



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE PREGRADO

**“DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN
RÍOS DE SIETE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA ZONA SUR DE CHILE”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente.

FLAVIA FRANCIA SALCEDO DÍAZ

Directora del Seminario de Título

Sra. IRMA VILA PINTO

Enero 2022

Santiago - Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la Srta. Flavia Francia Salcedo Díaz.

“DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN RÍOS DE SIETE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA ZONA SUR DE CHILE”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente.

Directora Seminario de Título: Irma Del Carmen Vila Pinto

Comisión Revisora y Evaluadora

Presidente Comisión: Dr. David Véliz Baeza

Evaluador: Dra. María Catalina Sabando Gomez

Santiago de Chile, Enero 2022

BIOGRAFÍA



“Para ver el mundo en un grano de arena
y el cielo en una flor silvestre
abarca el infinito en la palma de tu mano
y la eternidad en una hora”

William Blake

A mi Madre Isabel Díaz Flores

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutora la profesora Irma Vila, quien me ha entregado mucho apoyo, dedicación y por sobre todo paciencia. También, quiero agradecer a Alejandro Palma, experto en macroinvertebrados acuáticos y que durante varios años me ha nutrido con sus conocimientos motivándome a seguir adelante con el estudio y conservación de este grupo.

A mi familia y amistades por apoyarme siempre, por sobre todo a mi madre y a cada persona que contribuyó en este trabajo.

Por último, quiero agradecer al Laboratorio de Limnología de la Universidad de Chile por proporcionar la información para la ejecución del presente Seminario de Título.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

BIOGRAFÍA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1. Objetivo General	9
3.2. Objetivos Específicos	9
4. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1. Área de estudio	10
4.2. Descripción cuencas hidrográficas	13
4.2.1. Cuenca del Río Biobío	13
4.2.2. Cuenca del Río Imperial	14
4.2.3. Cuenca del Río Toltén	15
4.2.4. Cuenca del Río Valdivia	15
4.2.5. Cuenca del Río Bueno.....	17
4.2.6. Cuenca e islas entre Río Bueno y Río Puelo	18
4.2.7. Cuenca del Río Puelo.....	18
4.3. Obtención de las muestras	19
4.3.1. Macroinvertebrados bentónicos.....	19
4.3.2. Parámetros físicos y químicos del agua.....	20
4.3.3. Variables hidráulicas.....	21
4.3.4. Sustrato	21
4.4. Análisis de los datos	23
4.4.1. Macroinvertebrados Bentónicos.....	23
4.4.2. Variables ambientales	25
4.4.3. Análisis Estadístico.....	25
5. RESULTADOS	27
5.1. Macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur y en cada cuenca hidrográfica	27

5.2. Distribución de los macroinvertebrados bentónicos a través del gradiente latitudinal.....	30
5.2.1. <i>Phylum Annelida</i>	32
5.2.2. <i>Phyla Nematomorpha y Platyhelminthes</i>	33
5.2.3. <i>Phylum Mollusca</i>	33
5.2.4. <i>Phylum Arthropoda</i>	34
5.2.5. <i>Subphylum Chelicerata</i>	35
5.2.6. <i>Subphylum Crustacea</i>	35
5.2.7. Clase Insecta.....	36
5.3. Descripción de los índices comunitarios de cada cuenca hidrográfica de la zona sur	46
5.3.1. Densidad de individuos (ind/m ²)	47
5.3.2. Riqueza de <i>taxa</i>	48
5.3.3. Diversidad de Shannon-Weiner (H)	49
5.4. Descripción de las variables ambientales de cada cuenca hidrográfica de la zona sur	50
5.4.1. Temperatura	51
5.4.2. Oxígeno Disuelto (OD)	52
5.4.3. pH.....	53
5.4.4. Conductividad Eléctrica (CE)	54
5.4.1. Velocidad de la corriente	54
5.4.2. Profundidad de la columna de agua	55
5.4.3. Composición del Sustrato	56
5.5. Análisis Estadístico	57
6. DISCUSIÓN	60
6.1. Distribución latitudinal de los macroinvertebrados bentónicos en la zona sur	60
6.1.1. Clase Gastropoda.....	63
6.1.2. <i>Subphylum Crustacea</i>	65
6.1.1. Orden Coleoptera	67
6.1.2. Orden Diptera	68
6.1.3. Orden Ephemeroptera	69
6.1.4. Orden Plecoptera	70
6.1.5. Orden Trichoptera	72
6.2. Índices comunitarios de cada cuenca hidrográfica	74

6.3. Características más importantes de los ríos seleccionados	76
7. CONCLUSIONES	78
8. BIBLIOGRAFÍA	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de cada estación de muestreo (Coordenadas geográficas en grados decimales – Datum WGS84).....	12
Tabla 2. American Geophysical Union Classification	22
Tabla 3. Composición taxonómica, densidad de individuos (ind/m ²) y abundancia relativa (%) de macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur	28
Tabla 4. Composición taxonómica y densidad de individuos (ind/m ²) de macroinvertebrados bentónicos en cada cuenca hidrográfica.....	29
Tabla 5. Índices comunitarios promedios, máximos, mínimos y desviación estándar registrados en cada cuenca hidrográfica de la zona sur	46
Tabla 6. Valores de los parámetros fisicoquímicos y las variables hidráulicas de cada cuenca hidrográfica (valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar)..	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas hidrográficas, sistemas fluviales y estaciones de muestreo de la zona sur de Chile	11
Figura 2. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos con red Surber	20
Figura 3. A) Eje largo, B) Eje intermedio, C) Eje corto	22
Figura 4. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur.....	32
Figura 5. Abundancia Relativa (%) Clase Gastropoda a través del gradiente latitudinal	34
Figura 6. Abundancia Relativa (%) del <i>Subphylum Crustacea</i> (Clase Malacostraca) a través del gradiente latitudinal	36
Figura 7. Abundancia Relativa (%) de la Clase Isecta a través del gradiente latitudinal	37

Figura 8. Abundancia Relativa (%) del Orden Coleoptera a través del gradiente latitudinal	38
Figura 9. Abundancia Relativa (%) del Orden Diptera a través del gradiente latitudinal	40
Figura 10. Abundancia Relativa (%) Orden Ephemeroptera a través del gradiente latitudinal	41
Figura 11. Abundancia Relativa (%) del Orden Plecoptera a través del gradiente latitudinal	43
Figura 12. Abundancia Relativa (%) del Orden Trichoptera a través del gradiente latitudinal	45
Figura 13. Boxplot de la densidad de individuos de macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur.....	47
Figura 14. Boxplot de la riqueza de <i>taxa</i> de macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur	48
Figura 15. Boxplot de la diversidad de Shannon-Weiner de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur.....	49
Figura 16. Boxplot de la temperatura del agua en cada cuenca hidrográfica de la zona sur	51
Figura 17. Boxplot del oxígeno disuelto en cada cuenca hidrográfica de la zona sur..	52
Figura 18. Boxplot del pH en cada cuenca hidrográfica de la zona sur	53
Figura 19. Boxplot de la Conductividad Eléctrica en cada cuenca de la zona sur	54
Figura 20. Boxplot de la Velocidad de la corriente en cada cuenca hidrográfica de la zona sur.....	55
Figura 21. Boxplot de la Profundidad de la columna de agua en cada cuenca hidrográfica de la zona sur	56
Figura 22. Composición del sustrato de cada cuenca hidrográfica de la zona sur	57
Figura 23. Análisis NMDS entre los sitios de muestreo y la composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos	58
Figura 24. Análisis de ordenación NMDS entre los sitios de muestreo y los índices comunitarios de densidad de individuos, riqueza de <i>taxa</i> y diversidad.....	58
Figura 25. Análisis de ordenación NMDS entre los sitios de muestreo y las variables ambientales. Se muestran únicamente aquellas variables que fueron significativas para explicar la ordenación de los datos	59

ANEXOS

- Anexo 1 Base de datos resultados macroinvertebrados bentónicos zona sur de Chile.
- Anexo 2 Registro fotográfico macroinvertebrados bentónicos zona sur de Chile.

1. RESUMEN

Dadas sus características geográficas, Chile posee un patrón distintivo de variación en su diversidad en el que la gran mayoría de los grupos de plantas y animales presentan la mayor biodiversidad entre los 35° y los 40° de latitud sur. En esta investigación se estudió dicho patrón en macroinvertebrados bentónicos. Con este objetivo, se analizó la distribución de esta comunidad en un gradiente latitudinal entre los 37° y 42° latitud sur, en cuanto a su composición taxonómica, abundancia relativa, riqueza de *taxa* y diversidad de Shannon-Wiener. Para ello, se muestrearon 40 sitios, principalmente en la zona del ritrón de distintos ríos de siete cuencas hidrográficas: Biobío, Imperial, Toltén, Valdivia, Bueno, cuencas e islas entre Río Bueno-Río Puelo y Puelo. En dicha área, se hallaron 36 *taxa*, 15 órdenes, 7 clases y 5 *phylum* (*Annelida*, *Mollusca*, *Nematomorpha*, *Platyhelminthes* y *Arthropoda*). Los grupos más característicos correspondieron a Oligochaeta, Gastropoda, Crustacea, Acari e Insecta, siendo este último el grupo predominante en el área de estudio con un 82,57% de la abundancia relativa total. Dentro de la Clase Insecta las familias más abundantes fueron Chironomidae, Tipulidae, Hydropsychidae, Leptophlebiidae y Baetidae. La mayoría de los grupos de macroinvertebrados bentónicos manifestaron una disminución de su abundancia relativa y riqueza de *taxa* desde la cuenca del Biobío hacia la cuenca del Río Puelo revelando un *peak* de abundancia y riqueza a los 40°S (cuenca del Bueno). Posterior a este *peak*, en las cuencas de mayores latitudes, los macroinvertebrados experimentaron una segunda disminución mucho más notoria de ambos parámetros comunitarios. Se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) entre los sitios de muestreo y las variables ambientales dando como resultado diferencias significativas entre cuencas, siendo el sustrato y la profundidad de la columna de agua las variables más significativas.

2. ABSTRACT

Given its geographical features, Chile has a distinctive pattern of variation in its diversity, with the vast majority of plant and animal groups showing the greatest biodiversity between 35 and 40 degrees South latitude. In this research, this pattern of variation was studied in benthic macroinvertebrates. To this end, the distribution of this community in a latitudinal gradient between 37 and 42 degrees South latitude was analyzed in terms of its taxonomic composition, relative abundance, taxa richness and Shannon-Wiener index. For this purpose, 40 sites were sampled, mainly in the rithron area of different rivers in drainage basins: Biobío, Imperial, Toltén, Valdivia, Bueno, basins and islands between Bueno River and Puelo River, and Puelo. In the whole mentioned area, 36 *taxa*, 15 orders, 7 classes, and 5 *phyllum* (*Annelida*, *Mollusca*, *Nematomorpha*, *Platyhelminthes*, and *Arthropoda*) were found. The most characteristic groups were Oligochaeta, Gastropoda, Crustacea, Acari and Insecta, the latter being the predominant group in the study area with 82.57% of the total relative abundance. Within Insecta class, the most abundant families were Chironomidae, Tipulidae, Hydropsychidae, Leptophlebiidae, and Baetidae. Most benthic macroinvertebrate groups showed a decrease in relative abundance and taxa richness from the Biobío basin towards the Puelo River basin, revealing an abundance and richness peak at 40°S (Bueno basin). Following this peak, in the basins at higher latitudes, macroinvertebrates experienced a second, much more noticeable decrease in both community parameters. An Analysis of Similarities (ANOSIM) between the sampled sites and the environmental variables was carried on, giving that there are significant differences between basins as a result, being the substrate composition and the water column depth the most significant variables.

3. INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados bentónicos constituyen, con frecuencia, el principal componente animal de los sistemas fluviales (Esteves, 1998); corresponden a los organismos que mejor se han adaptado a estos sistemas y, en consecuencia, es posible encontrarlos en la mayoría de los arroyos y ríos de todo el mundo (Elosegi & Sabater, 2009). En términos generales, los macroinvertebrados bentónicos se definen como aquella fauna de invertebrados de tamaño superior a 500 μm que permanece de manera constante o, en ciertos periodos de su ciclo de vida, asociada a un entorno acuático (Oscóz et al., 2009; Palma, 2013a).

El término bentónico refiere a los macroinvertebrados que habitan el fondo de un sistema acuático, hallándose en sedimentos blandos y rocosos, así como también adheridos a plantas acuáticas, residuos vegetales u otros organismos (Roldán, 1996; Oscóz et al., 2009). En los sistemas fluviales, se encuentran representados por una gran cantidad de grupos, siendo los siguientes los más característicos de los ríos de Chile: *Platyhelminthes*, *Annelida*, *Mollusca* (Bivalvia y Gastropoda) y *Arthropoda* (Chelicerata, Crustacea e Insecta) (Valdovinos, 2018). En estos organismos se pueden observar todos los grupos funcionales (herbívoros, omnívoros, carnívoros y detritívoros), por ello, cumplen un rol fundamental en el flujo de energía de los sistemas fluviales, ya que representan un eslabón intermedio en la red trófica (Valdovinos & Parra, 2006). De esta manera, transforman la materia orgánica del medio y, a la vez, constituyen el alimento de peces, aves y anfibios.

Los macroinvertebrados bentónicos que habitan los sistemas fluviales de Chile, al igual que en otros países del cono sur de Sudamérica, presentan especies con algunas

particularidades que los distinguen respecto de los existentes en otras regiones del planeta. Entre dichas particularidades es posible destacar, por un lado, que ciertas especies de invertebrados corresponden a fauna muy primitiva con relaciones zoogeográficas arcaicas de tipo gondwánico (Jara et al., 2006; Valdovinos, 2018). Por otra parte, algunas especies exhiben áreas de distribución extremadamente reducidas, restringidas a una o unas pocas cuencas hidrográficas contiguas a lo largo del gradiente latitudinal (Valdovinos, 2018). Lo anterior se hace aún más relevante debido al elevado endemismo que manifiestan determinados grupos de invertebrados en los sistemas fluviales del país.

Chile es un país con abundantes recursos hídricos que se reparten irregularmente a lo largo de su territorio. Estos recursos están conformados por hoyas hidrográficas de origen andino que se desarrollan a través de un gradiente altitudinal que generalmente se extiende desde la cordillera al mar, y que se distribuyen paralelamente de Norte a Sur a través del gradiente latitudinal que abarca desde los paralelos 17°29' hasta los 55°58' latitud sur del continente sudamericano, con 4300 km de largo (Valdovinos & Parra, 2006; MOP & DGA, 2016). Ambos gradientes ambientales, altitudinal y latitudinal, han dado lugar a una gran diversidad de condiciones que a su vez determinan la existencia de una gran heterogeneidad de hábitats en donde los organismos se han adaptado y evolucionado (Ormazabal, 1993).

Por su parte, el gradiente latitudinal está influenciado por la diversidad climática particular del país, en el que podemos diferenciar 3 zonas biogeográficas: una zona seca en el Norte (entre las latitudes 17°-33° S), una zona mediterránea en el Centro-Sur (33°-44° S) y, finalmente, una zona de condiciones húmedas y templadas hacia el Sur (44°-56° S) (Fuentealba et al., 2010). Como consecuencia de lo señalado, los recursos hídricos

resultan muy variados y de grandes contrastes entre las distintas zonas biogeográficas del país.

En cuanto al gradiente altitudinal y, dadas las características morfológicas del territorio, los ríos de Chile se pueden diferenciar en ríos de montaña o ritrones y ríos de llanura o potamones. Los primeros se caracterizan por presentar corrientes rápidas en lechos estrechos, de fuertes pendientes, aguas frías, transparentes, oxigenadas y de sustrato estable. Por su parte, los ríos de llanura se caracterizan por presentar corrientes de baja velocidad, lechos anchos y de escasa pendiente, aguas de mayor temperatura, más turbias (debido al sedimento que arrastran) y, en general, de un sustrato que tiende a ser más móvil y fino (Valdovinos & Parra, 2006).

Los ríos son ecosistemas extremadamente complejos ya que presentan diversas particularidades que varían a lo largo de ambos gradientes ambientales en términos de vegetación de ribera, meteorización, pendiente, caudal, clima, geología, entre otras; además de ciertas variables como la temperatura, las precipitaciones y la radiación solar. Todas estas características determinan el tipo de comunidades biológicas que habitan cada sistema fluvial, encontrándose composiciones y estructuras taxonómicas muy diferentes tanto a lo largo de un río como en cada una de las zonas biogeográficas del país mencionadas anteriormente (Elosegi & Sabater, 2009).

En términos generales, el rango geográfico ocupado por los macroinvertebrados bentónicos en los sistemas fluviales de Chile abarca la totalidad del territorio continental en su extensión latitudinal y desde la cordillera de los Andes hasta el borde costero en su extensión altitudinal. Sin embargo, en esta distribución no participan todos los grupos y familias, es decir, la distribución de sus especies es discontinua debido a ambos

gradientes ambientales, a la localización de las cuencas hidrográficas y a la heterogeneidad de hábitats que se encuentran dentro de un río y en cada cuenca (Valdovinos, 2006; Jara et al., 2006).

Debido a las características geográficas del país, este presenta un patrón distintivo de variación en su diversidad en el que la gran mayoría de los grupos de plantas y animales, presentan un máximo entre los 35° y los 40° de latitud sur (Ministerio del Medio Ambiente, 2018a), siendo la zona biogeográfica centro sur la que concentra la mayor parte de los invertebrados dulceacuícolas. Por ejemplo, presenta la mayor densidad de gastrópodos entre las Regiones del Maule y Los Lagos. Además, exhibe la mayor diversidad de crustáceos entre las Regiones del Biobío y Los Lagos. En ambos casos, la Región de Los Lagos es la que alberga la mayor diversidad de estas especies (Valdovinos, 2006; Jara et al., 2006).

En la zona centro sur también se observa la mayor diversidad de los ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, específicamente entre los 33° y 42° latitud sur. Respecto al Orden Ephemeroptera, el mayor número de especies se encuentra en la Región de Los Lagos (Palma, 2013b). En el caso del Orden Plecoptera, la mayor diversidad y endemismo de especies se encuentra entre las Regiones de La Araucanía y Los Lagos (Vera & Camousseight, 2006). En cuanto al Orden Trichoptera, su mayor diversidad se localiza entre las Regiones del Biobío y Los Lagos, siendo la Región del Biobío la que concentra el mayor número de especies (Rojas, 2006).

La zona centro sur, además de albergar una elevada diversidad y marcado endemismo de macroinvertebrados bentónicos entre los 35° y 43° latitud sur, presenta un “hot spot” de biodiversidad de invertebrados de agua dulce, respecto a este los autores Pérez-

Losada et al. (2002) propusieron una región hidrográfica compuesta por los ríos Tucapel, Imperial y Toltén, como sitio prioritario para la conservación de aéglidos. Dicho “hot spot” ha sido reconocido como uno de los 25 más importantes a nivel mundial (Myers et al., 2000).

La zona centro sur también presenta un número importante de actividades productivas que han afectado negativamente a las comunidades acuáticas. En consecuencia, los macroinvertebrados bentónicos que habitan los sistemas fluviales han experimentado una continua declinación ocasionada principalmente por las perturbaciones antropogénicas, entre las que destacan las plantaciones forestales y el manejo de los sistemas acuáticos. Esto conduce a la pérdida y/o fragmentación de los hábitats, reduciendo la disponibilidad de espacio físico para el desarrollo y migración de las poblaciones (Parada & Peredo, 2006).

Dada la importancia que posee la zona centro sur en relación con su diversidad, riqueza, densidad y endemismo de macroinvertebrados bentónicos; y con el objeto de avanzar hacia un mayor conocimiento y más actualizado sobre la distribución geográfica de los macroinvertebrados bentónicos, es que se desarrolla el presente trabajo. En esta investigación se analiza el patrón de distribución de macroinvertebrados bentónicos en un gradiente latitudinal que abarca desde los 37° a los 42° latitud sur, en cuanto a su composición taxonómica, abundancia relativa, riqueza de *taxa* y diversidad de Shannon-Wiener. Para ello, se muestrearon 40 sitios de distintos ríos en zonas rítrónicas de siete cuencas hidrográficas: Biobío, Imperial, Toltén, Valdivia, Bueno, cuencas e islas entre Río Bueno-Río Puelo y Puelo; a lo largo de este trabajo se denominó a esta área de

estudio como zona sur¹. Dado que la calidad del agua y las características físicas del ambiente se encuentran intrínsecamente asociadas con la distribución geográfica de los macroinvertebrados bentónicos, también se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua junto con algunas variables hidráulicas de los ríos muestreados.

En este trabajo se espera que tal como se describe en la literatura cercano a los 40° de latitud sur se encuentre la mayor abundancia y riqueza de *taxa*. También, se desea conocer la distribución latitudinal de los macroinvertebrados bentónicos más representativos de los ríos del sur de Chile. Además, se espera que si existe un patrón latitudinal, este pueda ser observado. Para ello se realizará un análisis estadístico que permitirá visualizar similitudes o diferencias entre cuencas hidrográficas en lo biológico y en lo ambiental.

Estudiar la distribución geográfica de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presenta limitantes en cuanto a la escasez de muestreos y falta de datos específicos de los lugares de recolección (Valdovinos, 2006). Si bien existen numerosos trabajos ejecutados en el área de estudio de este trabajo, la mayoría se centra en el estudio de un río o una cuenca. El presente trabajo pretende dar un paso en la resolución de estas limitaciones, aportando datos específicos de los lugares de recolección para futuros estudios en esta área.

¹ Zona sur: denominación utilizada en este trabajo para describir el área de estudio compuesta por 40 sitios distribuidos en siete cuencas comprendidas entre los 37° a los 42° latitud sur.

3.1. Objetivo General

Describir y analizar el patrón de distribución latitudinal de macroinvertebrados bentónicos en ríos de siete cuencas hidrográficas de la zona sur de Chile, las que abarcan desde los 37° a los 42° latitud sur.

3.2. Objetivos Específicos

- Describir y comparar la composición taxonómica, abundancia relativa y la riqueza de *taxa* de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica y a través del gradiente latitudinal.
- Describir y comparar los índices comunitarios de densidad (ind/m²), riqueza de *taxa* y diversidad de Shannon-Wiener en cada cuenca.
- Identificar las características más importantes de los ríos seleccionados en relación con los parámetros fisicoquímicos y las variables hidráulicas de cada cuenca hidrográfica.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El área de estudio comprendió siete cuencas hidrográficas de la zona sur de Chile: (1) Biobío, (2) Imperial, (3) Toltén, (4) Valdivia, (5) Bueno, (6) cuencas e islas entre Río Bueno-Río Puelo y (7) Puelo, ubicadas en las Regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos entre los 37° y los 42° latitud sur. Como fue mencionado en la introducción en este trabajo a esta área de estudio se le denominó zona sur (Figura 1).

