del Bío-Bío, ya que drena una superficie de 4.040 km<sup>2</sup> y recorre una distancia de 140 km desde la Laguna del Laja (1.360 m.s.n.m.) hasta desembocar en el río Bío-Bío en la comuna de Laja. Su principal tributario, en la cabecera, es el río Polcura, el cual recorre 60 km desde su nacimiento (al norte de la laguna del Laja) hasta desembocar en el Laja. Ya en la depresión intermedia, desemboca en el Laja el río Claro, el cual nace en la depresión intermedia (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004b).



Consultores en Ingeniería, 2004b). Véase en el Anexo V, la curva de variación estacional de la estación río Vergara en Tijeral.

**2.2.2.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon 19 puntos de muestreo, 11 puntos ubicados en el río Bío-Bío, dos en los ríos Queuco y Laja, y uno en cada uno de los siguientes ríos: Ranquil Lonquimay, Liucura y Canicura (Figura 3).

### 2.2.3 Cuenca del río Imperial

La cuenca del río Imperial se encuentra en la Región de la Araucanía entre los paralelos 37°40' y 38°50' de latitud sur, ubicándose entre la cuenca del río Bío-Bío y la cuenca del río Tolten, abarcando una superficie de 12.763 km<sup>2</sup> (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004c).

**2.2.3.1 Hidrografía:** Los principales ríos de la cuenca son el Imperial, Quepe, Cholchol y Cautín. El río Imperial nace de la confluencia de los ríos Cautín y Cholchol en la comuna Nueva Imperial, ubicada en la sección media de la cuenca. El río tiene una longitud de 55 km y desemboca en el mar en las proximidades del límite comunal entre Saavedra y Carahue (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004c).

El principal tributario del río Imperial es el río Cautín, río que nace en las faldas de la cordillera Las Raíces en la comuna de Curacautín. Drena una superficie de 3.100 km<sup>2</sup> y recorre 174 km antes de desembocar en el río Imperial. Su principal afluente es el río Quepe, el cual nace a los pies del volcán Llaima y drena la parte sur de la cuenca recorriendo 112 km hasta desembocar en el río Cautín (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004c).

El río Cholchol drena una superficie de 6.180 km<sup>2</sup>, recorre la sección media de la cuenca captando las aguas de los ríos y esteros que vienen de la ladera oriente de la cordillera de Nahuelbuta, destacándose el río Lumaco por sus 80 km de largo, también, recibe las aguas que vienen del valle central y de la precordillera (río Panqueco y río Quillen). (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004c).

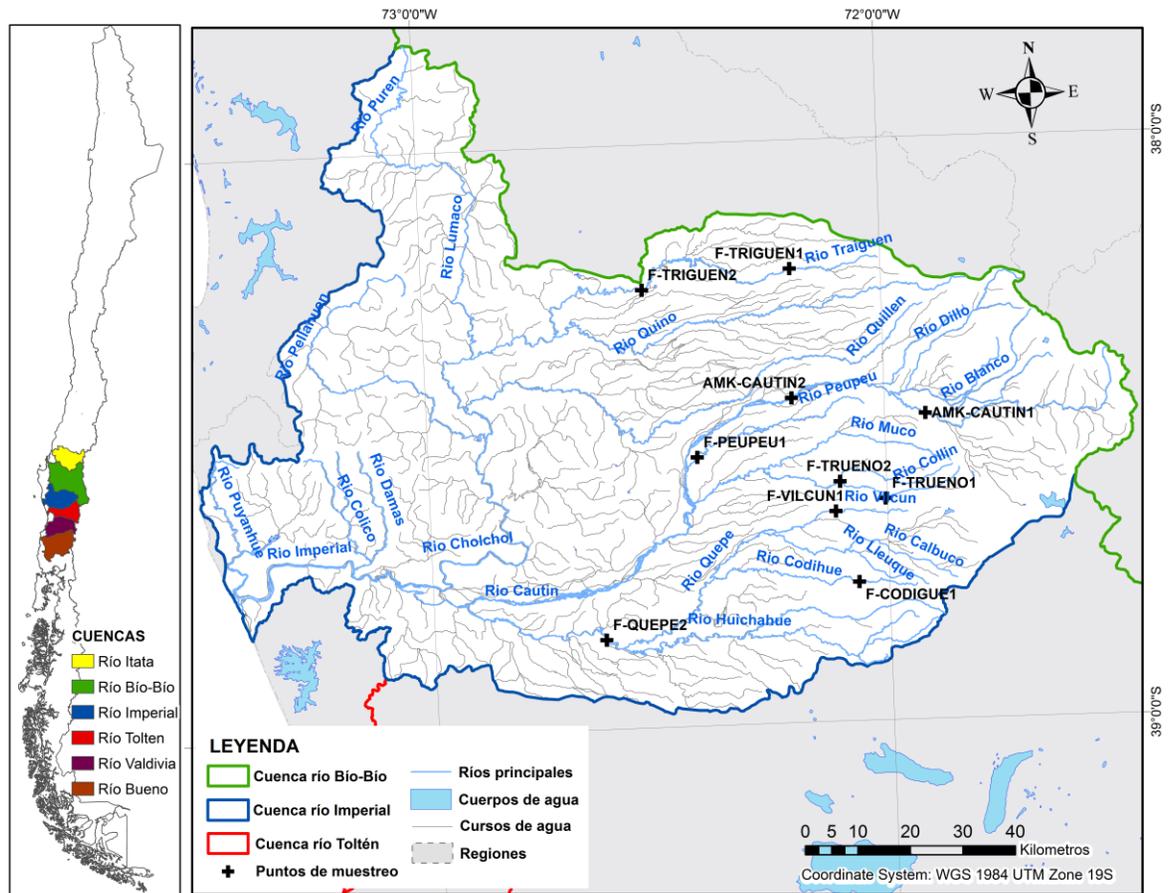


Figura 4. Red hídrica de la cuenca del río Imperial junto con los puntos de muestreo de *D. geminata*

**2.2.3.2 Hidrología:** Esta cuenca tiene un régimen pluvial en su totalidad, con excepción del río Cautín, el cual presenta un régimen pluvio-nival al drenar la sección más alta de la cuenca recibiendo aportes de los deshielos en primavera y de las lluvias en invierno. En años húmedos los mayores caudales se presentan en junio-julio y octubre, y los caudales bajos se registran entre enero y abril. En años secos, los mayores caudales se concentran desde junio a septiembre sin variaciones evidentes, y los caudales bajos se registran desde enero a mayo (Villarroel, 2014). Véase en el Anexo VI, la curva de variación estacional de la estación río Cautín en Rari-Ruca.

En los ríos con régimen pluvial, los mayores caudales se concentran en invierno debido al aumento de las precipitaciones, y los caudales bajos ocurren en verano. En años húmedos y secos, los máximos caudales se concentran entre junio y agosto. En años húmedos, los caudales mínimos se registran desde enero a abril. En años secos, los caudales bajos se registran desde diciembre hasta mayo (Villarroel, 2014). Véase en el Anexo VI, la curva de variación estacional de la estación río Quepe en Quepe.

**2.2.3.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon 10 puntos de muestreo, dos puntos en cada uno de los siguientes ríos: río Traiguén, río Cautín y río Trueno, y un punto cada uno de los siguientes ríos: Peu Peu, Codigue, Quepe y Vilcún (Figura 4).

#### **2.2.4 Cuenca del río Toltén**

La cuenca del río Toltén se encuentra en la Región de la Araucanía, entre los paralelos 38°40' y 39°40' de latitud sur, abarcando una superficie de 8.398 km<sup>2</sup>. Se encuentra entre la cuenca del río Imperial y la cuenca del río Valdivia (Figura 5) (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004d).

**2.2.4.1 Hidrografía:** La parte alta de esta cuenca se caracteriza por presentar abundantes lagos y lagunas destacándose el lago Villarrica, lago Caburga y lago Colico. Los principales ríos que recorren esta cuenca son el Toltén, Allipén, Danguil y Trancura.

El río Toltén nace en la desembocadura del lago Villarrica (230 m.s.n.m.) y recorre 123 km hasta desembocar en el mar. Su principal afluente es el río Allipén, el que nace de la confluencia del río Trifultruful y el río Zahuelhue, y se une al río Toltén en la comuna de Pitrufulquen. El río Allipén tiene una extensión de 108 km y drena una superficie de 2.325 km<sup>2</sup>. Éste también recibe las aguas del lago Colico a través del río Curaco.

A la altura de comuna de Freire el río Toltén recibe las aguas del río Danguil, el cual recibe las aguas del río Puyehue. Aguas abajo de esta intersección, las aguas del río Mahuidanche se suman al río Toltén (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004d).

El lago Villarrica es el de mayor envergadura en la cuenca, recibe las aguas del río Pucón, el que a su vez recibe las aguas del río Liucura, río Desagüe (efluente del lago Caburga), río Maichín y río Trancura.

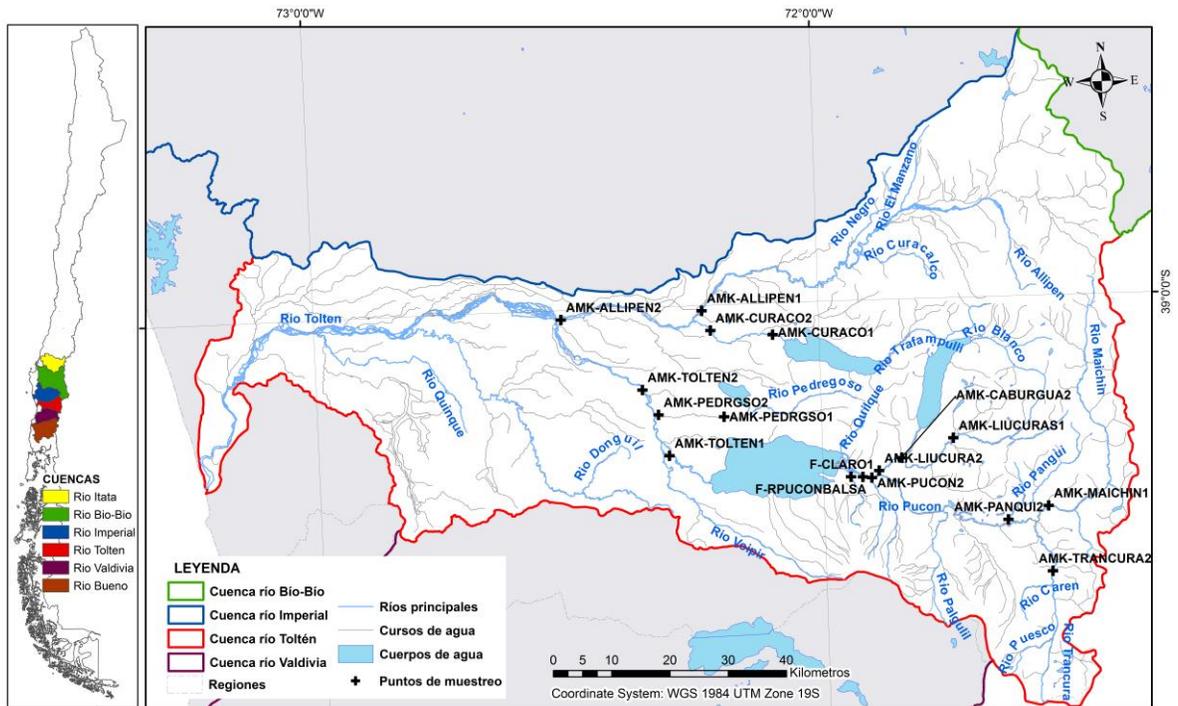


Figura 5. Red hídrica de la cuenca del río Toltén junto con los puntos de muestreo de *D. geminata*

**2.2.4.2 Hidrología:** En la sección baja de la cuenca los caudales son de régimen pluvial, con una amortiguación de los caudales por el efecto del lago Villarrica, y en la sección alta son de régimen pluvio-nival. Este último se caracteriza por presentar caudales elevados en invierno y en primavera debido a las lluvias de invierno y a los deshielos de primavera. En años húmedos, los mayores caudales se concentran entre mayo y julio, y en octubre ocurren *peaks* a causa de los deshielos, en cambio, los caudales bajos se registran desde enero a marzo. En años secos, los caudales elevados se concentran desde junio hasta septiembre (sin variaciones importantes), y los caudales bajos se registran desde diciembre hasta mayo (Villaruel, 2014; CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004d). Véase en el Anexo VII, la curva de variación estacional de la estación río Liucura en Liucura.

Los caudales de régimen pluvial registran sus mayores caudales en invierno debido al aumento de las precipitaciones. En años húmedos, los caudales de mayor magnitud se concentran entre junio y agosto, y los caudales de menor magnitud, se registran entre enero y abril. En cambio, en años secos, los máximos caudales se encuentran entre junio y septiembre, y los caudales bajos, entre diciembre y mayo (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004d). Véase en el Anexo VII, la curva de variación estacional de la estación río Toltén en Teodoro Schmidt.

**2.2.4.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon 17 puntos de muestreo, dos puntos ubicados en cada uno de los siguientes ríos: Pucón, Toltén, Curaco, Liucura, Pedregoso y Allipén; y un punto en cada uno de los siguientes ríos: Trancura, Claro, Caburgua, Panqui y Maichín (Figura 5).

## **2.2.5 Cuenca del río Valdivia**

La cuenca del río Valdivia se encuentra, principalmente, en la Región de Los Ríos, ya que una parte de ésta pertenece a la Región de la Araucanía. La cuenca en cuestión se emplaza entre los paralelos 39°20' y 40°10' de latitud sur, entre las cuencas del río Toltén y río Bueno. Es una cuenca trasandina, puesto que una parte de ésta se encuentra en Argentina. En Chile, comprende una superficie de 10.275 km<sup>2</sup> (Figura 6) (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004e).

**2.2.5.1 Hidrografía:** En la parte alta de la cuenca se encuentran grandes lagos, la mayoría interconectados entre sí. El lago Laca (Argentina) desagua en el río Huahum, afluente del lago Pirihueico. Éste lago desagua en el río Fuy, el que confluye con el río Neltume (desagüe del lago Neltume) generando al río Llanquihue. El río Llanquihue es afluente del lago Panguipulli, el que desagua en el río Enco, afluente del lago Riñihue. El lago Riñihue desagua en el río San Pedro, el que más agua abajo origina al río Calle Calle.

Los principales ríos de esta cuenca son el Calle Calle, Cruces y Valdivia. El río Calle Calle se origina en la confluencia de los ríos Quinchilca y San Pedro. El río Cruces se origina en el desagüe del lago Calafquén, el que recibe las aguas de los esteros que se forman en la vertiente sur del volcán Villarrica. El río cruces recorre 125 km hasta confluir con el río Calle Calle, originando al río Valdivia, este último recorre 15 km hasta desembocar en el mar (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004e).

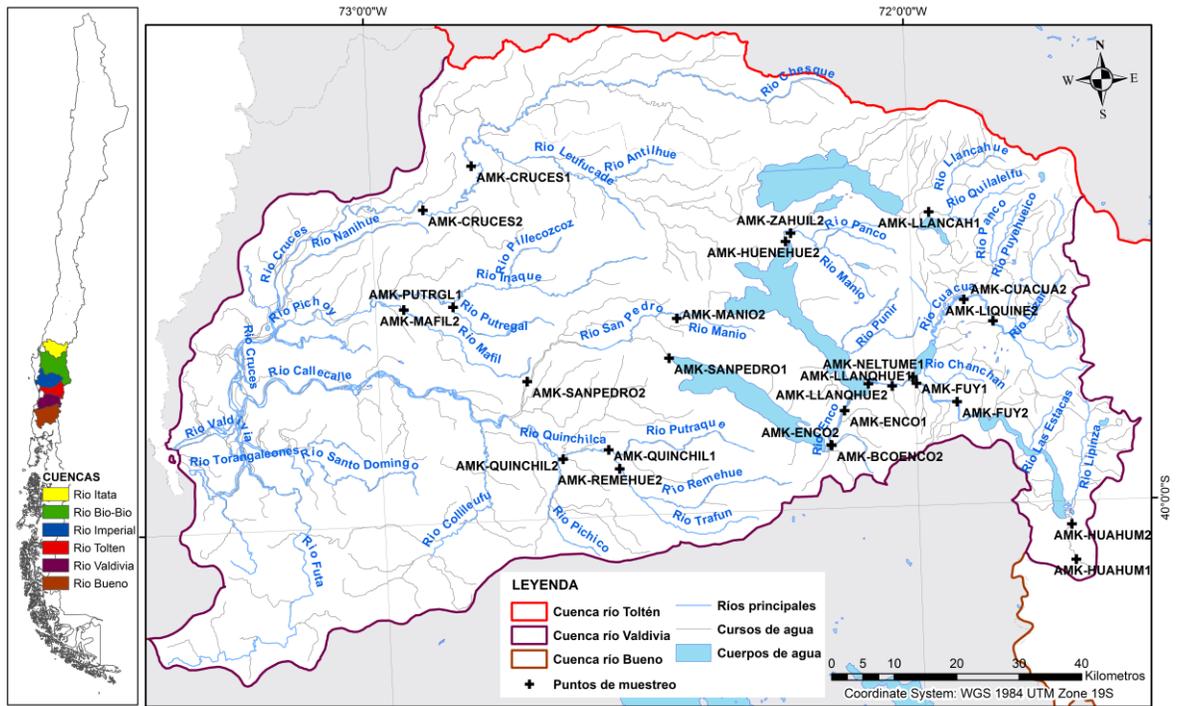


Figura 6. Red hídrica de la cuenca del río Valdivia junto con los puntos de muestreo de *D. geminata*

**2.2.5.2 Hidrología:** Los ríos que drenan la sección alta de la cuenca presentan un régimen pluvio-nival, producto del aumento de las precipitaciones (lluvia) en invierno y de los deshielos en primavera. En años húmedos, los mayores caudales se concentran entre junio-agosto, y en octubre (*peak* de primavera). Los caudales bajos se registran desde enero a marzo. En cambio, en años secos, los caudales mayores se concentran en junio y disminuyen gradualmente hasta octubre, mientras que los caudales bajos se registran desde diciembre a mayo (Villarroel, 2014). Véase en el Anexo VIII, la curva de variación estacional de la estación río Liquiñe en Liquiñe.

Los ríos que presentan un régimen pluvial, concentran sus mayores caudales en invierno debido al aumento de las precipitaciones (lluvia). En los años húmedos, las mayores magnitudes de los caudales se concentran entre junio y agosto, y las menores magnitudes entre enero y abril. En años secos, los mayores caudales se registran en julio-agosto, y los caudales menores entre diciembre y mayo (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004e). Véase en el Anexo VIII, la curva de variación estacional de la estación río Cruces en Rucaco.

**2.2.5.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon 25 puntos de muestreo, tres puntos en el río Enco, dos puntos en cada uno de los siguientes ríos: Llanquihue, Enco, Huahum, Fuy, San Pedro y Quinchilca, y un punto en cada uno de los siguientes ríos:

Remehue, Mañío, Huenehue, Zahuil, Mafil, Neltume, Liquiñe, Iñaque, Llancahue y Cuacua (Figura 6).

### 2.2.6 Cuenca del río Bueno

La cuenca del río Bueno se encuentra en la Región de Los Ríos y en la Región de Los Lagos, entre los paralelos 39°50' y 41°05' de latitud sur, al sur de la cuenca del río Valdivia. Abarcando una superficie de 15.367 km<sup>2</sup> (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004f).

**2.2.6.1 Hidrografía:** la cuenca contiene a tres grandes lagos: el lago Ranco (70 m.s.n.m.), el lago Puyehue (212 m.s.n.m.) y el lago Rupanco (141 m.s.n.m.). De éstos, el lago Ranco es el de mayor envergadura, su principal afluente es el río Calcurrepe el cual desagua al lago Maihue. El río Nilahue junto con el río Cunahue también son afluentes importantes de este lago (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004f).

El río Bueno es el efluente del lago Ranco, recibe sus mayores aportes a través del río Rahue y del río Pilmaiquén, para luego desembocar en el mar tras recorrer 130 km.

El río Rahue nace en el lago Rupanco, y llega al río Bueno tras recorrer 120 km, aportando sus aguas 40 km antes de que el río Bueno desemboque en el mar. El río Rahue drena una superficie importante de la parte sur de la cuenca, recibe las aguas del río Negro en la comuna de Río Negro (110 km de extensión), del río Damas en Osorno, y del río Coihueco (80 km de extensión) cerca de la localidad de Cancura, en la comuna de Osorno (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004f).

El lago Puyehue (212 m.s.n.m.) desagua en el río Pilmaiquén, el que tras recorrer 69 km aporta sus aguas al río Bueno a la altura de la localidad de Trumao (CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004f).

