

UCH-FC
MAG-EBE
V718
C.1



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias
Escuela de Postgrado



**DETERMINACIÓN DE PATRONES BIOGEOGRÁFICOS DE
ORGANISMOS ZOOPLANCTÓNICOS DE CHILE CONTINENTAL.**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y BIOLOGÍA
EVOLUTIVA

ERIKA VILLANUEVA VARGAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. MANUEL CONTRERAS LEIVA

Diciembre de 2012
Santiago, Chile

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE
INFORME DE APROBACION
TESIS DE MAGISTER

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Magister presentada por la candidata.

ERIKA VILLANUEVA VARGAS

Ha sido aprobada por la comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de Magister en Ciencias con mención en Ecología y Biología Evolutiva, en el examen de Defensa Privada de Tesis rendido el día 14 de agosto de 2012

Director de Tesis: Dr. Manuel Contreras Leiva

Comisión de Evaluación de la Tesis

MCs. Irma Vila P

Dr. Michel Sallaberry A.





A mi sobrina Matilda
A mi Tata y Mena, donde quiera que estén

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta importante etapa quisiera agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de esta tesis. A mi tutor, el Dr. Manuel Contreras, por darme su apoyo en la realización de este trabajo y por transmitirme sus valiosos conocimientos. Al Centro de Ecología Aplicada por facilitarme los datos a partir de los cuales pude desarrollar mi tesis. A Rodrigo Pardo por su apoyo y orientación en estadística, especialmente al comienzo de este trabajo. A la gente del laboratorio de Limnología de la Universidad de Chile por su apoyo durante el desarrollo de mi unidad de investigación en zooplancton, y en particular a la profesora Irma Vila por ser siempre una guía en materias de Limnología y una guía siempre presente para todos quienes hemos sido sus alumnos.

Quisiera agradecer además a quienes me han apoyado para cumplir mis metas. En primer lugar a mi Padres por el gran cariño que siempre me han dado, por ser los mejores, por su apoyo y por creer en mí. A mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional. A Cristóbal, por darme esos empujoncitos que necesitaba para terminar este trabajo, por su ayuda, y por supuesto por su amor. A mis amigas de la vida, las clásicas, y a mis amigas Cristi y Laura...mis acompañantes de tantas horas de estrés y caos. Muchas gracias a todos.



RESUMEN

La extensa longitud territorial de Chile determina una amplia variedad de climas, suelos y biomas, siendo posible encontrar en un gradiente de norte a sur una secuencia de ecosistemas desérticos, estepáricos, mediterráneos, templados cálidos, templados lluviosos, estepáricos fríos y de tundra. Tales características permiten reconocer cuencas hídricas y sistemas acuáticos continentales de gran variabilidad, capaces de sustentar la existencia de diversos organismos.

En Chile se han realizado esfuerzos para clasificar los sistemas acuáticos continentales basándose en sus características físicas, químicas y biológicas. Pese a estos esfuerzos existe hoy en día escasa e incompleta información acerca de la distribución de la biota acuática, encontrándose que la mayor parte de los estudios de este tipo realizados en Chile se han enfocado en la fauna íctica y en los macroinvertebrados bentónicos, dejándose de lado su estudio a nivel de ecosistemas acuáticos continentales.

El presente trabajo plantea la importancia de contar con información completa y de calidad para todos los grupos biológicos relevantes que habitan en los ecosistemas acuáticos, pues cada uno realiza funciones esenciales que mantienen su equilibrio. En particular aquí se presenta información sobre la distribución del zooplancton de agua dulce que habita en diversos ecosistemas acuáticos del territorio nacional, así como también información sobre variables físicas y químicas de las aguas que presentan gran variabilidad entre estos, planteándose la hipótesis que las diferencias encontradas en las variables ambientales de los sistemas lenticos de Chile continental distribuidos sobre un amplio intervalo latitudinal, condicionaría la composición de las comunidades zooplanctónicas, determinado de esta forma la existencia de patrones de distribución geográficos de estos organismos.

Para probar la hipótesis antes planteada, se consideró el análisis de información bibliográfica

especializada y de información levantada por el Centro de Ecología Aplicada (CEA) en un gran número de sistemas acuáticos continentales de Chile, incluyéndose a los principales grupos de zooplancton de agua dulce: Rotíferos, Copépodos y Cladóceros. Por otra parte, se contó con información de las variables ambientales: Temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, obtenida mediante el levantamiento de información en terreno realizado por CEA.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar la composición y estructura comunitaria de los ensamblajes zooplanctónicos presentes en un gran número de sistemas acuáticos continentales de Chile, pudiendo establecer similitudes entre estos de acuerdo a la semejanza de sus ensamblajes de zooplancton. Por otra parte, y como complemento a la hipótesis planteada, se contrastó los patrones de distribución de los sistemas acuáticos en base a sus comunidades zooplanctónicas aquí observados, con la distribución o clasificación de sistemas de agua dulce establecidos para Chile, según CONAMA 2010, de manera de evaluar su coincidencia.

El presente estudio permitió concluir que las características físicas y químicas del agua muestran variaciones importantes a lo largo del gradiente latitudinal en los sistemas lénticos de Chile continental, jugando un importante rol como factores condicionantes de la composición y estructura de las comunidades zooplanctónicas que habitan en estos. El pH, conductividad y la temperatura mostraron altos valores en la zona norte disminuyendo a latitudes superiores, mientras que el oxígeno disuelto presentó valores superiores hacia los sistemas acuáticos del sur de Chile.

Si bien los resultados obtenidos permitieron determinar la existencia de un gradiente latitudinal para las variables ambientales evaluadas, las comunidades de zooplancton no mostraron un patrón de distribución claro con el cual sea posible identificar zonas de características particulares. Más aun, los resultados obtenidos del análisis de la composición y estructura de las comunidades zooplanctónicas no concuerdan con estudios previos llevados a cabo en Chile, en

los cuales se indica como grupo dominante a los Copépodos Calanoideos a diferencia de lo aquí observado, en donde el grupo dominante correspondió a los Rotíferos.

Por otra parte, los análisis realizados mostraron que no existe coincidencia entre la distribución de los sistemas acuáticos continentales, determinada por la composición y abundancia de sus comunidades zooplanctónicas, y la clasificación de sistemas de agua dulce en Ecorregiones establecida para Chile según CONAMA 2010. Esto último plantea la necesidad de reevaluar la efectividad de este tipo de herramienta para sustentar planes de conservación a distintas escalas o como un marco lógico para las estrategias de conservación en Chile, dado que no se ajusta adecuadamente a todos los componentes bióticos de los sistemas acuáticos continentales.

ABSTRACT

The extensive territorial length of Chile determines a wide variety of climates, soils and biomes; in a north-south gradient a sequence of desert, steppe, Mediterranean, warm temperate, rainy temperate, cold steppe and tundra ecosystems can be found. Such features allow for recognized basins and freshwater systems of high variability which are capable of sustaining the existence of various organisms.

Chile has made some efforts to classify inland aquatic systems based on their physical, chemical and biological properties. Despite these efforts, information about the distribution of aquatic biota is still scarce and incomplete, and the majority of such studies have been focused on fish, fauna, and benthic macroinvertebrates, leaving aside the study of inland aquatic as ecosystems.

This paper discusses the importance of generating complete and reliable information for all of the relevant biological groups living in these aquatic ecosystems, due to the essential functions that each one of them performs in order to maintain their balance. Specifically, we will provide information about the distribution of freshwater zooplankton which inhabits various aquatic ecosystems in the national territory. Information regarding the physical and chemical diverse variables between these ecosystems will be provided; this proposes the hypothesis that the differences in environmental variables of the lentic systems of continental Chile, distributed over a wide latitudinal range, would affect the zooplankton community's composition, determining the geographic distribution patterns of these organisms.

To test the hypothesis raised above, we considered the analysis of specialized bibliographic information and the information gathered by the Center for Applied Ecology (CEA) in a large number of Chilean aquatic systems. We included the major groups of freshwater zooplankton: rotifers, copepods and cladocerans. Additionally, we considered information on the environmental variables, namely: temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen, which

was obtained through field information gathered by CEA.

The results obtained allowed us to characterize the composition and community structure of zooplankton assemblages present in a large number of Chilean inland aquatic systems, enabling us to establish correspondences between them according to the similarities in their zooplankton assemblages. Furthermore, and in addition to the hypothesis, the distribution patterns of aquatic systems based on zooplankton communities observed here were contrasted with the distribution and classification of freshwater bodies established for Chile, according to CONAMA 2010, as a way to assess their match.

This study revealed that physical and chemical characteristics of water show significant variations along the latitudinal gradient in lentic systems of continental Chile, playing an important role as determinants of the composition and structure of zooplankton communities living in them. Temperature, conductivity and pH showed high values in the northern zones decreasing towards high latitudes, while dissolved oxygen showed higher values towards southern aquatic systems in Chile.

While the results indicated the existence of a latitudinal gradient of the environmental variables evaluated, zooplankton communities showed no clear distribution pattern to identify areas with particular characteristics. Moreover, the results obtained from the analysis of composition and structure of zooplankton communities are not consistent with previous studies carried out in Chile. While these studies indicated calanoid copepods as the dominant group, our own findings showed the rotifers to be the dominant group.

In addition, the analyzes showed that there is no overlap between the distribution of continental aquatic systems, determined by the composition and abundance of zooplankton communities, and the classification of bodies of freshwater eco-regions as established for Chile in CONAMA 2010. This raises the need to reassess the effectiveness of this type of tool to support the

different scales of conservation plans or as a logical framework for conservation strategies in Chile, since it does not adequately fit the biotic components of inland aquatic systems.

INDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	14
1.1	Comunidades zooplanctónicas de Chile.	20
1.2	Patrones de distribución de las comunidades zooplanctónicas chilenas	24
2	HIPÓTESIS.....	26
3	OBJETIVOS	27
3.1	Objetivo general.....	27
3.2	Objetivos específicos	27
4	METODOLOGIA	28
4.1	Obtención de los datos	28
4.2	Análisis de datos	30
5	RESULTADOS.....	33
5.1	Análisis Información bibliográfica	33
5.1.1	Ecorregión del Altiplano	33
5.1.2	Ecorregión Mediterránea.....	34
5.1.3	Ecorregión Lagos Valdivianos.....	34
5.1.4	Ecorregión Patagonia	35
5.2	Análisis información primaria	36
5.2.1	Estructura comunitaria del Zooplancton	36
5.2.2	Variables ambientales	42
5.2.3	Análisis estadísticos	48
6	DISCUSION	55
7	CONCLUSIONES	63
8	BIBLIOGRAFIA	65
	ANEXO A – MATRICES DE PRESENCIA-AUSENCIA DE ZOOPLANCTON.....	73