En cada cuenca se seleccionaron sistemas fluviales en su mayoría en zonas de ritrón, en donde se dispusieron estaciones de muestreo a diferentes altitudes, en el cauce principal de cada cuenca o en afluentes de este. Un total de 40 estaciones de muestreo fueron situadas a lo largo de todo el gradiente latitudinal.

Cada estación de muestreo fue descrita con un código, que se compuso de un número que va de 1 a 7 que representa a la cuenca según su ubicación geográfica de norte a sur, seguido del nombre del río. Únicamente en aquellos ríos donde se situaron dos o más estaciones, se añadió un número a continuación del nombre del río, que indica la altitud, de manera que el número 1 le corresponde a la estación situada a mayor altitud. A modo de ejemplo, en el Río Biobío se dispuso un total de cuatro estaciones de muestreo, por ello la estación de mayor altitud fue denominada con el código "1-Biobio-1", luego la de segunda mayor altitud "1-Biobio-2" y así sucesivamente.

En la Tabla 1 se muestra la ubicación geográfica y espacial de cada estación de muestreo.

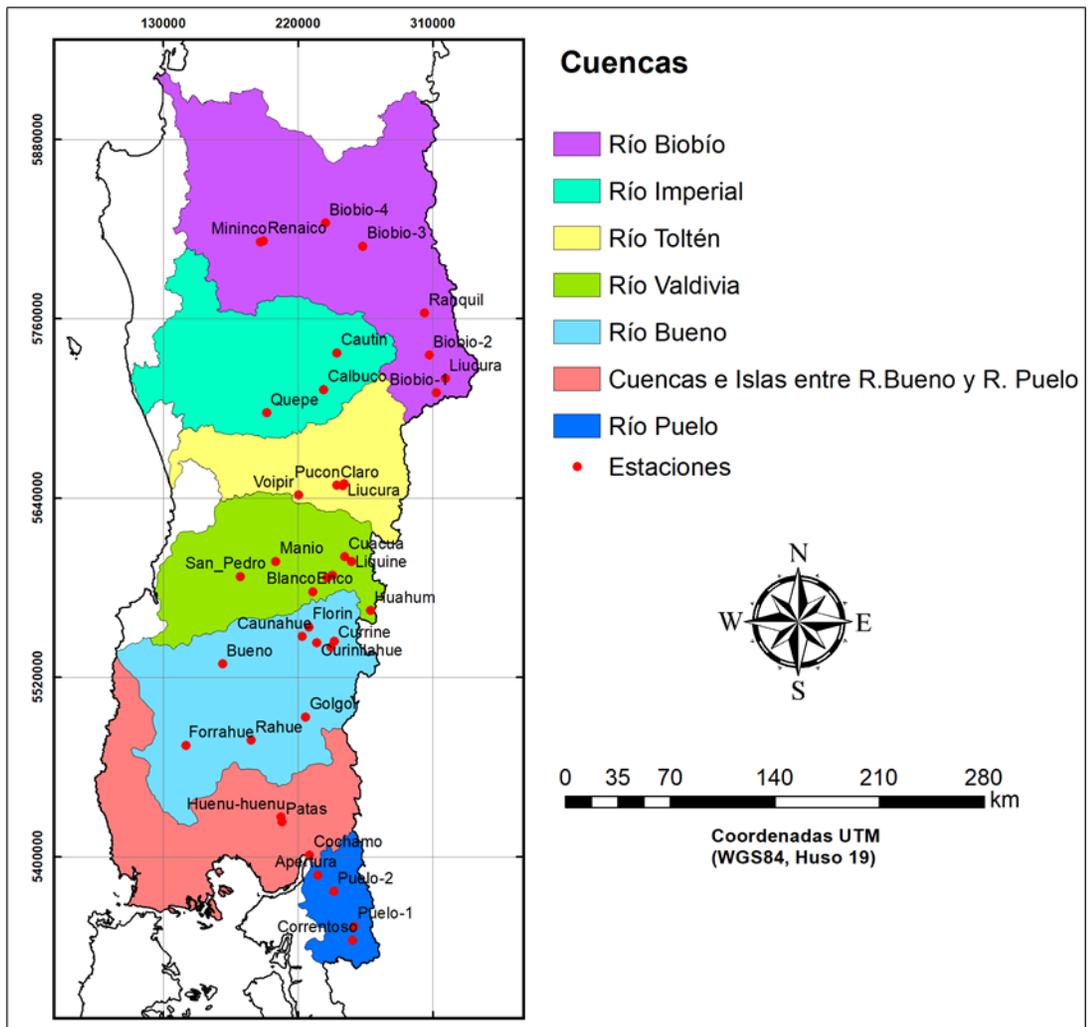


Figura 1. Cuencas hidrográficas, sistemas fluviales y estaciones de muestreo de la zona sur de Chile

Tabla 1. Ubicación geográfica de cada estación de muestreo (Coordenadas geográficas en grados decimales – Datum WGS84)

Cuenca	Estacion	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Biobío	1-Biobio-1	-38.732437	-71.158340	1077
	1-Liucura	-38.648568	-71.082295	1036
	1-Ranquil	-38.249271	-71.231759	959
	1-Biobio-2	-38.503372	-71.203279	924
	1-Biobio-3	-37.836810	-71.688365	358
	1-Biobio-4	-37.690166	-71.967810	235
	1-Mininco	-37.790478	-72.464353	92
	1-Renaico	-37.786737	-72.440782	86
Imperial	2-Calbuco	-38.694063	-72.021376	518
	2-Cautin	-38.475797	-71.911563	391
	2-Quepe	-38.822154	-72.466040	118
Toltén	3-Voipir	-39.323785	-72.244295	288
	3-Liucura	-39.264656	-71.889230	260
	3-Pucon	-39.275691	-71.900845	245
	3-Claro	-39.272537	-71.945348	219
Valdivia	4-Huahum	-40.033444	-71.713809	592
	4-Manio	-39.718795	-72.439614	248
	4-Liquine	-39.736745	-71.850030	222
	4-Cuacua	-39.705385	-71.903564	214
	4-Neltume	-39.815006	-72.003175	207
	4-Llanquihue	-39.827057	-72.042954	179
	4-Blanco	-39.909424	-72.159717	120
	4-Enco	-39.909117	-72.160066	119
	4-San_Pedro	-39.800788	-72.722619	37
Bueno	5-Golgol	-40.662049	-72.252333	208
	5-Florin	-40.121014	-72.201742	163
	5-Currine	-40.213865	-72.002420	146
	5-Rahue	-40.788654	-72.689802	117
	5-Pillanleufu	-40.245856	-72.032915	112
	5-Curinilahue	-40.217636	-72.142878	104
	5-Caunahue	-40.176505	-72.258260	68
	5-Forrahue	-40.802645	-73.208986	50
	5-Bueno	-40.322892	-72.889287	19
Cuencas e Islas entre R.Bueno y R.Puelo	6-Hueñu-Hueñu	-41.259081	-72.476755	37
	6-Patas	-41.288295	-72.472301	30
	6-Cochamo	-41.494719	-72.261211	7
Puelo	7-Correntoso	-42.016664	-71.941116	125
	7-Puelo-1	-41.934577	-71.926786	88
	7-Puelo-2	-41.718315	-72.079009	24
	7-Apertura	-41.616944	-72.202935	19

4.2. Descripción cuencas hidrográficas

4.2.1. Cuenca del Río Biobío

La cuenca hidrográfica del Río Biobío incluye parte de la VIII Región del Biobío y parte de la IX Región de La Araucanía, corresponde a una hoya andina que se extiende sobre un área de 24.369 km² y está comprendida desde los 36°42' hasta los 38°49' latitud sur (MOP & DGA, 2016). El clima de la cuenca, presenta características de transición entre los climas mediterráneo y templado húmedo, predominante de la zona sur (di Castri & Hajek, 1976). Todos los cauces cordilleranos del Río Biobío en la parte media y alta presentan un régimen de tipo nival, mientras que, en la zona más baja son de tipo pluvial (DGA, 2004a).

En esta cuenca, las muestras se obtuvieron en la zona de Alto Biobío (Región de La Araucanía), en donde se dispuso un total de ocho estaciones; cuatro en el cauce principal del Río Biobío y otras cuatro en afluentes de este, estos fueron los ríos Liucura, Ranquil, Reinaco y Mininco (Figura 1; Tabla 1).

El Río Biobío nace en la cordillera de los Andes en la laguna Galletué (origen glacial) a una altitud de 1160 m.s.n.m. Recorre un curso de 380 km., antes de desembocar en el océano Pacífico. En el primer tramo confluyen ríos de pequeño caudal entre los cuales destaca por el lado oriental y norte, los ríos Liucura, Rahue y Ranquil. A partir de la confluencia con el Rahue, el Biobío empieza a encajonarse y la velocidad de sus aguas aumenta, al mismo tiempo el valle se hace más boscoso y de relieve más abrupto, aquí recibe al Ranquil. En su trayecto medio, en el sector de Nacimiento, recibe al Río Vergara, el que recoge las aguas del Renaico, y éste a su vez recibe al Mininco (Valdovinos & Parra, 2006).

4.2.2. Cuenca del Río Imperial

La cuenca hidrográfica del Río Imperial forma parte de la IX Región de La Araucanía, corresponde a una hoya preandina que se extiende sobre un área de 12.668 km² y está comprendida desde los 37°40' hasta los 38°50' latitud sur (MOP & DGA, 2016). La cuenca presenta dos tipos de climas, el templado cálido lluvioso con influencia mediterránea y templado frío lluvioso con influencia mediterránea (di Castri & Hajek, 1976; DGA, 2004c). Los cauces de esta cuenca presentan régimen de tipo pluvial, debido a que la cordillera de los Andes en esta zona es baja, por lo que no se acumula suficiente nieve (Rivera et al., 2004).

En esta cuenca, las muestras se obtuvieron antes de la formación del Río Imperial, en los ríos Calbuco, Cautín y Quepe, en cada uno se ubicó una estación de muestreo (Figura 1;Tabla 1).

El Río Imperial se forma próximo a Nueva Imperial recorre 55 km, se origina de la unión de los ríos Cautín y Cholchol y desemboca en el océano Pacífico en la ciudad de Puerto Saavedra (DGA, 2004c). El Río Cautín es el principal afluente del Imperial, tiene su nacimiento en el Volcán Lonquimay en la falda occidental de la cordillera de Las Raíces y atraviesa todo el llano con un desarrollo de 174 km. Este cordón montañoso es el que separa las cuencas Biobío e Imperial. El más importante tributario del Cautín es el Río Quepe, que tiene un desarrollo de 112 km a través de la depresión intermedia, nace en la laguna homónima en la falda occidental del Volcán Llaima. El Río Calbuco también nace en el Volcán Llaima y es un afluente del Río Quepe (DGA, 2004c).

4.2.3. Cuenca del Río Toltén

La cuenca hidrográfica del Río Toltén corresponde a una hoya andina que forma parte de la IX Región de La Araucanía y se extiende en un área de 8.448 km², comprende desde la latitud 38°40' por el norte hasta la latitud 39°40' por el sur (MOP & DGA, 2016). La cuenca presenta dos tipos de climas, el templado cálido lluvioso con influencia mediterránea, y el templado frío lluvioso con influencia mediterránea (di Castri & Hajek, 1976). El régimen hidrológico de la cuenca en la parte alta es de tipo nival y en la parte baja de tipo pluvial, mostrando un régimen mixto pluvionival (DGA, 2004d).

Los ríos seleccionados en esta cuenca correspondieron a Voipir, Liucura, Claro y Pucón también llamado Trancura o Minetue, en cada río se situó una estación de muestreo (Figura 1;Tabla 1).

El Río Liucura nace en la ladera sur de los nevados de Caburgua y desemboca en el Río Pucón (o Trancura), el que desagua en el lago Villarrica al igual que el Río Claro. El Río Toltén nace en el extremo poniente del lago Villarrica, a pocos kilómetros de su origen, se junta con el Río Voipir para luego desembocar en el océano Pacífico tras 123 km de recorrido (DGA, 2004d).

4.2.4. Cuenca del Río Valdivia

La cuenca hidrográfica del Río Valdivia forma parte de XIV Región de Los Ríos se extiende 10.244 km² y corresponde a una hoya trasandina debido a que se genera más allá de la frontera con Argentina. Esta cuenca se extiende desde la latitud 39°20' por el norte hasta la latitud 40°10' por el sur (MOP & DGA, 2016). Presenta dos tipos de climas, el templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (en el sector centro y bajo de la

cuenca) y el templado frío lluvioso con influencia mediterránea (sector precordillerano) (di Castri & Hajek, 1976; DGA, 2004c). La cuenca del Río Valdivia se caracteriza por contener, en su curso alto, una cadena de grandes lagos dispuestos en serie, de estos lagos nacen los ríos seleccionados para este estudio. El régimen de escurrimientos en esta cuenca es fundamentalmente pluvial, sin embargo, en la zona más alta, la que drena a través del Hua-Hum y del lago Pirihueico y el Río Liquiñe, se registra influencia de tipo nival proveniente de los deshielos de la alta cordillera (CNR, 2003).

En esta cuenca se seleccionaron nueve ríos Hua-Hum, Manio, Liquiñe, Cuacua, Neltume, Llanquihue, Blanco, Enco y San Pedro, en donde se dispuso una estación de muestreo en cada río (Figura 1; Tabla 1).

El Río Hua-Hum tiene su origen en el lago Lácar en la república de Argentina y desemboca en el lago Pirihueico (ambos lagos de origen glacial). El Río Fuy que constituye el emisario de ese lago, se reúne con el Río Neltume, que es el emisario del lago homónimo también de origen glacial. Por otra parte, el Río Liquiñe que también proviene de la cordillera se junta con el Reyehueico y forman el Cuacua, el que desemboca en el lago Neltume. De la confluencia de los ríos Neltume y Fuy nace el Llanquihue, el que desemboca en el lago Panguipulli. El lago Panguipulli es uno de los más grandes de la hoya y su desagüe se produce a través del Río Enco, el que recibe al Río Blanco y desemboca en el lago Riñihue. La serie de estos sistemas lacustres se evacua a través del Río San Pedro, el que recibe al Río Manio que proviene de la ladera occidental de la Sierra de Quinchilca. El Río San Pedro se une con el Quinchilca y forman el Calle-Calle, este último se junta con el Cruces originando el Río Valdivia, el que desemboca finalmente en el océano Pacífico.

4.2.5. Cuenca del Río Bueno

La cuenca hidrográfica del Río Bueno forma parte de la XIV Región de Los Ríos, se extiende sobre un área de 15.366 km² y corresponde a una hoya andina que comprende desde la latitud 39°50' por el norte hasta la latitud 41°05' por el sur (MOP & DGA, 2016). La cuenca presenta dos tipos de climas, el templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (en el sector centro y bajo de la cuenca) y el templado frío lluvioso con influencia mediterránea (sector precordillerano) (di Castri & Hajek, 1976). Esta cuenca presenta un régimen pluvial, sin embargo, es posible advertir una leve influencia nival en la parte alta de la cuenca (DGA, 2004b).

En esta cuenca se seleccionaron nueve ríos Golgol, Florín, Curriñe, Rahue, Pillanleufu, Curinilahue, Caunahue, Forrahue y el Río Bueno (cauce principal), en cada uno se ubicó una estación de muestreo (Figura 1; Tabla 1).

El Río Curriñe desemboca en el Río Pillanleufu de aguas bastante turbias y fuerte pendiente, ambos son emisarios del lago Mahihue, de este lago nace el principal tributario del lago Ranco, el Río Calcurrupe, un afluente de este río corresponde al Curinilahue. El lago Ranco es alimentado desde la cordillera andina a través de varios tributarios, entre ellos el Río Caunahue, este es la continuación del Río Florín. El Río Bueno nace en el lago Ranco y recorre 130 km antes de desembocar en el océano Pacífico, 15 km aguas abajo de la ciudad de Río Bueno, afluye desde el sur, el Río Pilmaiquén que constituye el emisario del lago Puyehue. La principal alimentación del Pilmaiquén llega por el oriente del Río Golgol. Otros tributarios del Bueno son los ríos Rahue y Forrahue, el primero, nace en el extremo poniente del lago Rupanco, mientras que el segundo, nace del lago Llanquihue (DGA, 2004b).

4.2.6. Cuenca e islas entre Río Bueno y Río Puelo

Esta cuenca forma parte de la X Región de Los Lagos, corresponde a una hoya andina que se extiende sobre un área de 13.507 km², comprende aproximadamente desde la latitud 41°15' por el norte hasta la latitud 41°46' por el sur (MOP & DGA, 2016). El clima de la cuenca en general es templado frío con influencia marítima, influenciado fuertemente por la orografía (di Castri & Hajek, 1976), y el régimen de escurrimiento es pluvial (CNR, 2003).

Los cauces seleccionados en esta cuenca son los ríos Patas, Hueñu-Hueñu y Cochamo (Figura 1;Tabla 1).

El Río Patas nace en la laguna del mismo nombre y es un afluente del Río Hueñu-Hueñu, el que constituye un emisario del Río Petrohué el que desemboca en el Estuario de Reloncaví al igual que el Río Cochamo, el que nace en la Cordillera de los Andes de la confluencia de los ríos Botapiedras y Arco (MOP & DGA, 2018).

4.2.7. Cuenca del Río Puelo

Esta cuenca forma parte de la X Región de Los Lagos, corresponde a una hoya trasandina debido a que posee carácter binacional. En Chile se extiende sobre un área de 3.094 km², comprende desde la latitud 41°49' hasta la latitud 42°50' por el sur (MOP & DGA, 2016). En general, la cuenca presenta un clima templado frío con influencia marítima (di Castri & Hajek, 1976).

Los cauces seleccionados en esta cuenca correspondieron al Estero Correntoso y los ríos Apertura y Puelo, en los dos primeros se dispuso una estación en cada río, mientras que en Río Puelo se localizaron dos estaciones de muestreo (Figura 1;Tabla 1).

El Río Puelo tiene su nacimiento en el lago Puelo al noroeste de la provincia de Chubut, Argentina. Este río cruza la cordillera de los Andes, en donde, en su curso medio recibe al Río Manso, su principal afluente, dando origen al lago Tagua Tagua para finalmente desembocar en el océano Pacífico, en la parte media del Estuario de Reloncaví. El lago Tagua Tagua divide al Río Puelo en dos subcuencas, Puelo Alto y Puelo Bajo. El Río Puelo recibe al Estero Correntoso antes de su desagüe en el lago Tagua Tagua en Puelo Alto, mientras que el Apertura desemboca en el Puelo después del lago Tagua Tagua en Puelo Bajo.

4.3. Obtención de las muestras

Las muestras se obtuvieron en una campaña de terreno realizada durante el período estival en enero del año 2016. En cada estación de muestreo se recorrieron aproximadamente 300 metros en forma paralela al cauce del río y se seleccionó un tramo de 50 metros, de aguas corrientes y escasa profundidad (máximo 100 cm), desde donde se obtuvieron las muestras de macroinvertebrados bentónicos, junto con los parámetros fisicoquímicos del agua y las variables hidráulicas. Al mismo tiempo en cada estación de muestreo se hizo una caracterización del sustrato.

4.3.1. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos fueron colectados mediante 5 réplicas aleatorias desde aguas abajo hacia aguas arriba desde el tramo seleccionado, utilizando una red Surber de 0,09 m² de área de muestreo y 250 µm de abertura de malla (Figura 2). Las muestras fueron preservadas y etiquetadas en frascos de plástico con alcohol al 96%.

En el laboratorio, los individuos fueron separados, contabilizados e identificados hasta el nivel taxonómico de familia con una lupa Estereoscópica Stemi DV4 (Zeiss) de aumento máximo 40X, posteriormente fueron preservados en alcohol al 70%. La identificación fue realizada utilizando literatura especializada, empleando claves y descripciones de macroinvertebrados Sudamericanos como: Camargo & García de Jalón, 1988; Rodríguez et al., 1992; Roldán, 1996; Iraola, 1998; Fernández & Domínguez, 2001; Gelhaus, 2002; Domínguez et al., 2006; Molina & Vila, 2006; Oscoz, 2009; Oscoz et al., 2009; Rengifo, 2009; Domínguez & Fernández, 2009; Springer, 2010; Flowers & De la Rosa, 2010; Gutiérrez-Fonseca, 2010; Hanson et al., 2010; Oscoz et al., 2011; Palma, 2013a; Ferragut, 2015.



Figura 2. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos con red Surber

4.3.2. Parámetros físicos y químicos del agua

En cada estación de muestreo se registró *in situ* la temperatura del agua (°C), el pH, la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el oxígeno disuelto (mg/L). La medición se realizó con una sonda multiparamétrica marca Hanna, modelo HI 9828.

4.3.3. Variables hidráulicas

4.3.3.1. Velocidad de la corriente y profundidad

La medición de la velocidad de la corriente se realizó por medio de un molinete digital modelo FP 101 (precisión 0,1 m/s, rango de medición entre 0,1 y 4,5 m/s). La profundidad de la columna de agua fue medida con una barra graduada milimétrica que posee el mismo molinete.

La velocidad media (V_m) de la columna del agua se determinó a partir del método de los puntos, en el cuál, dependiendo de la profundidad se realizan varias mediciones a lo largo de la columna de agua (Charlton, 2008).

Aquellos ríos que presentaron profundidades menores a 50 cm, la velocidad media se midió a 0,6 veces la profundidad, en este caso, la velocidad media es igual a la medida. Para profundidades comprendidas entre 50 cm y 150 cm la velocidad se mide a dos profundidades, a 0,2 ($V_{0,2}$) y a 0,8 ($V_{0,8}$) veces la profundidad. La velocidad media en este caso se determinó con la siguiente ecuación:

$$V_m = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2}$$

4.3.4. Sustrato

En este trabajo el sustrato se caracterizó mediante la metodología de Wolman Pebble Count. Este método consiste en que un observador ingresa al tramo seleccionado y recoger el sustrato inmediato al pie del observador en línea recta (transecto) o zic zag, y con una regla milimetrada mide el eje intermedio de la partícula (Figura 3). Luego, el observador coloca su otro pie delante del que ya usó en la selección previa y se ejecuta

una nuevamente la medición. En cada estación de muestreo se midió el tamaño de 100 partículas de sustrato. Los sustratos se clasificaron según la descrita en American Geophysical Union y se determinaron los porcentajes de cada grupo (Tabla 2).