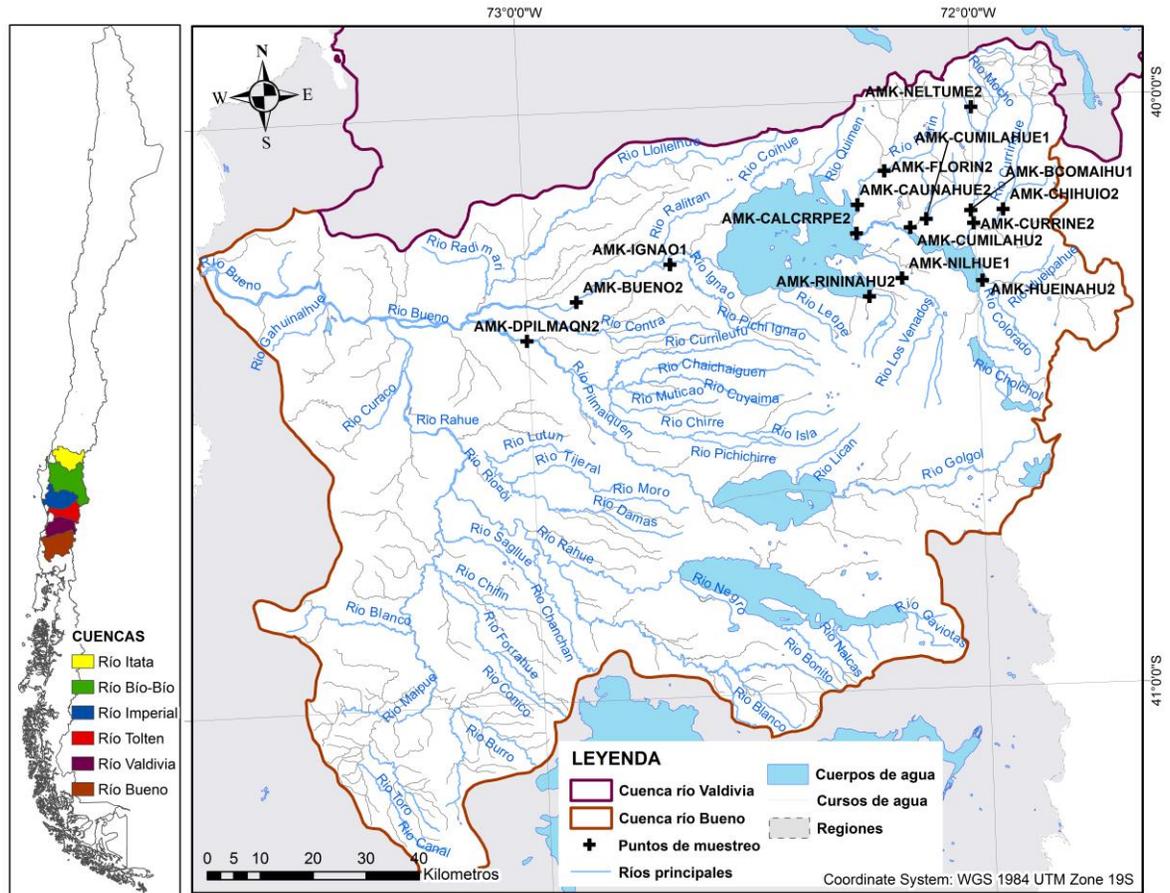


Figura 7. Red hídrica de la cuenca del río Bueno junto con los puntos de muestreo de *D. geminata*

**2.2.6.2 Hidrología:** La sección alta de la cuenca, en donde se encuentran los afluentes de los lagos y el río Coihueco, presenta un régimen pluvio-nival, registrándose los mayores caudales en invierno y primavera. En años húmedos las lluvias de invierno hacen que los mayores caudales se concentren desde junio hasta agosto, y producto de los deshielos los caudales incrementan entre octubre y diciembre, ya en febrero-marzo se concentran los menores caudales. En cambio, en años secos, los menores caudales se concentran entre enero y mayo (Villarroel, 2014; CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004f). Véase la curva de variación estacional de la estación fluviométrica río Calcarrupe en desembocadura, ubicada en la desembocadura del lago Ranco (Anexo IX)

Las partes media y baja de la cuenca presentan un régimen pluvial con regulación lacustre, registrándose los máximos caudales en invierno y los mínimos caudales en verano. En los años húmedos, los caudales máximos se concentran entre junio y agosto, y van disminuyendo paulatinamente hasta sus magnitudes más bajas, entre enero y marzo. En cambio, en años secos, las magnitudes elevadas se concentran entre junio y septiembre, y los menores, entre diciembre y mayo (Villarroel, 2014; CADE IDEPE Consultores en

Ingeniería, 2004f). Véase la curva de variación estacional de la estación fluviométrica río Pilmaiquén en San Pablo, ubicada en la parte baja del río (Anexo IX).

**2.2.6.3 Puntos de muestreo:** En esta cuenca se muestrearon 15 puntos de muestreo, dos puntos ubicados en el río Curinilahue, y un punto en cada uno de los siguientes ríos: Bueno, Pilmaiquén, Chico, Blanco, Ignao, Riñinahue, Chihuio, Hueinahue, Pillanleufu, Caunahue, Nilahue, Calcurrupe y Florin (Figura 7).

### 2.3 Régimen de muestreo

En la selección de los puntos de muestreo se buscó maximizar la probabilidad de encontrar *D. geminata*, por lo que se le dio prioridad a los sitios con presencia de mucosidad algal sospechosa (Amkaik-EcoHyd, 2014a).

El proyecto FIP contempló dos campañas de muestreo, una en primavera tardía, desde el 14 de noviembre hasta el 13 de diciembre del 2013, y otra en otoño, desde el 7 al 30 de mayo del 2014, en las que se prospectaron 92 puntos de muestreo (Anexo I). En estas campañas se realizó el muestreo de: perifiton, diatomeas bentónicas, fitoplancton y macroinvertebrados bentónicos. Además, se realizó una caracterización física del tramo del río muestreado (tipo de sustrato y temperatura), un análisis químico del agua (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y nutrientes), y por último, se midieron variables hidráulicas (velocidad superficial, media y de fondo de la corriente de agua, y se registró la profundidad de la columna de agua) (Amakaik-EcoHyd, 2014a).

### 2.4 Metodología de muestreo

Para obtener los datos de densidad de *D. geminata*, cobertura y espesor algal (crecimiento algal) se utilizó el Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata* (Díaz et al., 2012).

#### 2.4.1 Densidad de *D.geminata*

En cada punto de muestreo, se escogieron aleatoriamente cinco rocas (unidades de sustrato de río tipo canto rodado) que estuviesen distantes entre sí a lo largo de un tramo de 50 o 25 metros. Se raspó, con un cepillo, una superficie de 4 cm<sup>2</sup> a cada roca, depositando en un

frasco el material raspado, conformando así una muestra integrada de perifiton. Posteriormente la muestra se fijó con lugol (Amakaik-EcoHyd, 2014a).

En laboratorio, se extrajo 1 ml de la muestra de perifiton y se depositó en una cámara Sedgewick-Rafter. Luego, se contaron las microalgas por transectos o cuadrículas de 1 microlitro hasta contar 100 individuos de la especie más abundante, pero sin superar los 300 campos. Los resultados de perifiton se expresaron en células·mm<sup>-2</sup> para cada especie de microalga, siendo considerado en el cálculo el respectivo factor de dilución o concentración (Amakaik-EcoHyd, 2014a).

#### 2.4.2 Cobertura algal

La cobertura de *Didymo* es una descripción visual realizada en terreno y en cada punto de muestreo, basada en el porcentaje de la superficie del sustrato visible (hacia el centro del río y hasta los 60 cm de profundidad) cubierta por microalgas, confirmándose en laboratorio la presencia de *D. geminata*. Los porcentajes se agruparon en cinco categorías (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de clasificación de la cobertura algal

Categoría	Rangos	Valor
Pequeñas colonias	< 10%	1
Mediana	10%-30%	2
Alta	30%-80%	3
Muy Alta	80%-100%	4
Ausente	0%	5

Fuente. Amakaik-EcoHyd, 2014a

#### 2.4.3 Espesor algal

El espesor o crecimiento algal es una descripción visual realizada en terreno, que agrupa en cuatro categorías el grosor de cualquier crecimiento algal visible (hacia el centro del río y hasta los 60 cm de profundidad), confirmándose en laboratorio la presencia de *D. geminata*. Las categorías de espesor son las siguientes: Inicial (film), Mediana (< 2 cm), Alta (> 2 cm) y Ausente (Figura 8) (Amakaik-EcoHyd, 2014a).



Figura 8. Ejemplos de las categorías de espesor algal. A: Inicial; B: Mediana y C: Alta  
Fuente. Díaz et al., 2012 y modificado de Amakaik-EcoHyd, 2013

#### 2.4.4 Muestreo de parámetros físico-químicos e hidráulicos

La temperatura ( $T^{\circ}$ ), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno disuelto (OD) y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%OD) se midieron *in-situ* con una sonda multipamétrica HANNA modelo HI 9828. También, se recogieron muestras de agua para estimar la cantidad de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), fosfato orgánico ( $\text{PO}_{40}$ ) e inorgánico ( $\text{PO}_{4i}$ ), fósforo orgánico (Po) e inorgánico (Pi), silicato ( $\text{SiO}_2$ ), calcio (Ca) y hierro en el agua (Fe), las que fueron enviadas al laboratorio ANAM para su análisis, de acuerdo a "Standard Methods for Examination of Water & Wastewater" (APHA, 2005).

En cada punto de muestreo se midió la velocidad de fondo, de superficie y media de la columna de agua, ésta última, a través del método de los tres puntos (Whiting, 2003). Se midió la velocidad con un molinete digital modelo FP-101, cuyo rango de medición va de  $0 \text{ m s}^{-1}$  a  $4,5 \text{ m s}^{-1}$ . También, se registró la profundidad (cm) de la columna de agua, medida con una barra metálica graduada.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

De aquí en adelante, cuando se haga referencia a la abundancia de *D. geminata*, se referirá a las variables de densidad de *D. geminata*, cobertura y espesor algal, puesto que, la densidad es una variable cuantitativa y, el espesor y cobertura algal son variables descriptivas.

#### 3.1 Analizar la influencia de los caudales mínimos anuales sobre el establecimiento de *D. geminata*

Este objetivo específico va orientado a determinar si la ausencia o presencia de *D. geminata* en los puntos de muestreo se debe, en parte, a la magnitud y frecuencia de ocurrencia de los caudales mínimos.

Primeramente, se identificaron los caudales mínimos anuales para las estaciones fluviométricas que Villarroel (2014) asoció a 46 de los 92 puntos de muestreo (Anexo 2).

Se descargaron los registros de caudales medios diarios históricos de las estaciones fluviométricas desde la plataforma web de la Dirección General de Aguas (DGA, <http://www.dga.cl/>). Luego, se obtuvieron las series de caudales mínimos anuales para cada estación, las que posteriormente se ajustaron a una función de distribución de probabilidades (Normal, Log. Normal, Gamma, Weibull, Gumbel, Log. Pearson Tipo III y General Extreme Value), escogiendo aquella que se ajustó mejor a los datos según el test de bondad de ajuste Chi Cuadrado. Los procedimientos de ajuste se realizaron empleando el software R 3.1.2.

Con las respectivas funciones de distribución de probabilidades se obtuvieron las magnitudes de los caudales mínimos asociadas a periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años. Luego, estas magnitudes fueron divididas por el caudal medio anual histórico respectivo, con el fin de poder aplicar el test de Kruskal-Wallis, para determinar diferencias significativas entre las medias de los grupos de puntos en que se detectó *D. geminata* y en los que no se detectó, asociado a cada periodo de retorno (2, 5, 10 y 20 años).

Se construyeron gráficas de cajas y bigotes (en el software R) para representar visualmente los resultados del test de Kruskal-Wallis.

### 3.2 Analizar la variación temporal de la abundancia de *D. geminata* en los puntos de muestreo

Este objetivo específico está orientado en describir el comportamiento de las variables de abundancia inter e intra campaña de muestreo, tanto por cuenca, como por punto de muestreo.

La variación temporal de la abundancia se entiende como la diferencia evidenciada en las variables de densidad, cobertura y espesor, en cada punto de muestreo, entre ambas campañas (Ecuación 1.).

$$\Delta v = v_{otoño} - v_{primavera}$$

Ecuación 1. Variación temporal de la variable evaluada

Donde,

$v$  : valor de las variables en observación pudiendo ser densidad, cobertura o espesor

Para realizar el análisis de la variación temporal de la abundancia se utilizaron los datos de estas tres variables obtenidos en ambas campañas (primavera 2013 y otoño 2014), y disponibles en la base de datos de SERNAPESCA.

De los 92 puntos de muestreo (Anexo I) se consideraron solo aquellos puntos en los que se detectó *D. geminata* viable durante la campaña de primavera, totalizando 20 puntos de muestreo (Anexo X). Para efectos del análisis, los datos con densidad igual a cero durante la campaña de otoño, se reemplazaron por el mínimo valor detectable, 0,0071618 cel mm<sup>-2</sup>. Este valor corresponde al menor dato de densidad, de cualquier diatomea, registrado en todas las campañas de prospección y monitoreo de *D. geminata* realizadas en Chile. Esto se justifica debido a la alta persistencia en el tiempo y difícil erradicación de la diatomea de los sistemas acuáticos (Flöder y Kilroy, 2009), por lo que, al no ser detectable una célula viable no indica, necesariamente, que la diatomea se haya erradicado del punto de muestreo.

Los valores de cobertura y espesor se reclasificaron para respetar un orden lógico y jerárquico, como se muestra a continuación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tabla de reclasificación de los valores de cobertura y espesor algal

Espesor			Cobertura		
Categorías	Antes	Ahora	Categorías	Antes	Ahora
Inicial	1	1	Pequeñas colonias	1	1
Mediana	2	2	Mediana	2	2
Alta	3	3	Alta	3	3
Ausente	4	0	Muy alta	4	4
			Ausente	5	0

Fuente. Modificado con base en Amakaik-EcoHyd, 2014a

El análisis se llevó a cabo con el apoyo de gráficos que evidenciaron las variaciones entre ambos muestreos para las tres variables, y también, se incluyeron diagramas unifilares de los ríos para otorgar una referencia espacial de la localización de los puntos de muestreo en las cuencas respectivas, desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis a las variables de abundancia para determinar si hubo diferencias significativas entre ambos muestreos. A su vez, se aplicaron las medidas de tendencia central (media y mediana) a los valores de densidad de la diatomea obtenidos en las cuencas del río Bío-Bío y Valdivia. Se excluyó la cuenca del río Toltén ya que, solo posee un punto con presencia de *D. geminata*. Y las cuencas restantes (Itata, Imperial y Bueno) también se excluyeron al no presentar *D. geminata*.

### 3.3 Analizar la variación temporal de las variables fisicoquímicas e hidráulicas en los puntos con *D. geminata*

Este objetivo está orientado en describir las variaciones de los datos fisicoquímicos e hidráulicos entre ambos periodos de muestreo.

Para observar si hubo cambios significativos entre los muestreos de primavera y de otoño, se aplicó el test estadístico no paramétrico de Kruskal Wallis a los datos de las variables fisicoquímicas e hidráulicas de ambos muestreos, considerando los 20 puntos de muestreo con *D. geminata*.

Para describir la distribución de los valores de las variables en cada muestreo se aplicó la mediana a los 20 puntos de muestreo, como medida de la tendencia central de los datos.

### 3.4 Caracterizar el régimen de caudales en los puntos de muestreo con *D. geminata*

Este objetivo está orientado en describir el comportamiento del caudal antes de cada muestreo, en los puntos con presencia de *D. geminata*.

De las estaciones fluviométricas que Villarroel (2014) asoció a cada punto de muestreo (42 puntos de un total de 92), se seleccionaron aquellas estaciones cuyo hidrograma de caudales medios diarios es representativo de los caudales en el punto de muestreo respectivo. Para esto, se empleó el software ArcGIS 10 en donde se visualizaron espacialmente:

- la red de estaciones fluviométricas,
- los puntos de muestreo con presencia de *D. geminata*,
- la red hidrográfica, y
- los cuerpos de agua del área de estudio.

La asignación de las estaciones fluviométricas a cada punto de muestreo se realizó según los siguientes criterios:

1. Vigencia: se utilizaron aquellas estaciones vigentes al momento de ambos muestreos.
2. Pertenencia al río: la estación pertenece al mismo río que el punto de muestreo.
3. Afluentes importantes: ausencia de afluentes importantes en los tramos comprendidos entre la estación y el punto de muestreo, como lagos y lagunas, ya que éstos actúan regulando el caudal, por lo que alterarían los respectivos hidrogramas. Así también, con la presencia de sub-cuencas que drenen una superficie que, potencialmente, pueda alterar las magnitudes de los caudales en los hidrogramas.

Si una estación fluviométrica no cumplió con los criterios antes mencionados se procedió a eliminar el punto de muestreo del análisis.

Una vez que se asociaron las estaciones a los respectivos puntos de muestreo, se descargaron los registros de caudales medios diarios de la plataforma de la DGA, considerando la misma cantidad de días previo a cada muestreo (días transcurridos entre ambos muestreos).

La caracterización del régimen de caudales antes de cada muestreo se realizó en base a los componentes de éste: magnitud de los caudales, tasas de cambio, frecuencia de ocurrencia, duración, predictibilidad o estacionalidad, ya que éstos son los componentes del paradigma del régimen natural de caudales (Poff et al., 1997).

### 3.4.1 Magnitud

La magnitud de los caudales para cada punto de muestreo se caracterizó a través de las siguientes variables:

- 1) Caudal medio anual histórico, estimado por Villarroel (2014).
- 2) Caudal medio diario de los días previos a cada muestreo.
- 3) Caudal máximo diario antes de cada muestreo (indicando la cantidad de días previos al muestreo).
- 4) Caudal mínimo diario antes de cada muestreo (indicando la cantidad de días previos al muestreo).

### 3.4.2 Tasas de cambio

Las tasas de cambio de los caudales, como una aproximación de la brusquedad con que varían los caudales (Poff et al., 1997), se caracterizaron a través de las siguientes variables:

- 1) Tasas diarias de cambio en relación al caudal medio del día anterior (Ecuación 2).

$$TC_{di} = \frac{Q_i - Q_{i-1}}{Q_{i-1}}$$

Ecuación 2. Fórmula de la tasa diaria de cambio

Donde,

$TC_{di}$  : Tasa diaria de cambio del día  $i$

$Q_i$  : Caudal medio diario registrado el día  $i$  [ $m^3 s^{-1}$ ]

$Q_{i-1}$  : Caudal medio diario registrado el día  $i - 1$  [ $m^3 s^{-1}$ ]

- 2) Tasas diarias de cambio en relación al caudal medio anual en los días previos a cada muestreo (Ecuación 3).

$$TC_{ai} = \frac{|Q_i - Q_{i-1}|}{Q_{anual}}$$

Ecuación 3. Tasa de cambio diaria en relación al caudal medio anual

Donde,

$TC_{ai}$  : Tasa diaria de cambio del día  $i$

$Q_i$  : Caudal medio diario registrado el día  $i$  [ $m^3 s^{-1}$ ]

$Q_{i-1}$  : Caudal medio diario registrado el día  $i - 1$  [ $m^3 s^{-1}$ ]

- 3) Máxima variación de los caudales previo a cada muestreo, indicando desde que día los caudales empezaron a aumentar considerablemente, hasta el día en que los caudales empezaron a disminuir.

### **3.4.3 Frecuencia de ocurrencia**

La frecuencia de ocurrencia de caudales máximos y mínimos, como una aproximación a la frecuencia con que ocurren eventos extremos asociados a caudales máximos y mínimos con periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años.

Se asociaron los caudales en estudio a los periodos de retorno más cercanos, tanto para caudales máximos (estimados por Villarroel, 2014), como para caudales mínimos (estimados en el ítem 3.1). A su vez, se contabilizaron los días transcurridos entre la ocurrencia de estos caudales extremos y el día en que se realizaron los muestreos respectivos.

### **3.4.4 Predictibilidad o estacionalidad**

La predictibilidad, como una descripción de la regularidad con que se distribuyen las magnitudes de los caudales en el año, así los caudales elevados concentrados en los meses de invierno y los caudales bajos en los meses de verano indican una alta predictibilidad.

### **3.4.5 Duración**

La duración, entendida como la cantidad de días en que los caudales superaron la media anual antes de cada muestreo.

Se construyeron los hidrogramas de caudales medios diarios considerando el periodo de tiempo transcurrido antes del primer muestreo y entre ambos muestreos para cada punto de muestreo, con el fin de visualizar los caudales medios diarios, los caudales mínimos y máximos asociados a sus respectivos periodos de retorno, la densidad de *D. geminata*, la cobertura y el espesor algal.