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS HIDROGRÁFICAS SEGÚN NIEMEYER Y CERECEDA (1984).....	15
TABLA 2. ECORREGIONES CONTINENTALES DEFINIDAS PARA CHILE Y SUS PRINCIPALES TIPOS DE HÁBITATS, SEGÚN EL MAPA DE ECORREGIONES DE AGUA DULCE DEL MUNDO (FEOW)...	16
TABLA 3. HIDROECORREGIONES DETERMINADAS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y FAUNA ÍCTICA NATIVA	18
TABLA 4. ECORREGIONES DE AGUA DULCE AJUSTADAS PARA CHILE	19
TABLA 5. RESUMEN INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA REVISADA.	28
TABLA 6. SISTEMAS LÉNTICOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO.	30
TABLA 7. VALORES DE ABUNDANCIA DEL ZOOPLANCTON (IND/M ³), MUESTREOS CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA (CEA).	41
TABLA 8. VALORES PROPIOS (EIGENVALUES) DE LA MATRIZ DE CORRELACIÓN, PROPORCIÓN DE VARIANZA EXPLICADA POR CADA PC Y VARIACIÓN ACUMULADA DEL PCA DE VARIABLES AMBIENTALES	49
TABLA 9. CARGA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES (EIGENVECTORS) DEL PCA	49
TABLA 10. TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS (CORRELACIÓN DE SPEARMAN) OBTENIDOS A PARTIR DEL ANÁLISIS BEST (BIOENV) QUE RELACIONA LAS VARIABLES AMBIENTALES CON LOS VALORES DE ABUNDANCIA DE ZOOPLANCTON.....	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÓNICAS DESCRITAS EN BIBLIOGRAFÍA.	36
FIGURA 2. VALORES DE ABUNDANCIA TOTAL Y RIQUEZA TAXONÓMICA DE LAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÓNICAS EN LOS DISTINTOS SISTEMAS EVALUADOS.....	38
FIGURA 3. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DEL ZOOPLANCTON ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS.	38
FIGURA 4. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA RIQUEZA TAXONÓMICA DEL ZOOPLANCTON ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS.....	39
FIGURA 5. COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS EVALUADOS.	40
FIGURA 6. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA ENTRE LOS DISTINTOS SISTEMAS EVALUADOS.....	44
FIGURA 7. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS.....	44
FIGURA 8. VARIACIÓN ESPACIAL DEL PH ENTRE LOS DISTINTOS SISTEMAS EVALUADOS.	45
FIGURA 9. VARIACIÓN ESPACIAL DEL PH ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS..	45
FIGURA 10. VARIACIÓN ESPACIAL DEL OXIGENO DISUELTO ENTRE LOS DISTINTOS SISTEMAS EVALUADOS.....	46
FIGURA 11. VARIACIÓN ESPACIAL DEL OXIGENO DISUELTO ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS.	46
FIGURA 12. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ENTRE LOS DISTINTOS SISTEMAS EVALUADOS.	47
FIGURA 13. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ENTRE LAS DISTINTAS ECORREGIONES EVALUADAS.	47
FIGURA 14. ORDENAMIENTO A PARTIR DEL PCA PARA LAS ECORREGIONES DE AGUA DULCE (Y SISTEMAS ACUÁTICOS) Y LAS VARIABLES AMBIENTALES EVALUADAS.	50
FIGURA 15. ORDENAMIENTO MDS DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS EVALUADOS RESPECTO DE SUS COMUNIDADES DE ZOOPLANCTON.	52
FIGURA 16. ZOOM ORDENAMIENTO MDS DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS EVALUADOS RESPECTO DE SUS COMUNIDADES DE ZOOPLANCTON.	52
FIGURA 17. ORDENAMIENTO MDS DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS CLASIFICADOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN EN LAS ECORREGIONES DE AGUA DULCE PARA CHILE.....	53

1 INTRODUCCIÓN

El territorio de Chile continental abarca desde los 18° a los 54°S con un largo de más de 4.200 Km y un ancho medio de 200 Km. La extensa longitud territorial determina una amplia variedad de climas, suelos y biomas, siendo posible encontrar en un gradiente de norte a sur una secuencia de ecosistemas desérticos, estepáricos, mediterráneos, templados cálidos, templados lluviosos, estepáricos fríos y de tundra.

Los rasgos fisiográficos distinguen además un abrupto gradiente latitudinal, determinado por la presencia de dos cordilleras que dejan entre sí, en gran parte del territorio, una depresión angosta con pendientes que superan los 5 mil metros y climas locales muy variados, los que determinan a su vez cuencas hidrográficas de alta torrencialidad, alta fragilidad en la regulación de los flujos hídricos, alta capacidad erosiva y de transporte de sedimentos, desde el continente hacia el mar, especialmente en áreas desérticas, desprovistas de vegetación y en vastas zonas montañosas (Ormazábal 1993, Gajardo 1994, Jerez 2000).

Los antecedentes antes detallados, hacen de Chile un país en que el 80% del territorio está conformado por terrenos montañosos y el 20% restante corresponde a valles y planicies litorales, comprendidos por montañas, lagos, ríos o canales, que quiebran su geografía austral en innumerables islas.

A lo largo del territorio se pueden reconocer cuencas de todos tamaños, siendo la mayor de más de 30.000 Km², con variadas formas y redes de drenaje: dendríticas, radiales, paralelas y un sinnúmero de combinaciones de estas mismas, así como también se dan regímenes pluviales, nivales, glaciares y mixtos. Atendiendo a las características físicas de las cuencas, a los regímenes de escurrimiento y de gasto de los ríos y a los caudales comprometidos, Niemeyer y Cereceda (1984) dividieron el país en distintas zonas hidrográficas (Tabla 1). La gran variedad de cuencas y la amplia gama de características

que las hacen diferentes entre sí, condicionan la existencia de una vasta diversidad de ecosistemas.

Tabla 1. Clasificación de las zonas hidrográficas según Niemeyer y Cereceda (1984).

ZONAS	ZONAS HIDROGRAFICAS
1ª Zona	Ríos de régimen esporádico de la zona árida de Chile
2ª Zona	Ríos en torrente de régimen mixto en la zona semiárida de Chile
3ª Zona	Ríos en torrente de régimen mixto en la zona subhúmeda de Chile
4ª Zona	Ríos tranquilos con regulación lacustre en la zona húmeda de Chile
5ª Zona	Ríos caudalosos trasandinos y campos de hielo en la patagonia de Chile

Fuente: Manual de Geografía de Chile (1998); original de Niemeyer y Cereceda (1984)

Varios autores (Peña 1996, O'Brien 1971, Artigas 1975, Irwin & Shlinger 1986, Camus 2001), han aportado a la caracterización y división de Chile continental en áreas zoogeográficas basadas en la distribución de la fauna terrestre, sin embargo existe escasa e incompleta información acerca de la distribución de la biota acuática en el territorio nacional (Oyanedel *et al.* 2008), encontrándose que la mayor parte de los estudios de este tipo realizados en Chile se han enfocado en la fauna íctica y en los macroinvertebrados bentónicos descritos en ecosistemas litorales, dejándose de lado su estudio a nivel de ecosistemas acuáticos continentales (Lancelloti & Vásquez 1999, Lancelloti & Vásquez 2000, Ojeda 1983, Quijada & Cáceres 2000, Ojeda *et al.* 2000, Fernández *et al.* 2000, Dyer 2000).

Actualmente, se cuenta con varias iniciativas que han descrito zonas en las que los sistemas de agua comparten características similares, describiéndose así hidroregiones o hidrozonas particulares en una extensión de territorio. Abell *et al* (2008) realizó una clasificación de sistemas de agua a escala continental, basada en criterios de diversidad y endemismo de peces, además de otros factores relevantes para los sistemas dulceacuícolas, generando una cartografía de Ecorregiones de Agua Dulce del Mundo (FEOW). De acuerdo a esta clasificación se incluyen en Chile seis macrozonas o

Ecorregiones continentales de agua dulce: Titicaca, Atacama, Mar Chiquita y Grandes Salares, Pendientes del Pacífico Sur Andino, Lagos Valdivianos y Patagonia. Tal como se mencionaba anteriormente, la clasificación realizada por Abell *et al* (2008) se basó en la distribución y composición de especies de peces de agua dulce e incorporó patrones evolutivos y ecológicos.

Tabla 2. Ecorregiones continentales definidas para Chile y sus principales tipos de hábitats, según el mapa de Ecorregiones de Agua Dulce del Mundo (FEOW)

ECORREGIÓN	PRINCIPAL TIPO DE HÁBITAT
Titicaca	Cuencas endorreicas y xéricas
Atacama	Cuencas endorreicas y xéricas
Mar Chiquita y Grandes Salares	Cuencas endorreicas y xéricas
Pendientes del Pacífico Sur Andino	Ríos costeros templados
Lagos Valdivianos	Ríos costeros templados
Patagonia	Ríos costeros templados

Fuente: CONAMA (2010), basado en Abell *et al.*, 2008.

Por otra parte, Pérez-Losada *et al.* (2009), evaluaron la importancia biológica y la prioridad de conservación de las 18 Ecorregiones de agua dulce que Abell *et al.* (2008) definieron para la zona sur de Sudamérica, en función de la diversidad genética y la distribución del género de cangrejos dulceacuícolas *Aegla*. Los autores contrastaron las distribuciones geográficas de 66 especies de *Aegla*, información obtenida a partir de la literatura, con las Ecorregiones y las principales cuencas fluviales. Sus resultados indicaron que la Ecorregión Pendientes del Pacífico Sur Andino presentó la mayor riqueza de especies y el mayor grado de endemismo en Chile, y por tanto, el mayor valor biológico para la biodiversidad de *Aegla*. A la antes mencionada le siguió en importancia la Ecorregión Lagos Valdivianos, mientras que las ecorregiones Mar Chiquita y Grandes Salares y Patagonia se caracterizaron por presentar una menor riqueza de especies y un bajo grado de endemismo, indicando que el uso de otras taxa podría entregar mayores niveles de información (CONAMA 2010).

A nivel nacional, destaca el estudio desarrollado por el Centro de Ecología Aplicada (2009) “Protección y manejo de humedales integrados a la cuenca hidrográfica”, cuyo objetivo principal fue determinar caudales ecológicos en ríos chilenos. Esta investigación consideró la creación de hidrocorregiones, las cuales resultaron del análisis conjunto de dos ordenaciones independientes realizadas en un total de 25 cuencas hidrográficas a lo largo del territorio nacional continental. La primera de estas ordenaciones, denominada como hidrozonas, consideró la agrupación de las cuencas de Chile basándose en información de calidad de agua del Banco Nacional de Aguas de la Dirección General de Aguas (DGA), mientras que la segunda, correspondiente a ecozonas de fauna íctica nativa, contempló el ordenamiento de las mismas cuencas en función de la fauna íctica nativa presente en ellas. A partir del análisis, los autores determinaron la presencia de siete hidrozonas, las cuales coincidieron ampliamente con las ecozonas determinadas, con lo cual se obtuvo una clasificación de las cuencas en siete hidrocorregiones (Tabla 3).

Tabla 3. Hidroecorrecciones determinadas en función de la calidad de agua y fauna íctica nativa

HIDROECORREGION	RIOS QUE INCLUYE	CARACTERISTICAS GENERALES
Altiplano	Lauca, Isluga y Collacagua	Alta salinidad, temperaturas intermedias. Fauna: <i>Orestias</i> y <i>Trichomycterus</i>
Loa-Camarones	Loa y Camarones	Alta salinidad y temperaturas altas Fauna: <i>Basilichtys semotilus</i>
Copiapó	Copiapó	No presenta fauna íctica nativa
Elqui	Elqui, Choapa, La Ligua y Petorca	Valores medios de pH y conductividad. PAS y temperatura levemente elevados. Fauna: <i>Trichomycterus areolatus</i> y <i>Basilichtys microlepidotus</i>
Aconcagua-Rapel	Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito	Temperatura y conductividad intermedia Fauna: <i>Trichomycterus areolatus</i> y <i>Basilichtys australis</i>
Biobío-Valdivia	Maule, Maullin, Toltén, Imperial, Itata, Biobío y Valdivia	Conductividad baja y temperaturas intermedias Fauna: <i>Percilla</i> , <i>Diplomystes</i> , <i>B. australis</i> y <i>T. areolatus</i>
Aysén	Palena, Yelcho, Aysén	Bajas conductividades y temperaturas Fauna: Galáxidos.

Fuente: CONAMA (2010), basado en CEA 2009.