Tabla 2. American Geophysical Union Classification

Grupo	Clase	Tamaño (mm)
Piedras (guijarros)	Muy grande	2,048 - 4,096
	Grande	1,024 - 2,048
	Mediana	512 - 1,024
	Pequeña	256 - 512
Cantos (cascajo)	Grande	128 - 256
	Pequeña	64 - 128
Grava	Muy gruesa	32 - 64
	Gruesa	16 - 32
	Mediana	8 - 16
	Fina	4 - 8
	Muy fina	2 - 4
Arena	Muy gruesa	1,000 – 2,000
	Gruesa	0,5000 – 1,000
	Mediana	0.250 – 0.500
	Fina	0.125 – 0.250
	Muy fina	0.062 – 0.125
Limo	Gruesa	0.0031 – 0.062
	Mediana	0.016 – 0.031
	Fina	0.008 – 0.016
	Muy fina	0.004 – 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002 – 0.004
	Mediana	0.001 – 0.002
	Fina	0.0005 – 0.001
	Muy fina	0.00024 - 0.0005

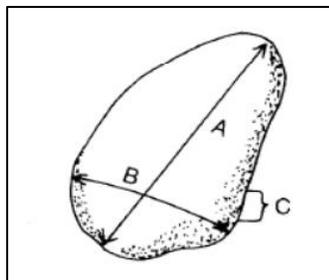


Figura 3. A) Eje largo, B) Eje intermedio, C) Eje corto

4.4. Análisis de los datos

4.4.1. Macroinvertebrados Bentónicos

El análisis de los macroinvertebrados bentónicos a través del gradiente latitudinal se realizó mediante la descripción de la composición taxonómica y la riqueza de *taxa* de cada cuenca y su abundancia relativa en relación con su representatividad en cada cuenca hidrográfica con respecto al total de individuos de la zona sur.

Composición taxonómica: corresponde a la lista de familias (o el nivel taxonómico más bajo identificado), que componen la comunidad en un espacio (hábitat, ecosistema) y en un período de tiempo determinado. En este caso corresponde a la lista de los macroinvertebrados bentónicos hallados en la zona sur, y en cada cuenca hidrográfica.

Abundancia relativa (AR%): se refiere a la proporción que representan los individuos de la familia (i) (o el nivel taxonómico más bajo identificado) respecto del total de individuos de la comunidad. El cálculo de la abundancia relativa se realizó según la siguiente ecuación.

$$AR\% = \frac{n_i}{N_t} * 100$$

Donde

n_i : número de individuos de la familia (i).

N_t : Número total de individuos del área de estudio

Índices comunitarios

Para cada estación de muestreo se calculó la densidad (ind/m²), riqueza de *taxa* e índice de diversidad de Shannon-Wiener. Luego, con esta información se realizaron gráficos de boxplot. A simple vista, estos gráficos muestran la mediana, valor máximo y mínimo de una serie de datos, son una forma de presentación estadística destinada, a resaltar aspectos de la distribución de una serie de datos cuantitativos. Estos gráficos pueden mostrar valores atípicos de la distribución, sin embargo, en este análisis los datos atípicos fueron eliminados.

Densidad (ind/m²): número de individuos de la familia (i) en un área determinada. El área se calcula como el producto entre el número de réplicas realizadas en cada estación y el área de la red (0,09 m²). Se analizó la densidad máxima, mínima y promedio de cada cuenca hidrográfica. El cálculo de la densidad se realizó según la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad (ind/m}^2\text{)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Individuos familia (i)}}{(\text{N}^\circ \text{ de réplicas} * \text{área (red Surber)})}$$

Riqueza de *taxa* (S): corresponde al número de *taxa* distintas en un determinado espacio (hábitat, ecosistema) y en un período de tiempo. Se analizó la riqueza máxima, mínima y promedio de cada cuenca hidrográfica. También se observó la riqueza total que presentó cada cuenca.

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1949): Este índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: El número de *taxa* presentes y su abundancia relativa. Mientras más uniforme es la distribución

entre *taxa* mayor es su valor (Molina & Vila, 2006). El cálculo del índice de Shannon se realizó según la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de Shannon – Wiener (H)} = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

Donde

H = índice de diversidad de Shannon.

n_i : número de individuos de la familia (i).

N: Número total de individuos.

ln: logaritmo natural.

4.4.2. Variables ambientales

Los parámetros fisicoquímicos del agua y las variables hidráulicas se describieron mediante gráficos de boxplot, en estos, también fueron eliminados los valores atípicos.

El sustrato fue caracterizado mediante el porcentaje del tipo de sustrato presente en cada cuenca hidrográfica.

4.4.3. Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de ordenación de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) entre los sitios de muestreo y la composición taxonómica, y otro entre los sitios de muestreo y los parámetros comunitarios agrupados por cuencas hidrográficas, el índice de asociación utilizado para ambos análisis fue el de Similitud de Bray & Curtis (Bray et al., 1957). Esto con el propósito de evaluar la similitud o disimilitud de la composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos (que considera especies y sus respectivas abundancias) y los índices comunitarios entre las cuencas hidrográficas estudiadas.

Para evaluar la similitud de las variables ambientales entre cada cuenca hidrográficas, se realizó el análisis de ordenación NMDS entre los sitios de muestreo y las variables ambientales (que incluye los parámetros fisicoquímicos, las variables hidráulicas, la composición del sustrato y la altitud), basado en la distancia Euclidiana. La altitud fue agregada como una variable ambiental en este análisis, debido a que la pendiente de los ríos también se encuentra involucrada en la distribución de los macroinvertebrados bentónicos.

Los valores de stress que aparecen en cada una de las ordenaciones indican el grado de confiabilidad de la representación. Valores de stress inferiores a 0,05 indican una excelente representación en el espacio de ordenación, valores entre 0,05 y 0,1 brindan una muy buena representación, valores entre 0,1 y 0,2 brindan una buena representación, mientras que valores mayores a 0,2 ofrecen una representación pobre (Clarke, 1993 en Palacio et al., 2020).

La prueba utilizada para determinar diferencias estadísticamente significativas fue el análisis de similitud ANOSIM de una vía (Clarke et al., 2014), con una permutación de 999, y un nivel de significancia p-value de 0,05, bajo la hipótesis nula de que no hay diferencias en la composición, índices y variables ambientales en las 7 cuencas hidrográficas. Para los datos biológicos se utilizó el índice de Bray & Curtis (1957), mientras que para las variables ambientales se utilizó la distancia Euclidiana. Todos los análisis se realizaron en el software RStudio versión 1.1.442 utilizando el paquete vegan.

Toda la información recopilada durante la ejecución de este Seminario de Título se encuentra en una base de datos en formato Excel (Anexo 1). También, se incluye un registro fotográfico de todos los *taxa* hallados en el área de estudio (Anexo 2).

5. RESULTADOS

5.1. Macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur y en cada cuenca hidrográfica

Los macroinvertebrados bentónicos fueron identificados mayoritariamente hasta el nivel taxonómico de familia, excepto Nematomorpha (*Phylum*), Oligochaeta (Clase) y Acari (Orden) que fueron clasificados como familias indeterminadas. Debido a que no fue posible identificar todos los individuos a nivel de familia en este trabajo se habla de *taxa* como sinónimo de familia.

La zona sur estuvo integrada por 36 *taxa*, 15 ordenes, 7 clases y 5 *phylum* (*Annelida*, *Mollusca*, *Nematomorpha*, *Platyhelminthes* y *Arthropoda*). La Clase Insecta fue la que tuvo el dominio taxonómico en el área de estudio con una representatividad del 82,57% de la abundancia relativa total. Dentro de la Clase Insecta las familias más abundantes fueron Chironomidae, Tipulidae, Hydropsychidae, Leptophlebiidae y Baetidae.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la composición taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos que integraron el área de estudio, junto con la densidad de individuos (ind/m²) y su abundancia relativa (%). Luego, en la Tabla 4 se muestra la composición taxonómica y la densidad de individuos de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica, junto con la riqueza total de *taxa*, ordenes, clases y *phylum* de cada cuenca. La cuenca del Bueno fue la que concentró el mayor número de *taxa* con una riqueza de 31, mientras que cuencas e islas entre R.Bueno y R.Puelo fue la que tuvo el menor número de *taxa* con 17.

Tabla 3. Composición taxonómica, densidad de individuos (ind/m²) y abundancia relativa (%) de macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur

Phylum	Clase	Orden	Familia	Densidad (ind/m ²)	Abundancia Relativa (%)
<i>Annelidae</i>	Oligochaeta	Oligochaeta indt	Oligochaeta indt Grube, 1850	2446,67	8,88
<i>Mollusca</i>	Gastropoda	Basommatophora	Chilinidae Dall, 1870	668,89	2,43
		Mesogastropoda	Hydrobiidae Stimpson, 1865	520,00	1,89
<i>Nematomorpha</i>			Nematoporphia indt Vejdovsky, 1886	8,89	0,03
<i>Platyhelminthes</i>	Turbellaria	Tricladida	Dugesiiidae Ball, 1974	126,67	0,46
Arthropoda (<i>Suphylum</i> Crustacea)	Malacostraca	Decapoda	Aegliidae Dana, 1852	93,33	0,34
		Amphipoda	Hyalellidae Bulycheva, 1957	17,78	0,06
Arthropoda (<i>Suphylum</i> Chelicerata)	Arachnida	Acari	Acari indt Leach, 1817	920,00	3,34
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae Curtis, 1830	775,56	2,82
			Psephenidae Lacordaire, 1854	113,33	0,41
		Diptera	Athericidae Stuckenberg, 1973	75,56	0,27
			Blephariceridae Loew, 1862	28,89	0,10
			Ceratopogonidae** ²	28,89	0,10
			Chironomidae**	7771,11	28,21
			Empididae**	115,56	0,42
			Muscidae Latreille, 1802	2,22	0,01
			Simuliidae Newman, 1934	95,56	0,35
			Tipulidae Latreille, 1802	1851,11	6,72
		Ephemeroptera	Ameletopsidae**	31,11	0,11
			Baetidae Leach, 1815	3168,89	11,50
			Leptophlebiidae**	6048,89	21,96
		Lepidoptera	Pyralidae Latreille, 1802	4,44	0,02
		Megaloptera	Corydalidae**	24,44	0,09
		Plecoptera	Austroperlidae Tillyars, 1921	28,89	0,10
			Diamphipnoidae Ricker, 1950	4,44	0,02
			Eustheniidae Tillyard, 1921	2,22	0,01
			Gripopterygidae Enderlein, 1909	264,44	0,96
			Notonemouridae Ricker, 1950	57,78	0,21
			Perlidae Latreille, 1802	15,56	0,06
		Trichoptera	Glossosomatidae Wallengren, 1891	315,56	1,15
			Hydrobiosidae Ulmer, 1905	115,56	0,42
			Hydropsychidae Curtis, 1835	937,78	3,40
			Hydroptilidae Stephens, 1836	475,56	1,73
			Leptoceridae Leach in Brewster, 1815	382,22	1,39
			Limnephilidae Kolenati, 1848	6,67	0,02
Polycentropodidae Ulmer, 1903	2,22		0,01		

² **Familias de macroinvertebrados bentónicos sin autor. El autor de cada familia se obtuvo en el Sistema Integrado de Información Taxonómica en el sitio web <https://www.itis.gov/>.

Tabla 4. Composición taxonómica y densidad de individuos (ind/m²) de macroinvertebrados bentónicos en cada cuenca hidrográfica

Phylum	Clase	Orden	Familia	Biobío	Imperial	Toltén	Valdivia	Bueno	R.Bueno -R.Puelo	Puelo
<i>Annelida</i>	Oligochaeta		Oligochaeta indt	1886,67		8,89	108,89	408,89	15,56	17,78
<i>Mollusca</i>	Gastropoda	Basommatophora	Chiliniidae	48,89	17,78	195,56	135,56	20,00	240,00	11,11
		Mesogastropoda	Hydrobiidae	73,33		13,33	400,00	4,44	24,44	4,44
<i>Nematomorpha</i>			Nematoporphia indt	2,22	2,22	4,44				
<i>Platyhelminthes</i>	Turbellaria	Tricladida	Dugesiidae	66,67		24,44	22,22	2,22	11,11	
<i>Arthropoda (supylum Crustacea)</i>	Malacostraca	Decapoda	Aegliidae	4,44	4,44	15,56	51,11	15,56		2,22
		Amphipoda	Hyalellidae	17,78						
<i>Arthropoda (supylum Chelicerata)</i>	Arachnida	Acari	Acari indt	313,33	131,11	155,56	53,33	235,56	13,33	17,78
<i>Atropoda</i>	Insecta	Coleoptera	Elmidae	315,56	117,78	177,78	46,67	68,89	6,67	42,22
			Psephenidae	2,22	4,44	20,00	53,33	26,67	6,67	
		Diptera	Athericidae	6,67	13,33	8,89	17,78	11,11	4,44	13,33
			Blephariceridae		26,67		2,22			
			Ceratopogonidae	8,89		2,22	8,89	4,44		4,44
			Chironomidae	1553,33	995,56	993,33	802,22	2844,44	91,11	491,11
			Empididae	62,22	11,11	11,11	13,33	17,78		
			Muscidae					2,22		
			Simuliidae	8,89	15,56	64,44	2,22	2,22		2,22
			Tipulidae	55,56	293,33	155,56	406,67	902,22	31,11	6,67
		Ephemeroptera	Ameletopsidae			4,44	13,33	8,89		4,44
			Baetidae	324,44	1151,11	360,00	304,44	897,78	20,00	111,11
			Leptophlebiidae	1231,11	642,22	1037,7	1200,00	1695,56	175,56	66,67
		Lepidoptera	Pyralidae					2,22	2,22	
		Megaloptera	Corydalidae	2,22		6,67	6,67	8,89		
		Plecoptera	Austroperlidae			13,33	6,67	4,44		4,44
			Diamphipnoidae			2,22	2,22			
			Eustheniidae					2,22		
			Gripopterygidae	33,33	26,67	15,56	55,56	51,11		82,22
			Notonemouridae	2,22			2,22	8,89	42,22	2,22
Perlidae					2,22	8,89	4,44			

<i>Phylum</i>	Clase	Orden	Familia	Biobío	Imperial	Toltén	Valdivia	Bueno	R.Bueno -R.Puelo	Puelo
		Trichoptera	Glossosomatidae	206,67	26,67	20,00	20,00	42,22		
			Hydrobiosidae	28,89	22,22	26,67	8,89	22,22		6,67
			Hydropsychidae	226,67	164,44	13,33	77,78	402,22	46,67	6,67
			Hydroptilidae	220,00	4,44	20,00	24,44	206,67		
			Leptoceridae	100,00	22,22	22,22	20,00	57,78	131,11	28,89
			Limnephilidae				6,67			
			Polycentropodidae					2,22		
Total riqueza de <i>taxa</i>				26	20	27	30	31	17	20
Total riqueza ordenes				14	9	13	12	13	11	10
Total riqueza clase				7	5	7	6	6	5	5
Total <i>phyla</i>				5	3	5	4	4	4	3

5.2. Distribución de los macroinvertebrados bentónicos a través del gradiente latitudinal

Con respecto a la riqueza de *taxa* presentes en cada cuenca, se puede apreciar en la Tabla 4, que la cuenca del Biobío concentró 26 *taxa*, luego, hubo una disminución hacia la cuenca del Imperial la que presentó 20 *taxa*. Posteriormente, en las cuencas Toltén, Valdivia y Bueno se observó un aumento con 27, 30 y 31 *taxa* respectivamente. Finalmente, en las dos cuencas de más al sur, la riqueza de *taxa* presentó una segunda disminución mucho más notoria con 17 *taxa* en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, y 20 *taxa* en el Río Puelo.

A continuación, en la Figura 4 se exhibe la contribución porcentual de cada taxón (la figura fue elaborada con el nivel taxonómico más bajo, excepto la Clase Insecta que se encuentra hasta Orden). En esta figura se aprecia que los macroinvertebrados no se

encuentran igualmente representados en cada cuenca hidrográfica, mostrando una distribución discontinua a lo largo del gradiente latitudinal.

En relación con la abundancia relativa, esta tuvo una distribución similar a la riqueza de *taxa*. La cuenca del Biobío reunió el 25% del total de individuos de la zona sur, luego se produjo una disminución a partir de la cuenca del Imperial hasta el Toltén en un 13,41% y 12,31%, respectivamente. Posterior a ello, hubo un leve aumento en Valdivia la que concentró el 14% de los individuos. Luego, en Bueno, se observó la mayor abundancia relativa de toda el área de estudio, reuniendo el 29% del total de los individuos de la zona sur. Finalmente, en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo y en Río Puelo la abundancia relativa disminuyó considerablemente presentando el 3,2% 3,4% de la abundancia relativa (Figura 4).

Desde la cuenca del Biobío (37°S) hacia la cuenca del Bueno (40°S), la disminución y posterior aumento tanto de la abundancia relativa como de la riqueza de *taxa* son relativamente moderadas; sin embargo, hacia las cuencas de mayores latitudes la disminución de ambos parámetros comunitarios fue considerablemente más notoria. Este patrón se observó en la mayoría de macroinvertebrados y fue más evidente en la abundancia relativa que en la riqueza de *taxa*.

Los macroinvertebrados bentónicos hallados en el área de estudio se describen detalladamente en relación con su distribución a través del gradiente latitudinal, separados en grupos: *Annelida*, *Nematomorpha* y *Platyhelminthes*, *Mollusca* (Clase Gastropoda), finalmente *Arthropoda* (Acari, Crustacea y la Clase Isecta).

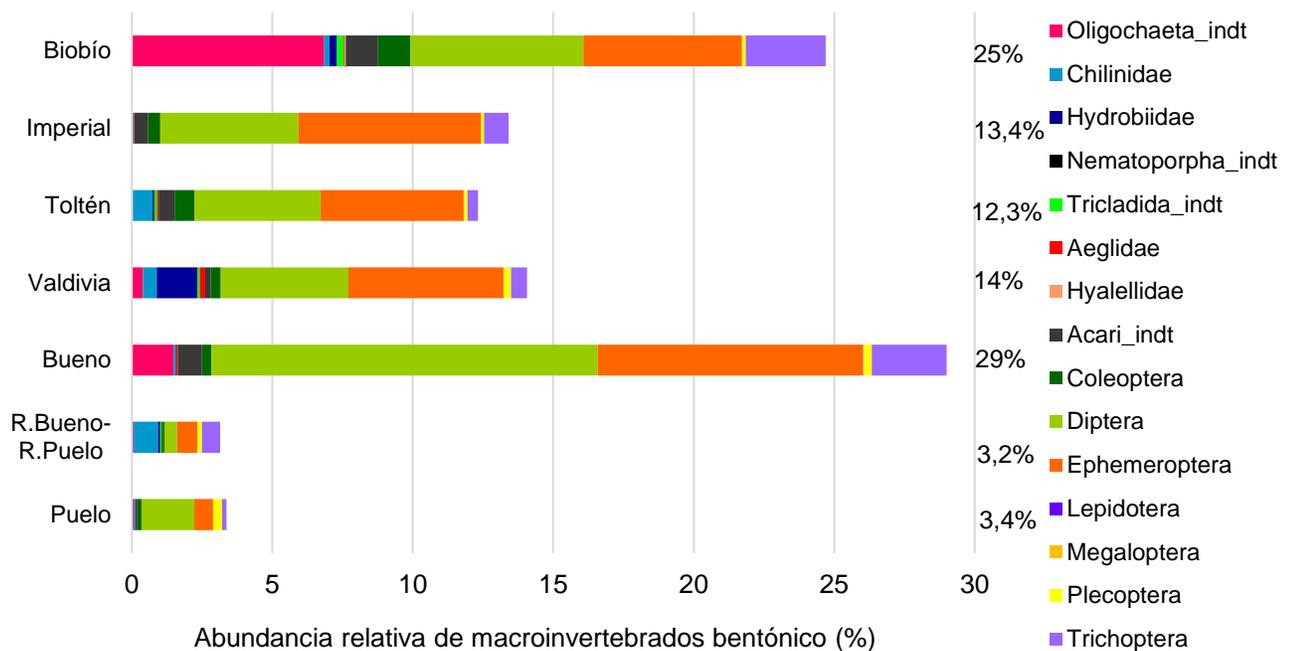


Figura 4. Abundancia relativa (%) de macroinvertebrados bentónicos presentes en la zona sur

5.2.1. *Phylum Annelida*

El *phylum Annelida* estuvo representado por individuos de la Clase Oligochaeta (oligoquetos). Estos tuvieron una abundancia relativa en la zona sur del 8,88% (ver Tabla 3). Se encontraron en prácticamente todas las cuencas, excepto en la del Imperial. Su mayor abundancia se registró en la cuenca del Biobío, seguido de las cuencas Bueno y Valdivia respectivamente, donde también se observó una elevada representatividad (Tabla 4; Figura 4). Se observó que en la cuenca del Biobío los oligoquetos se encontraron únicamente en las estaciones ubicadas sobre los 924 m.s.n.s. Su máxima abundancia se halló en la estación 1-Biobio-2 (ver área de estudio en Figura 1).

5.2.2. Phyla Nematomorpha y Platyhelminthes

El *Phylum Nematomorpha* represento el 0,03% de la abundancia relativa de la zona sur y se halló únicamente en las cuencas Biobío, Imperial y Toltén (Tabla 3; Tabla 4).

El *Phylum Platyhelminthes* estuvo integrado por individuos de la Clase Turbellaria, Orden Tricladida, Familia Dugesiidae. Este grupo conocido como planarias tuvieron una abundancia relativa del 0,46% y se encontraron en la mayoría de las cuencas, excepto en Imperial y Puelo (Tabla 3; Tabla 4).

5.2.3. Phylum Mollusca

El *Phylum Mollusca* constituyó el 4,32% del total de individuos de la zona sur, estuvo representado por 2 familias de la Clase Gastropoda (gastrópodos) Chiliniidae (2,43%) e Hydrobiidae (1,89%) (ver Tabla 3). En la Figura 5 se muestra la abundancia relativa de los gastrópodos a través del gradiente latitudinal.

Los gastrópodos se hallaron en todas las cuencas, siendo en la cuenca del Valdivia donde alcanzaron su mayor abundancia, por el contrario, en las cuencas Imperial y Puelo registraron las abundancias más bajas.

La Familia Chiliniidae presentó su mayor abundancia en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, mientras que la más baja estuvo en la cuenca del Río Puelo.

La Familia Hydrobiidae por su parte, tuvo la abundancia más alta en la cuenca del Valdivia, por el contrario, en Bueno y Puelo tuvo las más bajas, mientras que en la cuenca del Imperial estuvo completamente ausente.

En la Figura 5 se aprecian notorias diferencias en la abundancia relativa de los gastrópodos entre cuencas contiguas como: entre Valdivia y Bueno; entre Bueno y cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, y entre esta última y Puelo.