### 3.5 Identificar parámetros hidrológicos y variables fisicoquímicas e hidráulicas que influyan sobre la abundancia de *D. geminata*

Para evidenciar alguna relación entre las variables estudiadas (fisicoquímicas, hidráulicas e hidrológicas) y la densidad de *D. geminata*, se emplearon Modelos Lineales Generalizados (GLM) y, posteriormente, se empleó el Criterio de Información de Akaike (AIC) para escoger el mejor modelo. Para desarrollar lo anteriormente expuesto, se utilizó el software R 3.1.2.

Para poder emplear los GLM se aplicó el logaritmo natural a la densidad de *D. geminata*, ya que de esta forma se pudo obtener una distribución normal de los datos.

Los modelos candidatos para el análisis de Modelos Lineales Generalizados (GLM) se construyeron en función de una y de dos variables. No se combinaron en el mismo modelo las variables cuyo coeficiente de correlación lineal fue mayor a 0,7 ( $r^2 > 0,7$ ). Para escoger el o los modelos candidatos más significativos y robustos se utilizaron los valores más bajos del Criterio de Información de Akaike (AIC).

Cabe señalar que el Criterio de Información de Akaike sirve para comparar la plausibilidad relativa de un conjunto de modelos candidatos. Mientras más bajo es el AIC, más plausible es el modelo en cuestión, es decir, que los datos modelados se ajustan mejor a los datos introducidos (reales) que los otros modelos (Burnham y Anderson, 2002).

Según Burnham y Anderson (2002) los modelos candidatos más plausibles, empíricamente, son aquellos que presentan un delta AICc < 2. En cambio, en los modelos cuyo delta AIC varía entre 4 y 7 el nivel de robustez o parsimonia es considerablemente menor.

Las 25 variables que se incluyeron en el análisis fueron las siguientes:

#### A. Físico químicas

Temperatura ( $T^\circ$ ), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%OD), fosfato orgánico (PO<sub>4o</sub>) e inorgánico (PO<sub>4i</sub>), fósforo orgánico (Po) e inorgánico (Pi), fosfato total (PO<sub>4t</sub>) y fósforo total (P<sub>tot</sub>), silicato (SiO<sub>2</sub>), calcio (Ca), hierro (Fe). La concentración de nitrato (NO<sub>3</sub>) y de nitrito (NO<sub>2</sub>) se excluyó del análisis ya que sus valores se mantuvieron prácticamente iguales en ambos muestreos.

#### B. Hidráulicas

Velocidad de fondo, velocidad superficial, velocidad media y profundidad.

#### C. Hidrológicas

Número de días en que el caudal sobrepasó la media anual, caudal medio de los 5, 15 y 30 días precedentes a los muestreos, media de las tasas diarias de cambio de los caudales que

aumentaron diariamente (a los 5, 15 y 30 días pre-muestreo) (Ecuación 4), media de las tasas diarias de cambio de los caudales que disminuyeron diariamente (a los 5, 15 y 30 días pre-muestreo) (Ecuación 5).

El límite de los 30 días se consideró suficiente puesto que, Kirkwood et al. (2007) sugieren que 30 días desde que la *Didymo* es removida es suficiente para que ésta vuelva a formar floraciones algales.

$$\frac{\sum_{i=1}^N TC_{di}}{N}$$

Ecuación 4. Media de las tasas diarias de cambio positivas

Donde,

$TC_{di}$  : Tasa diaria de cambio del día  $i$ ,  $> 0$

$N$  : Número de días en que  $TC_d > 0$

$$\frac{\sum_{i=1}^N |TC_{di}|}{N}$$

Ecuación 5. Media de las tasas diarias de cambio negativas

Donde,

$TC_{di}$  : Tasa diaria de cambio del día  $i$ ,  $< 0$

$N$  : Número de días en que  $TC_d < 0$

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Analizar la influencia de los caudales mínimos anuales sobre el establecimiento de *D. geminata*

Las magnitudes de los caudales mínimos asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años se muestran en el Apéndice I. Para los puntos de muestreo Fuy 1 y Fuy 2 no se pudo ajustar una función de distribución de probabilidades para la serie de caudales mínimos anuales, por lo que el análisis se realizó con 44 puntos de muestreo.

#### 4.1.1 Caudal mínimo para un periodo de retorno de dos años

Al aplicar el test de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor de  $p$  igual a 0,827 por lo que, no se obtuvo una relación significativa ( $p > 0,05$ ) entre los caudales mínimos anuales de los puntos de muestreo con presencia y con ausencia de *D. geminata*, por lo que no existe evidencia estadísticamente significativa que permita rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ : las muestras provienen de poblaciones con la misma mediana o de la misma población). Entonces, de acuerdo con esto, no se puede afirmar que la presencia o ausencia de *D. geminata* está determinada por la magnitud de los caudales mínimos para periodos de retorno de dos años ( $T=2$ ).

En el gráfico de cuartiles (Figura 9) se aprecia que ambas muestras tienen la misma mediana, corroborándose los resultados obtenidos en el test de Kruskal Wallis. A su vez, se observa que la relación entre los caudales mínimos y el caudal medio (en adelante, valores) obtenidos en presencia de *D. geminata* son menos variables que los valores en ausencia de ella, puesto que sus valores se distribuyeron en un rango más acotado (entre 0,1 y 0,2 unidades) en comparación al rango de los valores obtenidos en ausencia *D. geminata*, entre 0 y 0,5 unidades.

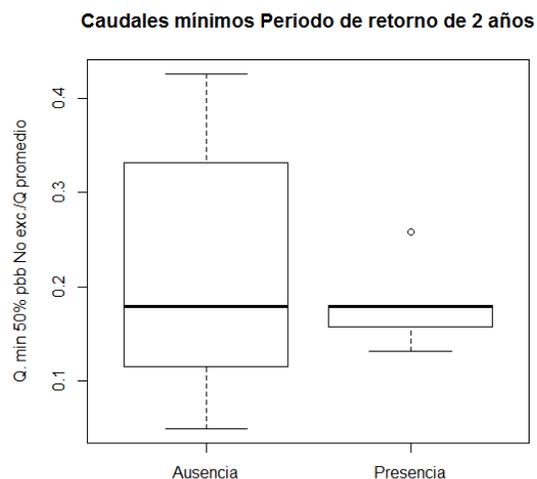


Figura 9. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de dos años (50% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio)

#### 4.1.2 Caudal mínimo para un periodo de retorno de cinco años

Al aplicar el test de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor de  $p$  igual a 0,918 por lo que, no se obtuvo una relación significativa ( $p > 0,05$ ) entre los caudales mínimos anuales y la presencia o ausencia de *D. geminata*, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa que permita rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, la mediana de los caudales mínimos de ambas muestras (presencia y ausencia de *D. geminata*) no son significativamente diferentes. Entonces, de acuerdo con esto, no se puede afirmar que la presencia o ausencia de *D. geminata* está determinada por la magnitud de los caudales mínimos con un periodo de retorno de cinco años.

En el gráfico de cuartiles (Figura 10) se aprecia que ambas muestras tienen la misma mediana, corroborándose los resultados obtenidos en el test de Kruskal Wallis. A su vez, se observa que los valores obtenidos en presencia de *D. geminata* son menos variables que los valores en ausencia de ésta, puesto que los valores de la primera (presencia) se distribuyen en un rango más acotado (entre 0,1 y 0,16 unidades) en comparación al rango de los valores de la segunda (ausencia), entre 0 y 0,35.

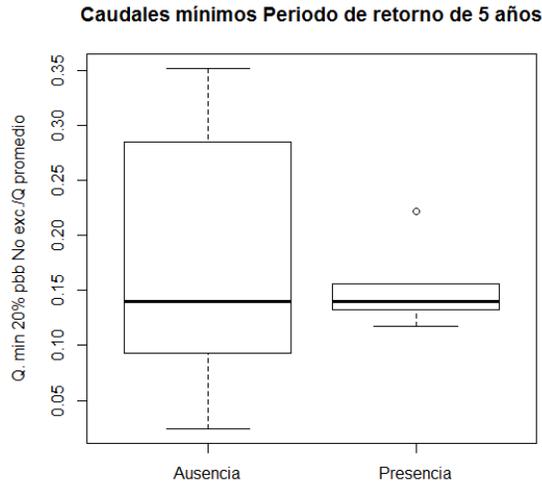


Figura 10. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de cinco años (20% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio)

#### 4.1.3 Caudal mínimo para un periodo de retorno de 10 años

Al aplicar el test de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor de  $p$  igual a 0,782 por lo que, no se obtuvo una relación significativa ( $p > 0,05$ ) entre los caudales mínimos anuales y la presencia o ausencia de *D. geminata*, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa que permita rechazar la hipótesis nula. Entonces, de acuerdo con esto, no se puede afirmar que la presencia o ausencia de *D. geminata* está determinada por la magnitud de los caudales con un periodo de retorno de 10 años.

En el gráfico de cuartiles (Figura 11) se aprecia que ambas muestras tienen medianas similares, corroborándose los resultados obtenidos en el test de Kruskal Wallis. A su vez, se observa que los valores obtenidos en presencia de *D. geminata* son más acotados (entre 0,1 y 0,15) en comparación al rango de los valores en ausencia de ésta (entre 0 y 0,35).

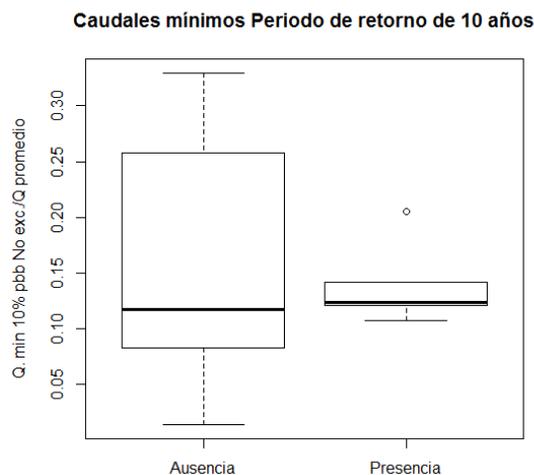


Figura 11. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de 10 años (10% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio)

#### 4.1.4 Caudal mínimo para un periodo de retorno de 20 años

Al aplicar el test de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor de  $p$  igual a 0,61 por lo que, no se obtuvo una relación significativa ( $p > 0,05$ ) entre los caudales mínimos anuales y la presencia o ausencia de *D. geminata*, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa que permita rechazar la hipótesis nula. Por lo que las medianas de ambas muestras no se diferencian significativamente. Entonces, de acuerdo a esto, no se puede afirmar que la presencia o ausencia de *D. geminata* está determinada por la magnitud de los caudales con un periodo de retorno de 20 años.

En el gráfico de cuartiles (Figura 12) se aprecia que ambas muestras tienen medianas similares, corroborándose los resultados obtenidos en el test de Kruskal Wallis. A su vez, se observa que los valores obtenidos en presencia de *D. geminata* son menos variables que los valores en ausencia de ella, puesto que sus valores se distribuyen en un rango más acotado (entre 0,07 y 0,14) en comparación al rango de los valores (entre 0 y 0,32) en ausencia de ésta.

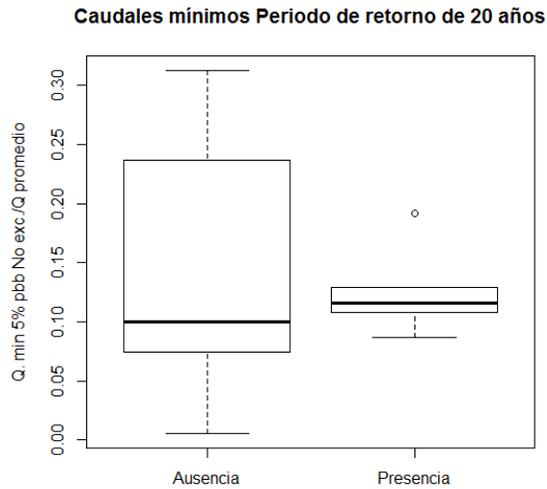


Figura 12. Gráfica de cuartiles para los caudales mínimos con un periodo de retorno de 20 años (5% pbb. de no excedencia) en función del caudal medio anual (Q promedio)

Los resultados obtenidos por Villarroel (2014), indicaron que los caudales máximos asociados a un periodo de retorno de 2 años son significativamente diferentes entre los sitios con presencia y ausencia de *Didymo* (Anexo III), siendo mayor la mediana de los caudales en los sitios con ausencia de *D. geminata*.

Al contrario de los resultados obtenidos por Villarroel (2014), en el presente estudio, los resultados de los test de Kruskal Wallis indicaron que no existen diferencias significativas entre los caudales mínimos anuales para los distintos periodos de retorno y la presencia/ausencia de *D. geminata*. Sin embargo, lo estrecho de las gráficas de cuartiles de los sitios con presencia de la diatomea, sugiere que ésta prefiere caudales mínimos poco variables.

#### **4.2 Análisis de la variación temporal de la abundancia de *Didymosphenia geminata* en los puntos de muestreo**

En el Cuadro 3 se indican las variaciones en la densidad, cobertura y espesor evidenciadas entre ambas campañas de muestreo, considerando los 20 puntos con presencia de la diatomea en el muestreo de primavera.

Cuadro 3. Variación de la densidad, cobertura y espesor entre ambas campañas

Código punto de muestreo	Variación Densidad (cel mm <sup>-2</sup> )	Variación Categoría	
		Cobertura	Espesor
Amk-Huahum1	81,600	-1	0
Amk-Huahum2	-16,930	-2	-1
Amk-Fuy2	-130,359	0	0
Amk-Fuy1	-0,555	0	0
Amk-Llanqhue1	-87,823	-2	-2
Amk- Llanqhue2	-69,663	-4	-3
Amk-Enco1	-22,043	-1	-1
Amk-Enco2	-24,883	-4	-2
Amk-SanPedro2	-132,683	-4	-3
F-Rpuconbalsa	-67,193	-1	-1
Amk-BioBio1	-4,793	1	1
Amk-BioBio2B	220,994	0	-1
PuntoX-Sernap	-4,578	0	0
Tallon-Sernap	7,181	-3	-2
F-Lolen-Sernap	-129,993	-2	-1
Amk-Sernaplqm	-12,123	-2	-2
Amk-Balsraha	-9,600	-4	-3
Amk-Sernap2bc	-19,257	-4	-3
Punto5-Sernap	-660,760	-3	-2
F-Amk-BioBio2	-81,600	-1	-1

En el Cuadro 3 se evidencia que las variaciones de la densidad no fueron de la misma magnitud para todos los puntos, estando o no en el mismo río. Éstas van desde 0,555 cel mm<sup>-2</sup> a 660,760 cel mm<sup>-2</sup>. También, se aprecia que en primavera hubo mayores densidades que en otoño en 17 de los 20 puntos de muestreo.

Las variaciones evidenciadas en la cobertura algal indican que ésta fue mayor en primavera que en otoño en 15 de los 20 puntos de muestreo. En algunos puntos la cobertura cambió de muy alta a ausente (valor de -4 en el Cuadro 3), en 4 puntos se mantuvo, y en un punto aumentó en otoño.

En cuanto al espesor algal, se registraron mayores números en 15 de los 20 puntos de muestreo durante la primavera. En algunos puntos el espesor varió de alta a ausente (valor -3 en el Cuadro 3), en 4 puntos el espesor se mantuvo, y en un punto aumentó en otoño.

En la mayoría de los puntos, se condice la disminución de la densidad en otoño con la disminución de la cobertura y del espesor algal, tal como lo indica la mediana obtenida en

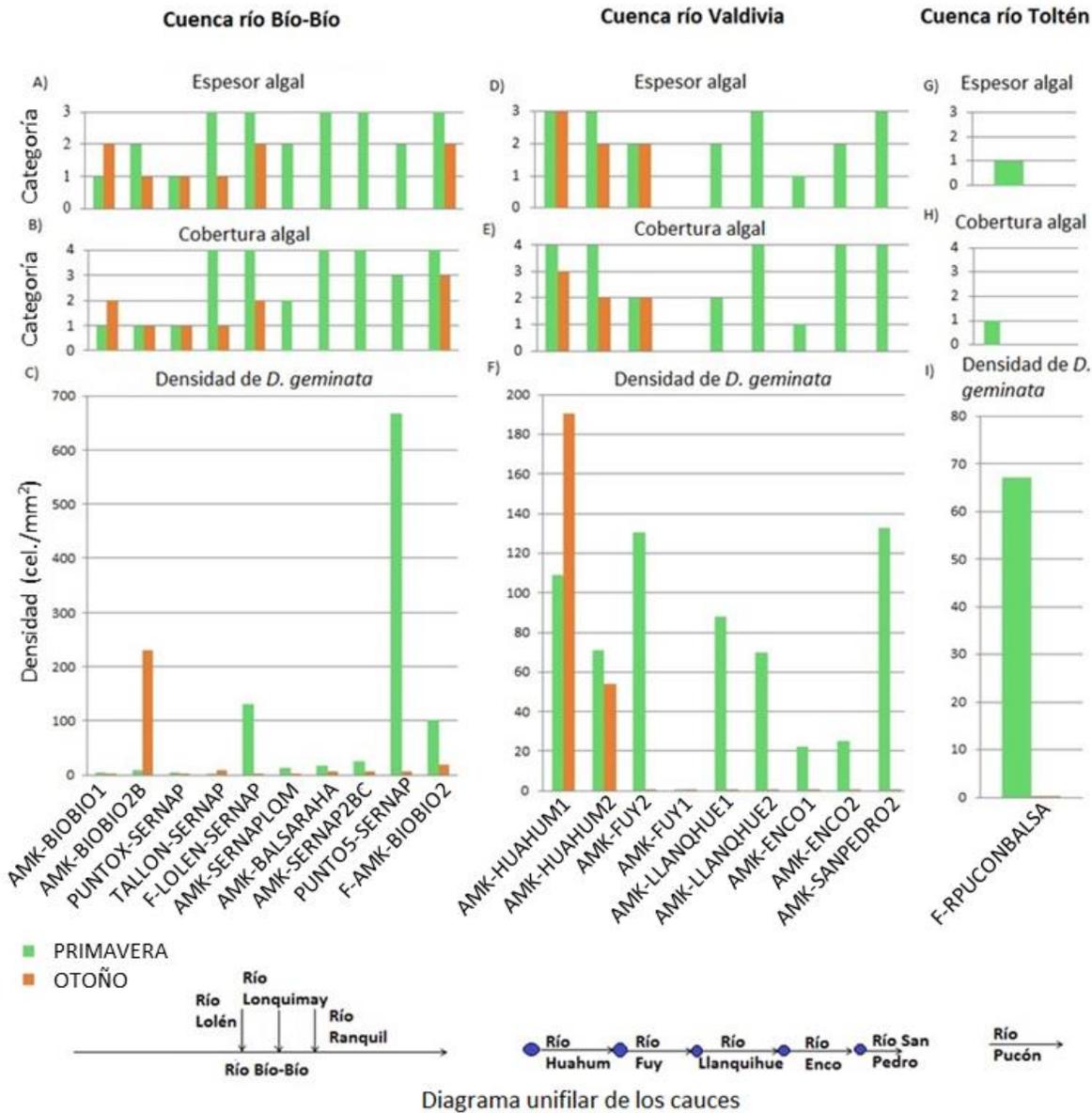
primavera y en otoño, aunque no hubo diferencia significativa para el espesor entre ambos muestreos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del test Kruskal Wallis y la mediana de las variables de abundancia para ambos muestreos (n=20)

Variable	Mediana		Kruskal Wallis	
	Primavera	Otoño	chi-cuadrado	p
Densidad <i>D. geminata</i> [cel mm <sup>-2</sup> ]	46,047	0,2481	12,315	4,49E-04*
Cobertura algal	Muy alta	Ausente	9,9201	1,635E-03*
Espesor algal	Mediana	Ausente	0,5973	0,4396

Nota: (\*) p estadísticamente significativo (p<0,05)

En la Figura 13 se muestran los valores de las tres variables de abundancia obtenidos en ambas campañas, para los 20 puntos de muestreo con presencia de *D. geminata*.



Nota: el diagrama unifilar indica los cauces en donde se encuentran los puntos de muestreo, desde aguas arriba a aguas abajo en la cuenca respectiva. En la cuenca del río Valdivia, los círculos indican la influencia y/o presencia de lagos.