En el año 2010, el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Chile desarrolló un estudio por encargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en el cual se analizan las distintas clasificaciones de los sistemas de agua desarrolladas para el territorio chileno. A partir de este análisis, y tomando en consideración la metodología propuesta por la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, en este estudio se proponen: una diferenciación del territorio nacional en cinco Ecorregiones de agua dulce, y una tipificación de sistemas de agua dulce basada en criterios de clasificación (descriptores) seleccionados mediante criterio experto y literatura científica. Las Ecorregiones determinadas están compuestas por un número de cuencas principales que se caracterizan por presentar un conjunto particular de especies ícticas

endémicas diagnósticas que las diferencian de otras cuencas. Las cinco Ecorregiones determinadas por el estudio de CONAMA 2010, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Ecorregiones de agua dulce ajustadas para Chile

NOMBRE FEOW ORIGINAL	ECORREGION	NOMBRE ECORREGION DE AGUA DULCE PARA CHILE, AJUSTADO	AJUSTE REALIZADO
Atacama		Atacama	Se modifica límite sur (incluye cuencas costeras entre río Salado – río Copiapó, y la cuenca del río Salado)
Titicaca		Altiplano	Combinación de ambas en una única ecorregión. Cambio a nombre local
Mar Chiquita y Grandes Salares			
Pendientes del Pacífico Sur Andino		Mediterránea	Se modifica límite norte (incluye la cuenca del río Copiapó). Cambio a nombre local
Lagos Valdivianos		Lagos Valdivianos	Sin modificaciones
Patagonia		Patagonia	Sin modificaciones

Fuente: CONAMA (2010)

A pesar de los esfuerzos realizados por establecer clasificaciones de los sistemas acuáticos de Chile que consideren a la biota que en ellos se desarrolla, los sistemas acuáticos son complejos y albergan gran diversidad de organismos gran parte de los cuales han quedado fuera de este tipo de estudios. Es así como en la columna de agua de los sistemas lénticos se desarrollan en conjunto comunidades de microalgas y microfauna, entre los cuales se encuentra el zooplancton, que destaca como un componente clave pues constituye un paso obligado de la energía desde los productores primarios hacia los eslabones superiores, los que a su vez son importantes como reguladores del ecosistema y como aporte energético al hombre (Araya y Zúñiga 1985).

Las comunidades zooplanctónicas dulceacuícolas están constituidas por tres grupos principales:

Rotífera y dos subclases de crustáceos: Cladóceros y Copépodos. Los rotíferos son una gran subclase dentro de los Pseudocelomados, presentan tamaños considerablemente menores a los otros dos grupos mencionados, y juegan un papel fundamental en las cadenas tróficas pelágicas, siendo importantes como nexos entre el fitoplancton y el macrozooplancton. Por otra parte, los crustáceos planctónicos se dividen en Branquiópodos y copépodos. De los distintos órdenes de Branquiópodos, los más conocidos y estudiados son los Anomópodos, conocidos tradicionalmente como Cladóceros. Los copépodos son crustáceos más complejos que se pueden localizar tanto en aguas continentales como en aguas marinas, siendo mucho más abundantes y diversos en aguas marinas que los rotíferos y cladóceros (Conde-Porcuna, 2004).

1.1 Comunidades zooplanctónicas de Chile.

Como se menciona anteriormente, a través del marcado gradiente geográfico característico del territorio nacional es posible encontrar diferentes sistemas de agua continentales cuya diversidad se ve reflejada en la composición de especies zooplanctónicas (Villalobos, 2006). Durante las últimas décadas, se han colectado muestras de zooplancton y estudiado la composición de las comunidades zooplanctónicas que habitan en los distintos sistemas hídricos de Chile, sin embargo, en la actualidad los conocimientos de estas son escasos y la información disponible, que es fundamentalmente de carácter taxonómico, se encuentra dispersa en la literatura. Respecto de la distribución de la fauna zooplanctónica, se cuenta con escasos estudios, muchos de los cuales se han limitado sólo a algunos de los grupos o taxa que lo componen (Pezzani-Hernandez 1970, Domínguez 1973, Domínguez 1979, Zúñiga y Domínguez 1978, Zúñiga y Domínguez, 1977, Domínguez y Zúñiga 1976, Zúñiga 1975, Domínguez 1971, Ruiz y Bahamonde 1989, Villalobos y Zúñiga 1991, Crespo y Baessolo 2002, De los Ríos 2005, Villalobos 2006, Oyanedel *et al.* 2008).

En el año 1977 Zúñiga y Domínguez, presentaron una recopilación de la información disponible hasta

esa fecha sobre la fauna zooplanctónica dulceacuícola, constituyendo el primer intento por establecer el grado de similitud faunística entre distintos sistemas lacustres del sur de Chile. En este trabajo, los autores consideraron los datos disponibles de rotíferos, cladóceros y copépodos de un total de 15 lagos nordpatagónicos además de la laguna El Plateado ubicada en la zona central de Chile. Entre los resultados obtenidos, se encontró que la fauna planctónica fue variable entre los sistemas estudiados, con un alto porcentaje de especies con una distribución restringida y una baja proporción de especies con distribución amplia, lo que resultó a la vez en un bajo nivel de asociación entre los lagos evaluados. Entre las especies de amplia distribución destacaron rotíferos (*Conochilus unicornis*, *Filina longiseta*, *Keratella cochlearis* y *Polyarthra vulgaris*), copépodos (*Boeckella gracilipes*, *Diaptomus diabolicus* y *Mesocyclops longisetus*) y un cladóceros (*Eubosmina hagdmani*), las que ya habían sido reportadas anteriormente para la zona central y norte de Chile (Avendaño y Saiz 1977, Domínguez 1973, Zúñiga 1975).

Años más tarde Araya y Zúñiga (1985) aportaron al conocimiento taxonómico y distribución de los grupos que conforman las comunidades zooplanctónicas de Chile, elaborando el “Manual Taxonómico del Zooplancton Lacustre de Chile”, el cual constituye uno de los materiales mayormente utilizados en la actualidad para la identificación de las especies zooplanctónicas más comunes en Chile. Asimismo, Ruiz y Bahamonde en 1989, realizaron una extensa recopilación bibliográfica con el fin de clarificar la distribución de los grupos Cladóceros y Copépodos en Chile, logrando incluir un total de 49 especies de Cladóceros y 48 especies de Copépodos.

En 1991, Soto y Zúñiga, llevaron a cabo una revisión de los taxa registrados en diversos lagos templados de Chile comparando la composición de las comunidades zooplanctónicas con las de latitudes similares de Norteamérica. Como resultado de éste estudio se determinó que las comunidades de zooplancton en los sistemas templados de Chile presentan una menor riqueza taxonómica en comparación con lagos templados norteamericanos (de iguales latitudes), encontrándose la mayor

riqueza de especies en la Región de los Lagos. Además, se determinó que las agrupaciones zooplanctónicas chilenas estarían caracterizadas por la dominancia de los copépodos calanoideos, particularmente por el género *Boeckella*, lo cual también ha sido observado en otros países del hemisferio sur. Por otra parte, las tramas tróficas de los lagos chilenos presentaron diferencias respecto de aquellas encontradas en los lagos norteamericanos, ya que los sistemas hídricos chilenos son comparativamente más pobres en fauna íctica, encontrándose mayores abundancias de peces zooplanctívoros lo que genera un fuerte impacto sobre el zooplancton.

En el año 2006, Villalobos describió el estado de conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile, determinando la existencia de cinco zonas principales a lo largo del gradiente geográfico latitudinal y altitudinal del territorio nacional. En la zona norte, caracterizada por la presencia de lagos y lagunas altiplánicas, es posible encontrar especies endémicas entre las que se cuentan algunas pertenecientes a los géneros *Daphnia* y *Boeckella*. La zona central de Chile, se caracteriza por la presencia de la especie *Diaptomus diabolicus* (= *Tumeodiatomus vivianae*) característica de sistemas acuáticos de baja profundidad y ubicados a baja altura. Además, a estas mismas latitudes es posible encontrar lagos de alta montaña con mayores profundidades, en los que es común la presencia de especies del género *Boeckella*, para los cuales existen escasos registros y estudios taxonómicos (Araya y Zúñiga 1985, Bayly 1992). En la zona sur, donde se localizan los denominados lagos araucanos o nordpatagónicos (Thomasson 1963), así como también en la zona del Parque Nacional Torres del Paine, es donde se ha colectado mayor parte de la información del zooplancton, detectándose un alto endemismo.

En los lagos patagónicos, destaca el trabajo realizado por De los Ríos y Soto (2007), el cual compiló la información publicada para estos sistemas (Campos *et al.*, 1983, Wöflf, 1996, Campos *et al.*, 1992a, Campos *et al.* 1989, Campos 1993, Campos *et al.* 1988, Campos *et al.* 1990, Villalobos *et al.* 2003, Villalobos 1999, De los Ríos y Soto 2007, Campos *et al.* 1994a, Soto *et al.* 1994, Campos *et al.* 1994b,

Campos *et al* 1996) con el fin de determinar el rol de las características geográficas y de la concentración de clorofila sobre la riqueza de especies zooplanctónicas. Entre los resultados obtenidos se determinó que la riqueza específica disminuye hacia latitudes mayores, encontrándose una correlación indirecta significativa entre la riqueza de especies y la latitud, y una relación directa con la concentración de clorofila, lo cual coincide con lo señalado anteriormente por Soto y Zúñiga (1991). Además se señala que los altos niveles de radiación UV descritos a estas latitudes podrían aumentar el efecto negativo que la oligotrofia presenta sobre la riqueza de taxa, debido probablemente a la vulnerabilidad de algunos grupos a la exposición de altos niveles de radiación. Igualmente, el estudio llevado a cabo por Soto y De los Ríos (2006) que incluyó una serie de lagos patagónicos ubicados en el Parque Nacional Torres del Paine que difieren en cuanto a su tamaño, profundidad y en la presencia de poblaciones de peces, señaló que la conductividad sería otro de los factores que regula la estructura de los ensambles de zooplancton.

Por otra parte, y también en la zona patagónica de Chile, De los Ríos (2008) aplicó un modelo nulo para determinar la existencia de factores reguladores de las asociaciones de especies considerando información publicada y sin publicar sobre crustáceos zooplanctónicos en lagos y lagunas del centro y sur de la Patagonia (44 - 53° S). Entre los resultados obtenidos se señaló que en lagos grandes y profundos la riqueza de zooplancton fue menor, mientras que en lagunas someras, permanentes o temporales, se reportó un alto número de especies. Además los resultados revelaron la existencia de factores reguladores de las asociaciones de especies así como también la presencia de grupos marcados de sitios sobre la base de especies reportados en cada uno de ellos.

Finalmente, entre los trabajos recientes que buscan determinar o establecer patrones de distribución de las especies del zooplancton, destaca el realizado por Oyanedel *et al.* (2008). En este trabajo, se revisó la información disponible sobre la biota pelágica de las cuencas de Chile y se evaluó su relación con variables ambientales (área, latitud, longitud y altitud). Los autores encontraron que la latitud fue el

factor principal que explica la distribución del zooplancton total, copépodos y rotíferos, la razón altitud/longitud resultó ser importante para el zooplancton total y copépodos, mientras que para rotíferos lo fue la superficie del lago. El grupo de los cladóceros no mostró una tendencia de distribución que fuera explicada por los parámetros considerados. De acuerdo a lo discutido por los autores, la latitud se relaciona con el clima y la composición del suelo, factores que determinan la morfología, química del agua y la temperatura de los lagos, por lo que los resultados obtenidos de su estudio aportan solo relaciones amplias entre la biota dulceacuícola y las variables ambientales consideradas, siendo necesarios estudios futuros en sistemas locales que incluyan mayor número de variables ambientales.