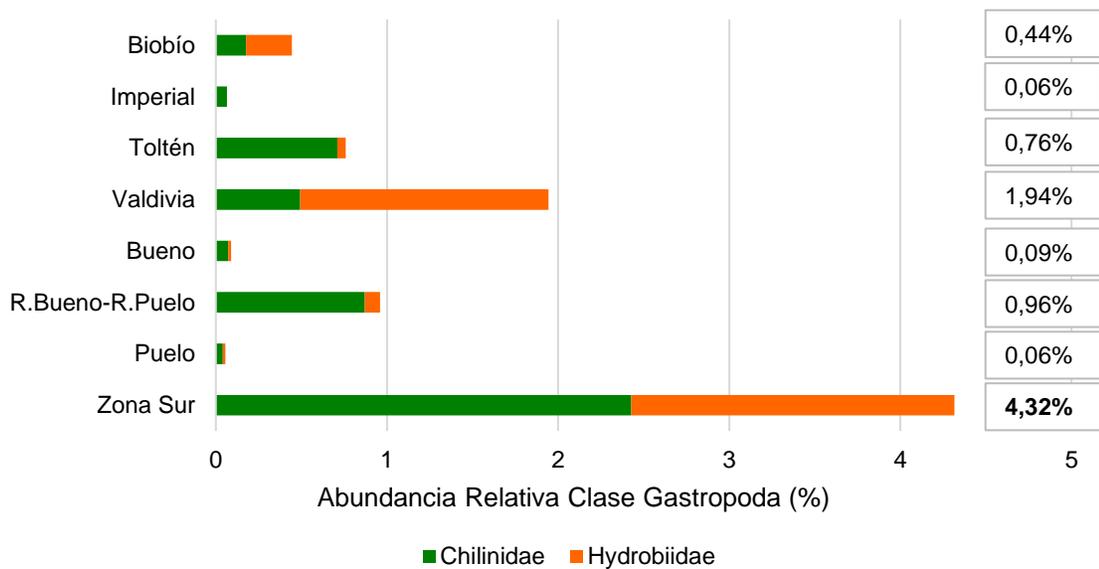


Figura 5. Abundancia Relativa (%) Clase Gastropoda a través del gradiente latitudinal

5.2.4. *Phylum Arthropoda*

De los 36 *taxa* hallados en la zona sur, 31 correspondieron a representantes del *Phylum Arthropoda*, este concentró el 86,31% de la abundancia relativa total. Dentro de los artrópodos se identificaron 3 grupos; los *Subphylum* Chelicerata (quelicerados) y Crustacea, y la Clase Insecta (ver Tabla 3).

5.2.5. Subphylum Chelicerata

El subphylum *Chelicerata* (quelicerados) estuvo representado por el Orden Acari (ácaros), tuvo una abundancia relativa del 3,34% en la zona sur (ver Tabla 3). Los quelicerados estuvieron presentes en todas las cuencas, siendo en el Biobío en donde manifestaron su mayor abundancia, seguido de la cuenca del Bueno. Los ácaros en la zona sur tendieron a disminuir en abundancia después de la cuenca del Biobío hasta la cuenca del Valdivia, luego en Bueno experimentaron un leve aumento y posteriormente volvieron a disminuir en las cuencas más al sur (Tabla 4; Figura 4).

5.2.6. Subphylum Crustacea

El Subphylum *Crustacea* (crustáceos) representó el 0,4% de la abundancia relativa de la zona sur y estuvo integrado por el Orden Decapoda con la Familia Aeglidae (0,34%), y por el Orden Amphipoda con la Familia Hyaellidae (0,06%). En la Figura 6 se muestra la abundancia relativa de los crustáceos a través del gradiente latitudinal.

La cuenca del Biobío es la única en donde se registró la presencia de Hyaellidae, y además, en mayor abundancia que Aeglidae. Por su parte, la Familia Aeglidae se encontró en prácticamente toda la zona sur, excepto en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. La máxima abundancia de esta familia se encontró en la cuenca del Valdivia.

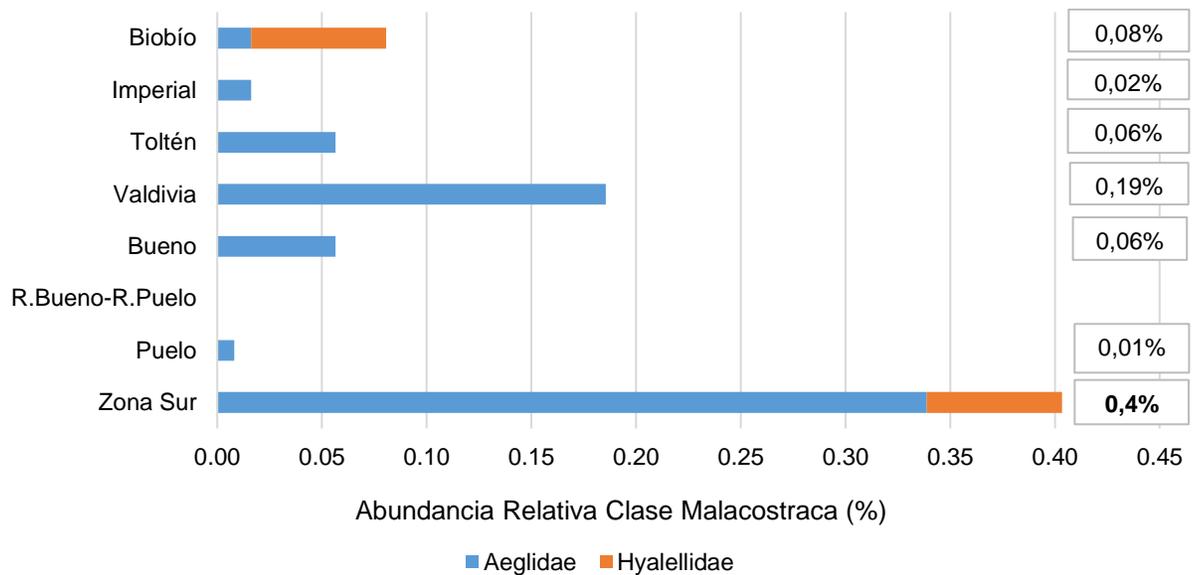


Figura 6. Abundancia Relativa (%) del *Subphylum Crustacea* (Clase Malacostraca) a través del gradiente latitudinal

5.2.7. Clase Insecta

En la zona sur la Clase Insecta tuvo el dominio taxonómico con una abundancia relativa del 82,57% y una riqueza de 28 familias distribuidas en 7 ordenes, estos correspondieron a Coleoptera; Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Lepidoptera y Megaloptera.

En relación con la riqueza de familias de la Clase Insecta, la cuenca del Bueno tuvo el mayor número con un total de 25 familias, seguido de Valdivia con 24 familias, luego, Toltén con 20 familias, Biobío con 18 familias e Imperial y Puelo con 16 y 15 familias respectivamente, finalmente en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo es en donde se presentó el número más bajo de insectos con 13 familias (ver Tabla 4).

En la Figura 7 se observa la abundancia relativa de la Clase Insecta a través del gradiente latitudinal. Esta clase manifestó una disminución en la abundancia relativa de norte a sur a partir de la cuenca del Biobío hasta la del Valdivia, luego se observó un aumento hacia la cuenca del Bueno, donde se presentó la abundancia más alta de la Clase Insecta. Finalmente en las dos cuencas de más al sur en Puelo e islas entre R.Bueno-R.Puelo se presentaron las abundancias más bajas para esta clase de toda el área de estudio.

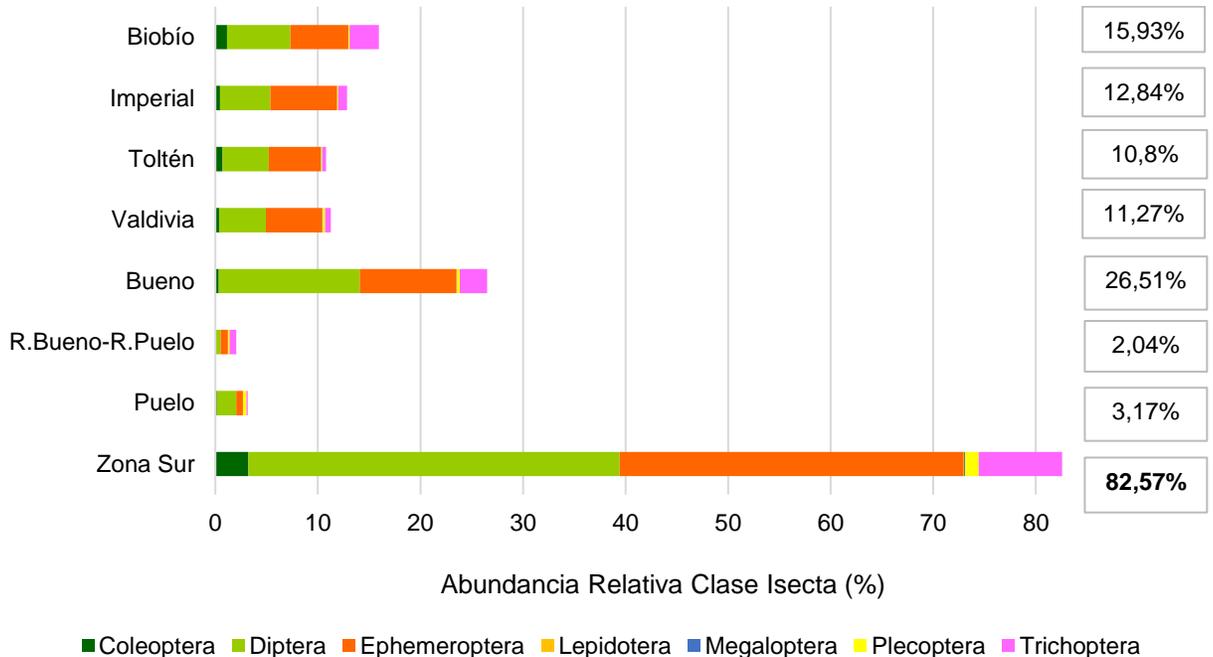


Figura 7. Abundancia Relativa (%) de la Clase Insecta a través del gradiente latitudinal

5.2.7.1. Orden Coleoptera

El Orden Coleoptera (coleópteros) constituyó el 3,23% de la abundancia relativa de la zona sur y estuvo conformado por 2 familias, Elmidae y Psephenidae.

En la Figura 8 se muestra la abundancia relativa del Orden Coleoptera a través del gradiente latitudinal. Este orden mostró una disminución en la abundancia de norte a sur, concentrando el máximo en la cuenca del Biobío y el mínimo en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. La Familia Elmidae, tuvo una abundancia del 2,82% en la zona sur, exhibió la máxima y mínima abundancia en Biobío y en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, respectivamente. La Familia Psephenidae, tuvo una abundancia del 0,41% en la zona sur, su máxima abundancia estuvo en Valdivia, por el contrario la mínima abundancia se observó en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, mientras que en Puelo estuvo completamente ausente.

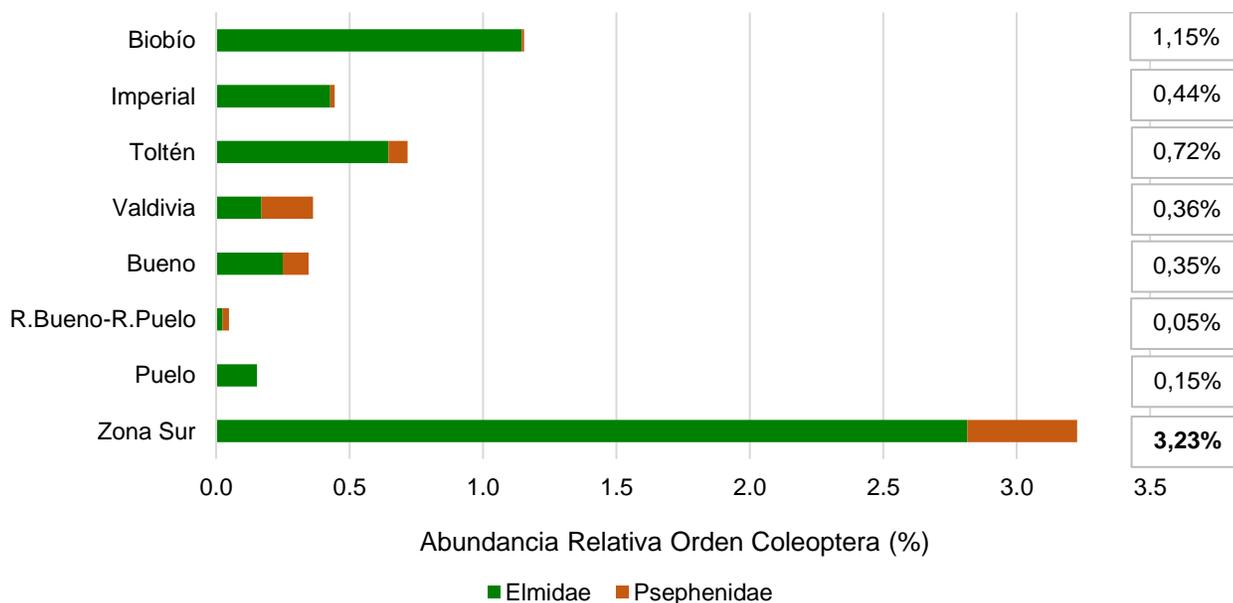


Figura 8. Abundancia Relativa (%) del Orden Coleoptera a través del gradiente latitudinal

5.2.7.2. Orden Diptera

El Orden Diptera (dípteros) tuvo la abundancia relativa más alta de la zona sur con un 36,19%. También, correspondió al orden con la mayor riqueza de familias con un total de 8, estas fueron: Athericidae (0,27%), Blephariceridae (0,1%), Ceratopogonidae (0,1%), Chironomidae (28,21%), Empididae (0,42%), Muscidae (0,01%), Simuliidae (0,35%) y Tipulidae (6,72%) (ver Tabla 3).

Dentro de los dípteros la familia más abundante fue Chironomidae (quironomidos), esta familia se halló en todas las cuencas y sitios de muestreo y su mayor abundancia se encontró en la cuenca del Bueno (ver Tabla 4).

En la Figura 9 se muestra la abundancia relativa del Orden Diptera a través del gradiente latitudinal. Se observó una tendencia a un descenso en su abundancia en sentido norte sur hasta la cuenca del Bueno, en donde alcanzó su máxima abundancia, luego, en las cuencas de más al sur vuelven a descender, siendo en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, en donde se registró la abundancia relativa más baja.

En relación con la riqueza de familias, desde el Biobío hasta Toltén se encontraron 6 familias de dípteros, luego en Valdivia y Bueno se observó un leve aumento con 7 familias en cada cuenca, por el contrario en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo se registró una disminución en la riqueza con 3 familias de dípteros, finalmente en la cuenca del Río Puelo se hallaron 5 familias (ver Tabla 4).

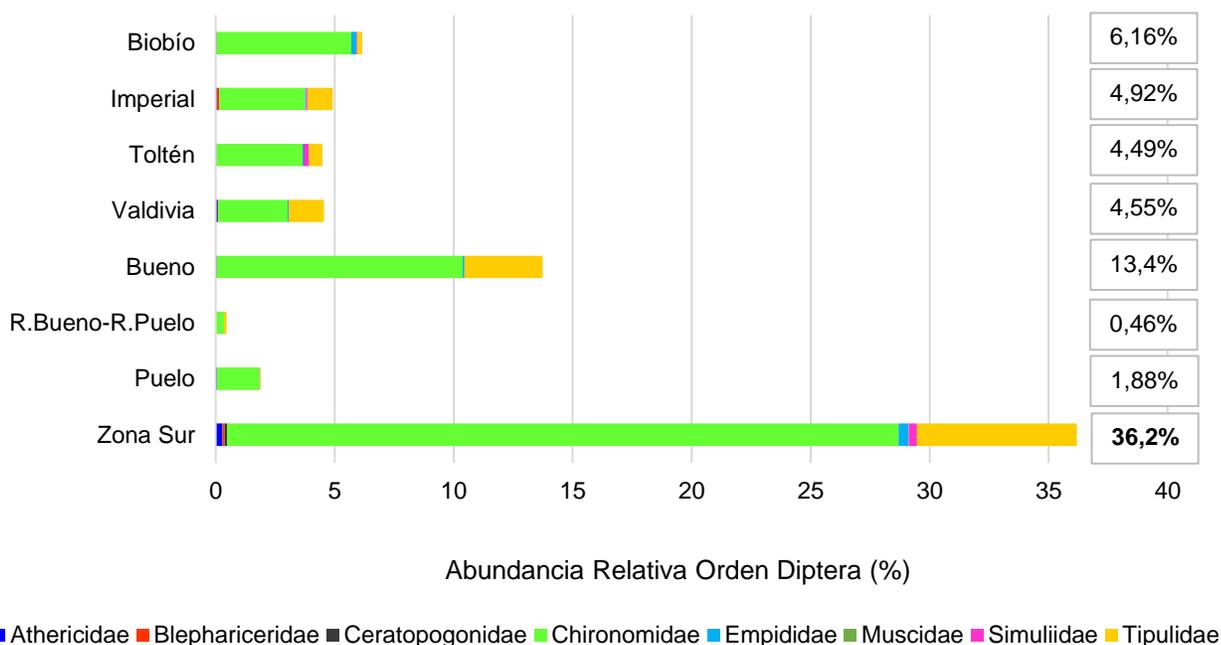


Figura 9. Abundancia Relativa (%) del Orden Diptera a través del gradiente latitudinal

5.2.7.3. Orden Ephemeroptera

El Orden Ephemeroptera conformó el 33,58% del total de individuos de la zona sur, su abundancia estuvo distribuida en 3 familias: Ameletopsidae (0,11%), Baetidae (11,5%) y Leptophlebiidae (21,96%) (ver Tabla 3). Los Ephemeroptera fueron el segundo orden más abundante después de Diptera cuya abundancia estuvo dada por las familias Baetidae y Leptophlebiidae, siendo esta última, la más abundante de la zona sur después de Chironomidae.

En la Figura 10 se muestra la abundancia relativa del Orden Ephemeroptera a través del gradiente latitudinal. La mayor abundancia se encontró en la cuenca del Bueno, mientras que la menor estuvo en Río Puelo. También destaca la cuenca del Imperial con una alta

abundancia de Ephemeroptera, especialmente de Baetidae. La abundancia de este orden disminuyó considerablemente en las dos cuencas de más al sur.

La Familia Leptophlebiidae estuvo presente en todas las cuencas y fue abundante en prácticamente todas ellas excepto en Imperial y Puelo, en donde, la Familia Baetidae fue más abundante. En la zona sur la abundancia de la Familia Ameletopsidae fue muy baja por ello no se observa con claridad en la Figura 10, sin embargo, se halló en las cuencas del Toltén, Valdivia, Bueno y Puelo (ver Tabla 4).

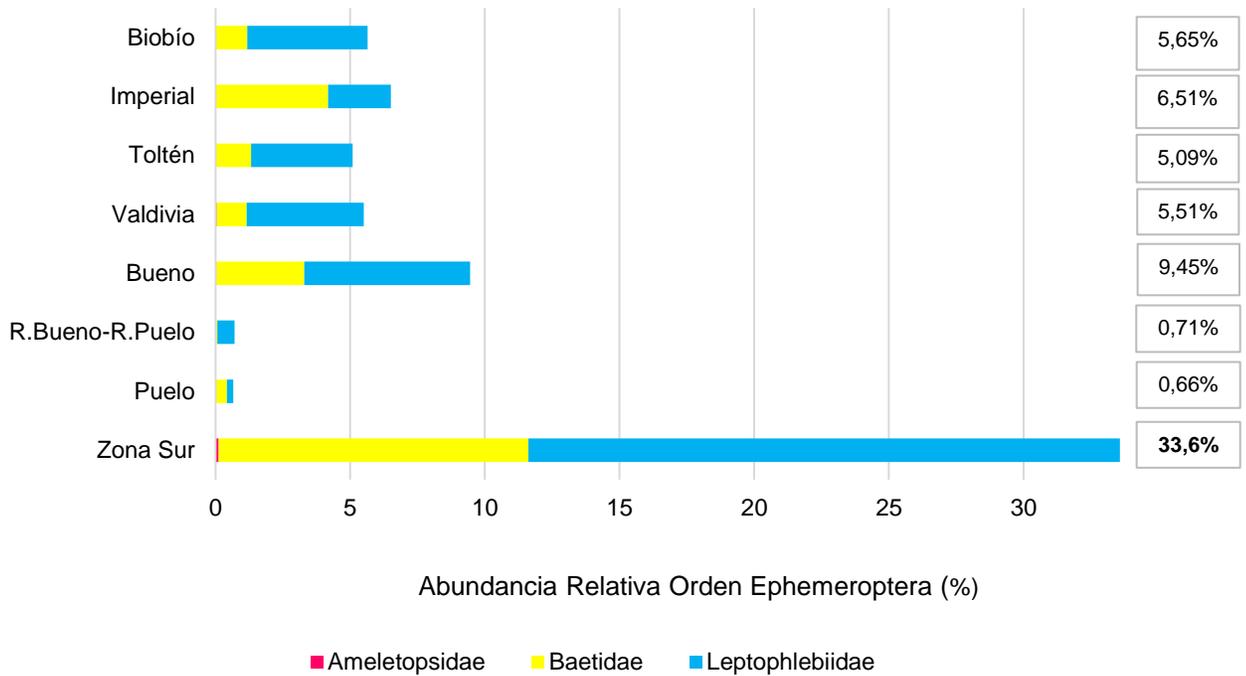


Figura 10. Abundancia Relativa (%) Orden Ephemeroptera a través del gradiente latitudinal

5.2.7.4. Orden Plecoptera

El Orden Plecoptera (plecópteros) representó el 1,36% del total de individuos de la zona sur, cuya abundancia estuvo distribuida en 6 familias: Austroperlidae (0,1%), Diamphipnoidae (0,02%), Eustheniidae (0,01%), Gripopterygidae (0,96%), Notonemouridae (0,21%) y Perlidae (0,06%) (ver Tabla 3).

Se observó un aumento en la riqueza de familias de plecópteros de norte a sur principalmente desde la cuenca del Toltén hasta la cuenca del Bueno. En Biobío se registraron 2 familias, en Imperial se presentó la riqueza más baja con una familia, luego en Toltén se hallaron 3 familias, en Valdivia y Bueno se observó la máxima riqueza con 5 familias en cada una, luego se registró una disminución en las cuencas de más al sur, con 2 familias en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo y 3 en la cuenca del Río Puelo (ver Tabla 4).

En la Figura 11 se puede apreciar la distribución de la abundancia relativa de cada familia de Plecoptera a través del gradiente latitudinal. La abundancia más alta se registró en la cuenca del Río Puelo y la más baja en Imperial. Los Plecopteros manifestaron un aumento en la abundancia de norte a sur, desde la cuenca del Biobío hasta la del Río Puelo.

Dentro de los Plecopteros las Familias Gripopterygidae y Notoneumoridae fueron las dominantes, la primera correspondió a la familia más abundante de la zona sur y se encontró en la mayoría de cuencas, excepto en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. La segunda familia también presentó una abundancia importante dentro del área de estudio y estuvo presente en la mayoría de las cuencas, excepto en Imperial y Toltén (Figura 11).