Figura 13. Gráficas de los valores de densidad, cobertura y espesor algal de ambas campañas, por cuenca y punto de muestreo, junto con un diagrama unifilar de los ríos

Se evidencia que la densidad, cobertura y espesor fueron mayores en primavera que en otoño a excepción de tres puntos de muestreo en donde la densidad aumentó en otoño, aunque esto no se reflejó en un aumento de la cobertura ni del espesor (amk-huahum1, Tallon-sernap y amk-biobio2b). Asimismo, en 13 puntos las tres variables disminuyeron en

otoño. En dos puntos no hubo cambio evidente en sus tres variables (PuntoXsernap y Fuy1). En amk-biobio1 la densidad disminuyó levemente en otoño, pero la cobertura y espesor aumentaron. En Fuy2 la densidad disminuyó notoriamente, pero la cobertura y el espesor se mantuvieron.

A simple vista se aprecia una relación directa entre estas tres variables, ya que en la mayoría de los puntos las tres variables disminuyeron en conjunto.

En la Figura 13 y en el Cuadro 5 se observa que en la cuenca del río Bío-Bío se obtuvieron las mayores densidades de ambas campañas, lo que se verifica con el promedio obtenido en primavera y en otoño. Aunque, la mitad de los puntos de la cuenca del río Valdivia presentaron mayores densidades en primavera en comparación a la cuenca del Bío-Bío (véase los valores de la mediana). En cambio, en otoño, la mitad de los puntos de la cuenca del Bío-Bío presentaron mayores densidades. A pesar de esto, las medianas de la densidad de ambas cuencas no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ) según el test de Kruskal Wallis.

Cuadro 5. Promedio (desviación estándar) y mediana de las densidades por cuenca y periodo de muestreo

Cuenca	Densidad media [cel mm <sup>-2</sup> ]		Mediana [cel mm <sup>-2</sup> ]	
	otoño (ds)	primavera (ds)	otoño	primavera
Bío-Bío	27,72 (71,23)	97,16 (205,41 )	5,89	14,07
Valdivia	27,19 (63,73)	72 (48,13)	0,007	70,69

En la gráfica F de la Figura 13, se evidencia un patrón, en el que la densidad de *D. geminata* en los puntos cercanos al desagüe de un lago (no en el desagüe) es mayor que la densidad en el punto que le sigue aguas abajo. Esta situación, puede deberse a que los lagos no presentan las condiciones más favorables para la proliferación del alga, al tener aguas calmas, acumular una mayor cantidad de nutrientes, mayor profundidad, predominancia de sustrato arenoso, entre otros posibles factores. Entonces, la diatomea fuera del lago, obtiene los estímulos ambientales para fijarse al sustrato rocoso del cauce, como por ejemplo, flujo de agua constante y mayor luminosidad.

En cuanto a los puntos en donde la densidad del alga fue mayor en otoño, puede deberse a condiciones particulares de cada punto de muestreo, ya que este comportamiento no se repitió en los puntos contiguos aguas abajo.

No se aprecia una relación evidente entre las magnitudes de los valores de estas tres variables que permita decir que “x” densidad se corresponde con “y” cobertura y “z” espesor. Esto, se puede deber a que los intervalos correspondientes a cada categoría de cobertura no son uniformes, y por ende no evidencian cambios importantes, es decir, un aumento de un 35% a un 75% de cobertura no se refleja en los datos, puesto que ambas mediciones corresponden a la categoría de Alta. En cuanto al espesor ocurre algo similar, ya que los espesores de *Didymo* pueden llegar a más de 20 cm (Spaulding y Elwell, 2007),

por lo que la categoría “Alta” no discrimina entre un espesor de 3 cm y uno de 15 cm. Entonces, se propone uniformar los intervalos de las categorías para que sean sensibles a los cambios relevantes.

Así también, las variables de cobertura y espesor algal, pueden estar incluyendo a otras diatomeas capaces de generar pedúnculo, como las del género *Gomphonema* y *Gomphoneis*. Aunque, si el muestreador tiene experiencia en distinguir visualmente una especie de otra, el grado de incertidumbre disminuiría.

### 4.3 Analizar la variación temporal de las variables fisicoquímicas e hidráulicas en los puntos con *D. geminata*

De las 18 variables, solo 6 cambiaron significativamente durante el periodo de muestreo (temperatura del agua, porcentaje de saturación de oxígeno, fosfato orgánico, fósforo orgánico, fosfato total y fósforo total), registrándose valores más bajos en otoño que en primavera (Cuadro 6). De las variables restantes, 7 aumentaron en otoño (velocidad superficial, velocidad media, calcio, silicato, hierro, profundidad y fosfato inorgánico), 4 disminuyeron en otoño (oxígeno disuelto, fósforo inorgánico, pH y conductividad eléctrica) y, la velocidad de fondo se mantuvo.

Cabe señalar que un cambio significativo entre primavera y otoño no indica necesariamente que esa variable sea la causa de la disminución de la abundancia de *D. geminata* en otoño.

Cuadro 6. Variación mostrada por las variables fisicoquímicas e hidráulicas entre ambas campañas (n=20)

Variable	Mediana		Kruskal Wallis	
	Primavera	Otoño	chi-cuadrado	p
T° (°C)	14,069	9,275	19,685	9,129E-06*
%Osat	104,425	86,188	13,733	2,107E-04*
PO <sub>4o</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,013	0,003	7,507	6,145E-03*
Po (mg L <sup>-1</sup> )	0,004	0,001	7,507	6,145E-03*
PO <sub>4t</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,034	0,02	6,168	1,301E-02*
P <sub>tot</sub> (m gL <sup>-1</sup> )	0,01	0,006	4,085	4,325E-02*
OD (mg L <sup>-1</sup> )	10,018	9,275	3,484	6,197E-02
V <sub>superficial</sub> (m s <sup>-1</sup> )	0,55	0,65	1,521	0,217
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	5,48	6,22	1,331	0,248
V <sub>media</sub> (m s <sup>-1</sup> )	0,5	0,55	1,124	0,289
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	0,06	0,11	0,904	0,341
PO <sub>4i</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,018	0,02	0,502	0,478

(Continúa)

Cuadro 6 (Continuación)

Variable	Mediana		Kruskal Wallis	
	Primavera	Otoño	chi-cuadrado	p
Pi (mg L <sup>-1</sup> )	0,006	0,005	0,502	0,478
Profundidad (cm)	62	69,5	0,354	0,551
V_ fondo (m s <sup>-1</sup> )	0,2	0,2	0,015	0,902
pH	7,757	7,6	0,001	0,967
CE ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	47,5	45,375	0,001	0,967
SiO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	17,5	19,3	0,001	0,972

Nota: (\*) p estadísticamente significativo (p<0,05)

#### 4.4 Caracterización del régimen de caudales en los puntos de muestreo de *D. geminata*

Solo ocho de los 20 puntos con presencia de *D. geminata* (en primavera) se pudieron asociar a estaciones fluviométricas, ya que cumplieron con los criterios predefinidos de representatividad de los hidrogramas. Los puntos que no se asociaron a estaciones fluviométricas se debió a la presencia de afluentes (ríos y/o lagos) entre el punto de muestreo y la estación fluviométrica más cercana (Cuadro 7, Figura 14).

Cuadro 7. Estaciones fluviométricas asociadas a los puntos de muestreo

Cuenca	Punto de muestreo	Estación fluviométrica
Bío-Bío	Amk-SernapLQM	Río Lonquimay antes junta río Bío-Bío
Bío-Bío	Sernap2BC	Río Bío-Bío en Llanquén
Bío-Bío	Punto5-Sernap	Río Bío-Bío en Llanquén
Valdivia	Huahum1	Río Huahum en la frontera
Valdivia	Huahum2	Río Huahum en la frontera
Valdivia	Fuy1	Río Fui en desagüe lago Pirihueico
Valdivia	Fuy2	Río Fui en desagüe lago Pirihueico
Valdivia	SanPedro2	Río San Pedro en desagüe lago Riñihue

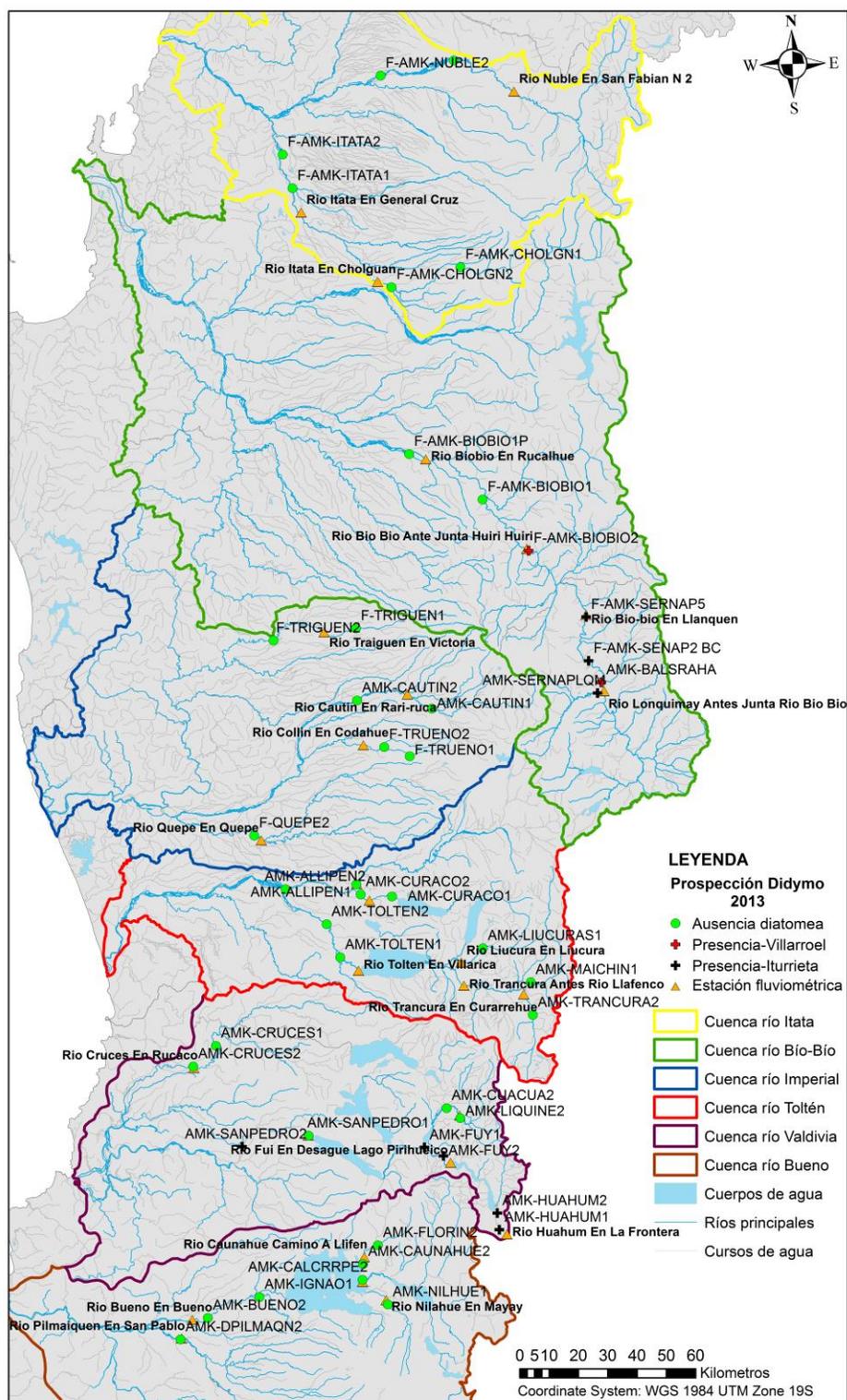


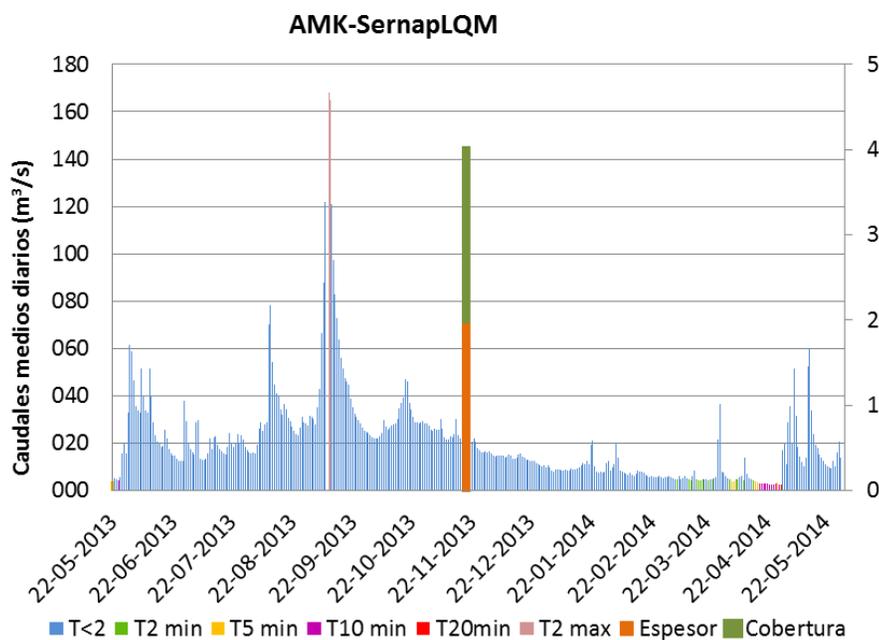
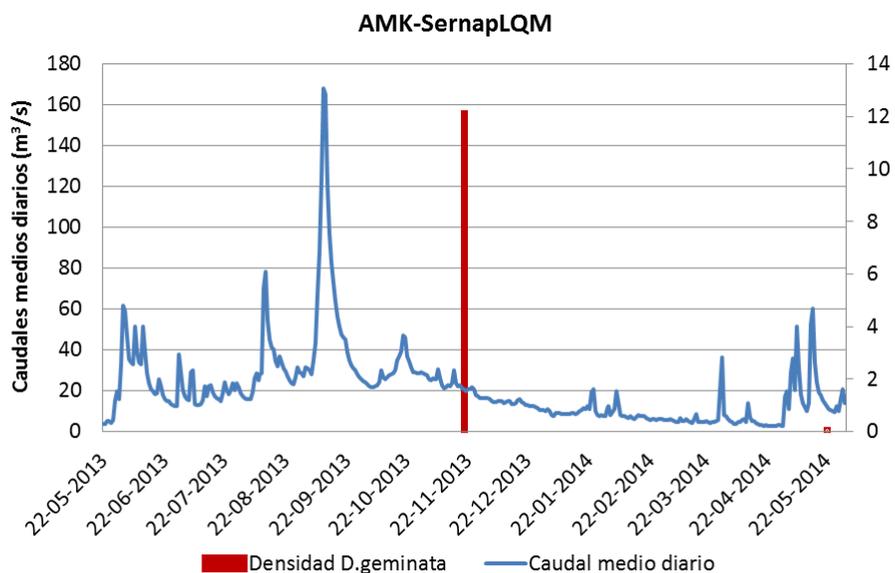
Figura 14. Puntos de muestreo con presencia/ausencia de *D. geminata* asociados a estaciones fluviométricas por Villarroel (2014), junto con los 8 puntos asociados para la caracterización del régimen de caudales

#### 4.4.1 Amk-SernapLQM

Antes del muestreo de primavera la media de los caudales fue 3 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 50% de los días sobre el caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 4% de los días entre ambos muestreos (Apéndice II). Esto se debe, principalmente, a la concentración de las precipitaciones en invierno, a los deshielos en primavera, a la ausencia de éstas en verano y a su aumento paulatino durante el otoño, característico de un régimen hidrológico pluvio-nival con una alta predictibilidad o estacionalidad.

Las tasas diarias de cambio fueron más elevadas y variables entre ambas campañas que antes de la primera. A pesar de esto, los mayores caudales diarios ocurrieron 71 días antes del primer muestreo y 7 días antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 15. Donde, desde el día 77 al 71 el caudal aumentó de 28,1 a 168 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (5,3 veces el caudal medio anual), y desde el día 10 al 7 el caudal aumentó de 10,2 a 60,1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (1,89 veces el caudal medio anual).

El mayor caudal que se distingue en el hidrograma corresponde a un periodo de retorno de 2 años, siendo el único registro para ambas campañas. En cambio los caudales mínimos con periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años fueron más numerosos y se registraron en abril del 2013 (178 días antes de la primera campaña), y entre marzo y abril del 2014 (al menos, 21 días antes de la segunda campaña), previo al aumento de los caudales en abril.



Nota: T<2 caudales ordinarios; T2min, caudales mínimos con periodo de retorno (T) de 2 años; T5min, caudales mínimos con T de 5 años; T10min, caudales mínimos con T de 10 años; T20min, caudales mínimos con T de 20 años; T2max, caudales máximos con T de 2 años. Categoría de espesor y categoría de cobertura.

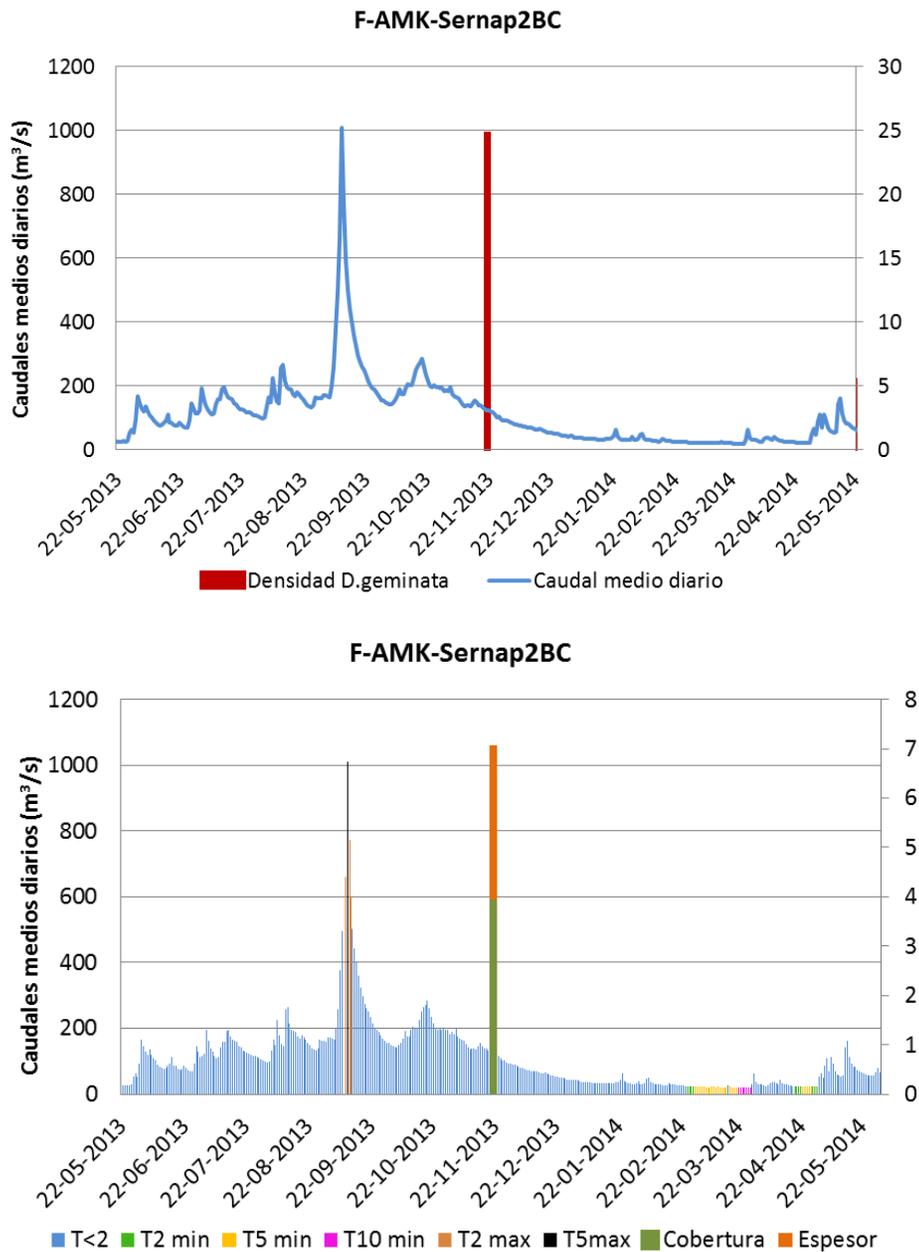
Figura 15. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Lonquimay antes junta río Bío-Bío junto con la abundancia de *D. geminata* y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno

#### 4.4.2 F-amk-Sernap2BC y Punto5-Sernap

Antes del muestreo de primavera la media de los caudales fue cerca de 4 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 64% de los días sobre el caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 1% de los días entre ambos muestreos (Apéndice II). Esto se debe, principalmente, a la concentración de las precipitaciones en invierno, a los deshielos en primavera, a la ausencia de éstas en verano y a su aumento paulatino durante el otoño, característico de un régimen hidrológico pluvio-nival con una alta predictibilidad o estacionalidad.