1.2 Patrones de distribución de las comunidades zooplanctónicas chilenas

Estudios comparativos de la estructura de comunidades y su organización entre y dentro de regiones geográficas a menudo sugieren la existencia de factores comunes que determinan o regulan la diversidad de especies y su distribución. En lagos y otros sistemas acuáticos, se han determinado categorías de clasificación basadas en las condiciones térmicas y disponibilidad de nutrientes, entre otras (Wetzel 1984, Peters 1986). Variados estudios realizados en sistemas lacustres chilenos han relacionado la distribución de taxa zooplanctónicos con algunas características importantes de los ambientes en que ellos habitan. Por ejemplo, De los Ríos (2005) determinó que el zooplancton de ecosistemas lacustres situados en el desierto de Atacama y en la patagonia chilena, se caracteriza por una alta dominancia de copépodos calanoideos en lagos con salinidades bajas e intermedias, mientras que en sistemas con alta salinidad prácticamente solo el género *Artemia* es dominante. Sin embargo, pocos estudios han intentado relacionar los patrones de distribución del zooplancton chileno con diversas variables ambientales tales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad específica, estado trófico, etc. En la actualidad, cobra gran importancia contar con tales estudios, pues así como las

variables ambientales se han visto alteradas mayormente por las actividades económicas humanas (asentamientos urbanos, minería, salmonicultura, etc.), existe una gran probabilidad de que las comunidades zooplanctónicas se vean afectadas por los cambios en su ambiente.

2 HIPÓTESIS

Las diferencias en las características físicas y químicas de sistemas lénticos de Chile continental, distribuidos sobre un amplio intervalo latitudinal, condicionarían la composición de las comunidades zooplanctónicas, determinando la existencia de patrones de distribución geográficos de estos organismos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la existencia de patrones geográficos de distribución de las comunidades zooplanctónicas estudiadas en variados sistemas acuáticos chilenos y determinar el rol que las variables físicas y químicas de los sistemas lénticos estudiados ejercen sobre estos.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión exhaustiva de los taxa zooplanctónicos reportados en los sistemas de agua continentales a lo largo del territorio nacional.
- Generar una base de datos con la información recopilada acerca de la distribución de los taxa zooplanctónicos, de manera de generar una matriz de abundancia en los distintos sistemas acuáticos continentales.
- Generar una base de datos con información de variables ambientales (variables físicas y químicas) registradas en los distintos sistemas lacustres a evaluar.
- Determinar patrones de distribución del zooplancton de acuerdo a los distintos sistemas de agua evaluados.
- Determinar el rol de las variables físicas y químicas del agua sobre la composición y distribución de las comunidades zooplanctónicas.

4.1 Obtención de los datos

Los datos utilizados para los análisis fueron obtenidos desde dos fuentes de información. La primera de ellas correspondió a aquella recabada desde la revisión de antecedentes bibliográficos relacionados con la caracterización de las comunidades zooplanctónicas de distintos sistemas de agua continentales a lo largo de Chile. Dado que la información obtenida a través de esta fuente fue generada por diversos autores y utilizando metodologías heterogéneas, no se utilizaron datos cuantitativos y los análisis de esta se limitaron a considerar sólo los listados de taxa presentes en cada sistema acuático descrito. De esta forma, a partir de la información recopilada, se obtuvieron matrices de presencia/ausencia de los taxa descritos en un total de 95 sistemas de agua continentales. En la Tabla 5 se presenta un resumen de las distintas publicaciones revisadas, los sistemas acuáticos prospectados y la metodología de muestreo utilizada en cada una de ellas.

Tabla 5. Resumen información bibliográfica revisada.

AUTORES	SISTEMAS ACUÁTICOS INCLUIDOS	METODOLOGÍA DE MUESTREO
Campos et al 1996 (De los Ríos 2008)	Amarga	Sin información
Soto y Zuñiga 1991	Aculeo, Lanalhue, Galletué, Icalma, Lleulleu, Caburga, Villarrica, Calafquen, Pellaifa, Panguipulli, Neltume, Riñihue, Pirehueico, Ranco, Puyehue, Rupanco, Todos Los Santos, Llanquihue, Chapo, Riesco, Polux, Atravesado, Elizalde, La Paloma, Chiguay, General Carrera, Sarmiento, toro, Nordenskjold, Pehoe.	Se realizó arrastres verticales con red Ruttner de 100 um de poro de malla.
Araya y Zúñiga 1985	Aculeo, Atravesado, Bonita, Cabo Negro, Caburga, Calafquen, Catapilco, Chiguay, De la Paloma, Huilipilun, Inca, Lanalhue, Lleu-Lleu, Lynch, Neltume, Orozco, Panguipulli, Parrillar, Pellaifa, Peñuelas, Peral, Pichilafquen, Quillehue, Rungue, Yeso, Elizalde, Riesco, Plateado, Rapel, Negra, Rupanco, Todos los Santos, Llanquihue, General Carrera, Pirihueico, Ranco, Riñihue, Villarrica, Chungara, Puyehue	Sin información

AUTORES	SISTEMAS ACUÁTICOS INCLUIDOS	METODOLOGÍA DE MUESTREO
Cañete 1999 (De los Ríos 2008)	Sofía	Sin información
Cresspo y Baessolo 2002	Laguna Cejas, Laguna Tebenquiche, Salar de Surire	Sin información
De los Ríos 2005 (De los Ríos 2008)	De Los Cisnes, Don Alvaro, Guanaco, Isidoro, Monserrat, Porvenir, Vega del Toro,	Se utilizó red Apstein de 100 um de poro de malla. Las muestras de Zooplancton fueron fijadas en etanol absoluto.
De los Ríos 2008	Balmaceda, Kon Aiken, Laredo, Lillo, Poll, Pólux, Río Chico, Santa María Este, Santa María Oeste	Se utilizó red Apstein de 20 cm de diámetro y 100 um de poro de malla. Las muestras fueron colectadas realizando arrastre horizontal en lagunas someras y arrastre vertical en lagos extensos y profundos. Las muestras de Zooplancton fueron fijadas en etanol absoluto.
De los Ríos y Crespo 2004	Gemela Este, Gemela Oeste, Miniques, Miscanti, Salar de Capur, Santa Rosa	Arrastres horizontales utilizando una red Apstein de 80 um de poro de malla
De los Ríos y Soto 2007	Chapo, Elizalde, Rupanco, todos los Santos, Llanquihue, General Carrera, Pirihueico, Ranco, Riñihue, Villarrica, Puyehue	Se utilizó red de plancton tipo Apstein
De los Ríos y Roa 2010	Bella. De los Patos, Del Risco, Los Pastos, Negrita, Seca, Vaca Hundida, Escondida, Negra	Arrastres horizontales utilizando una red Apstein de 100 um de poro de malla
Soto y De los Ríos 2006 (De los Ríos 2008)	Del Toro, Jovito, Juncos, Larga, Melliza Este, Melliza Oeste, Nordenskjold, Paso, Pehoe, Redonda, Sarmiento, Cisnes	Se utilizó red Apstein de 100 um de poro de malla. Las muestras de Zooplancton fueron fijadas en etanol absoluto.
Villalobos 1999 (De los Ríos 2008)	Los Palos, Escondida, Riesco	Sin información
Villalobos et al 2003	Cucao, Huillinco, Natri, Tarahin, Tepuhueico	Las muestras se colectaron utilizando una red Ruttner de 90 um de poro de malla. Se realizaron arrastres verticales a distintas profundidades
Ramos et al 2004	Plateado	Se utilizó un muestreador Schindler de 30 L, a diferentes profundidades
Soto et al 1984	Rapel	Sin información
Schmid-Araya 1993	Rupanco, todos los Santos, Llanquihue, Puyehue	Arrastres horizontales utilizando una red Apstein de 80 um de poro de malla

La segunda fuente de información correspondió a aquella generada por el Centro de Ecología Aplicada (CEA), a través de la cual se obtuvo valores de abundancia del zooplancton e información de variables ambientales (variables físico químicas) de un total de 15 sistemas de agua continentales de Chile (Tabla 6). Se consideró información de abundancia de zooplancton y de las variables ambientales obtenidas en el periodo estival e invernal, y obtenidos entre los años 2008 y 2009.

Para ambos tipos de información, primaria y secundaria, se consideraron los grupos zooplanctónicos: Rotíferos, Copépodos y Branchiopodos (Cladóceros y Anostracos). Entre las variables físicas y químicas se incluyeron: Temperatura, Conductividad específica, pH y Oxígeno disuelto.

Tabla 6. Sistemas lénticos considerados en el estudio.

SISTEMA	UBICACIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN
Salar de Surire	I Región	CEA
Salar de Llamara	I Región	CEA
Salar de Ascotan	II Región	CEA
Laguna Conchalí	IV Región	CEA
Embalse Pangué	VIII Región	CEA
Embalse Ralco	VIII Región	CEA
Lago Pihueico	XIV Región	CEA
Lago Yulton	XI Región	CEA
Lago Meullin	XI Región	CEA
Laguna Quetro	X Región	CEA
Laguna Los Palos	XII Región	CEA
Laguna Ellis	XI Región	CEA
Lago Caro	XI Región	CEA
Lago Riesco	XI Región	CEA
Laguna Portales	XI Región	CEA

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de datos

Dado que la información de las comunidades zooplanctónicas obtenida a través de la revisión bibliográfica, no contó para todos los casos con datos sobre las variables físicas y químicas de interés,

el análisis de esta información secundaria se llevó a cabo considerando sólo la distribución de los taxa y grupos principales descritos en cada sistema acuático. De esta forma, se generó una matriz de presencia/ausencia, y se determinó cuales fueron los taxa más representativos de cada sistema acuático y los grupos predominantes. De manera complementaria, se agruparon los sistemas acuáticos de acuerdo a su ubicación en las distintas ecorregiones establecidas para Chile en el estudio de CONAMA 2010 y se determinó los grupos más representativos (mayor riqueza de taxa) para cada una de ellas. Por otro lado, los datos de zooplancton obtenidos en los distintos sistemas evaluados por CEA fueron ordenados en matrices de abundancia.

Como primer paso, se llevó a cabo un análisis de similitudes, ANOSIM (Clarke & Green, 1988; Clarke, 1993), con el fin de evaluar diferencias estadísticas en los valores de abundancia del zooplancton entre las temporadas de muestreo (verano e invierno). Debido a que los datos biológicos no son continuos, se utilizó la Distancia Bray-Curtis, un coeficiente de similitud utilizado para determinar similitudes basadas en la abundancia de organismos.

Tanto las variables ambientales como los datos de abundancia y riqueza taxonómica del zooplancton, fueron analizadas en términos de su variabilidad espacial, determinando los sistemas acuáticos que presentaron los mayores valores y los valores más bajos, así como también las ecorregiones que presentaron los valores extremos para cada una de las variables ambientales. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) entre las ecorregiones para determinar si las diferencias observadas fueron significativas. La significancia fue definida como $p < 0,05$ y los análisis fueron realizados utilizando el programa estadístico STATISTICA 7.

Por otra parte, los datos obtenidos fueron analizados de manera de establecer la posible relación con las variables ambientales (variables físicas y químicas), a través de análisis multivariados. Los análisis estadísticos multivariados fueron aplicados usando el software PRIMER (v. 6). Los sistemas acuáticos fueron agrupados de acuerdo a su ubicación en las ecorregiones de agua dulce para Chile mencionadas

en el estudio de CONAMA (2010), de manera de evaluar si la distribución de estos, de acuerdo a la estructura y composición de sus comunidades zooplanctónicas, se ajusta a la establecida en el estudio mencionado. El tratamiento estadístico se realizó con los datos transformados mediante $\log(x + 1)$, para el caso de los datos ambientales, y mediante raíz a la cuarta para los datos de abundancia del zooplancton.

Finalmente, los patrones de la estructura comunitaria observados en el análisis MDS fueron relacionados con las variables ambientales utilizando un análisis BEST (BIOENV), el cual permitió identificar las variables ambientales (individuales o combinadas) que mejor expliquen los patrones observados de las comunidades del zooplancton.