El plec6ptero Austroperlidae se present6 a partir de la cuenca del Tolt6n hasta Puelo, sin embargo, estuvo ausente en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. Perlidae por su parte se encontr6 en las cuencas Valdivia hasta cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. La Familia Diamphipnoidae 6nicamente se present6 en Tolt6n y Valdivia, mientras que Eusteniidae fue exclusiva de la cuenca del Bueno (Figura 11).

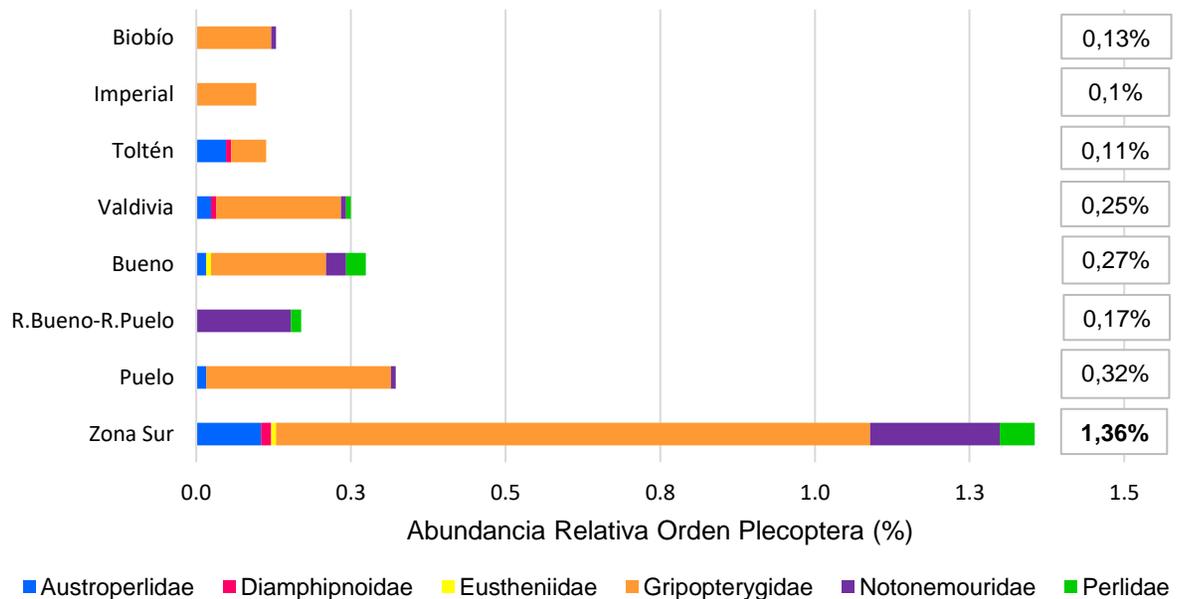


Figura 11. Abundancia Relativa (%) del Orden Plecoptera a trav6s del gradiente latitudinal

5.2.7.5. Orden Trichoptera

El Orden Trichoptera tuvo una abundancia relativa del 8,12% del total de individuos de la zona sur distribuida en 7 familias, 6stas fueron: Glossosomatidae (1,15%), Hydrobiosidae (0,42%), Hydropsychidae (3,4%), Hydroptilidae (1,73%), Leptoceridae (1,39%), Limnephilidae (0,02%) y Polycentropodidae (0,01%) (ver Tabla 3).

En cuanto a la riqueza de familias, las cuencas Biobío, Imperial y Toltén presentaron 5 familias cada una, las cuencas Valdivia y Bueno tuvieron la mayor riqueza con 6 familias cada una, mientras que en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo se observó la riqueza más baja con 2 familias, finalmente en Puelo se hallaron 3 familias.

En la Figura 12 se puede apreciar la distribución de la abundancia relativa de cada familia del Orden Trichoptera a través del gradiente latitudinal. Este orden tuvo su mayor abundancia en Biobío, luego manifestó una disminución a partir de la cuenca del Imperial hasta el Valdivia. Luego, en la cuenca del Bueno se produjo un segundo aumento casi tan alto como el de la cuenca del Biobío, finalmente este orden vuelve a experimentar una disminución en las cuencas de más al sur, siendo en la cuenca del Río Puelo, en donde se observó la abundancia más baja.

La Familia Hydropsychidae fue la más abundante de la zona sur, su mayor abundancia se encontró en la cuenca del Bueno, también destaca la Familia Leptoceridae en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, ambas estuvieron presentes en todas las cuencas. Las Familias Glossosomatidae e Hydroptilidae se encontraron desde el Biobío hasta la cuenca del Río Bueno y estuvieron ausentes en las cuencas de más al sur. La Familia Hydrobiosidae se encontró prácticamente en todas las cuencas excepto en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, la Familia Limnephilidae fue exclusiva de la cuenca del Valdivia, mientras que Polycentropodidae fue exclusiva del Río Bueno (ver Tabla 4; Figura 12).

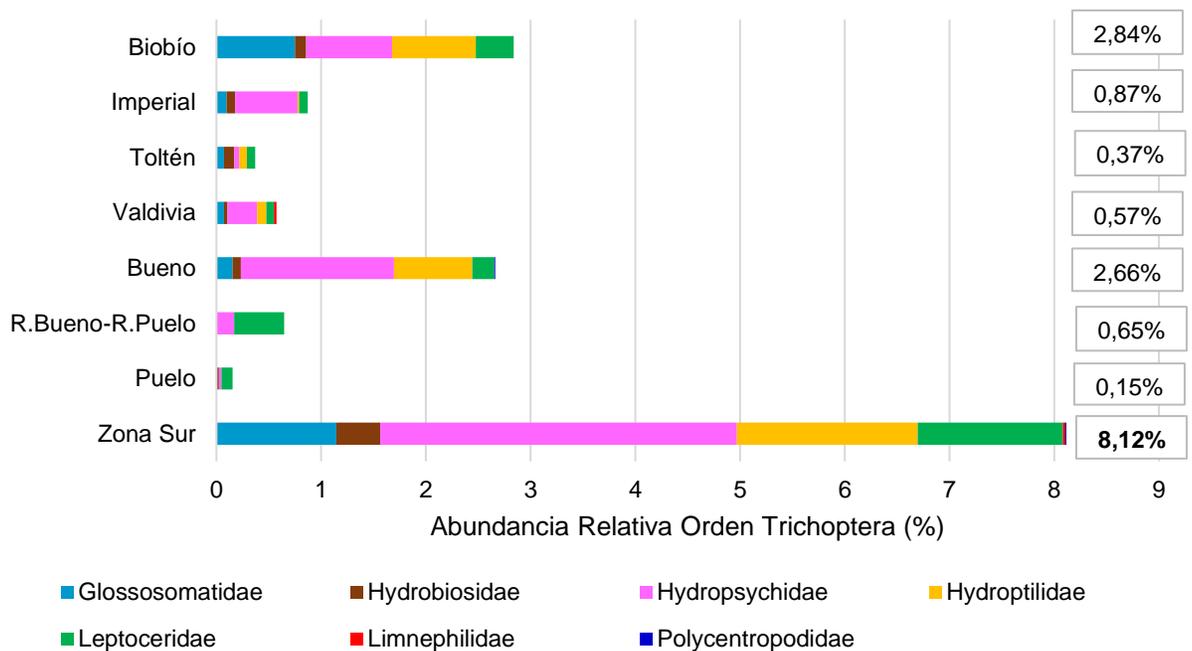


Figura 12. Abundancia Relativa (%) del Orden Trichoptera a través del gradiente latitudinal

5.2.7.6. Lepidoptera y Megaloptera

Los ordenes Lepidoptera y Megaloptera tuvieron las abundancias más bajas de la zona sur. El Orden Lepidoptera estuvo representado únicamente por individuos de la Familia Pyralidae, con una abundancia relativa del 0,02%, se encontró en la cuenca del Bueno y en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo. Por otra parte, el Orden Megaloptera estuvo constituido por individuos de la Familia Corydalidae con una abundancia relativa del 0,09%, se encontró en las cuencas Biobío, Toltén, Valdivia y Bueno (ver Tabla 4).

5.3. Descripción de los índices comunitarios de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

A continuación, se presenta la media de los índices comunitarios de densidad, riqueza de *taxa* y diversidad junto con sus valores máximos, mínimos y la desviación estándar, para cada cuenca hidrográfica (ver Tabla 5).

Tabla 5. Índices comunitarios promedios, máximos, mínimos y desviación estándar registrados en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

Cuenca/Índices comunitarios	Biobío	Imperial	Toltén	Valdivia	Bueno	R.Bueno-R.Puelo	Puelo
Densidad promedio (ind/m²)	850,28	1231,11	848,33	430,62	887,65	288,89	231,67
Máximo de densidad (ind/m ²)	2255,56	1768,89	1344,44	822,22	1644,44	713,33	357,78
Mínimo de densidad (ind/m ²)	11,11	853,33	255,56	95,56	246,67	2,22	53,33
Desviación Estándar	723,30	478,29	449,88	229,31	468,20	375,04	136,32
Riqueza de <i>taxa</i> promedio (S)	13	15,33	16,25	13,00	12,56	8,33	10,50
Máximo de Riqueza de <i>taxa</i>	17	18	20	15	19	16	16
Mínimo de Riqueza de <i>taxa</i>	10	13	13	11	9	1	7
Desviación Estándar	2,45	2,52	3,30	1,41	3,54	7,51	4,04
Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H) promedio	1,47	1,66	1,76	1,58	1,54	1,23	1,54
Máximo de diversidad	1,98	1,81	1,97	1,84	1,98	1,93	1,83
Mínimo de diversidad	1,05	1,44	1,34	1,37	1,25	0,00	1,21
Desviación Estándar	0,38	0,20	0,29	0,18	0,26	1,07	0,26

5.3.1. Densidad de individuos (ind/m²)

La máxima densidad del área de estudio fue de 2255,56 ind/m² y se registró en la cuenca del Biobío en la estación 1-Biobio-2³. La máxima densidad promedio se encontró en la cuenca del Imperial con 1231,11 ± 478,29 ind/m² (desviación estándar) (ver Tabla 5).

La mínima densidad del área de estudio se encontró en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo con 2,22 ind/m² en la estación situada en el Río Hueñu-Hueñu, mientras que la mínima densidad promedio se observó en la cuenca del Río Puelo con 231,67 ± 136,32 ind/m² por estación de muestreo (Tabla 5).

En la Figura 13 se muestra la densidad de individuos de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur.

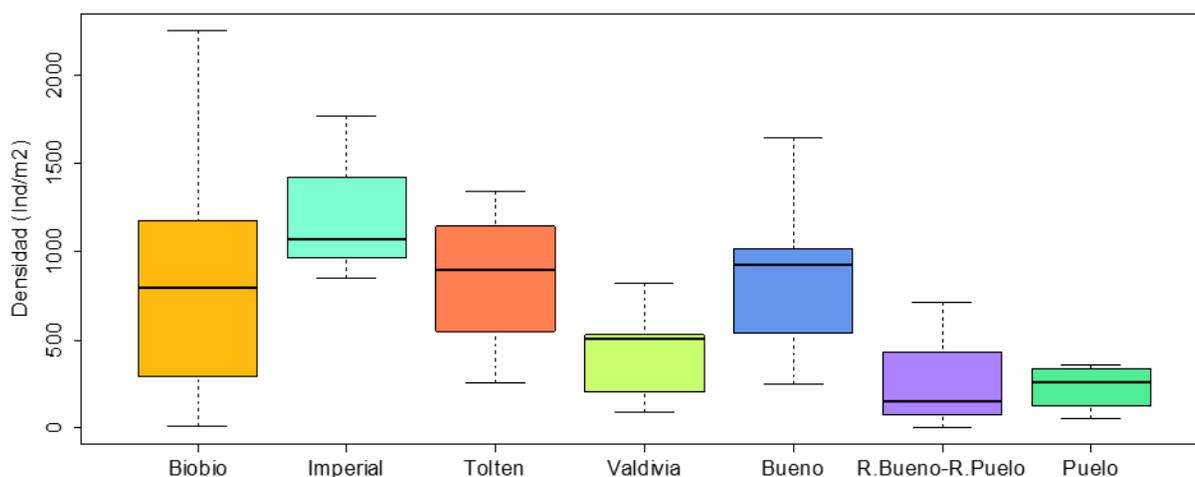


Figura 13. Boxplot de la densidad de individuos de macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

³ La máxima densidad registrada en la estación 1-Biobio-2 esta dada por la elevada abundancia de oligoquetos que se encontró en esta estación de muestreo (sección 4.2.1).

5.3.2. Riqueza de *taxa*

La máxima riqueza del área de estudio fue de 20 *taxa* y se encontró en la cuenca del Toltén en la estación situada en el Río Liucura. Esta cuenca también fue la que presentó la máxima riqueza promedio con $16,25 \pm 3,3$ *taxa* por estación de muestreo (Tabla 5).

La mínima riqueza fue de una familia⁴ y se registró en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo en el Río Hueñu-Hueñu. Esta cuenca también exhibió la mínima riqueza promedio con $8,33 \pm 7,51$ *taxa* por estación de muestreo (Tabla 5).

En la Figura 14 se muestra la riqueza de *taxa* de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur.

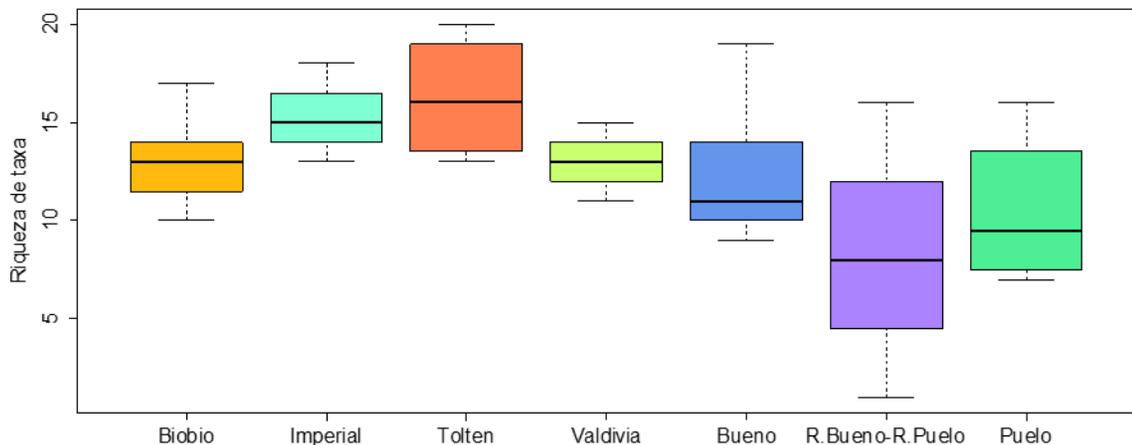


Figura 14. Boxplot de la riqueza de *taxa* de macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

⁴ La única familia presente en el Río Hueñu-Hueñu correspondió a Pyralidae (Lepidoptera).

5.3.3. Diversidad de Shannon-Weiner (H)

La máxima diversidad del área de estudio se registró en las cuencas; Biobío y Bueno en los ríos Ranquil y Pillanleufu respectivamente, cada una con 1,98 bits/ind, también destacó la cuenca del Toltén con una diversidad de 1,97 bits/ind en el Río Pucón. La cuenca del Toltén fue la que registró la máxima diversidad promedio con $1,76 \pm 0,29$ bits/ind por estación de muestreo (Tabla 5).

Por el contrario, la mínima diversidad se halló en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo con 0 bits/ind en el Río Hueñu-Hueñu ya que esta estación presentó una sola familia. Esta cuenca también fue la que exhibió el mínimo valor promedio de diversidad con $1,23 \pm 1,07$ bits/ind por estación de muestreo (Tabla 5).

En la Figura 15 se muestra la diversidad de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur.

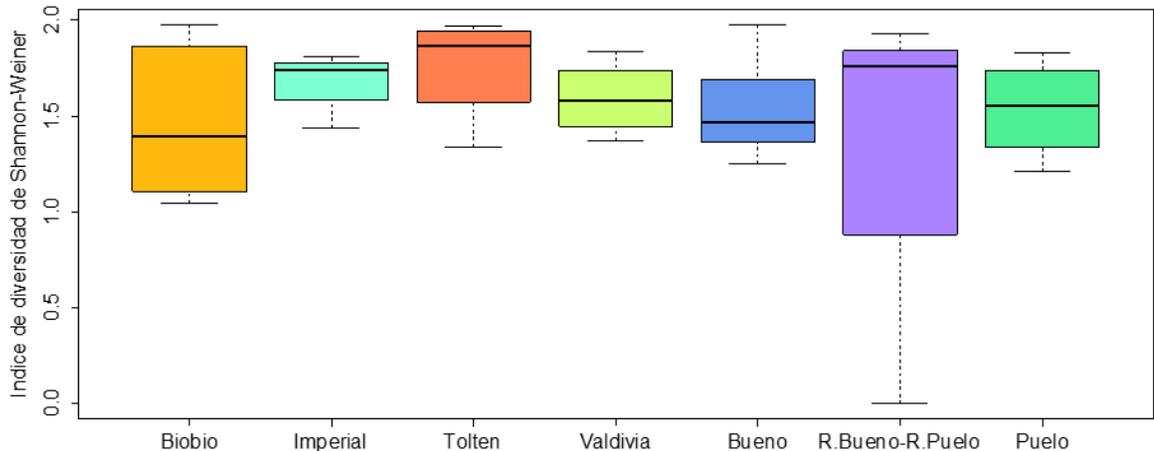


Figura 15. Boxplot de la diversidad de Shannon-Weiner de los macroinvertebrados bentónicos de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4. Descripción de las variables ambientales de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y las variables hidráulicas de cada cuenca hidrográfica de la zona sur se encuentran en la Tabla 6, donde, se exhiben los valores promedios, máximos, mínimos y la desviación estándar de cada variable ambiental.

Tabla 6. Valores de los parámetros fisicoquímicos y las variables hidráulicas de cada cuenca hidrográfica (valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar)

Cuenca/Variables ambientales	Biobío	Imperial	Toltén	Valdivia	Bueno	R.Bueno-R.Puelo	Puelo
Temperatura promedio (°C)	18,66	15,37	12,91	17,21	16,58	18,00	13,88
Máximo	23,87	18,87	14,17	20,83	20,40	20,17	16,97
Mínimo	13,63	11,20	10,47	13,40	12,06	15,70	11,87
Desviación Estándar	3,15	3,88	1,66	2,51	3,22	2,24	2,33
Oxígeno Disuelto promedio (OD mg/L)	5,60	7,66	9,23	7,48	7,31	7,38	9,28
Máximo	6,27	8,50	10,57	8,67	8,30	8,83	10,60
Mínimo	4,87	6,60	7,87	6,30	6,20	5,80	8,13
Desviación Estándar	0,53	0,97	1,13	0,90	0,74	1,52	1,06
pH promedio	7,14	7,41	7,14	7,43	7,63	7,28	7,31
Máximo	7,37	7,67	7,47	7,60	8,00	7,40	7,47
Mínimo	6,87	7,23	6,80	7,06	7,40	7,13	7,10
Desviación Estándar	0,19	0,23	0,29	0,16	0,20	0,13	0,17
Conductividad Electrica promedio (µS/cm)	123,08	91,22	87,75	85,41	178,04	147,89	75,00
Máximo	153,33	146,33	146,67	113,00	346,33	198,33	111,67
Mínimo	98,33	59,33	67,67	38,33	112,33	88,00	50,33
Desviación Estándar	20,83	47,92	39,28	23,91	81,02	55,77	27,00
Velocidad de la corriente promedio (m/seg)	0,48	0,45	0,42	0,31	0,48	0,54	0,69
Máximo	0,65	0,65	0,69	0,7	0,77	0,94	0,89
Mínimo	0,28	0,20	0,27	0,11	0,10	0,25	0,60
Desviación Estándar	0,12	0,23	0,19	0,18	0,22	0,36	0,13
Profundidad promedio (cm)	50,42	50,00	57,58	57,85	52,63	48,33	42,33
Máximo	70,00	74,33	87,33	74,67	81,00	56,33	46,00
Mínimo	32,67	34,67	20,00	34,33	30,33	36,67	39,00
Desviación Estándar	14,25	21,31	28,31	15,03	15,24	10,33	3,37

5.4.1. Temperatura

En la zona sur, la máxima temperatura se registró en el Río Reinaco en la cuenca del Biobío con 23,87 °C, en donde también se presentó el mayor valor promedio con 18,66 ± 3,15 °C (desviación estándar). Por el contrario, la mínima temperatura se encontró en el Río Voipir en la cuenca del Toltén con 10,47 °C, así como también el menor valor promedio con 12,91 ± 1,66 °C (ver Tabla 6).

En la Figura 16 se exhibe la distribución que tuvo la temperatura en la zona sur, se observa que las temperaturas fueron disminuyendo de norte a sur desde la cuenca del Biobío hasta la del Toltén, luego en Valdivia se visualizó un aumento, que se mantuvo hasta cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo para volver a descender en la cuenca del Puelo. Las cuencas Toltén y Puelo registraron las temperaturas más bajas de la zona sur. Es importante mencionar que en cada cuenca los máximos valores de temperatura se encontraron en las estaciones de menor altitud, mientras que los mínimos en aquellas de mayor altitud. Este patrón altitudinal se observó desde las cuencas del Biobío hasta la del Bueno.

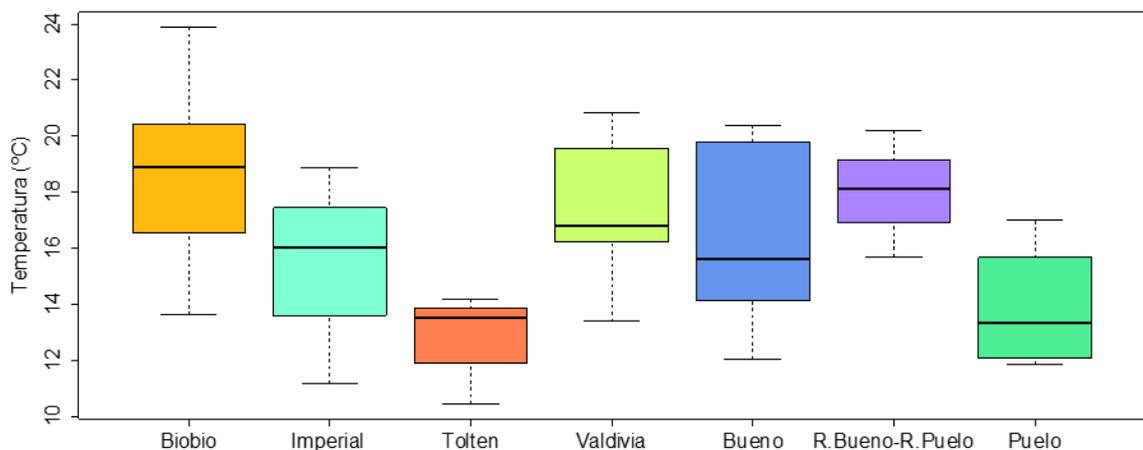


Figura 16. Boxplot de la temperatura del agua en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4.2. Oxígeno Disuelto (OD)

El máximo valor de oxígeno disuelto (OD) se encontró en el Río Apertura en la cuenca del Río Puelo con 10,6 mg/L, en donde también se registró el mayor valor promedio con $9,28 \pm 1,06$ mg/L. De manera similar, la cuenca del Toltén presentó altos valores de OD con un máximo de 10,57 mg/L en el Río Voipir y un promedio de $9,23 \pm 1,13$ mg/L. Por el contrario, el valor más bajo se observó en 1-Biobio-1 en la cuenca del Biobío con 4,87 mg/L, la que a su vez, exhibió el mínimo valor promedio con $5,60 \pm 0,53$ mg/L (Tabla 6).