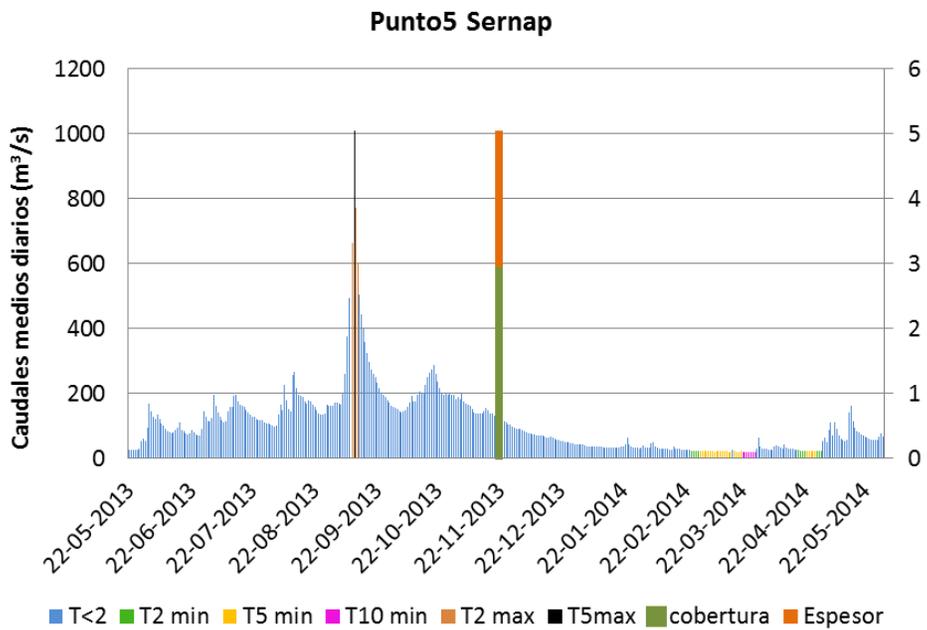
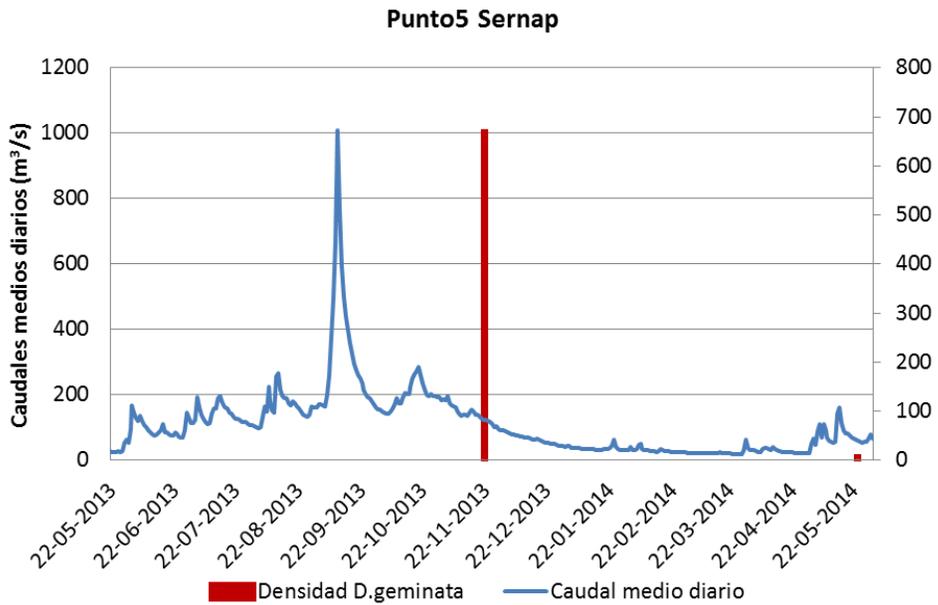
Las tasas diarias de cambio fueron más elevadas y variables entre ambas campañas que antes de la primera. A pesar de esto, los caudales más elevados antes de cada muestreo ocurrieron 72 días antes del primer muestreo y 10 días antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 16 y Figura 17. Donde, desde el día 78 al 72 el caudal aumentó de 164,72 a 1009,13  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (6,1 veces el caudal medio anual), y desde el día 10 al 12 el caudal aumentó de 52,55 a 142,51  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (0,78 veces el caudal medio anual), respectivamente.

Los mayores caudales que se distinguen en el hidrograma se asociaron a periodos de retorno de 2 y 5 años, registrados 70 días antes del primer muestreo. En cambio, los caudales mínimos con periodos de retorno de 2, 5 y 10 años fueron más numerosos y solo se registraron entre marzo y abril del 2014, 24 días antes del segundo muestreo, previo al aumento de los caudales en abril.



Nota: T<2 caudales ordinarios; T2min, caudales mínimos con periodo de retorno (T) de 2 años; T5min, caudales mínimos con T de 5 años; T10min, caudales mínimos con T de 10 años; T2max, caudales máximos con T de 2 años. Categoría de espesor y categoría de cobertura.

Figura 16. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Bío-Bío en Llanquén junto con la abundancia de *D. geminata* y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno



Nota: T<2 caudales ordinarios; T2min, caudales mínimos con periodo de retorno (T) de 2 años; T5min, caudales mínimos con T de 5 años; T10min, caudales mínimos con T de 10 años; T2max, caudales máximos con T de 2 años. Categoría de espesor y categoría de cobertura.

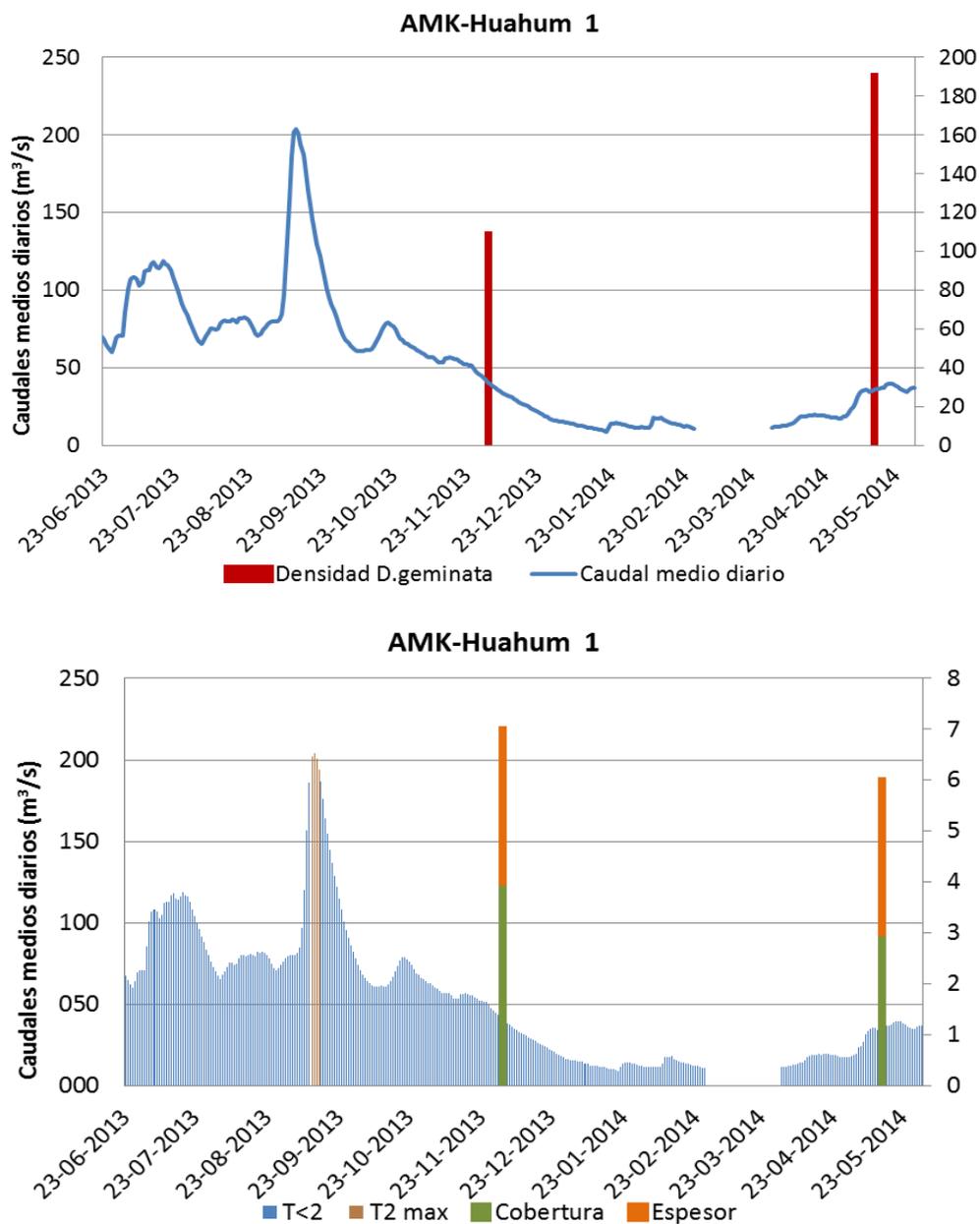
Figura 17. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Bío-Bío en Llanquén junto con la abundancia de *D. geminata* en el Punto5-Sernap y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno

#### 4.4.3 Huahum 1 y Huahum 2

Antes del muestreo de primavera la media de los caudales fue 4,5 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 89% de los días sobre el caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 0% de los días entre muestreos (Apéndice II). Al igual que en las estaciones anteriores, esto se debe a la distribución de las precipitaciones en las estaciones del año y al régimen hidrológico pluvio-nival, y en este caso, a la influencia lacustre.

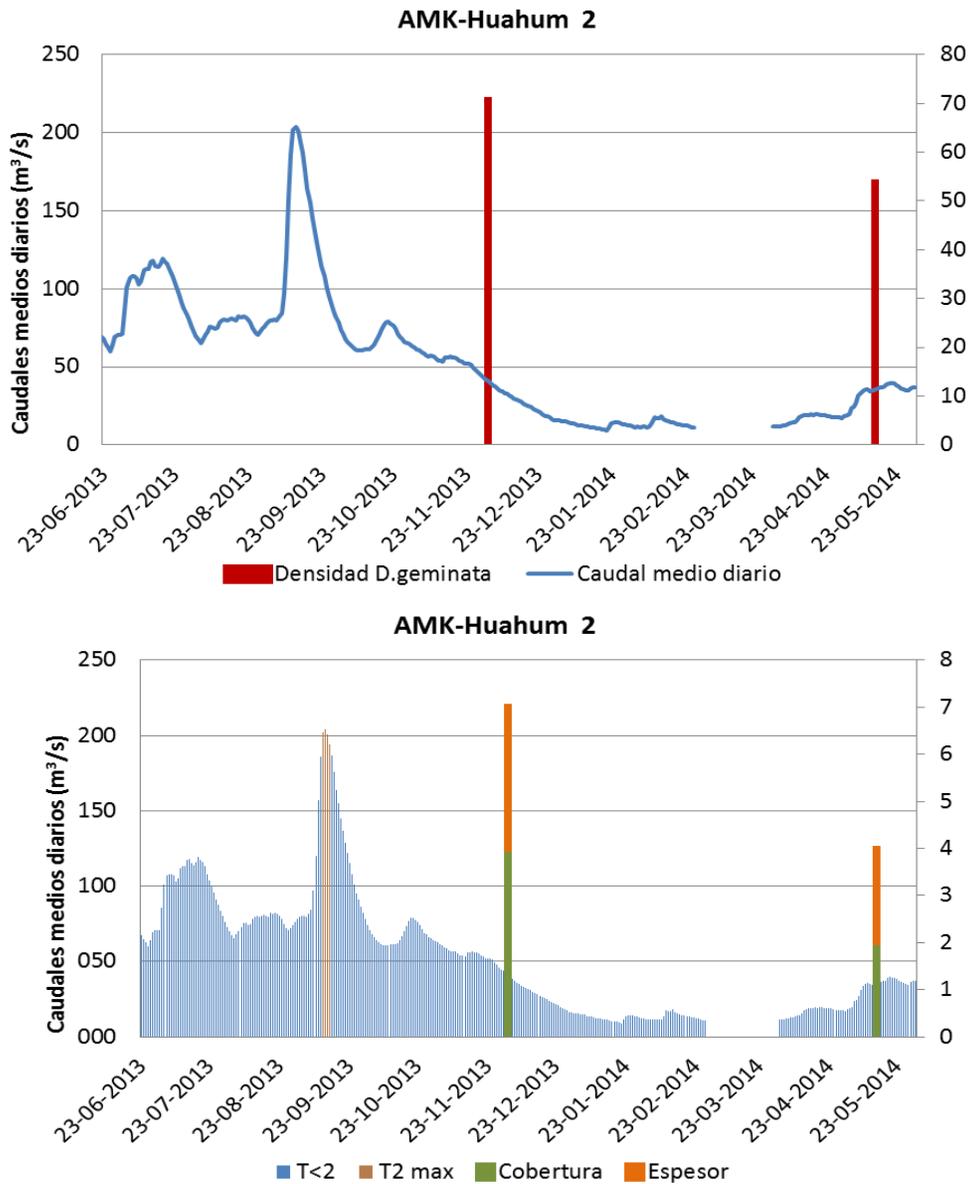
Las tasas diarias de cambio, para ambos muestreos, fueron similares en cuanto a su magnitud y variabilidad. A pesar de esto, los caudales más elevados antes de cada muestreo ocurrieron 80 días antes del primer muestreo y 130 días antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 18 y Figura 19. Las mayores tasa diarias de cambio ocurrieron desde el día 87 al 80, antes del primer muestreo, en donde el caudal aumentó de 84,6 a 204  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (2,1 veces el caudal medio anual), y antes del segundo muestreo, desde el día 8 al 9, en donde el caudal aumentó de 27,1 a 31,4  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (0,07 veces la media anual).

El mayor caudal que se distingue en el hidrograma se asoció con un periodo de retorno de 2 años, registrado 80 días antes del primer muestreo. En cuanto a los caudales mínimos, asociados a algún periodo de retorno, no se registraron en el periodo de tiempo considerado.



Nota: T<2 caudales ordinarios; T2max, caudales máximos con periodo de retorno de 2 años. Marzo sin datos de caudales. Categoría de cobertura y de espesor.

Figura 18. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Huahum en la Frontera junto con la abundancia de *D. geminata* en el punto AMK-Huahum 1 y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno



Nota: T<2 caudales ordinarios; T2max, caudales máximos con periodo de retorno de 2 años. Marzo sin datos de caudales. Categoría de cobertura y de espesor.

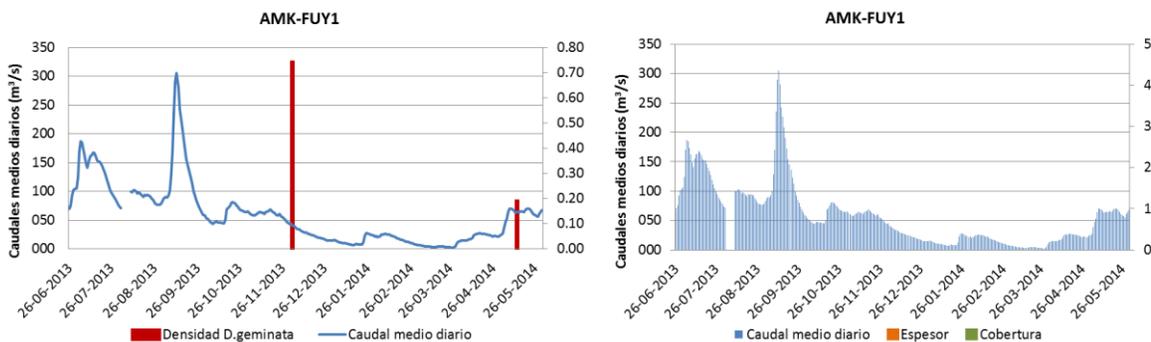
Figura 19. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Huahum en la Frontera junto con la abundancia de *D. geminata* en el punto AMK-Huahum 2 y los caudales máximos y mínimos para los distintos periodos de retorno

#### 4.4.4 Fuy 1

Antes del muestreo de primavera, la media de los caudales fue 5 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 54% de los días sobre el caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 0% de los días entre ambos muestreos (Apéndice II). Esto, debido a la distribución de las precipitaciones en las estaciones del año, al régimen hidrológico tipo pluvio-nival, y en parte a la regulación lacustre.

Las tasas diarias de cambio fueron más elevadas y variables entre ambas campañas que antes de la primera. A pesar de esto, los caudales más elevados antes de cada muestreo ocurrieron 84 días antes del primer muestreo y 6 días antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 20. Donde, desde el día 88 al 83 el caudal aumentó de 100,63 a 305,13  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (2,6 veces el caudal medio anual), y desde el día 10 al 5 el caudal aumentó de 27,397 a 70,394  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (0,56 veces el caudal medio anual), respectivamente.

En cuanto a los caudales máximos, no se obtuvieron registros en el periodo de tiempo abordado, y no se pudo asociar una función de distribución de probabilidades a la serie de caudales mínimos anuales



Nota: Hubieron 5 días sin datos en agosto. Categoría ausente de espesor y cobertura en ambos muestreos.

Figura 20. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Fui en desagüe lago Pirihueico junto con la abundancia de *D. geminata* en el punto Amk-Fuy1

#### 4.4.5 Fuy 2

Si bien a Fuy 1 y Fuy 2 se les asoció la misma estación fluviométrica, los muestreos se llevaron a cabo en distintas fechas, por lo que el análisis de los resultados es distinto.

Antes del muestreo de primavera, la media de los caudales fue 4.7 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 47% de los días sobre el

caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 0% de los días entre ambos muestreos (Apéndice II). Esto, debido a como se distribuyen las precipitaciones en las estaciones del año, al régimen hidrológico tipo pluvio-nival, y en parte a la regulación lacustre.

Las tasas diarias de cambio fueron más elevadas y variables entre ambas campañas que antes de la primera. A pesar de esto, los caudales más elevados antes de cada muestreo ocurrieron 94 días antes del primer muestreo y 8 días antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 21. Donde, desde el día 97 al 92 el caudal aumentó de 100,63 a 305,13  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (2,6 veces el caudal medio anual), y desde el día 7 al 12 el caudal aumentó de 27,397 a 70,394  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (0,56 veces el caudal medio anual).

Al igual que en Fuy 1, no se registraron caudales máximos, y no se pudo realizar el análisis para los caudales mínimos.

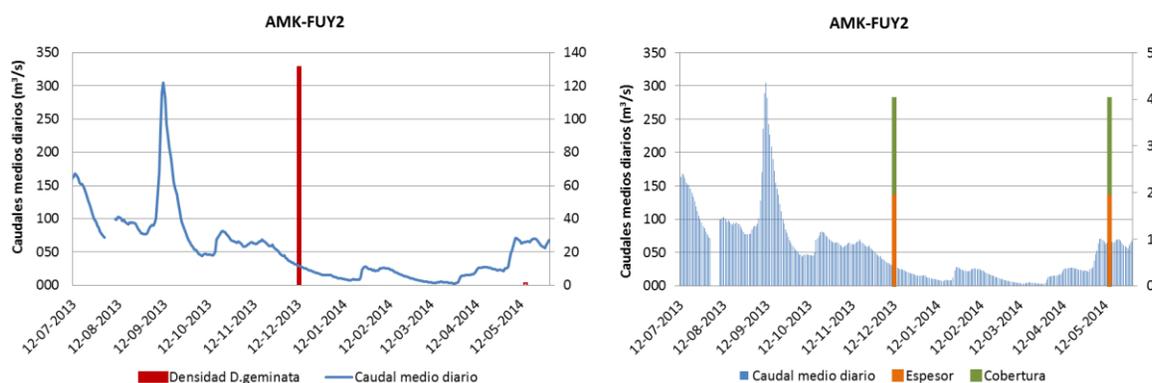


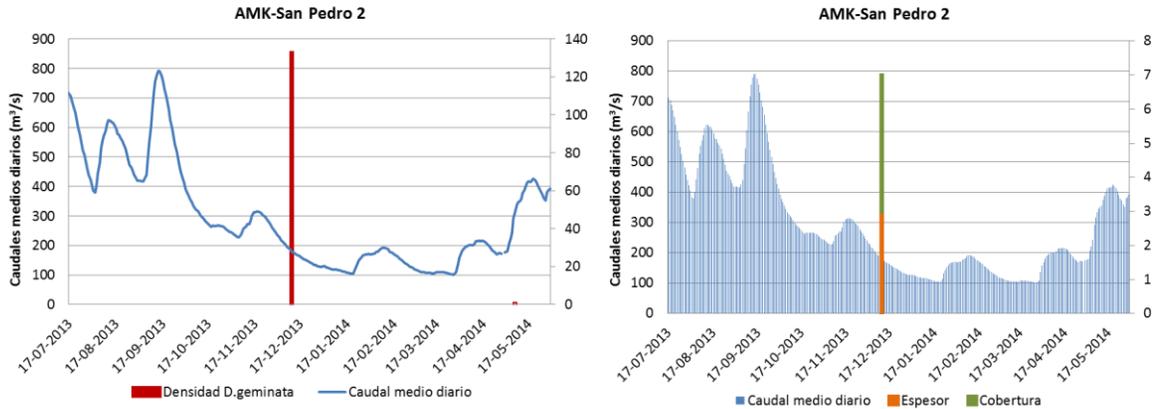
Figura 21. Hidrograma de caudales medios diarios E. río Fui en desagüe lago Pirihueico junto con la abundancia de *D. geminata* en el punto Amk-Fuy 2

#### 4.4.6 San Pedro 2

Antes del muestreo de primavera la media de los caudales fue 2,7 veces mayor que la media de los caudales entre muestreos, lo que se condice con el 54% de los días sobre el caudal medio anual antes del primer muestreo, en contraste con el 0% de los días entre ambos muestreos (Apéndice II). Esto se debe también, a la temporalidad de las precipitaciones, al régimen hidrológico tipo pluvio-nival y en parte, a la regulación lacustre.