5.1 Análisis Información bibliográfica

En el Anexo de este documento (Tablas A-1 a A-4), se incluye la información recopilada para cada sistema acuático descrito en la bibliografía. En total se presentan las especies descritas para 97 sistemas acuáticos, los cuales fueron clasificados en las distintas Ecorregiones establecidas para Chile (CONAMA 2010). De esta forma se contó con información para las Ecorregiones: Altiplano, Mediterráneo, Lagos Valdivianos y Patagonia. Cabe destacar que no se contó con información bibliográfica para sistemas de agua presentes en la Ecorregión de Atacama. Asimismo, en la Figura 1 se presenta la composición taxonómica de las comunidades zooplanctónicas presentes en cada una de las Ecorregiones de agua dulce (CONAMA 2010) descritas en base a la información bibliográfica evaluada.

A continuación se caracterizan las comunidades zooplanctónicas presentes en los sistemas acuáticos de cada una de las Ecorregiones evaluadas.

5.1.1 Ecorregión del Altiplano

Para esta ecorregión se contó con información de 11 sistemas de agua, describiéndose la presencia de un total de 19 *taxa*. El grupo de mayor riqueza taxonómica en esta ecorregión correspondió a los Branquiópodos del suborden Cladópera, para los que se registró la presencia de 11 *taxa*, representando un 58% del total de *taxa* descritos. A este grupo le siguió el de los copépodos calanoideos con 4 *taxa* (21%), luego por los copépodos ciclopoideos con 3 *taxa* (16%) y finalmente por el orden Anostraca con 1 solo *taxón* y representando el 5% de la riqueza taxonómica total para esta ecorregión.

En esta ecorregión destaca la especie *Boeckella poopoensis* como la de mayor distribución, pues ha sido descrita en 6 de los 11 sistemas de agua mencionados, seguida por la especie *Artemia franciscana*

perteneciente al orden Anostraca (Branchiopoda) que se ha registrado en 3 de los sistemas descritos, al igual que un *taxón* no identificado perteneciente al grupo de los copépodos ciclopoideos distribuido igualmente en 3 de los sistemas incluidos en la ecorregión del Altiplano.

5.1.2 Ecorregión Mediterránea

Para la ecorregión Mediterránea se obtuvo información de 15 sistemas de agua, entre los cuales se ha descrito la presencia de 70 *taxa* de organismos zooplanctónicos. El grupo mejor representado en esta ecorregión es el de los Rotíferos para el cual se registraron un total de 34 *taxa* lo que equivale a un 48% del total de *taxa* descritos. Al grupo de los rotíferos le siguió el de los Cladóceros (Branchiopoda) con 21 *taxa* y representando un 30% de la riqueza taxonómica del zooplancton de la ecorregión mediterránea.

En cuanto a la distribución espacial de los *taxa* presentes en esta región, destacó el cladócero *Eubosmina hagmanni* pues corresponde a la especie de mayor distribución, estando presentes en 13 de los 15 sistemas descritos. Cabe destacar igualmente, la amplia distribución reportada para el copépodo calanoideo *Diaptomus diabolicus* y el cladócero *Ceriodaphnia dubia*, que estuvieron presentes en 11 y 12 sistemas acuáticos, respectivamente.

5.1.3 Ecorregión Lagos Valdivianos

La Ecorregión de los Lagos Valdivianos cuenta con información de 28 sistemas acuáticos y se presenta el un total de 59 *taxa* descritos. Entre estos, el grupo de los rotíferos destaca por ser el que presenta mayor número de *taxa*, con un total de 39 especies y representando un 66% de la riqueza taxonómica de organismos zooplanctónicos de la ecorregión. El segundo grupo en importancia correspondió al de los cladóceros, para el cual se registraron 10 *taxa* lo que equivale a un 17% del total de *taxa*

registrados.

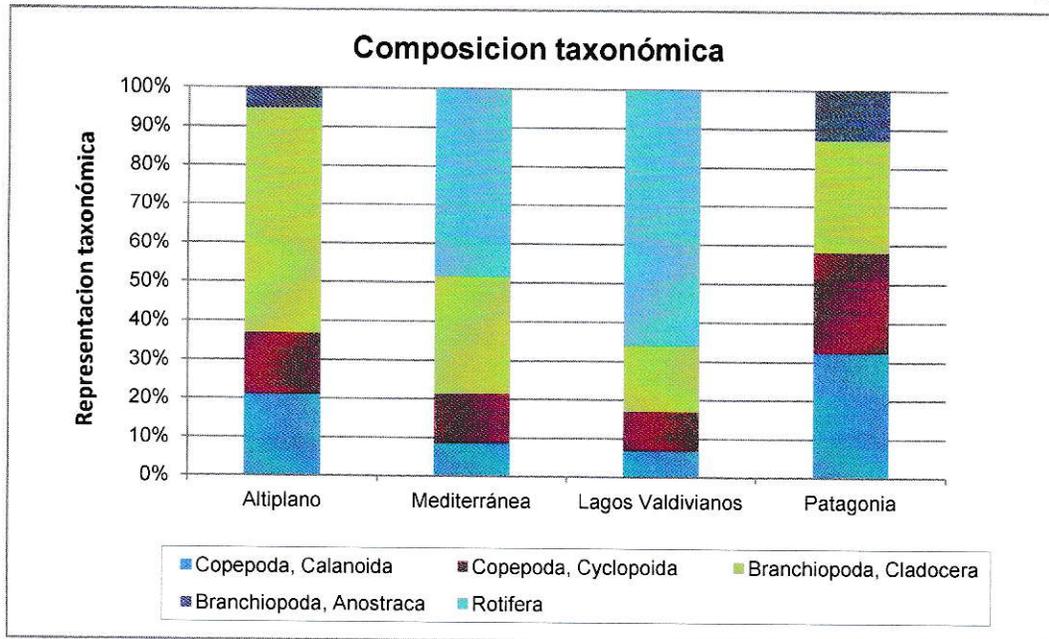
Por otra parte, en esta ecorregión destacan las especies *Mesocyclops longisetus* y *Keratella cochlearis* por su amplia distribución espacial, pues ambas han sido registradas en 17 de los 28 sistemas acuáticos descritos.

5.1.4 Ecorregión Patagonia

La ecorregión Patagonia es la que cuenta con el mayor número de sistemas de agua evaluados (41), entre los cuales se han descrito 31 *taxa* zooplanctónicos. El grupo de los copépodos calanoideos es el de mayor representatividad, con una riqueza de 10 *taxa* lo cual equivale al 32% de la riqueza taxonómica total. A este grupo le sigue de cerca el de los cladóceros, para el cual se ha descrito la presencia de 9 *taxa* distintos (29%).

Las especies *Chydorus sphaericus* y *Boeckella michaelisini* destacan como las más ampliamente distribuidas en esta ecorregión, encontrándose presentes en 19 (46%) y 17 (41%) de los 41 sistemas acuáticos evaluados, respectivamente.

Figura 1. Composición taxonómica de las comunidades zooplanctónicas descritas en bibliografía.



5.2 Análisis información primaria

El análisis de similitudes, ANOSIM, indicó que no existen diferencias significativas entre los valores de abundancia del zooplancton obtenidos en temporada de verano e invierno ($R = -0,007$; $p > 0,05$), por lo tanto los análisis estadísticos se realizaron considerando un valor promedio entre los datos obtenidos en las dos temporadas de muestreo realizados. Asimismo, los análisis de las variables ambientales se llevaron a cabo considerando el promedio entre los valores obtenidos en cada temporada de muestreo para cada uno de los sistemas evaluados.

5.2.1 Estructura comunitaria del Zooplancton

Los valores de abundancia total del zooplancton de los distintos sistemas de agua evaluados variaron entre 30.314 ind/m^3 en la Laguna Conchalí (Ecorregión Mediterránea) y $1,8 \text{ ind/m}^3$ en el salar de

Llamara (Ecorregión Atacama), tal como se muestra en la Figura 2. El máximo de abundancia determinado en la laguna Conchalí se debió principalmente a la alta abundancia del Rotífero *Brachionus* sp., el cual representó un 63% de la abundancia total de zooplancton en este sistema acuático. El segundo sistema acuático en importancia, respecto de los valores de abundancia del zooplancton, correspondió a Surire (Ecorregión del Altiplano) para el cual se registraron un total de 6.395,3 ind/m³. Según se muestra en la Figura 3, la abundancia de zooplancton fue variable entre las distintas ecorregiones evaluadas, sin embargo el análisis estadístico indicó que las diferencias observadas no son significativas (ANOVA F= 1,023; p > 0,05).

El parámetro riqueza taxonómica mostró su valor máximo en la laguna Conchalí con un total de 16 *taxa* distintos, seguido por los sistemas Pangué (Ecorregión mediterránea) y Pihueico (Ecorregión Lagos Valdivianos), tal como se muestra en la Figura 2. El menor valor de riqueza taxonómica se registra en los sistemas Llamara (Ecorregión Atacama) y Ellis (Ecorregión Patagonia) con sólo un *taxón*. Entre las distintas Ecorregiones evaluadas, y como se observa en la Figura 4, la de los Lagos Valdivianos presentó la riqueza taxonómica promedio más alta, seguida por la Ecorregión Mediterránea. Por el contrario, la Ecorregión de Atacama fue la que presentó la menor riqueza taxonómica. Las diferencias observadas fueron significativas para el caso de la Ecorregión Mediterránea v/s Altiplano, Atacama y Patagonia; y la Ecorregión Lagos Valdiviano v/s Atacama (ANOVA F= 11,000; p < 0,05).

Figura 2. Valores de Abundancia total y Riqueza taxonómica de las comunidades zooplanctónicas en los distintos sistemas evaluados.

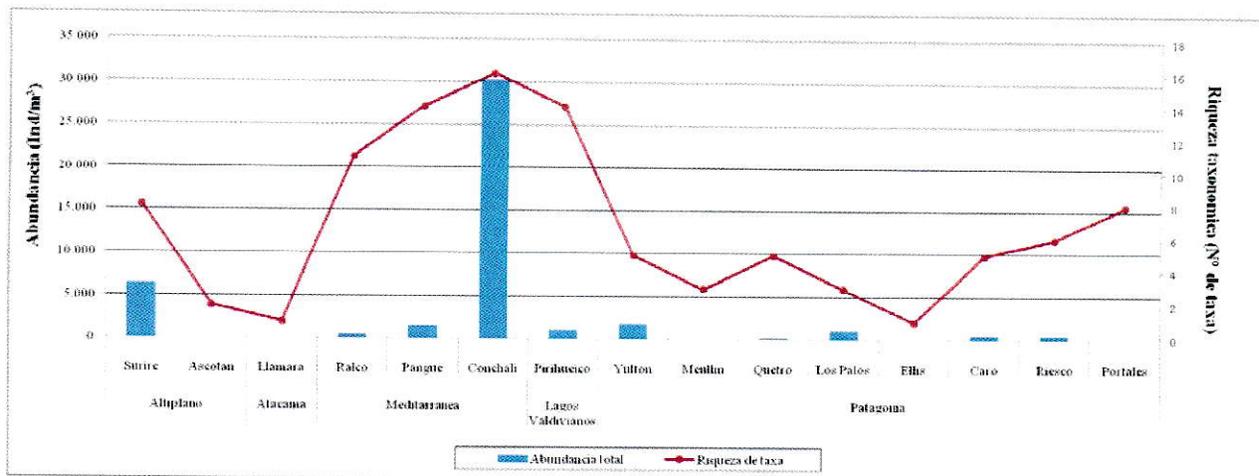


Figura 3. Variación espacial de la abundancia del zooplancton entre las distintas Ecorregiones evaluadas.