En la Figura 17 se muestra el comportamiento que presentó el OD en la zona sur. Se observa un aumento de este a partir de la cuenca del Biobío hasta el Toltén, con un descenso en Valdivia, lugar en donde las concentraciones de OD se mantuvieron relativamente uniformes hasta cuencas e islas entre R.Buena-R.Puelo, para luego aumentar en Río Puelo. Al comparar la Figura 16 (temperaturas) con Figura 17 (oxígeno disuelto) se distingue la relación entre ambos parámetros, en donde a mayor temperatura se observa una menor cantidad de OD en el agua y viceversa.

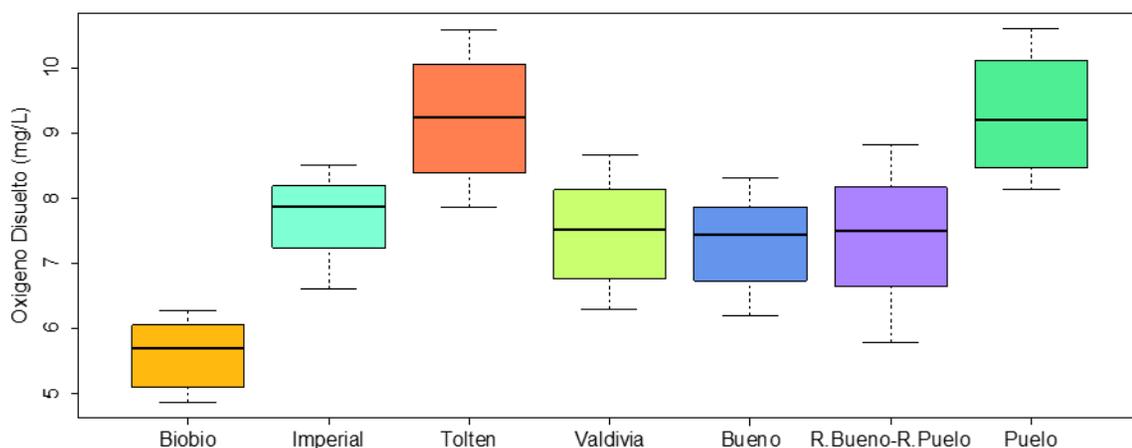


Figura 17. Boxplot del oxígeno disuelto en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4.3. pH

Los ríos de la zona sur presentaron aguas con pH que van desde neutros a ligeramente básicos. El máximo valor de pH fue registrado en el Río Bueno en la cuenca del mismo nombre con 8,0, donde también se presentó el pH promedio más alto con $7,63 \pm 0,20$; mientras que la cuenca del Toltén en el Río Pucon se presentó el mínimo valor de pH con 6,8, así como también el menor valor promedio con $7,14 \pm 0,29$ al igual que la cuenca del Biobío que también tuvo un pH promedio de $7,14 \pm 0,19$ (ver Tabla 6).

En la Figura 18 se muestra el comportamiento que tuvo el pH en la zona sur, en donde se observa que el pH del agua en las cuencas del Biobío y Toltén abarcaro un rango de valores que van desde los 6,8 a los 7,4; registrando los valores de pH más bajos. El resto de las cuencas excepto la del Río Bueno, presentaron valores de pH ligeramente más altos que van desde 7,2 a 7,7. La cuenca del Río Bueno presentó ligeramente valores de pH más elevados en relación con las otras cuencas, en un rango de 7,4 a 8,0.

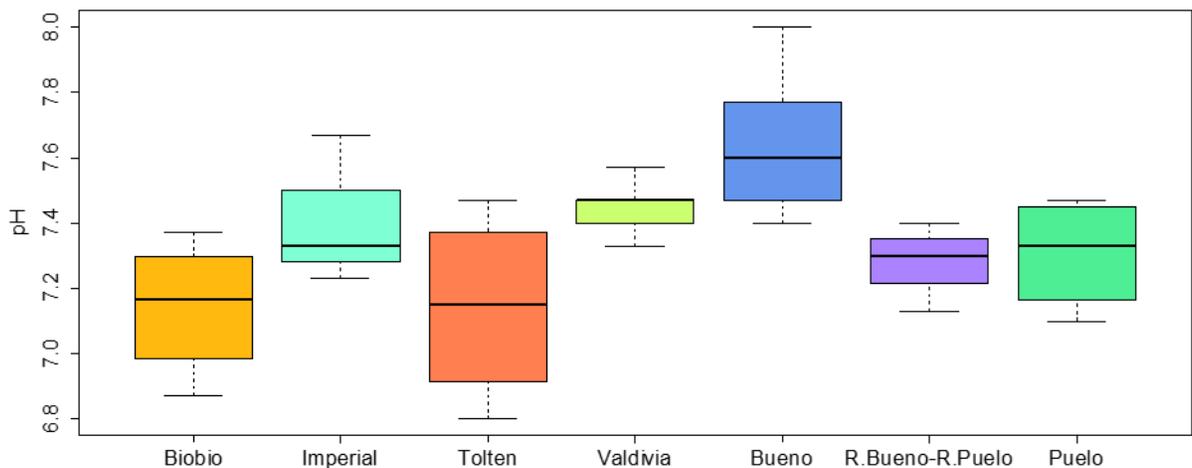


Figura 18. Boxplot del pH en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4.4. Conductividad Eléctrica (CE)

En la zona sur, la máxima conductividad eléctrica (CE) fue registrada en el Río Hueñu-Hueñu en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo con $198,33 \mu\text{S}/\text{cm}$, donde también se presentó la mayor conductividad promedio $147,89 \pm 55,77 \mu\text{S}/\text{cm}$. El valor más bajo de conductividad se encontró el Río Apertura en la cuenca del Río Puelo con $50,33 \mu\text{S}/\text{cm}$, donde también se observó el menor valor promedio con $75 \pm 27 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 6). En la Figura 19 se muestra el comportamiento de la CE en la zona sur.

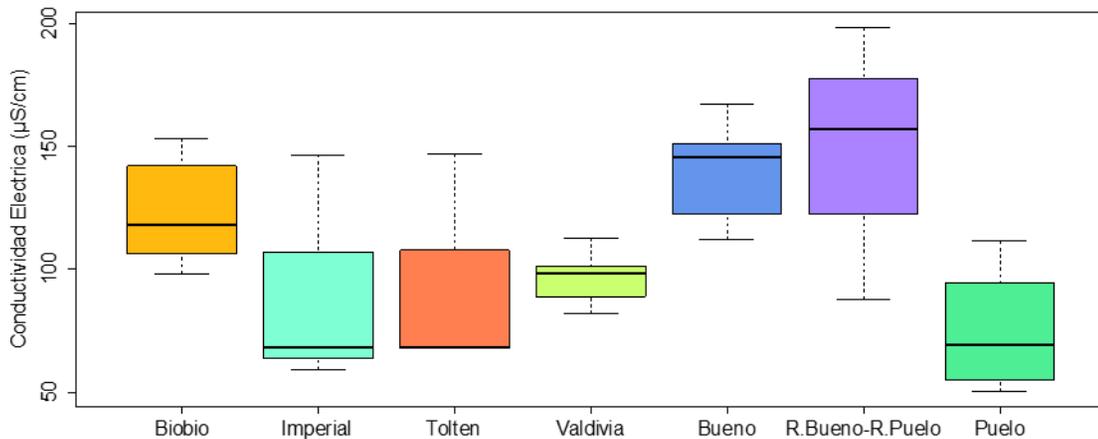


Figura 19. Boxplot de la Conductividad Eléctrica en cada cuenca de la zona sur

5.4.1. Velocidad de la corriente

En la zona sur, la mayor velocidad de la corriente se presentó en el Río Hueñu-Hueñu en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo con un valor de $0,94 \text{ m/s}$, mientras que el mayor valor promedio se registró en la cuenca del Río Puelo con $0,69 \pm 0,13 \text{ m/s}$. La mínima velocidad se encontró en la cuenca del Río Bueno específicamente en la estación ubicada en el Río Bueno con $0,1 \text{ m/s}$, mientras que el valor promedio más bajo estuvo en la cuenca del Río Valdivia con $0,26 \pm 0,12 \text{ m/s}$ (ver Tabla 6).

En la Figura 20 se muestra el comportamiento de la velocidad de la corriente en la zona sur. Las cuencas Biobío, Imperial, Toltén y Valdivia tuvieron velocidades de la corriente más bajas que las cuencas de más al sur.

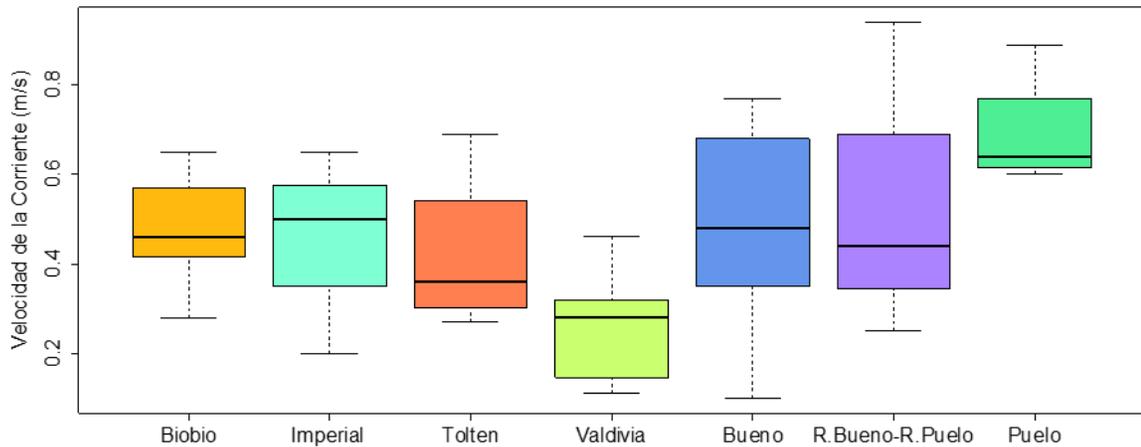


Figura 20. Boxplot de la Velocidad de la corriente en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4.2. Profundidad de la columna de agua

En la zona sur, la mayor profundidad de la columna del agua se observó en el Río Pucón en la cuenca del Río Toltén con 87,33 cm. El mayor valor promedio estuvo en la cuenca del Río Valdivia con $57,85 \pm 15,03$ cm. La profundidad más baja se registró en el Río Claro en la cuenca del Toltén con 20,00 cm, mientras que el valor promedio más bajo se observó en la cuenca del Río Puelo con $42,33 \pm 3,37$ cm (ver Tabla 6).

En la Figura 21 se exhibe el comportamiento de la profundidad de la columna del agua en la zona sur.

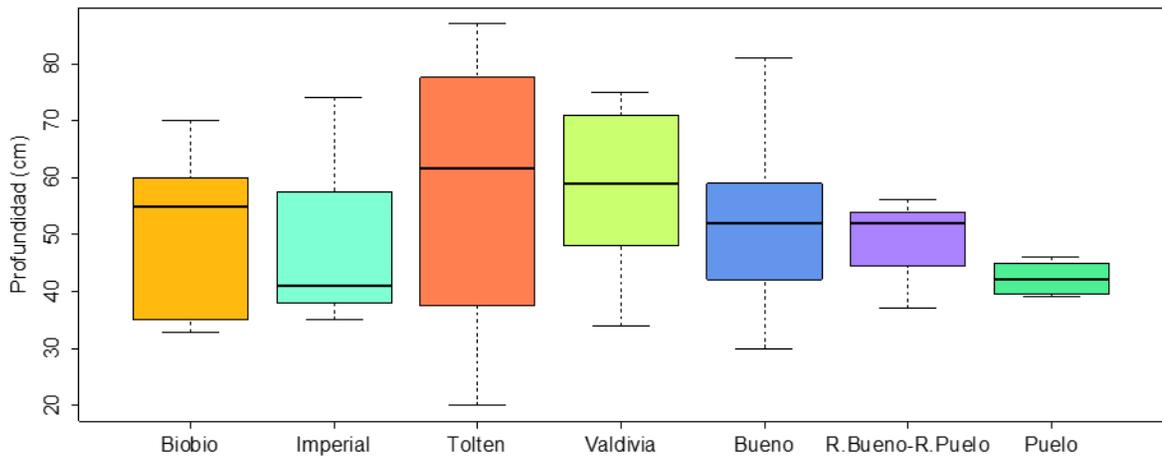


Figura 21. Boxplot de la Profundidad de la columna de agua en cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.4.3. Composición del Sustrato

En la Figura 22 se muestra la composición del sustrato de cada cuenca de la zona sur. Desde la cuenca del Biobío hasta la del Río Valdivia se observó una composición del sustrato relativamente similar, con presencia de cantos, gravas, piedras y arena. Desde la cuenca del Bueno al sur, se reconocen distinciones en cuanto a la composición del sustrato, la cuenca del Bueno es la única en donde hubo presencia de Limo/Arcilla, en cuencas e islas entre R. Bueno-R. Puelo la cantidad de Piedras es casi nula, a diferencia de Puelo donde el porcentaje de Piedras es el mayor de todas las cuencas.

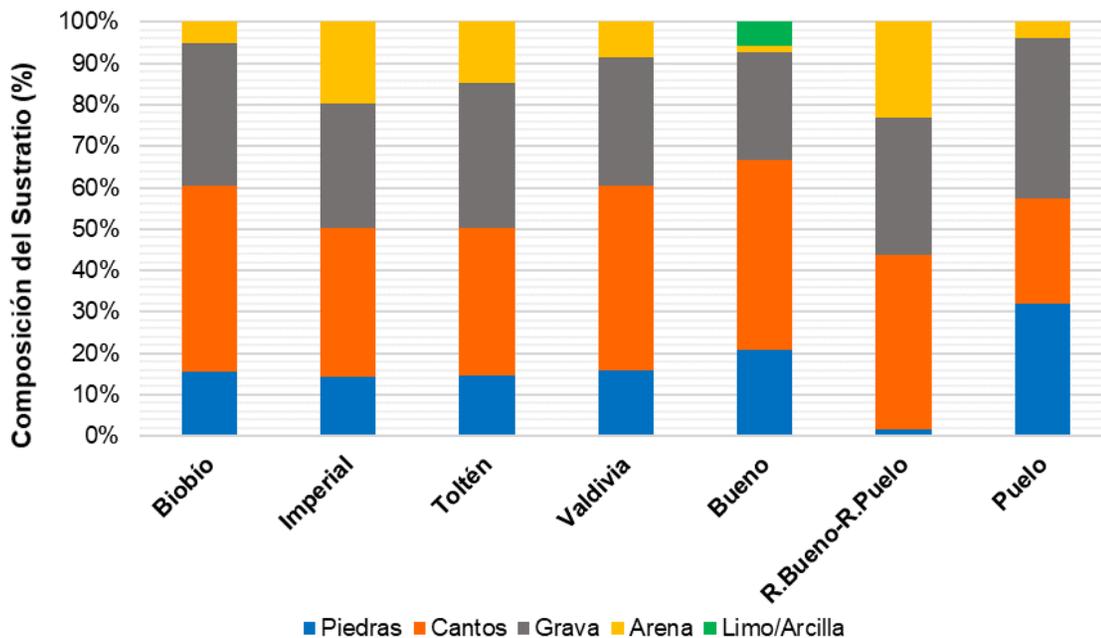


Figura 22. Composición del sustrato de cada cuenca hidrográfica de la zona sur

5.5. Análisis Estadístico

El resultado del análisis de similitud (ANOSIM) entre los sitios de muestreo y la composición taxonómica presentó un R de 0,081 y un valor de p de 0,118, que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la composición taxonómica dentro y entre las cuencas hidrográficas. En la Figura 23 se muestra el análisis NMDS cuyo valor de stress fue de 0,139 el que sugiere una buena representación gráfica.

El resultado del análisis de similitud (ANOSIM) entre los sitios de muestreo y los índices comunitarios presentó un R de 0,121 y un valor de p de 0,04, que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los índices comunitarios entre cuencas. Se obtuvieron diferencias en los índices comunitarios entre las cuencas Imperial y Puelo (p de 0,037), y entre Bueno y Puelo (p de 0,009). En la Figura 24 se muestra el análisis

NMDS cuyo valor de stress fue de $6,36 \times 10^{-5}$ el que brinda una excelente representación gráfica. Estas diferencias en los índices comunitarios podría apoyar la distribución latitudinal observada de los macroinvertebrados bentónicos en relación a la abundancia relativa y la riqueza de *taxa*.

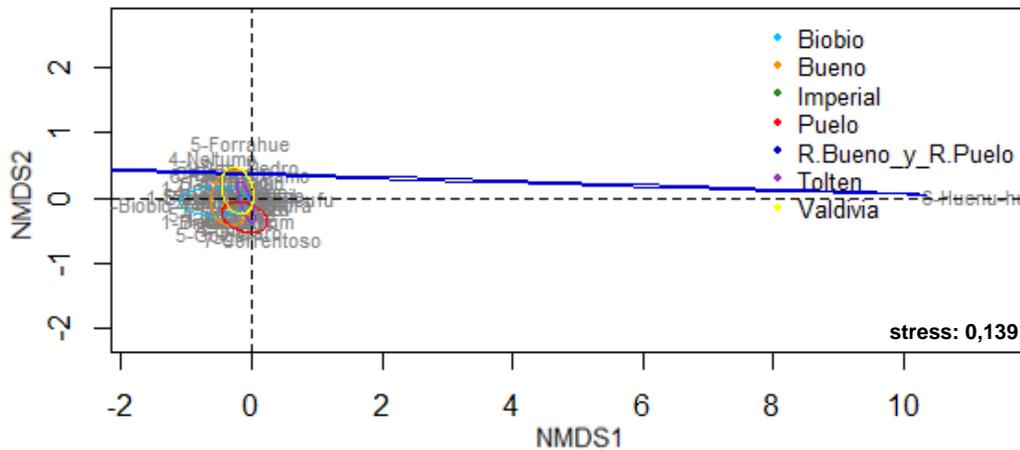


Figura 23. Análisis NMDS entre los sitios de muestreo y la composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos

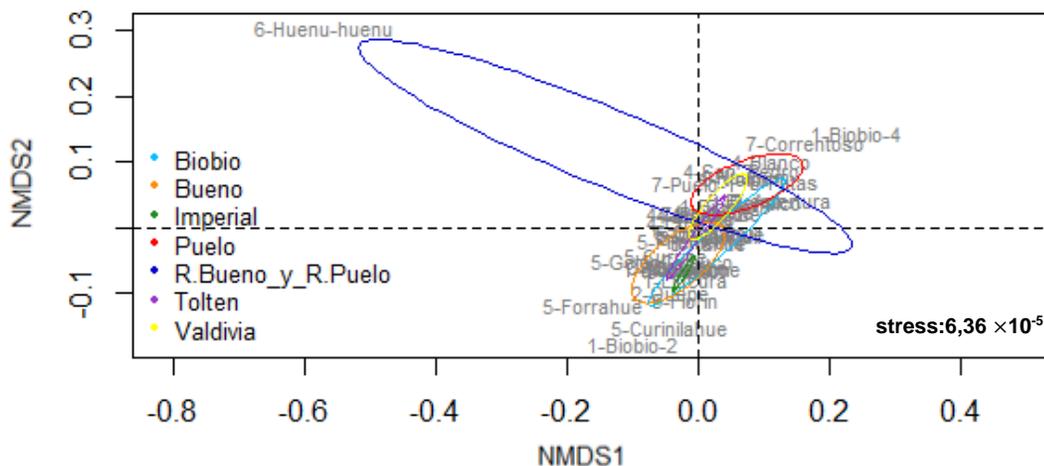


Figura 24. Análisis de ordenación NMDS entre los sitios de muestreo y los índices comunitarios de densidad de individuos, riqueza de *taxa* y diversidad

En ambos análisis NMDS (Figura 23; Figura 24) se observa que los sitios de muestreo se superponen, siendo el sitio ubicado en el Río Hueñu-Hueñu de cuencas e islas entre R.Bueno y R.Puelo el único que se separa de los otros sitios, esto es porque dicho sitio presentó un único taxon pudiendo representar un valor atípico.

El resultado del análisis de similitud (ANOSIM) presentó un R de 0,246, y un valor de p de 0,002, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables ambientales de cada cuenca. En la Figura 25 se encuentra el análisis NMDS, cuyo valor de stress fue de 0,166, valor que sugiere una buena representación en el espacio de ordenación. También, se observan las variables ambientales que fueron significativas para explicar la ordenación de los datos, estas correspondieron a la composición del sustrato y la profundidad de la columna de agua.

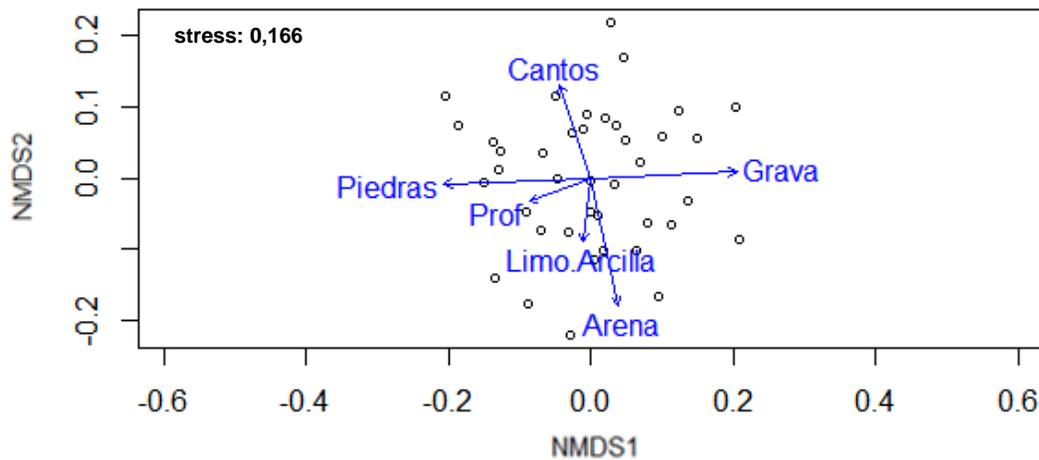


Figura 25. Análisis de ordenación NMDS entre los sitios de muestreo y las variables ambientales. Se muestran únicamente aquellas variables que fueron significativas para explicar la ordenación de los datos

6. DISCUSIÓN

6.1. Distribución latitudinal de los macroinvertebrados bentónicos en la zona sur

Los macroinvertebrados bentónicos hallados en este proyecto de investigación coinciden con los que han sido reportados en otros estudios en ríos de características similares (Habit et al., 1998; Figueroa et al., 2003; Valdovinos & Parra, 2006; Figueroa et al., 2007; Moya et al., 2009; Crespo & Rau, 2017). Debido a que no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la composición taxonómica entre los sitios de muestreo de las cuencas hidrográficas estudiadas. Esta fauna bentónica también puede ser considerada como característica de los ríos de la zona sur de Chile entre los 37° y 42° de latitud sur.