Las tasas diarias de cambio fueron más elevadas y variables entre ambas campañas que antes de la primera. A pesar de esto, los caudales más elevados antes de cada muestreo ocurrieron 93 días antes del primer muestreo y 1 día antes del segundo, tal como indican los caudales de mayor magnitud en la Figura 22. Donde, desde el día 130 al 121 el caudal aumentó de 379 a 612  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  (0,63 veces el caudal medio anual), y desde el día 1 al 5 el caudal aumentó de 181 a 292 (0,3 veces el caudal medio anual).

En cuanto a los caudales máximos y mínimos, éstos no se registraron en el periodo de tiempo considerado.



Nota: Categoría ausente de cobertura y de espesor en el muestreo de otoño.

Figura 22. Hidrograma de caudales medios diarios E. río San Pedro en desagüe lago Riñihue junto con la abundancia de *D. geminata*

En general:

- 1) En todos los puntos de muestreo los caudales registrados antes del primer muestreo fueron mayores que antes del segundo muestreo.
- 2) En todos los casos la estacionalidad de las precipitaciones es evidente y el régimen hidrológico es de tipo pluvio-nival y, con influencia lacustre en la cuenca del río Valdivia.
- 3) A simple vista los caudales se ven más variables en invierno y en primavera, aunque, la diferencia entre los caudales de un día a otro es mayor y más variable en verano y otoño. Así también, las mayores tasas de cambio antes de cada muestreo ocurrieron más próximas a la fecha de muestreo de otoño, pudiendo ser una de las variables explicativas de las variaciones de la abundancia de *D. geminata*.
- 4) Los caudales máximos ocurrieron, al menos, 84 días antes del muestreo de primavera, por lo que, se desconoce si hubo una disminución de la abundancia producto de esas crecidas. Si es que ocurrió esa disminución, la *Didymo* se recuperó al momento de realizar los muestreos.

#### 4.5 Identificar variables hidrológicas, variables fisicoquímicas e hidráulicas que influyan sobre la abundancia de *D. geminata*

De un total de 34 modelos candidatos construidos con una variable predictora, solo dos modelos resultaron ser los que mejor explicaron la densidad de *D. geminata* al obtener un Delta AICc menor a 2 (Cuadro 8). A pesar de esto, el nivel de significancia fue mayor a 0,05 ( $p > 0,05$ ), por lo que el Fe y el Ca no explicaron las variaciones en la densidad de la diatomea por si solas (Cuadro 9).

Cuadro 8. Resultados del AIC para los modelos candidatos con una variable

Variable	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Fe	75,6040	0	0,26372
Ca	76,9984	1,3944	0,13132

Cuadro 9. Resultados de los GLM con una variable

Modelos	$r^2$ múltiple	$r^2$ ajustado	p
Fe	0,2195	0,1486	0,1063
Ca	0,1312	0,0522	0,2239

Para los GLM con dos variables, se construyeron 340 modelos candidatos, aunque, solo el modelo constituido por el calcio (Ca) y la media de las tasas diarias de cambio positivas de los cinco días previos a los muestreos (Mcrec5) resultó ser el más significativo y robusto, según el Criterio de Información de Akaike (AIC),  $\Delta_{AICc} < 2$  (Cuadro 10).

Cuadro 10. Modelos que mejor se correlacionaron con el  $\ln(\text{densidad})$  ( $n=16$ )

Variables	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Mcrec5 + Ca	69.53375	0	0.31958

En el Cuadro 11 se muestran los modelos candidatos cuyo valor de p (significancia) fue significativo ( $p < 0,05$ ), también, se indica el coeficiente de correlación múltiple ( $r^2$  múltiple) y el coeficiente de correlación ajustado ( $r^2$  ajustado) entendiéndose como el porcentaje de la varianza del  $\ln(\text{densidad})$  de *D. geminata* explicada por las variables independientes. A su vez, se indica si la relación entre la variable dependiente y la variable independiente respectiva es directa (+) o inversa (-).

En concordancia con los resultados del AIC, el modelo candidato construido con las variables Mcrec5 y Ca resultó ser el de mayor significancia. Así mismo, este modelo explicó la varianza del  $\ln(\text{densidad})$  de *D. geminata* por sobre el 57%. Ambas variables tienen una relación inversa (-) con el logaritmo natural de la densidad de *D. geminata*, por lo que el aumento de la magnitud de los caudales diarios y/o el aumento de la concentración del Calcio puede contribuir a la disminución de la densidad de *D. geminata* (Cuadro 11).

Le sigue en significancia, pero con un nivel menor de parsimonia (delta AICc=2,99), el modelo construido por las variables Mcrec5 y Fe, explicando un 47% de la varianza del ln(densidad) de *D. geminata*. Ambas variables se relacionaron inversamente con la densidad de *D. geminata*.

La cantidad de días sobre el caudal medio anual (Nsobremedia) junto con el Fe, también, mostraron un nivel menor de parsimonia (delta AICc=3,24), a pesar de que el modelo haya explicado el 45,9% de la varianza del ln(densidad). La relación directa entre la cantidad de días sobre el caudal medio anual y el logaritmo natural de la densidad de *D. geminata* indicaría que la diatomea prefiere proliferar cuando los ríos presentan caudales elevados.

Los modelos restantes, constituidos por las variables Nsobremedia, fósforo total (PO4t), media de las tasas diarias de cambio positivas de los 15 días previos a cada muestreo (Mcrec15), silicato (SiO<sub>2</sub>), fósforo total (P\_tot), pH y fósforo orgánico (Po), si bien explicaron, significativamente, entre un 41% y 35% de la varianza de la densidad de *D. geminata*, el nivel de parsimonia de los modelos fue considerablemente menor (delta AICc<4).

Cuadro 11. Resultados de los GLM con dos variables

Modelos	r <sup>2</sup> múltiple	r <sup>2</sup> ajustado	p	Relación
Mcrec5 + Ca	0,6494	0,5793	0,00529*	- , -
Mcrec5 + Fe	0,5587	0,4704	0,01674*	- , -
Nsobremedia+ Fe	0,5499	0,4599	0,01848*	+ , -
Nsobremedia + PO4t	0,5136	0,4163	0,02722*	+ , -
Mcrec15 + SiO <sub>2</sub>	0,4751	0,3701	0,03985*	+ , -
Nsobremedia+ P_tot	0,4682	0,3618	0,04255*	+ , -
pH+ PO4o	0,4654	0,3585	0,04367*	+ , +
pH+ Po	0,4654	0,3584	0,04368*	+ , +

Nota: (\*) p estadísticamente significativo (p<0,05). Relación inversa (-) o directa (+) entre la variable y el ln(densidad) de *D.geminata*. Mcrec5: media de las tasas diarias de cambio positivas de los cinco días previos a los muestreos. Nsobremedia: número de días en que el caudal sobrepasó la media anual. Mcrec15: media de las tasas diarias de cambio positivas de los 15 días previos a los muestreos

La relación inversa entre la variable Mcrec5 y la densidad de *D. geminata* apoya lo planteado por otros autores, en donde la abundancia de *D. geminata* es mayor en ríos con caudales estables o regulados (baja variación) (Hammond, 2013; Kirkwood *et al.*, 2009; Miller *et al.*, 2009; Kirkwood *et al.*, 2007).

En cuanto al Ca, aunque la mediana no cambió significativamente entre ambos muestreos (Cuadro 6), se desconoce si un aumento en 0,74 mg L<sup>-1</sup> se traduce en una disminución de la abundancia. Según Rost *et al.*, (2011) existe una relación positiva entre la cantidad y porcentaje de Ca y la presencia de *D. geminata*, como elemento requerido por los

pedúnculos. Pero, no se han desarrollado estudios que establezcan una clara relación entre cantidad de Ca y la abundancia.

## 5 CONCLUSIÓN

Los primeros resultados sugieren que los caudales mínimos anuales asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años no ejercen ninguna influencia significativa sobre el establecimiento de *D. geminata*. Aunque, en las gráficas se infería un patrón, donde los caudales en los puntos con presencia de la diatomea eran menos variables que los puntos sin la diatomea.

En la mayoría de los puntos de muestreo la densidad de *D. geminata* fue significativamente mayor en primavera que en otoño, lo que se corresponde con la disminución de la cobertura y del espesor en otoño. Esto demuestra que hay factores que cambian temporalmente y que influyen en la abundancia de Didymo.

Los resultados de los GLM junto con el AIC, indicaron que el Ca junto con la media de las tasas diarias de cambio positivas ocurridas los cinco días previos a cada muestreo explicaron, significativamente, cerca del 58% de la varianza de la densidad de *D. geminata*, mostrando, ambas variables, una relación inversa con la densidad.

De todas las variables fisicoquímicas e hidráulicas estudiadas que cambiaron significativamente entre ambos muestreos, ninguna resultó ser significativa al explicar la varianza de la abundancia de *D. geminata*.

En cuanto al régimen de caudales, la marcada estacionalidad de los caudales permite identificar las temporadas en donde la abundancia de Didymo será mayor y/o menor, lo que se puede asociar también, a las magnitudes de los caudales y a la duración de éstos. En cuanto a las tasas diarias de cambio, éstas demostraron que podrían estar controlando la abundancia de la diatomea, por lo que, ante caudales extremos, se deduce que la diatomea reduce su abundancia y vuelve a aumentar, cíclicamente.

A pesar de lo expuesto anteriormente, se desconoce el comportamiento de las variables fisicoquímicas e hidráulicas entre los periodos de muestreo, y cómo estas varían con los caudales. Por lo que, es muy probable que estas variables no estuvieran lo suficientemente representadas en este estudio, y que la abundancia de la diatomea fuese afectada por un cambio físico-químico e hidráulico anterior a cada muestreo y que no quedase reflejado en los resultados.

Debido a la significancia de los caudales diarios de los cinco días previos a los muestreos (por sobre los 15 y 30 días), se sugiere realizar mediciones semanales de *D. geminata* que contemplen estas variables fisicoquímicas e hidráulicas. También, se sugiere muestrear en tramos cercanos a estaciones fluviométricas para aumentar el tamaño de la muestra; y se sugiere, también, modificar la clasificación de las categorías de espesor y cobertura algal.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Amakaik-EcoHyd. 2013. Anexo 1: Resultados de fichas de terreno. Informe Final: Prospección de *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la Zona Centro-Sur. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Informe Técnico). 327p.

Amakaik-EcoHyd. 2014a. Informe final Proyecto FIP 2013-25: Evaluación de *Didymosphenia geminata* (Didymo) en cuerpos de agua de la zona centro-sur (Informe Técnico). Elaborado para el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Chile, 216p.

Amakaik-EcoHyd. 2014b. Evaluación multidisciplinaria de la dispersión de *Didymosphenia geminata* en el territorio nacional. Elaborada para el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Chile, 141p.

APHA. 2005. Standard Methods for the examination of water & wastewaters, 21 th edition, American Public Health Association, Washington, USA.

Asprey, J.; K. Benson-Evans y J. Furet. 1964. A contribution to the study of South American freshwater phytoplankton. *Gayana Botánica*, 10: 1-118.

Beamud, G.; G. Baffico; F. Pedrozo y M. Díaz. 2013. First record of the invasive algae *Didymosphenia geminata* in the Lake Nahuel Huapi: Argentina, Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86: 493-496.

Beville, S.; G. Kerr y K. Hughey. 2012. Valuing impacts of the invasive alga *Didymosphenia geminata* on recreational angling. *Ecological Economics*, 82: 1-10.

Blanco, S. and L. Ector. 2009. Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: a literature review. *Nova Hedwigia*, 88: 3-4, 347-422.

Bothwell, M. y C. Kilroy. 2011. Phosphorus limitation of the freshwater benthic diatom *Didymosphenia geminata* determined by the frequency of dividing cells. *Freshwater Biology*, 56:565-578.

Bothwell, M. y S. Spaulding (Co-Editors). 2008. Proceedings of the 2007 International Workshop on *Didymosphenia geminata*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 2795: xxxv + 58 p.

Bothwell, M.; B. Taylor y C. Kilroy. 2014. The Didymo story: the role of low dissolved phosphorus in the formation of *Didymosphenia geminata* blooms. *Diatom Research*, 29(3): 229-236.

Burnham, K. and D. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-Theoretic approach. Second Edition. Springer-Verlag, USA, Nueva York. 512 p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004a. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Itata. Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile, 127p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004b. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Bío Bío. Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile 185p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004c. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Imperial, Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile 137p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004d. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Toltén. Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile 113p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004e. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Valdivia. Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile 129p.

CADE IDEPE Consultores en Ingeniería. 2004f. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Bueno. Informe técnico elaborado para la Dirección General de Aguas, Chile 147p.

Cullis, J. 2010. Hydrologic control of the nuisance diatom, *Didymosphenia geminata*, Colorado Water. Newsletter of the Water Center of Colorado State University 27(3): 4-6.

Cullis, J.; C. Gillis; M. Bothwell; C. Kilroy; A. Packman y M. Hassan. 2012, jun. A conceptual model for the blooming behavior and persistence of the benthic mat-forming diatom *Didymosphenia geminata* in oligotrophic streams. *Journal of Geophysical Research*, 117: G00N03, 1-11.

Cullis, J.; J. Crimaldi y D. McKnight. 2013. Hydrodynamic shear removal of the nuisance stalk-forming diatom *Didymosphenia geminata*. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*, 3:256–268.

Díaz, C.; X. Molina y V. Montecino. 2012. Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*, Valparaíso, Chile, 74p.

Flöder, S. y C. Kilroy. 2009, jul. *Didymosphenia geminata* (Protista, Bacillariophyceae) invasion, resistance of native periphyton communities, and implications for dispersal and management. *Biodiversity and Conservation*, 18:3809–3824.

Furey, P.; S. Kupferberg y A. Lind. 2014. The perils of unpalatable periphyton: *Didymosphenia* and other mucilaginous stalked diatoms as food for tadpoles. *Diatom Research*, 29(3): 267-280.

Gillis, C. y M. Chalifour. 2010. Changes in the macrobenthic community structure following the introduction of the invasive algae *Didymosphenia geminata* in the Matapedia River (Québec, Canada). *Hydrobiologia*, 647:63–70.

Hammond, V. 2013. The invasion ecology of *Didymosphenia geminata* in New Zealand, Tesis para obtener el grado de Doctor en filosofía, Universidad de Otago, Dunedin, Nueva Zelanda, 111p.

Jellyman, P.; S. Clearwater; J. Clayton; C. Kilroy; N. Blair; C. Hickey y B. Biggs. 2011. Controlling the Invasive Diatom *Didymosphenia geminata*: An Ecotoxicity Assessment of Four Potential Biocides. *Arch Environ Contam Toxicol*, 61:115–127.

Kilroy, C. 2004, nov. A new alien diatom, *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt: its biology, distribution, effects and potential risks for New Zealand fresh waters, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd. NIWA Client Report: CHC2004-128, 34p.

Kilroy, C.; B. Biggs; N. Blair; P. Lambert; B. Jarvie; K. Dey; K. Robinson y D. Smale. 2005. Ecological studies on *Didymosphenia geminata*, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd, Christchurch, New Zealand. Client Report: CHC2005-123, 79p.

Kilroy, C.; S. Larned y B. Biggs. 2009. The non-indigenous diatom *Didymosphenia geminata* alters benthic communities in New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, 54: 1990–2002.

Kirkwood, A.; L. Jackson y E. McCauley. 2009. Are dams hotspots for *Didymosphenia geminata* blooms?, *Freshwater Biology*, 54(9):1856-1863.

Kirkwood, A.; T. Shea; L. Jackson y E. McCauley. 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(12): 1703-1709.

Ladrera, R.; M. Rieradevall and N. Prat. 2015, feb. Massive growth of the invasive algae *Didymosphenia geminata* associated with discharges from a mountain reservoir alters the taxonomic and functional structure of macroinvertebrate community. *River Research and Applications*, 31(2):216-227.

Miller, M.; D. McKnight; J. Cullis; A. Greene; K. Vietti y D. Liptzin. 2009. Factors controlling streambed coverage of *Didymosphenia geminata* in two regulated streams in the Colorado Front Range. *Hydrobiologia*, 630:207–218.

Montecino, V.; X. Molina; S. Kumar; M. Castillo y R. Bustamante. 2014, ago. Niche dynamics and potential geographic distribution of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt, an invasive freshwater diatom in Southern Chile. *Aquatic Invasions*, 9(4):507-519.

Morales, E.; S. Rivera; A. Veizaga y R. Fiorini. 2012, marzo. *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt (Bacillariophyta), una especie invasora y potencial amenaza para ecosistemas acuáticos bolivianos. *ACTA NOVA*, 5(3):327-343.

Olivares, P.; P. Orellana; G. Guerra; M. Peredo-Parada; V. Chavez y J. Parodi. 2015. Water contaminated with *Didymosphenia geminata* generates changes in *Salmo salar* spermatozoa activation times. *Aquatic toxicology* 163: 102-108.

Poff, L.; D. Allan; M. Bain; J. Karr; K. Prestegard; B. Richter; R. Sparks y J. Stromberg. 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47 (11): 769-784.

Resolución Exenta N° 3064. Declara área de plaga sectores de cuerpo de agua terrestres, Valparaíso: Subsecretaría de pesca. 2010. [Publicada en Diario Oficial el: 13 de octubre de 2010].

Rost, A. y C. Fritsen. 2014. Influence of a tributary stream on benthic communities in a *Didymosphenia geminata* impacted stream in the Sierra Nevada, USA. *Diatom Research*, 29(3):249-257.

Rost, A; C. Fritsen y C. Davis. 2011. Distribution of freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in streams in the Sierra Nevada, USA, in relation to water chemistry and bedrock geology. *Hydrobiologia* 665:157–167.

Spaulding, S. y L. Elwell. 2007. Increase in nuisance blooms and geographic expansion of the freshwater diatom *Didymosphenia geminata*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1425, 38 p.

Taylor, B. y M. Bothwell. 2014. The Origin of Invasive Microorganisms Matters for Science, Policy, and Management: The Case of *Didymosphenia geminata*. *BioScience*, 64(6):531-538.

Villarroel, M. 2014. Preferencias hidromorfológicas e hidrodinámicas de la Microalga *Didymosphenia geminata* en ríos del sur de Chile. Memoria de Título para optar al título de Ingeniero civil en obras civiles, Departamento de Ingeniería en obras civiles, Universidad de Santiago de Chile.

Whiting, P. 2003. Flow Measurement and Characterization (323-345p). Tools in Fluvial Geomorphology. Kondolf, M and H. Piégay (eds). England. 688p.