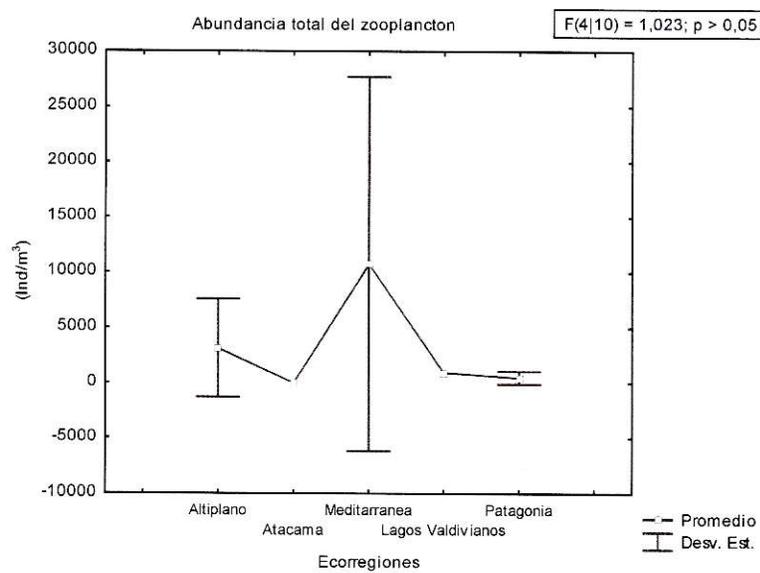
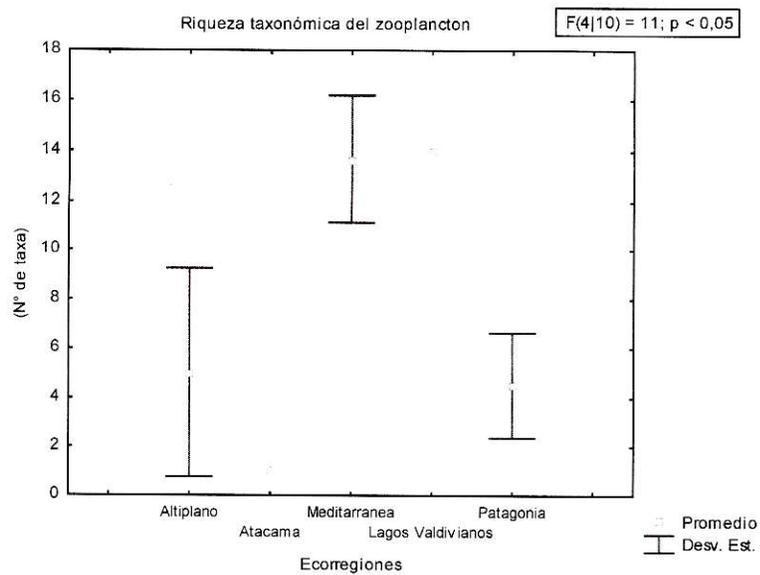


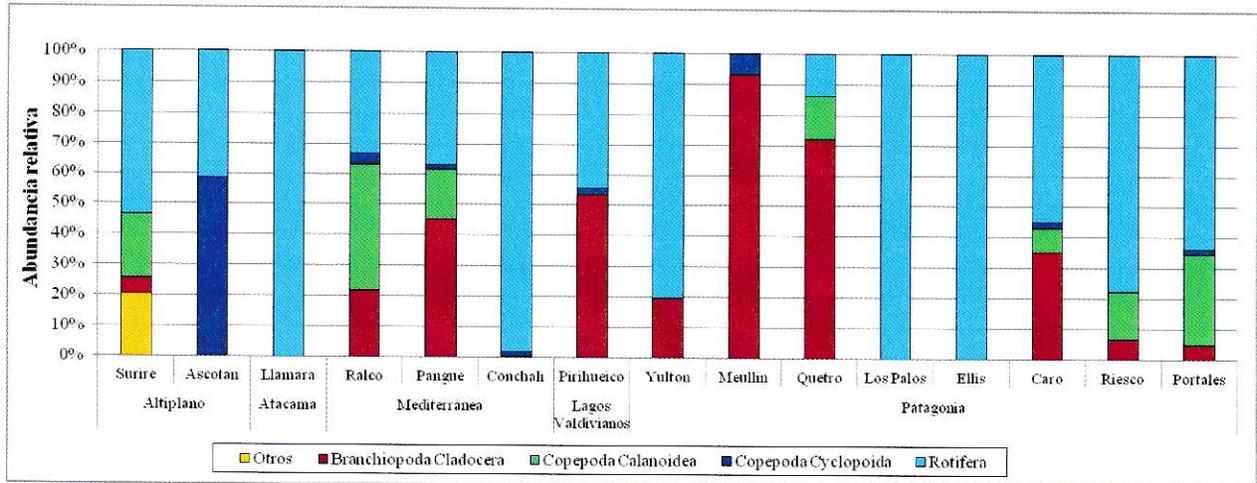
Figura 4. Variación espacial de la riqueza taxonómica del zooplancton entre las distintas Ecorregiones evaluadas.



Por otro lado, en la Figura 5 se muestra la composición taxonómica de los distintos sistemas acuáticos evaluados considerando los principales grupos taxonómicos del zooplancton. En esta figura se observa una alta presencia del grupo Rotífera en la mayoría de los sistemas evaluados, destacando en particular los sistemas: Llamara, Los Palos y Ellis por constituir el único grupo descrito. En Surire se registró la presencia de los grupos rotíferos, copépodos calanoideos, cladóceros y otros *taxa* no incluidos en este estudio. En Ascotan en cambio, las comunidades descritas estuvieron dominadas por el grupo de los copépodos ciclopoideos, los que representaron un 59% de la abundancia total en este sistema acuático. Para la Ecorregión mediterránea, no se observa un comportamiento uniforme de la composición taxonómica, determinándose que en Ralco dominaron los copépodos calanoideos con un 41%, en Pangue los cladóceros con un 45% y en Conchalí el grupo de los rotíferos con un 98% de la abundancia total. Para la Ecorregión Lagos Valdivianos sólo se contó con información de un sistema acuático correspondiente al Lago Pirihueico, donde dominó en abundancia el grupo de los copépodos calanoideos representando el 53% de la abundancia total en este sistema. Finalmente, para la

Ecorregión de la Patagonia se observó que en la mayoría de los sistemas evaluados dominó el grupo de los rotíferos, excepto en Meullin y Quetro donde dominaron los cladóceros.

Figura 5. Composición taxonómica de los sistemas acuáticos evaluados.



A nivel general, entre todos los sistemas evaluados, destacaron los rotíferos *Brachionus* sp., *Polyarthra vulgaris* y *Keratella cochlearis* como los taxa más abundantes (Tabla 6). Le siguieron en importancia la familia Brachionidae (Rotifera), Boeckellidae (Copepoda calanoidea) y *Artemia franciscana* (Branchiopoda Anostraca). Por otra parte, los taxa de mayor distribución (frecuencia de distribución) correspondieron a *Mesocyclops longisetus*, *Bosmina longirostris* y *Keratella cochlearis*.

Tabla 7. Valores de abundancia del zooplancton (ind/m3), muestreos Centro de Ecología Aplicada (CEA).

Taxa	Ecorregión Altiplano		Ecorregión Atacama	Ecorregión Mediterránea			Ecorregión Lagos Valdivianos	Ecorregión Patagonia							Abundancia total	Frecuencia de aparición	
	Surire	Ascotan	Llamara	Conchalí	Ralco	Pangue	Pirihueico	Yulton	Meullin	Quetro	Los Palos	Riesco	Portales	Ellis			Caro
<i>Hyalella</i>	5,0															5,0	1
<i>Artemia franciscana</i>	1288															1288,4	1
<i>Macrothrix hirsuticornis</i>	319,0															319,0	1
<i>Ceriodaphnia dubia</i>					102,0	472,6	285,9					0,4				861,0	4
<i>Bosmina longirostris</i>					5,6	165,2	36,2	335,7	87,7	115,9		24,6	1,4			772,1	8
<i>Daphnia pulex</i>				0,5		17,8	5,1								179,9	203,2	4
<i>Alona guttata</i>							1,4					0,1				1,5	2
<i>Scapholeberis spiniphora</i>				0,5			177,2									177,7	2
<i>Chydorus sphaericus</i>				44,3			3,7									48,0	2
Chydoridae				5,2												5,2	1
<i>Alonella pulchella</i>				11,0												11,0	1
Boeckellidae	1315															1315,8	1
Diaptomus					177,8	189,5										367,3	2
<i>Diaptomus diabolicus</i>				12,1	13,1	6,2										31,5	3
Calanoida				1,9	6,0	22,7										30,6	3
<i>Boeckella</i>					6,7	20,9	1,8			22,4		56,4	11,4		41,0	160,6	7
<i>Eucyclops</i>	6,6				2,3	1,5	1,8									12,2	4
<i>Mesocyclops longisetus</i>		6,8		507,3	16,5	20,0	17,9	0,3	4,6				0,7		9,1	583,1	9
Ciclopoida						2,7										2,7	1
Mesocyclops								0,8	1,8							2,6	2
<i>Eucypris</i>	1,1															1,1	1
Brachionidae	3344															3344,4	1
<i>Trichocerca porcellus</i>	15,0															15,0	1
Notholca			1,8													1,8	1
<i>Alona sp.</i>		4,8			0,2											5,1	2
<i>Polyarthra dolichoptera</i>					161,4	264,2	73,2				116,9	20,6				636,2	5
Collotheceidae					1,2							4,1	0,1	8,1		13,5	4
Collotheca						5,1										5,1	1
<i>Conochilus unicornis</i>						20,3										20,3	1
<i>Synchaeta longipes</i>						244,7										244,7	1
<i>Euchlanis</i>							4,1									4,1	1
<i>Monostyla lunaris</i>							16,5									16,5	1
<i>Polyarthra vulgaris</i>				5410,1			318,0			11,2	221,5		1,6		13,9	5976,3	6
<i>Keratella cochlearis</i>				4436,2			14,2	191,3			610,8	255,1	22,8		269,3	5799,7	7
<i>Euchlanis dilatata</i>								1179								1179,6	1
<i>Synchaeta</i>										6,1		2,0				8,1	2
<i>Trichotria tetractis</i>										5,1						5,1	1
<i>Brachionus calyciflorus</i>				13,1												13,1	1
<i>Brachionus havanaensis</i>				105,6												105,6	1
<i>Brachionus quadridentatus</i>				18,4												18,4	1
<i>Brachionus</i>				19272,5												19272,5	1
<i>Filinia longiseta</i>				475,1												475,1	1
<i>Asplachna sp</i>				0,5												0,5	1

5.2.2 Variables ambientales

La variación espacial de las variables ambientales medidas en los distintos sistemas acuáticos evaluados se muestran en la Figura 6 a la Figura 13. La mayor temperatura promedio se registró en Ascotán y correspondió a 22,8°C, mientras que el menor valor fue determinado en la Laguna Ellis con 7,7 °C, según se observa en la Figura 6. Por otra parte, a nivel de Ecorregiones los valores de temperatura muestran un descenso desde la Ecorregión del Atacama hacia la Ecorregión de la Patagonia (Figura 7), determinándose la existencia de diferencias significativas entre los valores de temperatura de las Ecorregiones del Altiplano y Atacama, respecto de los menores valores registrados en la Ecorregión de la Patagonia (ANOVA $F= 6,658$; $p< 0,05$).

Por otro lado, en la Figura 8, se observa que el valor más alto de pH se registró en Surire y correspondió a 8,38 unidades de pH, mientras que el menor valor fue determinado en la Laguna Los Palos con 6,85 unidades de pH. Además, aquellos sistemas localizados en las Ecorregiones del Altiplano, Atacama y Mediterránea presentan valores de pH mayores, respecto a aquellos de los sistemas acuáticos ubicados en las Ecorregiones de Lagos Valdivianos y Patagonia. Las diferencias entre Ecorregiones observadas en la Figura 9, fueron determinadas como diferencias significativas (ANOVA $F= 32,061$; $p< 0,05$). El análisis a posteriori determinó sin embargo, que las diferencias no son significativas entre las Ecorregiones del Altiplano y Atacama, señalando que existe similitud entre ambas.