En general, los grupos de macroinvertebrados bentónicos, a través del gradiente latitudinal estudiado, experimentaron dos disminuciones de la abundancia relativa y riqueza de *taxa*. La primera, se observó desde la cuenca del Biobío hacia la del Toltén, luego, en las cuencas del Valdivia y Bueno se produjo un aumento de ambos parámetros, manifestando el *peak* de abundancia y riqueza de *taxa* a los 40°S. Posterior a este *peak*, en las cuencas de mayores latitudes, los macroinvertebrados experimentaron la segunda disminución, la que fue más notoria que la primera. Este patrón se observó en la mayoría de macroinvertebrados y fue más evidente en la abundancia relativa que en la riqueza de *taxa*. Las excepciones más claras fueron los ordenes Coleoptera y Plecoptera, el primero presentó una disminución progresiva de su abundancia relativa de norte a sur, y el segundo manifestó un aumento de su abundancia relativa de norte a sur.

Estos resultados concuerdan con la literatura en cuanto a patrones globales de riqueza y diversidad de especies, en donde se ha documentado que a escala global la riqueza y diversidad en la mayoría de los organismos, en tierra y mar, es mayor en climas con temperaturas constantes y relativamente altas (como aquellas encontradas en muchos de los trópicos) y disminuye progresivamente hacia climas fluctuantes y fríos asociados con las latitudes más altas. Asimismo, existen otros organismos que muestran gradientes de diversidad inversos, es decir, presentan mayor diversidad en las zonas templadas y bajas en los trópicos (Fischer, 1960), como el Orden Plecoptera en este trabajo.

Esta disminución en la diversidad ha sido documentado por otros autores, como Valdovinos et al., (2010) quienes realizaron un estudio en la Patagonia chilena y observaron un marcado cambio latitudinal en la diversidad de especies con una disminución de la riqueza hacia el sur. Otro estudio, ejecutado por los autores Oyanedel et al., (2008) realizaron un análisis de los patrones de distribución de la biota pelágica dulceacuícola de las cuencas de Chile sugiriendo que en la actualidad la latitud ejerce una fuerte influencia en la distribución de especies.

El *peak* de abundancia relativa y riqueza de *taxa* que se registra a los 40°S en las cuencas Valdivia y Bueno, también tienen concordancia con lo descrito en la literatura con respecto al patrón latitudinal de diversidad observado en Chile, el que, dadas las características geográficas del país, presenta un patrón distintivo de variación en su diversidad que, en la gran mayoría de los grupos de plantas y animales, presentan un máximo de biodiversidad entre los 35° y los 40° S (Ministerio del Medio Ambiente, 2018b). Es importante mencionar que, en ambos hemisferios, en las zonas templadas

cercanas a los 40° de latitud, se han observado aumentos significativos de riqueza y diversidad (Vinson & Hawkins, 2003).

La brusca disminución en la abundancia relativa y la riqueza de *taxa* que se registró en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo y en la cuenca del Río Puelo, podría estar relacionada a que los sitios muestreados en estas cuencas, se encuentran ubicados en cercanías del Estuario de Relongaví. Un estuario es el lugar en donde se mezcla agua salada proveniente del mar con agua dulce proveniente de los ríos (Smith & Smith, 2007). En general, en las zonas de estuarios los organismos deben enfrentar condiciones estresantes lo que trae como consecuencia una menor diversidad a pesar de la alta productividad encontrada en estos ambientes (Smith & Smith, 2007).

Ha existido un amplio debate sobre los mecanismos ecológicos y evolutivos del origen de los gradientes latitudinales de riqueza de especies (Valdovinos et al., 2010). Algunas de las hipótesis argumentan que los patrones biogeográficos son producto de dos procesos estrechamente entrelazados, la evolución de los organismos y la evolución de sus hábitats, además de las condiciones ecológicas presentes, área disponible, diferencias en las tasas de especiación o extinción, la heterogeneidad ambiental, la historia de vida, las consecuencias de las últimas glaciaciones, los gradientes climáticos y la influencia de la temperatura entre otros (Fischer, 1960; Palma & Figueroa, 2008).

La temperatura es aparentemente la variable abiótica que más se relaciona con la latitud y altitud (Jacobsen et al., 1997). Existe suficiente evidencia de que los macroinvertebrados bentónicos son sensibles a los cambios de temperatura, debido a ello, estos organismos, se pueden ver afectados en su diversidad y estructura taxonómica y/o comunitaria frente a estas variaciones. Los efectos se relacionan

principalmente con rasgos de historia de vida, como la postura de huevos y la plasticidad en los ciclos de vida (Palma, 2013b). De esta forma, modificaciones en las variables climáticas pueden dar lugar a cambios en la diversidad y rangos de distribución de las especies a través de la latitud (Valdovinos et al., 2010).

Al igual que existe una distribución latitudinal de los organismos, también se presentan distribuciones altitudinales. El gradiente altitudinal no fue evaluado en este estudio, sin embargo, es importante destacar que algunos estudios sobre sucesión altitudinal demuestran que existe una tendencia a la disminución de la riqueza específica desde la cabecera de la cuenca hacia aguas abajo. Figueroa et al., 2003 encontraron que los *taxa* reconocidos como sensibles a la contaminación, tales como Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera y Coleoptera (Elmidae), son más abundantes en las zonas altas y medias de la cuenca, mientras que los *taxa* reconocidos como tolerantes a la contaminación, especialmente la orgánica, como Oligochaeta, Hirudinea, Diptera (Chironomidae) y Gastropoda, se presentan en todas las zonas, sin embargo, sólo en la parte baja alcanzan una elevada abundancia.

A continuación, se discute cada grupo de macroinvertebrados bentónico por separado.

6.1.1. Clase Gastropoda

Con respecto al patrón latitudinal descrito a escala global en gastrópodos, estos tendrían mayor diversidad hacia zonas templadas que en el ecuador (Hubendick, 1962), es decir, su diversidad aumentaría hacia los polos. Sin embargo, en este trabajo no es posible referirse a diversidad de gastrópodos debido a que los ríos de la zona sur únicamente presentaron 2 familias; Chiliniidae e Hydrobiidae, ambas endémicas y con el mayor número de especies conocidas en el país; 30 y 22 respectivamente (Valdovinos, 2006).

Dado que Chiliniidae posee mayor número de especies que Hydrobiidae, esta podría ser la razón de que haya sido más abundante en el área de estudio.

Esta clase, de acuerdo con la literatura en Chile, consta de 73 especies, 8 géneros, distribuidos en 6 familias. En relación con las 4 familias de la Clase Gastropoda que no fueron halladas en este estudio, su ausencia podría estar relacionada, por un lado, a que presentan menor cantidad de especies en comparación con Chiliniidae e Hydrobiidae, y por el otro, a que, como se mencionó anteriormente, los gastrópodos alcanza mayor diversidad y abundancia en las zonas bajas de las cuencas (Figuroa et al., 2003).

En el presente estudio, la mayor abundancia de Hydrobiidae se localizó en la cuenca del Río Valdivia (Región de Los Ríos), mientras que gran parte de Chiliniidae se encontró en cuenca e islas entre R.Bueno-R.Puelo (Región de Los Lagos). Ambas regiones y cuencas albergarían una densidad importante de estas familias de gastrópodos.

En este trabajo no fue posible apreciar un patrón latitudinal de los gastrópodos, sin embargo, se observa que su distribución a lo largo del gradiente latitudinal es discontinuo, tal como es mencionado en la literatura (Valdovinos, 2006), debido a que a lo largo de su distribución presentaron notorias variaciones en su abundancia relativa entre cuencas contiguas. Esto puede tener diversas explicaciones, por un lado, se ha descrito que esta distribución discontinua se encuentra asociado a barreras geográficas como la natural discontinuidad de las cuencas hidrográficas, así como, el mosaico de hábitats dentro de ellas (Valdovinos 1999, Parada & Peredo 2002, 2006, Parra 2002). Entre los factores ecológicos propios del grupo destaca su baja vagilidad (estados adultos no alados), por lo que su capacidad de dispersión es más limitada en comparación con los insectos.

Dentro de los factores ambientales que determinan la presencia o ausencia de gastrópodos en los distintos ambientes, destaca, la temperatura, el oxígeno disuelto y la cantidad de sales disueltas en el agua, especialmente de carbonato de calcio, que es el material para la construcción de sus conchas (Domínguez & Fernández, 2009). En relación con la temperatura y el oxígeno, estudios previos demuestran que la Familia Chilinidae se encontraría restringida a aguas frías (<10°C), oxigenadas (>70% saturación de oxígeno) y de baja turbidez (Fuentealba et al., 2010), habitando generalmente aguas templadas o frías y oxigenadas. También, se ha documentado que Chilinidae tendría una mayor tolerancia que Hydrobiidae a las variaciones de temperatura (Domínguez & Fernández, 2009). Esto último podría tener relación con su elevada abundancia en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo debido que al ser una zona estuarina, se caracteriza por ser muy variable en cuanto a la temperatura a lo largo del día y según la estación del año (Smith & Smith, 2007).

6.1.2. Subphylum Crustacea

La fauna de crustáceos presentes en los ríos de la zona sur está conformada por representantes del Orden Decapoda con la Familia Aeglidae; y el Orden Amphipoda con la Familia Hyalellidae. De acuerdo con Jara et al., (2006) en Chile se conocen 20 especies de la Familia Aeglidae, de las cuales, 16 son endémicas; y 7 especies de la familia Hyalellidae, de las cuales 3 son endémicas.

Los crustáceos muestran el patrón latitudinal descrito a escala global con mayores abundancias en los 40° de latitud sur, sin embargo, solo se puede afirmar esto para la Familia Aeglidae que, en base a los resultados de esta investigación, su mayor densidad se encontró en la cuenca del Río Valdivia (40°S). Esta familia de crustáceos estuvo

ausente en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, esto puede deberse, a que posee escasa capacidad de osmorregulación, lo que le impide dispersarse entre cuencas a través de aguas marinas costeras (Valdovinos et al., 2010). No obstante, un estudio realizado por Daneri et al. (2009) en el Estuario de Relongaví menciona la presencia de Crustacea en sitios de muestreo ubicados en los mismos ríos que los de este estudio.

Se ha documentado que la distribución de esta familia estaría dada por su distribución ancestral, y a partir de esta han ocupado los hábitats que cumplan con sus requerimientos ecológicos pero limitados por su escasa vagilidad, al igual que los gastrópodos.

La Familia Hyalellidae estuvo presente únicamente en la cuenca del Biobío, su ausencia en el resto de las cuencas es interesante debido a que de las 7 especies que presenta esta familia en Chile, al menos 3 han sido descritas con distribución en el área de este estudio; *Hyalella chiloensis* (endémica), *Hyalella patagónica*, ambas habitan en aguas continentales entre los 39° y 51°S; e *Hyalella costera* (endémica) que habita aguas costeras y continentales entre los 24° y los 40°S (De los Ríos-Escalante et al., 2012; 2013). Además, esta familia ha sido registrada en numerosos trabajos realizados en la zona centro-sur de Chile (Habit et al., 1998; Figueroa et al., 2003; Valdovinos & Parra, 2006; Figueroa et al., 2007; Moya et al., 2009). Un estudio ejecutado por los autores Crespo & Rau (2017) en la Región de Los Lagos, encontraron a Hyalellidae en diferentes estaciones del año (invierno, primavera, verano). Por lo tanto, su ausencia en la mayoría de las cuencas estudiadas podría estar relacionada con varios factores, entre ellos; el esfuerzo de muestreo, la zona del río (alto-medio-bajo); o bien por la reducción de sus poblaciones debido a actividades antropogénicas.

6.1.1. Orden Coleoptera

En este estudio los ríos de la zona sur están representados por dos familias de coleópteros Elmidae y Psephenidae. En Chile, Elmidae presenta 16 especies, mientras que, Psephenidae 3 especies (Elgueta & Arriagada, 1989). Esta puede ser una de las razones de que Elmidae haya sido más abundante en el área de estudio.

De acuerdo a Jerez & Moroni (2006), en Chile se han descrito 7 familias de coleópteros acuáticos. De estas, Elmidae y Psephenidae habitan casi exclusivamente sistemas lóticos y viven asociadas a aguas bien oxigenadas (Domínguez & Fernández, 2009), el resto es más común en las zonas bajas de las cuencas, razón por la que no fueron halladas en este estudio.

La Familia Elmidae ha sido reportada como parte de la fauna de deriva en zonas de ritrón y como una familia particularmente sensible a la contaminación, por lo que habita sistemas de buena calidad (Figueroa et al., 2003). La Familia Psephenidae habita en aguas corrientes y cristalinas con contenido orgánico y de poca profundidad, generalmente adheridas al sustrato; al igual que Elmidae también se encuentra en zonas de ritrón (Jerez & Moroni, 2006). Esta familia se encontró en todas las cuencas excepto en la cuenca del Río Puelo. La presencia de ambos coleópteros revela que los sistemas acuáticos estudiados son de buena calidad.

Los coleópteros en este estudio tuvieron su máxima abundancia en la cuenca del Río Biobío y luego disminuyeron progresivamente de norte a sur, exhibiendo el patrón de distribución latitudinal global de la mayoría de las especies.

6.1.2. Orden Diptera

El Orden Diptera constituye uno de los más abundantes y ampliamente distribuidos en todo el mundo (Roldán, 1996). Tienen gran importancia en las tramas tróficas y en procesos ecosistémicos en general (Palma, 2013a). En Chile, debido a la falta de especialistas y a la carencia de colecciones de referencia, no se puede presentar un número de géneros y especies a nivel nacional (Valdovinos, 2018).

Este orden manifestó una distribución latitudinal cuya abundancia y riqueza de familias fue disminuyendo de norte a sur, en donde ambos parámetros comunitarios mostraron un máximo en la cuenca del Bueno.

Los dípteros fueron los más abundantes del área de estudio, esto se debe a que son organismos que habitan lugares muy variados, inclusive se ha destacado que la gran variedad de hábitats acuáticos que ocupan es muy superior a cualquier otro orden de insectos (Domínguez & Fernández, 2009). Los dípteros también son reconocidos por presentar familias de aguas muy limpias como Simuliidae y Blephaceridae o contaminadas como Tipulidae y Chironomidae (Roldán, 1996).

La Familia Chironomidae fue la más abundante del área de estudio, esta familia corresponde a uno de los grupos de insectos más importantes en los ecosistemas acuáticos, debido a su abundancia, riqueza de especies y su amplio espectro ecológico, siendo encontrados en un rango de condiciones naturales mayor al de cualquier otro grupo de insectos. A pesar de su gran diversidad, enorme abundancia y gran relevancia ecológica, estas pequeñas larvas acuáticas son uno de los grupos menos estudiados en Chile (Valdovinos, 2018). En este estudio la Familia Tipulidae también fue abundante,

esta familia se cataloga como detritívoros, con un amplio espectro de alimentación que les confiere una alta capacidad de colonización (Rivera-Usme et al., 2013).

6.1.3. Orden Ephemeroptera

De acuerdo con Camousseight, (2001), en Chile, el Orden Ephemeroptera está representado por 57 especies, 25 géneros y 7 familias. Con respecto a su endemismo, el 56% de las especies serían exclusivas del territorio.

En este estudio los ríos de la zona sur están representados por 3 familias Ameletopsidae, Baetidae y Leptophlebiidae. Este orden tuvo una baja riqueza de familias, sin embargo, su abundancia fue la más alta después de Diptera.

En relación con la distribución latitudinal de Ephemeroptera a escala global, los autores Vinson & Hawkins, (2003) indican que este orden incrementa su diversidad desde el Ecuador hacia los polos con un máximo en zonas templadas a los 40° de latitud en ambos hemisferios. En Chile un estudio ejecutado por Palma, (2013b) muestra que la distribución latitudinal de este grupo tendría su máxima diversidad a los 41° de latitud sur y luego, una considerable disminución. Los resultados de esta investigación concuerdan con estos estudios dado que presentó la máxima abundancia en Bueno a los (40°-41°) de latitud sur y luego un considerable descenso hacia las cuencas de mayores latitudes en donde expreso su menor abundancia, específicamente en cuencas e islas entre R.Bueno-R. Puelo y Puelo.

Las familias Leptophlebiidae y Baetidae se encontraron en todas las cuencas hidrográficas. La Familia Leptophlebiidae fue la más abundante en el área de estudio después de Chironomidae (Orden Diptera). Por otra parte, la Familia Baetidae también

presentó una abundancia importante, mientras que Ameletopsidae tuvo una abundancia muy baja y se encontró únicamente en las cuencas Toltén, Valdivia, Bueno y Puelo.

En Chile, la Familia Leptophlebiidae es la más diversa de todas, se encuentra representada por 15 géneros y 36 especies. Las Familias Baetidae y Ameletopsidae están representadas por 9 y 4 especies, respectivamente (Camousseight, 2001). La gran diversidad de Leptophlebiidae explicaría su elevada abundancia en la zona sur en comparación con las otras dos familias halladas en el área de estudio.

En relación con las 4 familias del Orden Ephemeroptera que no se encontraron en este estudio, su ausencia responde, por una parte, a que presentan, a nivel nacional, menos especies que las familias halladas en este estudio (entre 1 y 2 especies), por lo tanto, corresponden a familias raras o poco comunes y sus densidades no suelen ser tan elevadas (al igual que la Familia Ameletopsidae) y, por tal razón, se debe aumentar el esfuerzo de muestreo para su detección. Por otra parte, su ausencia también puede estar relacionada con la estación climática en la que se recogieron las muestras; así lo demuestra un estudio realizado por los autores Vera-palacios et al (2005), donde se encontró una baja abundancia y riqueza de Ephemeroptera en los meses de invierno y verano, siendo la primavera la estación climática que presenta los mayores valores de abundancia y riqueza.

6.1.4. Orden Plecoptera

En relación al Orden Plecoptera, en Chile se conocen 66 especies y 35 géneros distribuidos en 6 familias, con un endemismo del 60% (Palma & Figueroa, 2008).

En este estudio los ríos de la zona sur estuvieron representados por las 6 familias de Plecoptera descritas en Chile, estas son: Austroperlidae, Diamphipnoidae, Eustheniidae, Gripopterygidae, Notonemouridae y Perlidae.

De éstas 6 familias, Gripopterygidae fue la más abundante y representativa de los ríos estudiados, seguida por Notonemouridae. La dominancia de ambas familias en la zona sur puede estar dada debido a que ambas son las que poseen el mayor número de especies descritas en el país para este orden.

De acuerdo a Vera & Camousseight, (2006) Gripopterygidae corresponde a la familia más diversa y diversificada de todas; a nivel nacional presenta 18 géneros y 30 especies. La Familia Notonemouridae es la segunda más abundante a nivel nacional presenta 4 géneros y 17 especies. En comparación con Austroperlidae que posee 4 especies, Diamphipnoidae 5 especies, Eustheniidae 2 especies, y Perlidae 6 especies.

Estudios sobre patrones latitudinales a escala global en este orden indican que la diversidad de Plecoptera incrementa desde el Ecuador hacia los polos, en donde la diversidad de Plecoptera es mayor en arroyos templados cerca de los 40° de latitud en ambos hemisferios (Vinson & Hawkins, 2003). Este patrón, en su distribución, responde a que estos organismos son muy exigentes en cuanto a los factores fisicoquímicos, dado que se encuentran ligados a ambientes lóticos con altas exigencias a aguas frías y de buena oxigenación (Vera & Camousseight, 2006). Los resultados de esta investigación concuerdan con estos estudios sobre patrones latitudinales a escala global.

El Orden Plecoptera tuvo la abundancia relativa más baja de la zona sur en comparación con el resto de ordenes de la Clase Insecta. Además, es el único que manifestó un aumento en su abundancia relativa de norte a sur, siendo la cuenca del Río Puelo donde

exhibió la abundancia más elevada, mientras que la más baja se observó en las cuencas del Biobío e Imperial.

En este estudio se observó que el mayor número de familias se concentró en las cuencas en Valdivia y Bueno (40°-41°). Estos resultados son concordantes con la literatura, ya que en Chile se reconocen las zonas entre los 39° y 40° latitud sur, como la que presenta la mayor riqueza de especies de los Plecoptera (Palma & Figueroa, 2008). Después del máximo de riqueza de familias en Valdivia y Bueno, se produjo un decaimiento, esto podría deberse a que si bien, este orden tiene preferencias por aguas frías, siendo ambientalmente muy exigentes, algunos autores sugieren que las aguas de muy bajas temperaturas tienden a limitar la riqueza y diversidad de Plecoptera hacia latitudes mayores (Valdovinos et al., 2010).

6.1.5. Orden Trichoptera

En Chile, se conocen 217 especies del Orden Trichoptera distribuidas en 33 géneros y 18 familias (Palma, 2013a). Una de sus características más llamativas es su capacidad para construir casas o refugios, a menudo propios de cada especie (Roldán, 1996).

La distribución geográfica conocida para este orden abarca desde la Región de Coquimbo hasta Magallanes. La mayor diversidad se conoce en la Región del Biobío con un porcentaje que supera al 50% de todas las especies registradas en Chile (Rojas, 2006), siendo justamente la cuenca del Río Biobío la que presentó la mayor abundancia relativa de Trichoptera en este trabajo.

A nivel global, el patrón de diversidad de este orden es más diverso cercano al Ecuador, presentando una disminución hacia zonas templadas (Vinson & Hawkins, 2003). En

Chile un trabajo ejecutado por Palma, 2013b, muestra que el Orden Trichoptera presenta la mayor riqueza de especies entre los 36° y 38° de latitud sur en la zona mediterránea, para luego disminuir hacia las zonas templadas. De acuerdo con esto último, podría entenderse la disminución en abundancia relativa y riqueza de familias que presentó este orden a medida que se avanza en el gradiente latitudinal estudiado.

Los ríos estudiados en este trabajo se encuentran representados por 7 familias de Trichopteros, estas son Glossosomatidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae y Polycentropodidae.