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

## 7 APÉNDICES

Apéndice I. Magnitudes de los caudales mínimos asociados a cada periodo de retorno (T)

Código punto	Didymo	Q medio anual	Q (T=2) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=5) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=10) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=20) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
PUNTO5-SERNAP	Presencia	138,3	24,867	21,611	19,605	17,812
AMK-SENAP2 BC	Presencia	138,3	24,867	21,611	19,605	17,812
AMK-BALSRAHA	Presencia	138,3	24,867	21,611	19,605	17,812
AMK-SERNAPLQM	Presencia	26,4	4,726	3,468	2,821	2,295
AMK-SANPEDRO2	Presencia	365,3	94,316	80,999	74,772	69,964
AMK-HUAHUM2	Presencia	55,4	8,716	7,348	6,810	6,430
AMK-HUAHUM1	Presencia	55,4	8,716	7,348	6,810	6,430
F-AMK-BIOBIO2	Presencia	251,3	33,121	29,374	27,972	27,008
F-AMK-BIOBIO1	Ausencia	451,5	80,845	63,166	54,638	47,944
F-AMK-NUBLE2	Ausencia	138,3	15,868	11,587	8,915	6,510
F-AMK-NUBLE1	Ausencia	138,3	15,868	11,587	8,915	6,510
F-AMK-CHOLGN1	Ausencia	40,2	6,293	4,913	4,382	4,010
F-AMK-CHOLGN2	Ausencia	40,2	6,293	4,913	4,382	4,010
F-AMK-ITATA2	Ausencia	57,5	4,876	3,161	2,352	1,724
F-AMK-ITATA1	Ausencia	57,5	4,876	3,161	2,352	1,724
F-AMK-BIOBIO1P	Ausencia	451,5	80,845	63,166	54,638	47,944
F-TRIGUEN1	Ausencia	4,4	0,219	0,107	0,060	0,026

(Continúa)

## Apéndice I. (Continuación)

Código punto	Didymo	Q medio anual	Q (T=2) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=5) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=10) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q (T=20) m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
F-TRIGUEN2	Ausencia	4,4	0,219	0,107	0,060	0,026
F-QUEPE2	Ausencia	83,3	14,036	10,391	8,711	7,422
AMK-TOLTEN1	Ausencia	250,6	97,794	85,248	79,328	74,735
AMK-TOLTEN2	Ausencia	250,6	97,794	85,248	79,328	74,735
AMK-CAUTIN1	Ausencia	90,9	30,877	25,892	23,455	21,538
AMK-CAUTIN2	Ausencia	90,9	30,877	25,892	23,455	21,538
F-TRUENO2	Ausencia	13,2	2,136	1,674	1,450	1,275
F-TRUENO1	Ausencia	13,2	2,136	1,674	1,450	1,275
AMK-LIUCURAS1	Ausencia	30,5	6,074	5,196	4,849	4,603
AMK-MAICHIN1	Ausencia	110,8	28,388	22,572	19,712	17,446
AMK-TRANCURA2	Ausencia	29,7	5,739	4,266	3,463	2,791
AMK-ALLIPEN1	Ausencia	126,5	53,821	42,626	36,318	30,943
AMK-ALLIPEN2	Ausencia	126,5	53,821	42,626	36,318	30,943
AMK-CURACO1	Ausencia	45,7	4,565	3,450	2,953	2,579
AMK-CURACO2	Ausencia	45,7	4,565	3,450	2,953	2,579
AMK-SANPEDRO1	Ausencia	365,3	94,316	80,999	74,772	69,964
AMK-FLORIN2	Ausencia	38,3	4,774	3,682	3,246	2,937
AMK-CAUNAHUE2	Ausencia	38,3	4,774	3,682	3,246	2,937
AMK-CALCRRPE2	Ausencia	176,9	59,096	53,264	50,789	48,973
AMK-NILHUE1	Ausencia	36,1	11,904	10,266	9,560	9,038

(Continúa)

**Apéndice I. (Continuación)**

<b>Código punto</b>	<b>Didymo</b>	<b>Q medio anual</b>	<b>Q (T=2) m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup></b>	<b>Q (T=5) m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup></b>	<b>Q (T=10) m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup></b>	<b>Q (T=20) m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup></b>
AMK-CRUCES1	Ausencia	79,2	9,171	7,362	6,541	5,917
AMK-CRUCES2	Ausencia	79,2	9,171	7,362	6,541	5,917
AMK-BUENO2	Ausencia	353,7	141,553	124,353	116,499	110,508
AMK-IGNAO1	Ausencia	353,7	141,553	124,353	116,499	110,508
AMK-LIQUINE2	Ausencia	40,7	11,040	8,128	6,550	5,234
AMK-CUACUA2	Ausencia	40,7	11,040	8,128	6,550	5,234
AMK-DPILMAQN2	Ausencia	170,1	52,304	40,737	34,843	30,082
AMK-FUY1	Presencia	76,8	-	-	-	-
AMK-FUY2	Presencia	76,8	-	-	-	-

**Apéndice II.** Cuadro resumen del régimen de caudales durante los muestreos

<b>Componentes y variables del régimen hidrológico</b>	<b>Huahum1 y Huahum2</b>		<b>Fuy1</b>		
	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	
N° días considerados antes del muestreo		162	162	160	160
<b>Magnitud</b>					
Caudal medio anual [ $m^3s^{-1}$ ]		55,4	55,4	76,8	76,8
Media caudales antes del muestreo (ds) [ $m^3s^{-1}$ ]	84,32 (32,88)	18,46 (7,7)	97,11 (51,03)	19,07 (13,54)	
Media caudales 30 días antes [ $m^3s^{-1}$ ]		53,66	23	58,58	35,35
<b>Tasas de cambio</b>					
Media de las tasas diarias de cambio (ds)	0,034 (0,041)	0,038 (0,046)	0,054 (0,06)	0,081 (0,13)	
Mayor tasa de cambio diaria antes muestreo, variación de Q (días antes del muestreo)	0,308;37 (80)	0,311;4,2 (94)	0,387;65,914 (84)	1,08;4,605 (43)	
Mayor tasa de cambio en relación al Q medio anual	0,668;37 (80)	0,078;4,3 (8)	0,86;65,914 (84)	0,14;10,948(6)	
<b>Duración</b>					
Números de días en que $Q_{diario} > Q_{anual}$		145	0	87	0
<b>Frecuencia de ocurrencia</b>					
Rango de caudales máximos T=5 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r	s/r	s/r	
Rango de caudales máximos T=2 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	194-204(días 79-82)	s/r	s/r	s/r	
Rango de caudales mínimos T=2 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r			
Rango de caudales mínimos T=5 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r			
Rango de caudales mínimos T=10 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r			
Rango de caudales mínimos T=20 [ $m^3s^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r			

**Nota:** s/r: sin registro antes de los muestreos.

(Continúa)

**Apéndice II.** (Continuación)

<b>Componentes y variables del régimen hidrológico</b>	<b>Fuy2</b>		<b>SanPedro2</b>		
	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	
N° días considerados antes del muestreo		153	153	147	147
<b><i>Magnitud</i></b>					
Caudal medio anual [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]		76,8	76,8	365,5	365,5
Media caudales antes del muestreo (ds) [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	89,18 (50,92)	18,81 (14,33)	420,81 (165,08)	151,4 (37,9)	
Media caudales 30 días antes [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]		51,01	37,91	262,9	201,13
<b><i>Tasas de cambio</i></b>					
Media de las tasas diarias de cambio (ds)	0,056 (0,098)	0,083(0,13)	0,03 (0,023)	0,025 (0,035)	
Mayor tasa de cambio diaria antes del muestreo, variación de Q (días antes del muestreo)	0,387;42,014(94)	1,08;4,61 (46)	0,12;54 (95)	0,25 (37)	
Mayor tasa de cambio en relación al Q medio anual	0,86; 65,914(94)	0,14;10,984 (8)	0,17;61(93)	0,13; 48 (1)	
<b><i>Duración</i></b>					
Números de días en que $Q_{\text{diario}} > Q_{\text{anual}}$		73	0	80	0
<b><i>Frecuencia de ocurrencia</i></b>					
Rango de caudales máximos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r
Rango de caudales máximos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r
Rango de caudales mínimos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)			s/r	s/r	s/r
Rango de caudales mínimos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)	No se pudo ajustar una función de distribución de probabilidades a la serie de caudales mínimos.			s/r	s/r
Rango de caudales mínimos T=10 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)				s/r	s/r
Rango de caudales mínimos T=20 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ](periodo)				s/r	s/r
<b>Nota:</b> s/r: sin registro antes de los muestreos.					

(Continúa)

## Apéndice II. (Continuación)

Componentes y variables del régimen hidrológico	Amk-SernapLQM	
	Primavera	Otoño
N° días considerados antes del muestreo	182	182
<b>Magnitud</b>		
Caudal medio anual [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	26,4	26,4
Media caudales antes del muestreo (ds) [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	31,37 (22,75)	11,05 (8,52)
Media caudales 30 días antes [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	27,16	18,186
<b>Tasas de cambio</b>		
Media de las tasas diarias de cambio (ds)	0,157(0,262)	0,21(0,553)
Mayor tasa de cambio diaria antes muestreo, variación de Q (días antes del muestreo)	2,08;25,6(144)	5,64;14,27 (21)
Mayor tasa de cambio en relación al Q medio anual	1,74;46 (71)	1,46;38,5 (8)
<b>Duración</b>		
Números de días en que $Q_{\text{diario}} > Q_{\text{anual}}$	91	8
<b>Frecuencia de ocurrencia</b>		
Rango de caudales máximos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	s/r	s/r
Rango de caudales máximos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	168 y 165 ( días 70 y 71)	s/r
Rango de caudales mínimos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	s/r	4,28 - 4,72 (14 días entre 75 - 35)
Rango de caudales mínimos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	3,82 y 3,84 (días 181 y 182)	3,26 - 3,82 (días 47, 46, 35, 34, 24)
Rango de caudales mínimos T=10 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	4,21 (día 178)	2,64-3,17 (entre días 33-25)
Rango de caudales mínimos T=20 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (periodo)	s/r	2,53 (día 21)
<b>Nota:</b> s/r: sin registro antes de los muestreos.		

(Continúa)

**Apéndice II.** (Continuación)

<b>Componentes y variables del régimen hidrológico</b>	<b>F-amk-Sernap2BC y Punto5-Sernap</b>	
	<b>Primavera</b>	<b>Otoño</b>
N° días considerados antes del muestreo	183	183
<b><i>Magnitud</i></b>		
Caudal medio anual [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	138,3	138,3
Media caudales antes del muestreo (ds) [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	174 (117,42)	45,83 (27,56)
Media caudales 30 días antes [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	169,47	67,95
<b><i>Tasas de cambio</i></b>		
Media de las tasas diarias de cambio (ds)	0,101(0,142)	0,096(0,198)
Mayor tasa de cambio diaria antes muestreo, variación de Q (días antes del muestreo)	0,81;24,1 (177)	1,57;86,958 (11)
Mayor tasa de cambio en relación al Q medio anual	2,51;347,143 (72)	0,63;86,958(10)
<b><i>Duración</i></b>		
Números de días en que $Q_{\text{diario}} > Q_{\text{anual}}$	117	2
<b><i>Frecuencia de ocurrencia</i></b>		
Rango de caudales máximos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	1009,13 (día 72)	s/r
Rango de caudales máximos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	597,51-771,41 (días 73, 71 y 70)	s/r
Rango de caudales mínimos T=2 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	s/r	24,607-22,369 (11 días entre 88-24)
Rango de caudales mínimos T=5 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	s/r	23,223-20,639 (25 días entre 88-24)
Rango de caudales mínimos T=10 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	s/r	20,802-19,206 (7 días entre 88-24)
Rango de caudales mínimos T=20 [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] (n° días)	s/r	s/r

**Nota:** s/r: sin registro antes de los muestreos

## 8 ANEXOS

**Anexo I.** Puntos de muestreo prospectados en la campaña de primavera con presencia o ausencia de *D. geminata* viable

N°	Punto de muestreo	Cuenca	Río	Subcuenca	Didymo 2013
1	Amk-SanPedro2	Valdivia	San Pedro	R. San Pedro (Entre desague L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	SI
2	Amk-Llanqhue1	Valdivia	Llanquihue	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
3	Amk-Enco2	Valdivia	Enco	R. San Pedro (Entre desague L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	SI
4	Amk-Enco1	Valdivia	Enco	R. San Pedro (Entre desague L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	SI
5	Amk-Fuy1	Valdivia	Fuy	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
6	Amk-Llanqhue2	Valdivia	Llanquihue	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
7	Amk-Huahum1	Valdivia	Hua-Hum	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
8	Amk-Huahum2	Valdivia	Hua-Hum	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
9	Amk-Fuy2	Valdivia	Fuy	Rio Valdivia Alto (hasta desague Lago Panguipulli)	SI
10	F-Rpuconbalsa	Tolten	Pucon	Rio Pucon	SI
11	Amk-Biobio1	Bio bio	Bio Bio	Rio Bio-Bio Alto (Hasta despues junta Rio Lamin)	SI
12	Amk-Sernaplqm	Bio bio	Lonquimay	Rio Bio-Bio Alto (Hasta despues junta Rio Lamin)	SI
13	F-Lolen-Sernap	Bio bio	Lolén	Rio Bio-Bio Alto (Hasta despues junta Rio Lamin)	SI
14	Tallon-Sernap	Bio bio	Bio Bio	Rio Bio-Bio Alto (Hasta despues junta Rio Lamin)	SI

(Continúa)

**Anexo I.** (Continuación)

<b>N°</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Río</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Didymo 2013</b>
15	PuntoX-Sernap	Bío-Bío	Bío-Bío	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	SI
16	Punto5-Sernap	Bío-Bío	Bío-Bío	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	SI
17	Amk-Sernap2BC	Bío-Bío	Bío-Bío	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	SI
18	Amk-Balsraha	Bío-Bío	Ranquil	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	SI
19	Amk-Biobio2	Bío-Bío	Bío-Bío	Cautín Alto (hasta antes junta R. Quepe)	SI
20	F-Amk-Biobio2	Bío-Bío	Bío-Bío	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Rio Duqueco	SI
21	Amk-Cruces1	Valdivia	Cruces	Río Cruces	NO
22	Amk-Cruces2	Valdivia	Cruces	Río Cruces	NO
23	Amk-Putrgl1	Valdivia	Iñaque	Río Cruces	NO
24	Amk-Mafil2	Valdivia	Mafil	Río Cruces	NO
25	Amk-Quinchil2	Valdivia	Quinchilca	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
26	Amk-Remehue2	Valdivia	Remehue	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
27	Amk-Q Quinchil1	Valdivia	Quinchilca	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
28	Amk-Bueno2	Bueno	Bueno	Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquén	NO
29	Amk-Dpilmaq2	Bueno	Pilmaiquén	Río Pilmaiquén	NO
30	Amk-Ignao1	Bueno	Ignao	Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquén	NO
31	Amk-Rininahue2	Bueno	Riñinahue	Afluentes Lago Ranco	NO
32	Amk-Hueinahu2	Bueno	Hueinahué	Afluentes Lago Ranco	NO
33	Amk-Chiuio2	Bueno	Chiuio	Afluentes Lago Ranco	NO

(Continúa)

**Anexo I.** (Continuación)

N°	Punto de muestreo	Cuenca	Río	Subcuenca	Didymo 2013
34	Amk-Bcomaihu1	Bueno	Blanco-Maihue	Afluentes Lago Ranco	NO
35	Amk-Cumilahue1	Bueno	Curinilahue	Afluentes Lago Ranco	NO
36	Amk-Caunahue2	Bueno	Caunahue	Afluentes Lago Ranco	NO
37	Amk-Ñilhue1	Bueno	Ñilhue	Afluentes Lago Ranco	NO
38	Amk-Calcurrupe2	Bueno	Calcurrupe	Afluentes Lago Ranco	NO
39	Amk-Cumilahue2	Bueno	Curinilahue	Afluentes Lago Ranco	NO
40	Amk-Curine2	Bueno	Curriñe	Afluentes Lago Ranco	NO
41	Amk-Florin2	Bueno	Caunahue	Afluentes Lago Ranco	NO
42	Amk-Neltume2	Bueno	Chico	Afluentes Lago Ranco	NO
43	Amk-Neltume1	Valdivia	Neltume	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO
44	Amk-SanPedro1	Valdivia	San Pedro	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
45	Amk-Manio2	Valdivia	Mañío	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
46	Amk-Huenehue2	Valdivia	Huenehue	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO
47	Amk-Zahuil2	Valdivia	Zahuil	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO
48	Amk-Bcoenco2	Valdivia	Enco	R. San Pedro (Entre desagüe L. Panguipulli y Bajo R. Quinchilca)	NO
49	Amk-Cuacua2	Valdivia	Cuacua	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO
50	Amk-Liquine2	Valdivia	Liquiñe	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO
51	Amk-Llanchah1	Valdivia	Llanchah	Río Valdivia Alto (hasta desagüe Lago Panguipulli)	NO

(Continúa)

Anexo I. (Continuación)

N°	Punto de muestreo	Cuenca	Río	Subcuenca	Didymo 2013
52	Amk-Maichin1	Toltén	Maichín	Río Pucón	NO
53	Amk-Panqui2	Toltén	Panqui	Río Pucón	NO
54	Amk-Liucuras1	Toltén	Liucura	Río Pucón	NO
55	Amk-Caburgua2	Toltén	Caburgua	Río Pucón	NO
56	Amk-Claro1	Toltén	Claro	Río Pucón	NO
57	Amk-Allipen1	Toltén	Allipén	Río Allipén	NO
58	Amk-Curaco2	Toltén	Curaco	Río Allipén	NO
59	Amk-Curaco1	Toltén	Curaco	Río Allipén	NO
60	Amk-Pedregoso1	Toltén	Pedregoso	Lago Villarica y Toltén Alto	NO
61	Amk-Tolten1	Toltén	Toltén	Lago Villarica y Toltén Alto	NO
62	Amk-Trancura2	Toltén	Trancura	Río Pucón	NO
63	Amk-Liucura2	Toltén	Liucura	Río Pucón	NO
64	Amk-Pucon2	Toltén	Pucón	Río Pucón	NO
65	F-Codigue1	Imperial	Codigüe	Río Quepe	NO
66	F-Vilcun1	Imperial	Vilcún	Río Quepe	NO
67	F-Trueno1	Imperial	Trueno	Cautín Alto (hasta antes junta R. Quepe)	NO
68	F-Peupeu1	Imperial	Peu peu	Cautín Alto (hasta antes junta R. Quepe)	NO
69	F-Trueno2	Imperial	Trueno	Cautín Alto (hasta antes junta R. Quepe)	NO
70	Amk-Pedregoso2	Toltén	Pedregoso	Lago Villarrica y Toltén Alto	NO
71	Amk-Tolten2	Toltén	Toltén	Lago Villarrica y Toltén Alto	NO
72	Amk-Allipen2	Toltén	Allipén	Río Allipén	NO
73	Amk-Quepe2	Imperial	Quepe	Río Quepe	NO
74	Punto4-Sernap	Bío Bío	Bío Bío	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	NO
75	Amk-Liucuran2	Bío Bío	Liucura	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Rio Lamin)	NO

(Continúa)

Anexo I. (Continuación)

N°	Punto de muestreo	Cuenca	Río	Subcuenca	Didymo 2013
76	Amk-Cautin1	Imperial	Cautín	Cautín Alto (hasta antes junta R. Quepe)	NO
77	Amk-Cautin2	Imperial	Cautín	Río Bío-Bío Alto (Hasta después junta Río Lamin)	NO
78	F-Triguen1	Imperial	Traiguén	Río Lumaco	NO
79	F-Amk-BioBio1P	Bío Bío	Bío Bío	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Río Duqueco	NO
80	F-Amk-Canicr1	Bío Bío	Canicura	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Río Duqueco	NO
81	F-Amk-BioBio1	Bío Bío	Bio Bio	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Río Duqueco	NO
82	F-Amk-Queuco1	Bío Bío	Queuco	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Río Duqueco	NO
83	F-Amk-Queuco2	Bío Bío	Queuco	Río Bío-Bío entre Rio Ranquil y Río Duqueco	NO
84	F-Amk-Laja2	Bío Bío	Laja	Laja Bajo	NO
85	F-Amk-Laja1	Bío Bío	Laja	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	NO
86	F-Amk-Cholgn2	Itata	Cholguan	Río Itata Alto (Hasta Río Diguillín)	NO
87	F-Amk-Cholgn1	Itata	Cholguan	Río Itata Alto (Hasta Río Diguillín)	NO
88	Amk-Digui1	Itata	Diguillín	Itata Medio	NO
89	F-Amk-Itata1	Itata	Itata	Itata Medio	NO
90	F-Amk-Itata2	Itata	Itata	Itata Medio	NO
91	F-Amk-Nuble2	Itata	Itata	Nuble Bajo	NO
92	F-Amk-Nuble1	Itata	Itata	Nuble Bajo	NO
93	F-Triguen2	Imperial	Traiguén	Rio Lumaco	NO

Fuente. Amakaik-EcoHyd, 2014a

Anexo II. Estaciones fluviométricas asociadas a los puntos de muestreo de *D. geminata*