La variación espacial del oxígeno disuelto, ilustrada en la Figura 10, se muestra heterogénea entre los distintos sistemas acuáticos evaluados, variando desde 6,68 mg/L en la Laguna Conchalí, hasta 12,06 mg/L en la Laguna Caro. Consecuentemente, en la Figura 11 se observa que los valores más altos de oxígeno disuelto se registran en los sistemas incluidos en la Ecorregión de la Patagonia, seguido por los Lagos Valdivianos, la Ecorregión Mediterránea, del Altiplano y finalmente la de Atacama. Según el

análisis estadístico, las diferencias en los valores de oxígeno disuelto observadas son significativas (ANOVA $F= 7,260$; $p< 0,05$), en particular entre la Ecorregión de Atacama y las Ecorregiones Mediterránea, Lagos valdiviano y Patagonia, así como también entre la Ecorregión del Altiplano y la Ecorregión de la Patagonia.

Por último, la Figura 12 muestra el comportamiento espacial de la conductividad eléctrica entre los distintos sistemas acuáticos evaluados, siendo la laguna Conchalí el que presenta el valor más alto, el cual supera ampliamente a los valores registrados en las restantes sistemas acuáticos. El valor máximo correspondió a 1688,8 uS/cm, mientras que el valor mínimo fue de 16,5 y se registró en Ascotán. En concordancia con lo anterior, se determinó que la Ecorregión que presenta el valor promedio más alto de conductividad correspondió a la Ecorregión Mediterránea (Figura 13), cuyos valores de conductividad se diferencian significativamente de los registrados en las demás Ecorregiones evaluadas (ANOVA $F= 11,776$; $p< 0,05$).

Figura 6. Variación espacial de la temperatura entre los distintos sistemas evaluados.

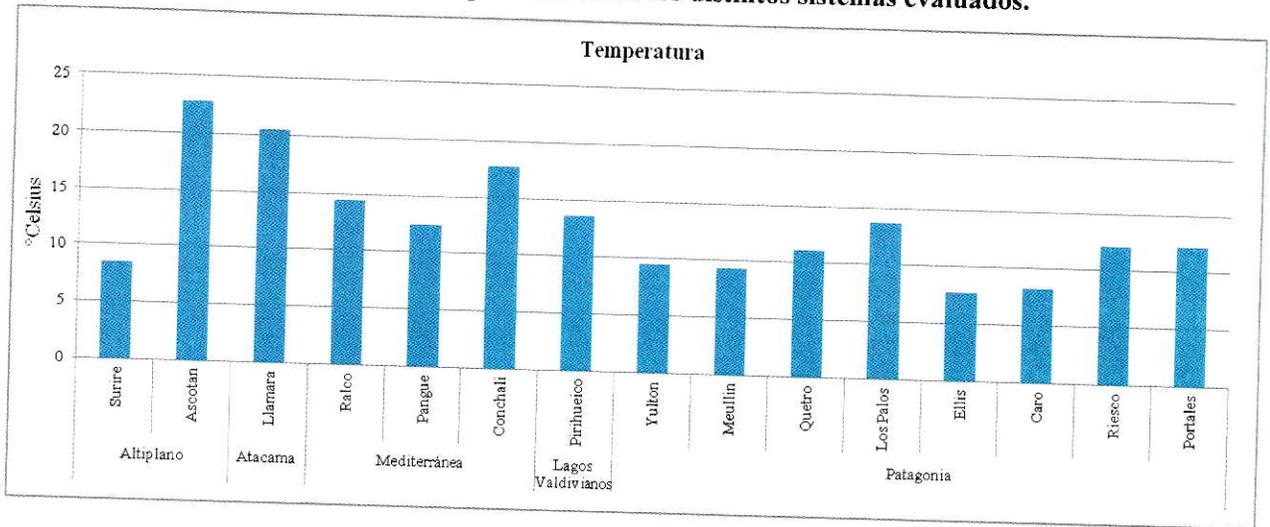


Figura 7. Variación espacial de la temperatura entre las distintas Ecorregiones evaluadas

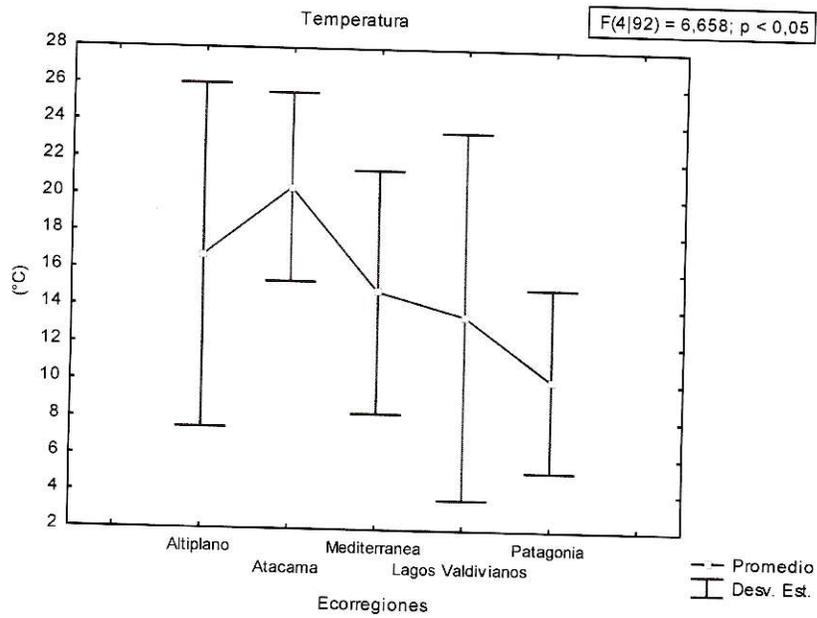


Figura 8. Variación espacial del pH entre los distintos sistemas evaluados.

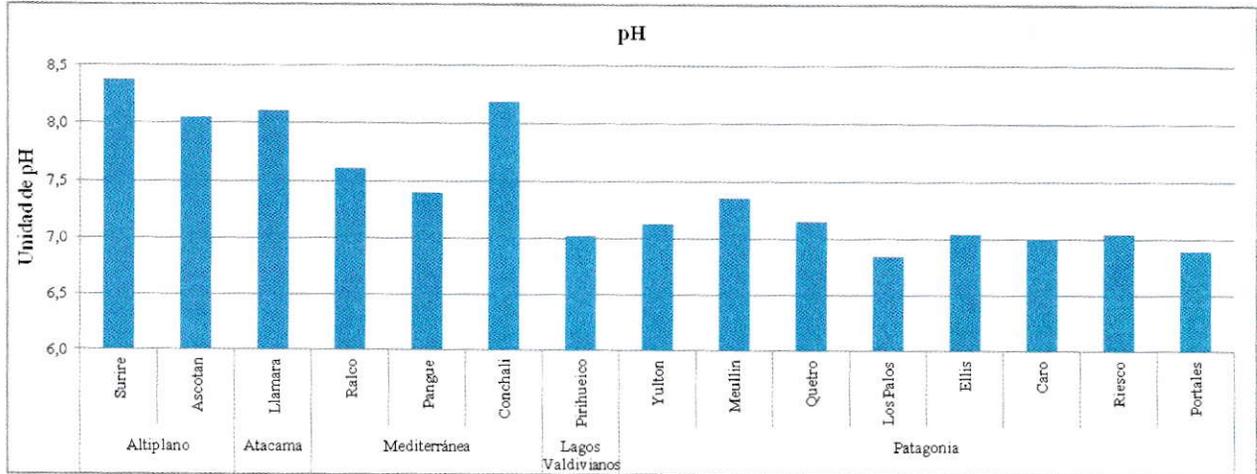


Figura 9. Variación espacial del pH entre las distintas Ecorregiones evaluadas

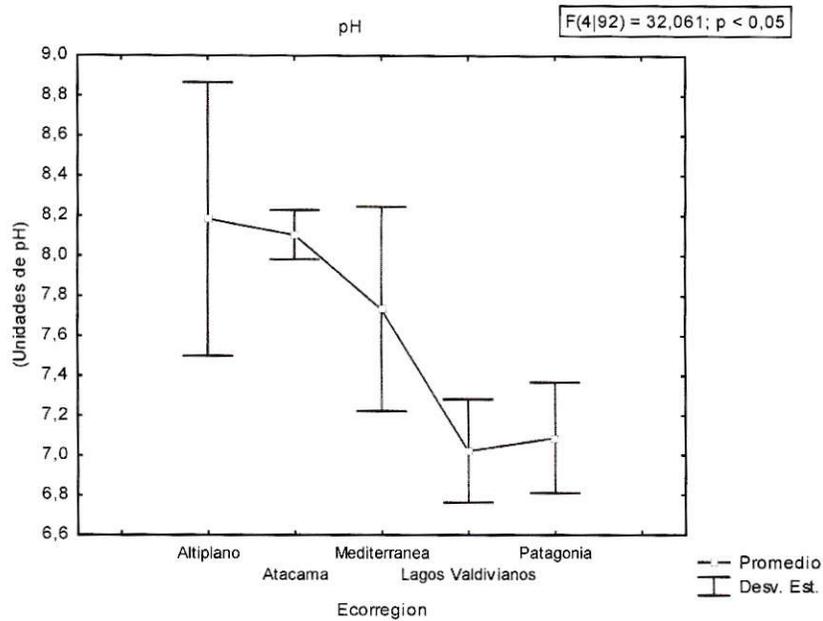


Figura 10. Variación espacial del Oxígeno disuelto entre los distintos sistemas evaluados.

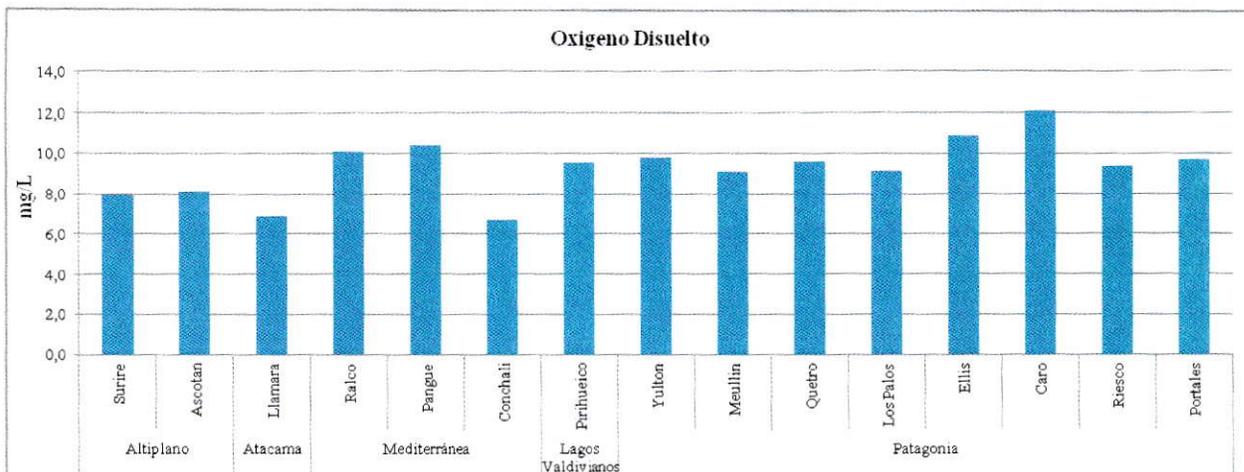


Figura 11. Variación espacial del Oxígeno disuelto entre las distintas Ecorregiones evaluadas.