De acuerdo con Rojas (2006) el número de especies descritas en Chile para cada familia hallada en este estudio es, 17 y 15 especies en el caso de Leptoceridae e Hydropsychidae. Ambas familias fueron registradas en todas las cuencas, siendo Hydropsychidae el Trichoptero más abundante de la zona sur. No obstante, en la literatura se expresa que la Familia Hydrobiosidae es la que destaca por ser la más diversa con 47 especies y por tener el mayor porcentaje de elementos endémicos.

La elevada representatividad de Hydropsychidae en el área de estudio podría deberse a que esta familia posee la capacidad de sobrevivir en diferentes tipos de hábitats, con diferentes tipos de sustratos y que, además, puede tolerar aguas con un poco de perturbación (Forero-Céspedes et al., 2013), cualidades que posiblemente le permitieron ser la familia de Trichoptera más abundante de la zona sur.

Las Familias Glossosomatidae e Hydroptilidae presentan 9 y 14 especies descritas en Chile respectivamente. Estas dos familias estuvieron presentes continuamente desde la cuenca del Biobío hasta la cuenca del Bueno; sin embargo, ambas estuvieron ausentes en las dos cuencas de más al sur. La Familia Limnephilidae presenta 27 especies

conocidas y destaca por sobre el resto de Trichopteros por ser el de mayor tamaño y porque corresponde a una familia emblemática de los cursos de agua de la Patagonia. Debido a esto, se esperaba que Limnephilidae tuviera presencia en las dos cuencas de más al sur; sin embargo, se encontró únicamente en la cuenca del Río Valdivia y en baja abundancia. La Familia Polycentropodidae tiene 7 especies conocidas en Chile y, al igual que Limnephilidae, también se encontró en una sola cuenca, la del Río Bueno.

6.2. Índices comunitarios de cada cuenca hidrográfica

Se reconoce que la zona sur entre los 37° a los 42°S alberga una comunidad de macroinvertebrados bentónicos importante en términos de abundancia, riqueza de *taxa* y elementos endémicos. En este gradiente latitudinal destacó la cuenca del Toltén, por presentar el mayor valor promedio de riqueza de *taxa* y diversidad, además, registró el máximo valor de riqueza de *taxa* muestreada (20 *taxa*). Esta cuenca registró un total de 27 *taxa*, en comparación con 30 y 31 *taxa* en Valdivia y Bueno. Sin embargo, en Toltén se muestrearon 4 ríos, mientras que, en Valdivia y Bueno se muestrearon 9 ríos en cada cuenca. La cuenca del Biobío registró 26 *taxa*, una *taxa* menos que Toltén, y en Biobío se muestrearon 8 estaciones. Es decir, en Valdivia, Bueno y Biobío se realizó el doble del esfuerzo de muestreo que en Toltén. La riqueza de *taxa* y diversidad de la cuenca del Toltén podría estar relacionada con los altos niveles de oxígeno disuelto que registró.

Las cuencas Valdivia y Bueno presentaron el *peak* de abundancia relativa y riqueza de *taxa*, especialmente en la cuenca del Bueno, ambas se encuentran en la Región de Los Ríos. Esta región presenta variaciones altitudinales y longitudinales de las temperaturas y precipitaciones, lo que permite la configuración de una gran diversidad de hábitats en la región, caracterizándose por una alta diversidad de *taxa* y por ser el límite de

distribución natural de muchas de ellas (CONAMA, 2009), tal como se observa en el presente estudio.

La cuenca e islas entre R.Bueno-R.Puelo fue la que se presentó el promedio y el valor más bajo de riqueza de *taxa*, exhibió la estación con la mínima diversidad en el Río Hueñu-Hueñu. La cuenca del Río Puelo por su parte presentó la diversidad promedio más baja. Esta brusca disminución en los parámetros comunitarios tal como fue mencionado anteriormente podría tener relación con la cercanía de las estaciones muestreadas con el Estuario de Relongaví y con el patrón global de distribución de especies descrito en el que la diversidad disminuye posterior a los 40° de latitud.

Los resultados muestran que los índices comunitarios no son homogéneos a través del gradiente latitudinal entre los 37° y 42° de latitud sur, esto podría ser atribuido a la composición del sustrato y a la profundidad, que son las variables que mostraron significancia estadística en este proyecto de investigación. Estos resultados son coherentes con la literatura, en la que se destacan las variables hidráulicas como determinantes en la distribución de los macroinvertebrados bentónicos. Por ejemplo, la riqueza y productividad de los macroinvertebrados depende en gran medida de la heterogeneidad del hábitat bentónico constituido por el sustrato de fondo (Velásquez & Miserendino, 2003). Existe evidencia que en sitios donde hay variedad de sustrato se puede encontrar mayor diversidad de organismos. También, Los distintos macroinvertebrados bentónicos según la ecología del grupo prefieren un tipo de sustrato respecto de otro. Se ha estudiado que el porcentaje de cobertura de bolones se encuentra correlacionado con la riqueza taxonómica de macroinvertebrados (Moya et al., 2009).

En cuanto a la profundidad, también ha demostrado tener una influencia, aunque débil en la diversidad y abundancia en los macroinvertebrados invertebrados. Se sugiere que la profundidad tiene un efecto en la biomasa de perifiton que podría influenciar en los patrones de abundancia de macroinvertebrados (Brooks et al., 2005).

6.3. Características más importantes de los ríos seleccionados

En el área de estudio, todos los ríos muestreados comparten algunas características generales debido a que en su mayoría pertenecen a ríos de montaña, por lo que presentan cualidades típicas de los ríos de ritrón; corresponden a sistemas oligotróficos con aguas transparentes y de baja conductividad eléctrica debido a la escasa concentración de sales, presentan elevada concentración de oxígeno disuelto y pH neutros alrededor de 7 (Conzonno, 2009). Además, poseen una elevada velocidad de la corriente, poca profundidad y sustrato duro y estable. Estos registros son los esperados en cursos de agua del tipo ritrón (Rivera et al., 2004).

En este estudio, las cuencas del Biobío, Imperial y Toltén mostraron temperaturas del agua más bajas en las estaciones ubicadas a mayor altitud, mientras que aquellas a menor altitud presentaron temperaturas más altas. En el resto de las cuencas, se observó la misma tendencia descrita anteriormente, aunque esta no fue igual de notoria a lo largo del gradiente altitudinal. Estos resultados concuerdan con la relación altitud-temperatura para los hábitats altoandinos de zonas templadas (Pedreros et al., 2013).

En relación con el oxígeno disuelto, altitudinalmente se observó una evidente dependencia de la temperatura, dado que en aquellos sitios en donde se observaron las temperaturas más bajas, el oxígeno disuelto resultó más elevado. Por ejemplo, la cuenca del Río Puelo registra, después de Toltén, el menor valor promedio de la temperatura

del agua y presenta el mayor valor promedio de oxígeno disuelto y de saturación de oxígeno. Por el contrario, Biobío e Imperial presentan temperaturas del agua más elevadas y valores más bajos de oxígeno disuelto.

La conductividad eléctrica máxima y promedio se encontró en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo, sin embargo, la cuenca del Río Puelo presenta la conductividad eléctrica más baja de la zona sur, esto puede ser consecuencia de que las estaciones ubicadas en la cuenca del Río Puelo se encuentran a mayor altitud en donde posiblemente las masas de agua salada provenientes del estuario no llegan o llegan con mucha menos fuerza.

Con respecto a las variables hidráulicas, los autores Brooks et al., (2005) demostraron que las variables hidráulicas se relacionan con la diversidad y abundancia de macroinvertebrados siendo la velocidad de la corriente la variable determinante en el patrón espacial de la abundancia y diversidad de macroinvertebrados, junto con la composición del sustrato y en menor medida la profundidad.

Se ha encontrado que la composición del sustrato puede determinar la riqueza y abundancia de especies (Moya et al., 2009). Asimismo, la cuenca del Bueno presentó la mayor heterogeneidad de sustrato y fue la que registró la mayor abundancia relativa y riqueza de *taxa* totales. Por otro lado, sustratos finos también podrían limitar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos, por ejemplo, en cuencas e islas entre R.Bueno-R.Puelo se presentó el menor porcentaje de sustrato piedra y el mayor porcentaje de arena y fue donde se encontraron las más bajas densidades, riqueza de *taxa* y diversidad.

7. CONCLUSIONES

Los macroinvertebrados bentónicos en la zona sur de Chile entre los 37° y los 42° de latitud sur presentaron el patrón latitudinal global descrito en la literatura. Este patrón corresponde al decaimiento en riqueza desde latitudes bajas hacia las más altas, con un aumento en las zonas templadas cercanas a los 40° de latitud sur. Este patrón de diversidad está bien documentado en animales y plantas, sin embargo, en lo que respecta a comunidades acuáticas de agua dulce faltan más estudios de esta naturaleza que relacionen a los macroinvertebrados acuáticos con el gradiente latitudinal.

Se reconoce que la zona sur desde los 37° a los 42°S alberga una comunidad de macroinvertebrados bentónicos importante en términos de abundancia, riqueza de *taxa* y elementos endémicos. Especialmente se destacan las cuencas Toltén, Valdivia y Bueno.

Se considera que existen barreras geográficas que impiden la dispersión de aquellos organismos de baja vagilidad como son Gastropoda y Crustacea. Estos organismos dulceacuícolas que no tienen la capacidad de volar y por lo tanto manifiestan menor capacidad de dispersión permanecerán restringidas, esto es importante dado que ambos grupos presentan un porcentaje elevado de endemismo.

En general, los macroinvertebrados bentónicos en Chile presentan un alto porcentaje de endemismo de especies en el área de estudio. Por ello, su conocimiento taxonómico permite explorar su estado de conservación y rangos de distribución disminuyendo así su riesgo de extinción.

Los ríos estudiados son biológicamente similares en cuanto a su composición de macroinvertebrados bentónicos, pero presentan diferencias en sus índices comunitarios y en las variables ambientales de sustrato y profundidad.

Los ríos estudiados presentan las características típicas de los ríos de ritrón; es decir, corresponden a sistemas oligotróficos con aguas transparentes, de baja conductividad eléctrica, elevada concentración de oxígeno disuelto y pH neutros. La excelente calidad del agua en términos fisicoquímicos se corresponde con la fauna de macroinvertebrados bentónicos. Estos organismos han sido ampliamente utilizados como indicadores de calidad del agua, siendo las familias halladas en la zona sur representantes de aguas de buena calidad. Al respecto, los Ordenes Coleoptera, Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera; dentro de los dípteros las Familias Simuliidae, Tipulidae, Blephariceridae, Athericidae, *Platyhelminthes*, Aeglidae, todos habitan en ríos y arroyos de aguas limpias y bien oxigenadas, por lo que se puede concluir que las aguas de los ríos estudiados son de muy buena calidad.

Se ha sugerido que en el futuro el cambio climático tendrá un efecto en la estructura taxonómica de macroinvertebrados, especialmente en los Ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, lo que indica que pequeños incrementos en la temperatura probablemente tendrán implicaciones en la conservación de algunos *taxa* (Moya et al., 2009).

En este contexto de cambio climático, en donde la utilización de energías como la hidráulica cada vez será mayor, lo que trae como consecuencia la fragmentación del hábitat, una de las principales causas de la declinación de poblaciones de macroinvertebrados bentónicos. Debido a ello, comprender los patrones latitudinales de

nuestra fauna de macroinvertebrados es importante, ya que nos permitirá generar información para proponer categorías de conservación en este grupo de invertebrados. No obstante, para proponer estas categorías se admite la importancia de la identificación a nivel de género u especie. No basta con una descripción taxonómica, sino que también es necesario desarrollar los criterios y parámetros específicos para la clasificación de todos los grupos. De igual manera, se reconoce la dificultad de encontrar patrones en una comunidad que integra una diversidad de grupos.

Este estudio se considera un aporte en cuanto a la entrega de datos específicos de los sitios de recolección, esto es un paso importante para mejorar los análisis de los patrones de distribución geográfica.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bray, J. R., Curtis, J. T., & Roger, J. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Source: Ecological Monographs*, 27(4), 325–349.
- Brooks, A. J., Haeusler, T., Reinfelds, I., & Williams, S. (2005). Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblages in riffles. *Freshwater Biology*, 50(2), 331-344.
- Camargo, J. A., & García de Jalón, D. (1988). Principales características morfológicas de los géneros ibéricos de la familia Limnephilidae (Trichoptera) en sus últimos estadios larvarios. *Boletín de La Asociación Española de Entomología*, 12, 239–258.
- Camousseight, A. (2001). Ephemeroptera (Insecta) de Chile. Su conocimiento actual. *Boletín Del Museo de Historia Natural, Chile*, 50, 121–137.
- Charlton, R. (2008). Fundamentals of fluvial geomorphology. In Routledge (Ed.), *Fundamentals of Fluvial Geomorphology* (Primera Ed, p. 234).
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 117–143.
- Clarke, K. R., Gorley, R., Sommerfield, P. J., & Warwick, R. M. (2014). *Change in marine communities - statistical analysis* (Tercera Ed).
- CNR. (2003). *Diagnóstico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la X Región* (p. 76).

- CONAMA. (2009). *Estrategia de conservación de la Biodiversidad de la Región de Los Ríos* (p. 152).
- Conzonno, V. H. (2009). *Limnología Química* (Universidad de La Plata (ed.); Primera Ed, p. 220).
- Crespo, J. E., & Rau, J. R. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos de ambientes lóticos asociados a fragmentos de bosque nativo en Purranque, Región de Los Lagos, sur de Chile*. 7(2), 99–106.
- Daneri, G., Pizarro, O., Figueroa, D., Montero, P., Iriarte, J., González, H., Quiroga, E., Ortíz, R., Tapia, F. J., Geisecke, R., Pantoja, S., Hall, P., & Norambuena, R. (2009). Evaluación de la capacidad de carga del estuario Reloncaví. In *Fondo de Investigación Pesquera* (p. 264).
- De los Ríos-Escalante, P., Mansilla, A., & Anderson, C. B. (2012). Revisión de la distribución de *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda) en la Patagonia e islas adyacentes. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(2), 462–466.
- De Los Ríos-Escalante, P., Morrone, J. J., & Rivera, R. (2013). A checklist of *Hyaella* (Amphipoda) from Chile. *Crustaceana*, 86(12), 1426–1432.
- DGA. (2004a). *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Biobío* (p. 179).
- DGA. (2004b). *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Bueno* (p. 147).
- DGA. (2004c). *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según*

- objetivos de calidad: Cuenca del Río Imperial* (p. 137).
- DGA. (2004d). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Toltén* (p. 113).
- DGA. (2004e). *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Valdivia* (p. 129).
- di Castri, F., & Hajek, E. R. (1976). *Bioclimatología de Chile* (Universidad Católica de Chile (ed.); Primera Ed, p. 163).
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y biología* (Fundación Miguel Lillo (ed.); Primera Ed, p. 654).
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M., Hubbard, M., & Nieto, C. (2006). *Biodiversidad Acuática en América Latina* (J. Adis, J. Arias, G. Rueda, & K. Wantzen (eds.); Segunda Ed, p. 647).
- Elgueta, M. D., & Arriagada, G. S. (1989). Estado actual del conocimiento de los coleopteros de Chile (Insecta: Coleoptera). *Revista Chilena Entomología*, 17, 5–60.
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas de ecología fluvial* (Fundación BBVA (ed.); Primera Ed, p. 462).
- Esteves, F. (1998). Fundamentos de Limnología. In *Interciencia* (Segunda Ed, p. 226).
- Fernández, H. R., & Domínguez, E. (2001). *Guía para la Determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos* (H. Fernández & E. Domínguez (eds.);

Universida, p. 647).

Ferragut, F. (2015). Clase Arachnida, Orden Prostigmata. *Ibero Diversidad Entomológica*, 14, 8.

Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80, 225–242.

Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 275–285.

Fischer, A. G. (1960). Latitudinal Variations in Organic Diversity. *Evolution*, 14(1), 64–81.

Flowers, R. ., & De la Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. In *Introducción a los Grupos de Macroinvertebrados Acuáticos* (Vol. 58, Issue 4, pp. 63–93).

Forero-Céspedes, A., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del Río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*, 35(2), 371–387.

Fuentealba, C., Figueroa, R., & Morrone, J. J. (2010). Análisis de endemismo de moluscos dulceacuícolas de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 83(2), 289-298.

Gelhaus, J. (2002). *Manual for the identification of Aquatic Crane Fly Larvae for Southeastern United States* (p. 206).

- Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). Capítulo 6: Plecoptera. In *Introducción a los Grupos de Macroinvertebrados Acuáticos* (Vol. 58, Issue 4, pp. 139–148).
- Habit, E., Bertrán, C., Arévalo, S., & Victoriano, P. (1998). Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). *Irrigation Science*, 18(2), 91–99.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de Macroinvertebrados acuáticos. In *Introducción a los grupos de Macroinvertebrados acuáticos* (Vol. 58, Issue 4, pp. 3–37).
- Hubendick, B. (1962). Aspects on the diversity of the fresh-water fauna. *Oikos*, 13, 249–261.
- Iraola, V. (1998). Introducción a los ácaros (I): Descripción general y principales grupos. In *Sociedad entomológica Aragonesa* (Vol. 23, pp. 13–19).
- Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: The influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38, 247–261.
- Jara, C. G., Rudolph, E. H., & González, E. R. (2006). Estado de conocimiento de los malacostráceos dulceacuícolas de Chile. *Gayana*, 70(1), 40–49.
- Jerez, V., & Moroni, J. (2006). Diversidad de Coleópteros Acuáticos en Chile. *Gayana*, 70(1), 72–81.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018a). Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Tomo II. In *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos* (Tercera Ed, p. 264).

- Ministerio del Medio Ambiente. (2018b). *Biodiversidad de Chile, Patrimonios y Desafíos. Tomo I.* (Tercera Ed, p. 377).
- Molina, X., & Vila, I. (2006). *Manual de Evaluación de la Calidad del Agua* (SAG, CENMA, & Universidad de Chile (eds.); Primera Ed, p. 93).
- MOP, & DGA. (2016). *Atlas del Agua 2016* (Dirección General de Aguas (ed.); Primera Ed, p. 24).
- Moya, C., Valdovinos, C., Moraga, A., Romero, F., Debels, P., & Oyanedel, A. (2009). Patrones de distribución espacial de ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 425–442.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Ormazabal, C. (1993). The conservation of biodiversity in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 66(4), 383–402.
- Oscos, J. (2009). *Guía de campo Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro* (Confederación Hidrográfica del Ebro (ed.); p. 128).
- Oscos, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2009). *Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro: descripción de taxones y guía de identificación.* (p. 78).
- Oscos, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). *Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro.* 53(9), 66.

- Oyanedel, A., Valdovinos, C., Azocar, M., Moya, C., Mancilla, G., Pedreros, P., & Figueroa, R. (2008). Patrones De Distribucion Espacial De Los Macroinvertebrados Bentonicos De La Cuenca Del Rio Aysen (Patagonia Chilena). *Gayana (Concepción)*, 72(2), 241-257.
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J., & Crisci, J. V. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos* (Vazquez Mazzini (ed.); Primera Ed, p. 268).
- Palma, A. (2013a). *Guía para la identificación de invertebrados acuáticos*. (Primera Ed, p. 122).
- Palma, A. (2013b). Importancia de las regiones Mediterránea, Templada y Patagónica en la diversidad de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera: implicancias de futuros cambios ambientales en sus distribuciones. *Boletín de Biodiversidad de Chile*, 47(8), 37–47.
- Palma, A., & Figueroa, R. (2008). Latitudinal diversity of Plecoptera (Insecta) on local and global scales. *ILLies*, 4(8), 81–90.
- Parada, E., & Peredo, S. (2006). *Estado de conocimiento de los Bivalvos dulceacuicolas de Chile*. 70(1), 82–87.
- Pedreros, P., Guevara, M., Figueroa, R., Araneda, A., Stehr, A., Link, O., & Urrutia, R. (2013). Comportamiento térmico en ríos mediterráneos andinos de la zona centro-sur de Chile. *Limnetica*, 32(1), 87–96.
- Pérez-Losada, M., Jara, C. G., Bond-Buckup, G., & Crandall, K. A. (2002). Conservation phylogenetics of Chilean freshwater crabs *Aegla* (Anomura, Aeglidae): Assigning

- priorities for aquatic habitat protection. *Biological Conservation*, 105(3), 345–353.
- Rengifo, C. G. (2009). *Guía Principales órdenes de Macroinvertebrados*. (p. 6).
- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G. A., & Rangel-Ch., O. (2013). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia*, 35(2), 389–408.
- Rivera, N., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A., & Mejias, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15(5), 89–102.
- Rodríguez, E., Hubbard, M., & Peters, W. (1992). *Clave para ninfas y adultos de las familias Ephemeroptera (Insecta) sudamericanos*. 16, 38.
- Rojas, F. (2006). Estado de Conocimiento de los Trichoptera de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70, 65–71.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. (Universidad de Antioquia (ed.); Primera Ed, p. 217).
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. *The Mathematical Theory of Communication*, 27(4), 117.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología* (Pearson Educación (ed.); Sexta Ed, p. 776).
- Springer, M. (2010). Capítulo 7: Trichoptera. *Introducción a Los Grupos de Macroinvertebrados Acuáticos*, 58(4), 151-198.

- Valdovinos, C. (2006). Estado de conocimiento de los Gastrópodos dulceacuícolas de Chile. *Gayana*, 70(1), 88–95.
- Valdovinos, C. (2018). Invertebrados dulceacuícolas. In Conama (Ed.), *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos* (3ra Ed, pp. 355–374).
- Valdovinos, C., Kiessling, A., Mardones, M., Moya, C., Oyanedel, A., Salvo, J., Olmos, V., & Parra, Ó. (2010). Distribución de macroinvertebrados (Plecoptera y Aeglidae) en ecosistemas fluviales de la Patagonia chilena: ¿Muestran señales biológicas de la evolución geomorfológica postglacial? *Revista Chilena de Historia Natural*, 83(2), 267–287.
- Valdovinos, C., & Parra, O. (2006). La Cuenca del Río Biobío. Historia Natural de un Ecosistema de uso Múltiple. *Centro de Ciencias Ambientales EULA. Universidad de Concepción*, 25.
- Velásquez, S. M., & Miserendino, M. L. (2003). Análisis de la materia orgánica alóctona y organización funcional de macroinvertebrados en relación con el tipo de hábitat en ríos de montaña de Patagonia. In *Ecología Austral* (Vol. 13, Issue 1, pp. 67–82).
- Vera-Palacios, M., Briones, R., & Jerez, V. (2005). Registros de Efemerópteros (Insecta: Ephemeroptera) en el Río San Pedro, Región de Magallanes. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 33, 31–35.
- Vera, A., & Camousseight, A. (2006). Estado de Conocimiento de los Plecopteros de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70(1), 50–56.
- Vinson, M. R., & Hawkins, C. P. (2003). Broad-scale geographical patterns in local stream

insect genera richness. *ECOGRAPHY*, 26, 751–767.