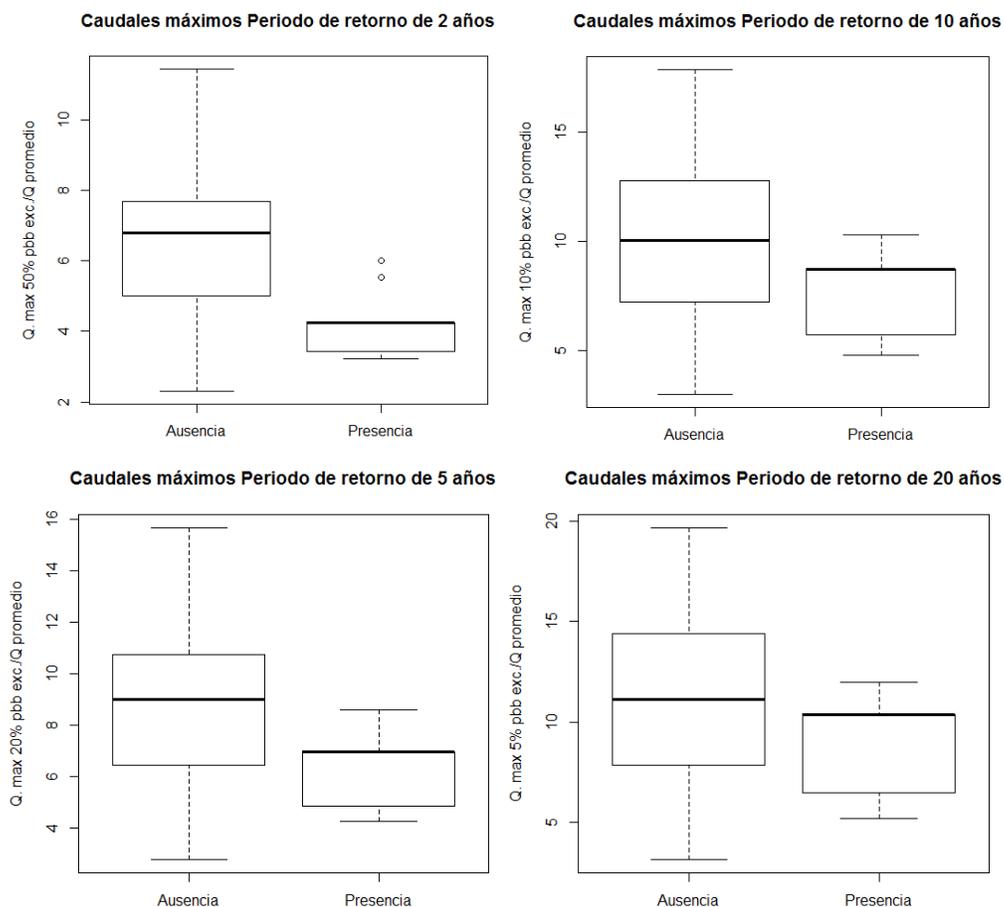
<b>Código punto</b>	<b>Estación fluviométrica</b>	<b>Didymo</b>
PUNTO5-SERNAP	RIO BIO-BIO EN LLANQUEN	Presencia
AMK-SENAP2 BC	RIO BIO-BIO EN LLANQUEN	Presencia
AMK-BALSRAHA	RIO BIO-BIO EN LLANQUEN	Presencia
AMK-SERNAPLQM	RIO LONQUIMAY ANTES JUNTA RIO BIO BIO	Presencia
AMK-SANPEDRO2	RIO SAN PEDRO EN DESAGUE L. RIÑIHUE	Presencia
AMK-HUAHUM2	RIO HUAHUM EN LA FRONTERA	Presencia
AMK-HUAHUM1	RIO HUAHUM EN LA FRONTERA	Presencia
AMK-FUY1	RIO FUI EN DESAGÜE LAGO PIRIHUEICO	Presencia
AMK-FUY2	RIO FUI EN DESAGÜE LAGO PIRIHUEICO	Presencia
F-AMK-BIOBIO2	RIO BIO-BIO ANTE JUNTA HUIRI HUIRI	Presencia
F-AMK-BIOBIO1	RIO BIOBIO EN RUCALHUE	Ausencia
F-AMK-NUBLE2	RIO ÑUBLE EN SAN FABIAN N 2	Ausencia
F-AMK-NUBLE1	RIO ÑUBLE EN SAN FABIAN N 2	Ausencia
F-AMK-CHOLGN1	RIO ITATA EN CHOLGUAN	Ausencia
F-AMK-CHOLGN2	RIO ITATA EN CHOLGUAN	Ausencia
F-AMK-ITATA2	RIO ITATA EN GENERAL CRUZ	Ausencia
F-AMK-ITATA1	RIO ITATA EN GENERAL CRUZ	Ausencia
F-AMK-BIOBIO1P	RIO BIOBIO EN RUCALHUE	Ausencia
F-TRIGUEN1	RIO TRAIGUEN EN VICTORIA	Ausencia
F-TRIGUEN2	RIO TRAIGUEN EN VICTORIA	Ausencia
F-QUEPE2	RIO QUEPE EN QUEPE	Ausencia
AMK-TOLTEN1	RIO TOLTEN EN VILLARICA	Ausencia
AMK-TOLTEN2	RIO TOLTEN EN VILLARICA	Ausencia
AMK-CAUTIN1	RIO CAUTIN EN RARI-RUCA	Ausencia
AMK-CAUTIN2	RIO CAUTIN EN RARI-RUCA	Ausencia
F-TRUENO2	RIO COLLIN EN CODAHUE	Ausencia
F-TRUENO1	RIO COLLIN EN CODAHUE	Ausencia
AMK-LIUCURAS1	RIO LIUCURA EN LIUCURA	Ausencia
AMK-MAICHIN1	RIO TRANCURA ANTES RIO LLAFENCO	Ausencia
AMK-TRANCURA2	RIO TRANCURA EN CURARREHUE	Ausencia
AMK-ALLIPEN1	RIO ALLIPÉN EN LOS LAURELES	Ausencia
AMK-ALLIPEN2	RIO ALLIPÉN EN LOS LAURELES	Ausencia
AMK-CURACO1	RIO CURACO EN COLICO	Ausencia
AMK-CURACO2	RIO CURACO EN COLICO	Ausencia
AMK-SANPEDRO1	RIO SAN PEDRO EN DESAGUE L. RIÑIHUE	Ausencia
AMK-FLORIN2	RIO CAUNAHUE CAMINO A LLIFEN	Ausencia
AMK-CAUNAHUE2	RIO CAUNAHUE CAMINO A LLIFEN	Ausencia
AMK-CALCRRPE2	RIO CALCURRUPE EN DESEMBOCADURA	Ausencia

(Continúa)

## Anexo II. (Continuación)

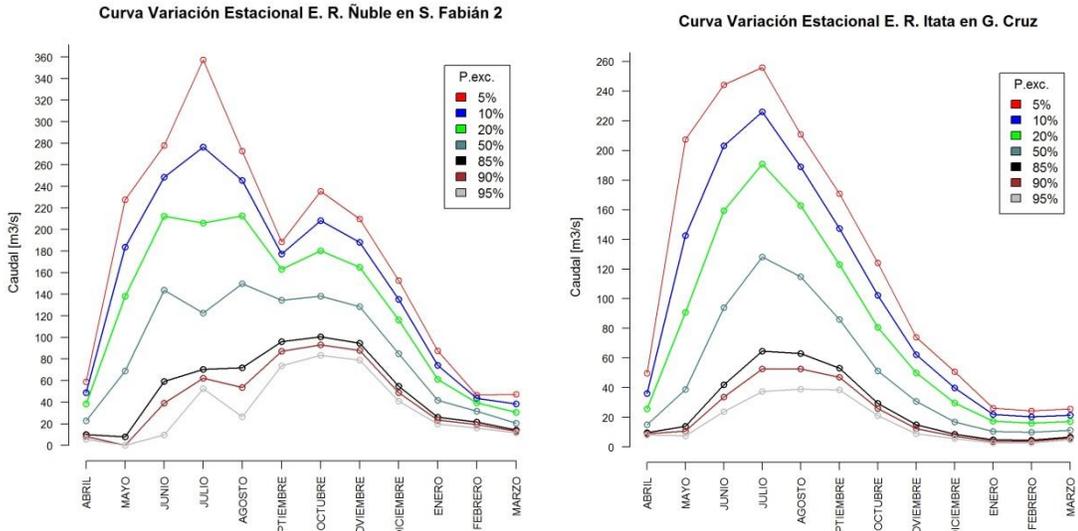
Código punto	Estación fluviométrica	Didymo
AMK-NILHUE1	RIO NILAHUE EN MAYAY	Ausencia
AMK-CRUCES1	RIO CRUCES EN RUCACO	Ausencia
AMK-CRUCES2	RIO CRUCES EN RUCACO	Ausencia
AMK-BUENO2	RIO BUENO EN BUENO	Ausencia
AMK-IGNAO1	RIO BUENO EN BUENO	Ausencia
AMK-LIQUINE2	RIO LIQUINE EN LIQUINE	Ausencia
AMK-CUACUA2	RIO LIQUINE EN LIQUINE	Ausencia
AMK-DPILMAQN2	RIO PILMAIQUÉN EN SAN PABLO	Ausencia

Fuente. Villarroel, 2014

Anexo III. Gráficas de cuartiles de caudales máximos para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años según ausencia/presencia de *D. geminata* (n=45)

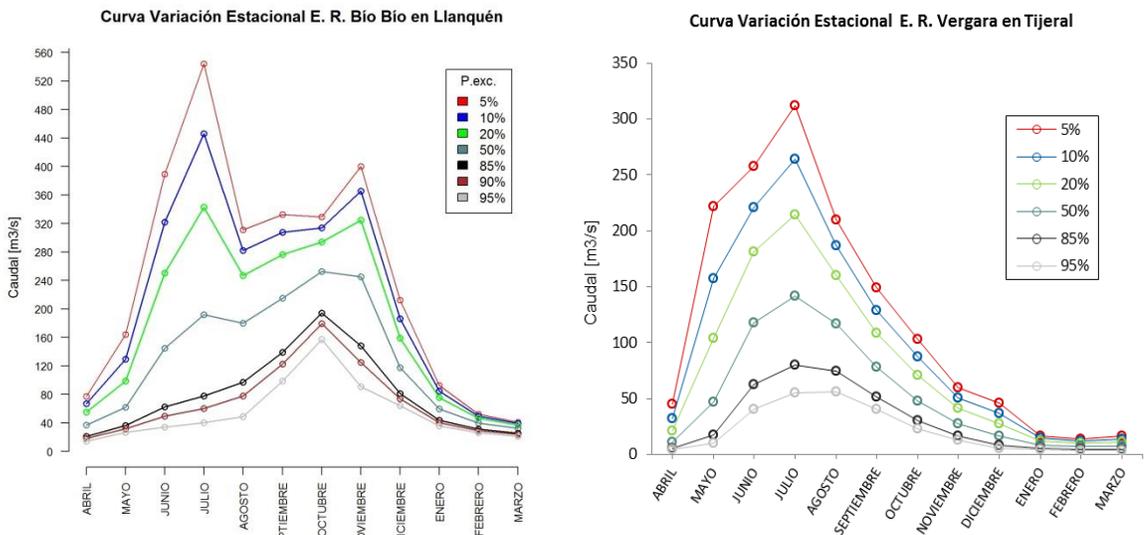
Fuente. Modificado de Villarroel, 2014

**Anexo IV. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Itata**



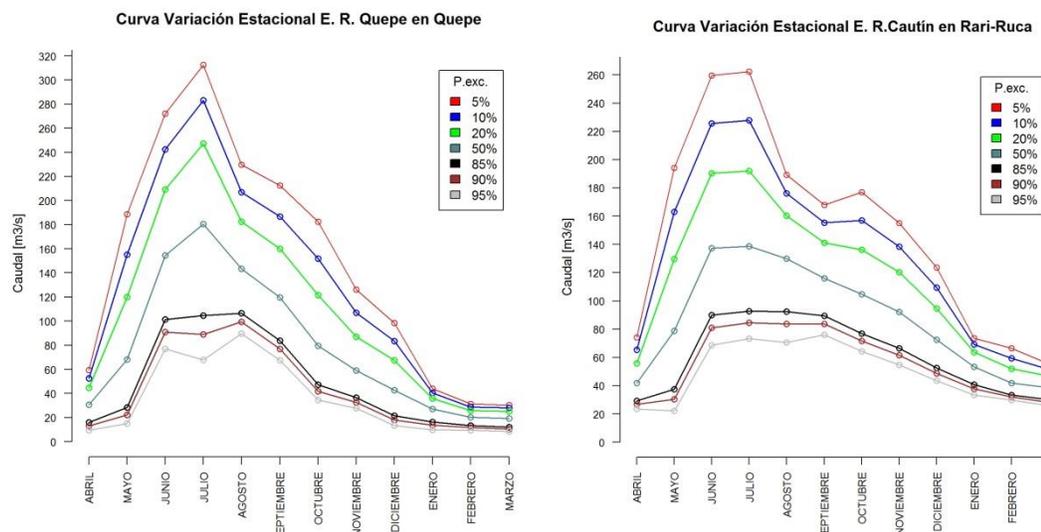
**Fuente.** Villarroel, 2014

**Anexo V. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Bío-Bío**



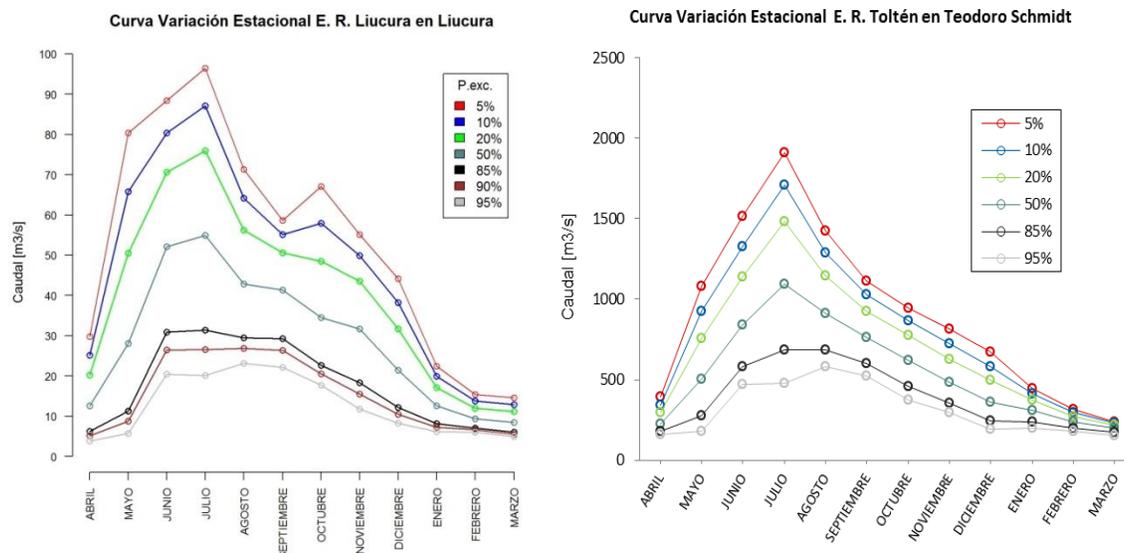
**Fuente.** Villarroel, 2014; Adaptado con base en CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004b, respectivamente

## Anexo VI. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Imperial



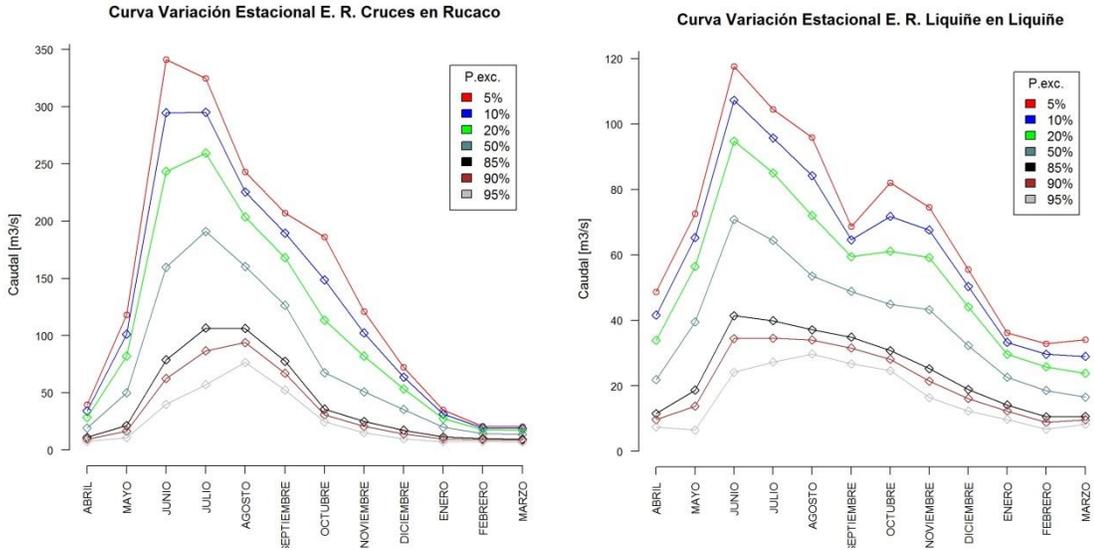
Fuente. Villarroel, 2014

## Anexo VII. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Toltén



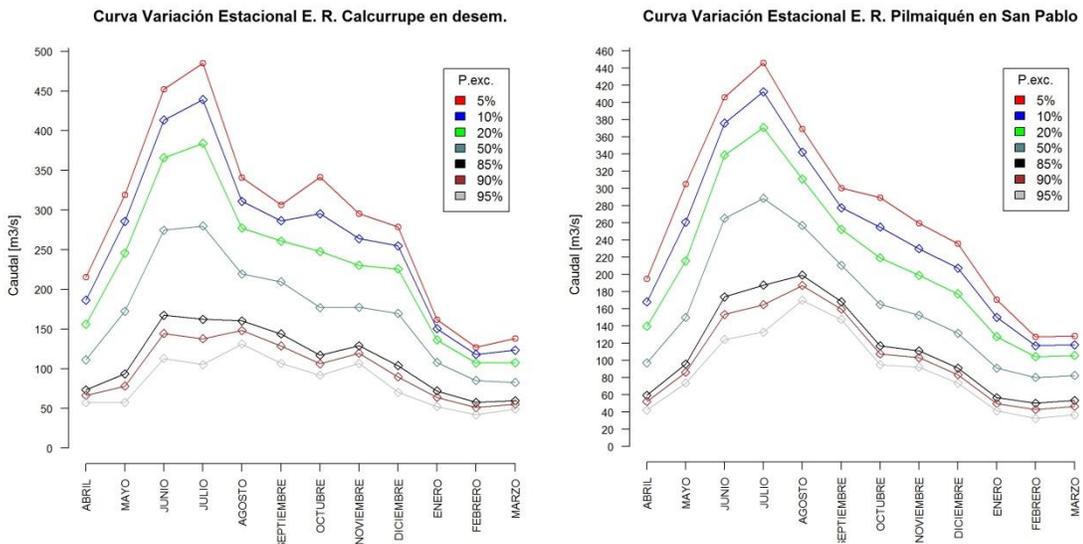
Fuente. Villarroel, 2014; Adaptado con base en CADE IDEPE Consultores en Ingeniería, 2004d, respectivamente

**Anexo VIII. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Valdivia**



Fuente. Villarroel, 2014

**Anexo IX. Curvas de variación estacional representativas del régimen hidrológico de la cuenca del río Bueno**



Fuente. Villarroel, 2014

**Anexo X.** Datos de densidad, cobertura y espesor obtenidos en las campañas de primavera y otoño asociados a su respectivo punto de muestreo

Código punto de muestreo	Densidad		Cobertura		Espesor	
	primavera	otoño	primavera	otoño	primavera	otoño
	(cel/mm <sup>2</sup> )					
Amk-Huahum1	108,80	190,400	4	3	3	3
Amk-Huahum2	70,69	53,760	4	2	3	2
Amk-Fuy2	130,67	0,311	2	2	2	2
Amk-Fuy1	0,74	0,185	0	0	0	0
Amk-Llanqhue1	87,83	0,007	2	0	2	0
Amk- Llanqhue2	69,67	0,007	4	0	3	0
Amk-Enco1	22,05	0,007	1	0	1	0
Amk-Enco2	24,89	0,007	4	0	2	0
Amk-SanPedro2	132,69	0,007	4	0	3	0
F-Rpuconbalsa	67,20	0,007	1	0	1	0
Amk-BioBio1	4,80	0,007	1	2	1	2
Amk-BioBio2B	8,75	229,744	1	1	2	1
PuntoX-Sernap	5,23	0,652	1	1	1	1
Tallon-Sernap	1,53	8,711	4	1	3	1
F-Lolen-Sernap	130,00	0,007	4	2	3	2
Amk-Sernaplqm	12,13	0,007	2	0	2	0
Amk-Balsraha	16,00	6,400	4	0	3	0
Amk-Sernap2bc	24,65	5,393	4	0	3	0
Punto5-Sernap	667,80	7,040	3	0	2	0
F-Amk-BioBio2	100,80	19,200	4	3	3	2