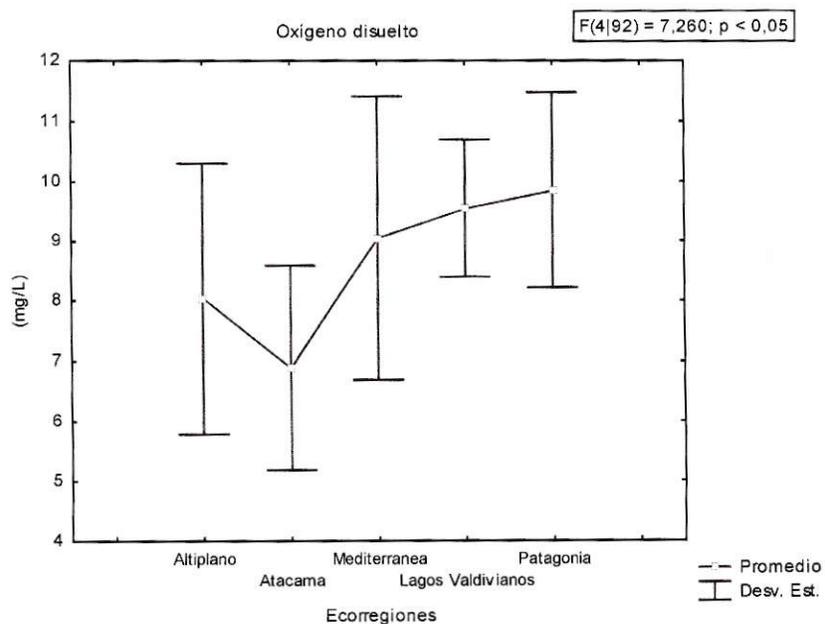


Figura 12. Variación espacial de la conductividad eléctrica entre los distintos sistemas evaluados.

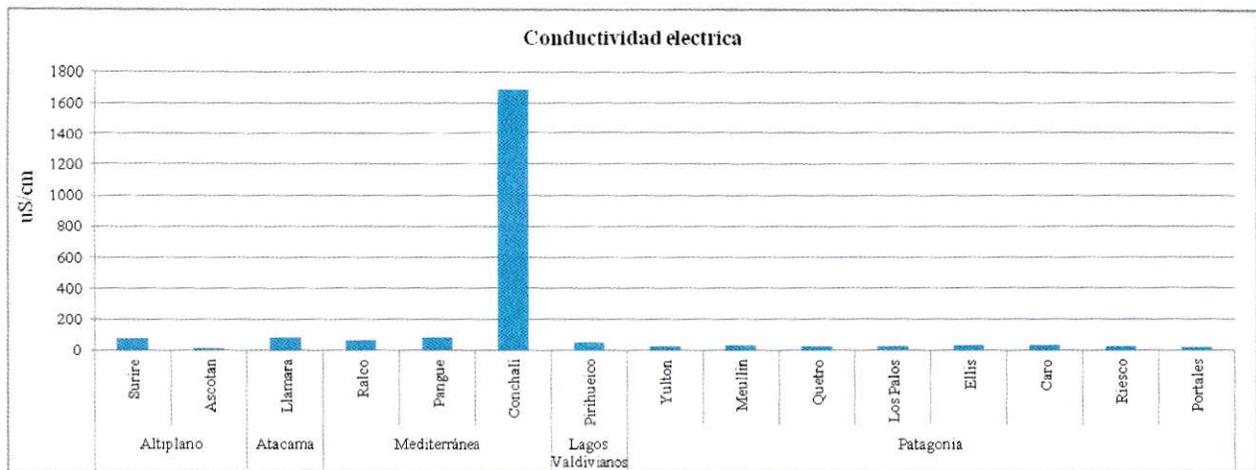
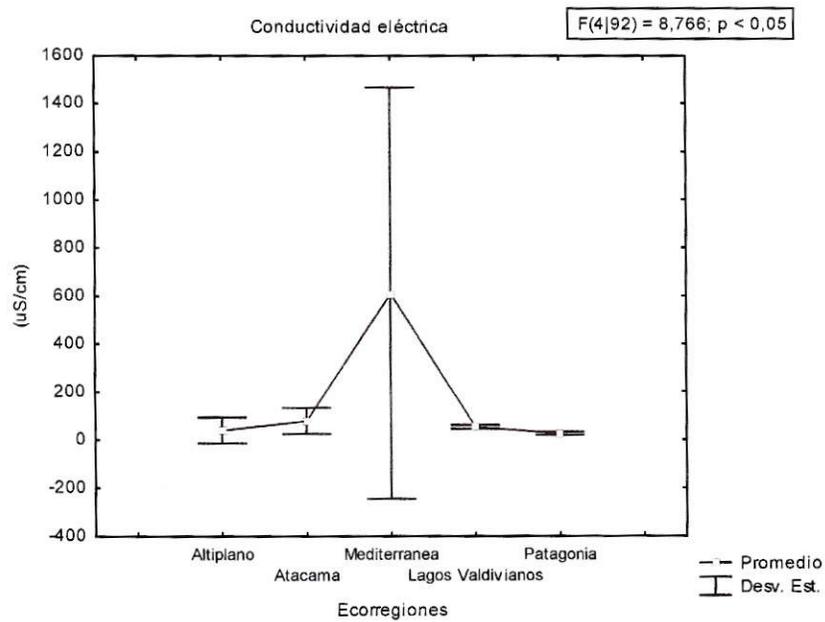


Figura 13. Variación espacial de la conductividad eléctrica entre las distintas Ecorregiones evaluadas.



5.2.3 *Análisis estadísticos*

El análisis de componentes principales, PCA, determinó que sólo el primer componente principal (PC 1) presentó un valor propio superior a 1 indicando que es el único significativo (Tabla 7). El componente 2, le siguió en importancia, representando ambos un 83,3% de la varianza total.

La variable pH presentó la mayor carga positiva al componente principal 1 (PC 1), mientras que el Oxígeno disuelto mostró la mayor carga negativa (Tabla 8). Este componente, que explica un 65,6% de la varianza total, da cuenta de las diferencias en las variables ambientales en un gradiente latitudinal (norte-sur) entre las distintas Ecorregiones evaluadas. Lo anterior se observa en la Figura 14, en la cual los sistemas acuáticos, clasificados de acuerdo a la ecorregión de agua dulce en que se ubican, se ordenan según un gradiente latitudinal distribuyéndose a lo largo del eje PC1 y encontrándose a mayor distancia siguiendo el orden: Patagonia - Lagos Valdivianos y Mediterránea – Altiplano y Atacama. Sólo la Laguna Conchalí, se aleja del ordenamiento general observado para los restantes sistemas acuáticos, encontrándose más cercano a los sistemas de la ecorregión del Altiplano que a la Mediterránea, en la cual ha sido clasificada.

El componente principal 2 (PC2) da cuenta de un 17,7% de la varianza total, y son la temperatura y Conductividad eléctrica los que más contribuyen de forma positiva y negativa a este eje, respectivamente (Tabla 8). De manera similar al ordenamiento observado en torno al eje PC1, en la Figura 14 se muestra el ordenamiento de los sistemas acuáticos, clasificados en las distintas Ecorregiones de agua dulce, a lo largo del eje PC2. En la figura se observa un mayor distanciamiento de los sistemas Ascotan y Llamara a lo largo del eje PC2, respecto de los demás sistemas acuáticos, determinado por las diferencias en la temperatura. Por otro lado se observa la diferenciación del sistema Laguna Conchalí respecto de los otros sistemas acuáticos evaluados, lo cual estaría determinado por los mayores valores de conductividad eléctrica medidos en él.

Tabla 8. Valores propios (eigenvalues) de la matriz de correlación, proporción de varianza explicada por cada PC y variación acumulada del PCA de variables ambientales

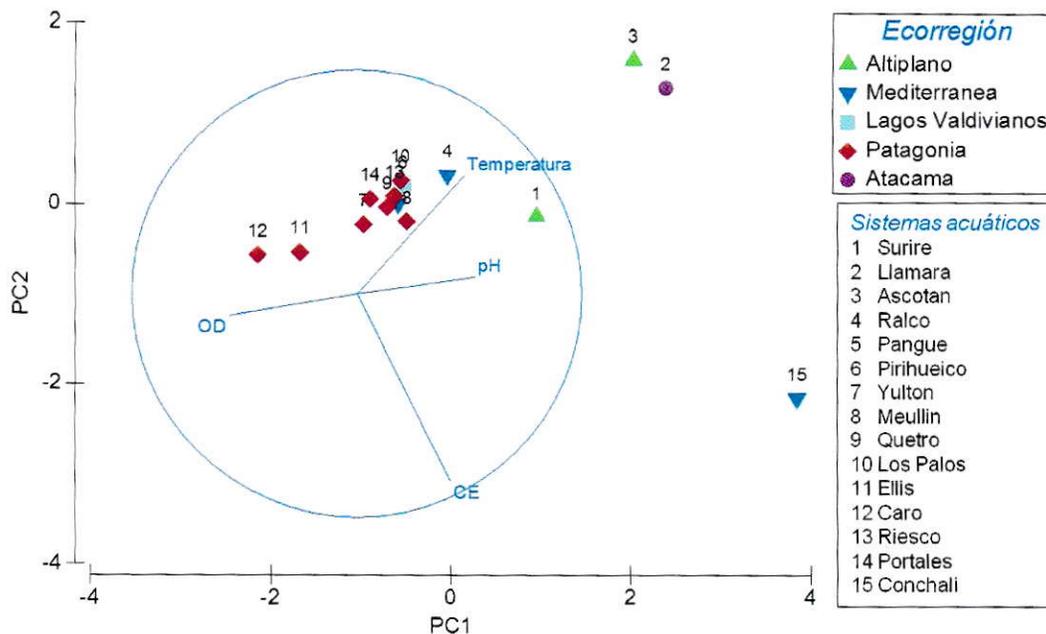
PC	VALORES PROPIOS (EIGENVALUES)	% VARIACIÓN	CUM. % VARIACIÓN
1	2,62	65,6	65,6
2	0,707	17,7	83,3
3	0,459	11,5	94,7
4	0,211	5,3	100

Tabla 9. Carga de las variables ambientales (eigenvectors) del PCA

VARIABLE	PC1	PC2	PC3	PC4
Temperatura	0,478	0,530	0,634	0,298
pH	0,526	0,075	-0,69	0,491
Oxígeno Disuelto	-0,569	-0,097	0,13	0,807
Conductividad Eléctrica	0,414	-0,839	0,323	0,139

Valores destacados en rojo corresponden a los más alto aportes (positivos y negativos) al eje correspondiente.

Figura 14. Ordenamiento a partir del PCA para las Ecorregiones de agua dulce (y sistemas acuáticos) y las variables ambientales evaluadas.



El ordenamiento de los sistemas acuáticos, resultante del análisis MDS, y generado en base a los valores de abundancia del zooplancton se muestra en la Figura 15. En esta figura se observa una clara diferenciación del sistema acuático Llamara respecto de los restantes sistemas evaluados, lo cual se evidencia en la amplia distancia a la que se encuentra ubicado de estos en la grafica. En la Figura 16, se muestra un acercamiento a la agrupación formada por todos los sistemas acuáticos evaluados a excepción de Llamara, de manera de observar su ordenamiento a partir del análisis MDS de sus comunidades zooplanctónicas. Esta figura muestra que, en términos generales, las comunidades zooplanctónicas se diferencian entre los distintos sistemas acuáticos evaluados, siendo los sistemas Surire y Laguna Ellis los sitios que más difieren en cuanto a la abundancia y composición taxonómica. Igualmente la Figura 16, muestra la superposición del análisis de Cluster realizado (no mostrado), mediante el cual se muestran tres grandes grupos de sistemas acuáticos que presentan comunidades zooplanctónicas que comparten una similitud del 30%. Uno de los grupos lo conforman los sistemas

Ralco, Pangué y Pihueico, mientras que los otros dos grupos incluyen a los sistemas Yulton, Meullín, Quetro, Los Palos, Caro, Riesco y Portales. Por otra parte, la Figura 17 muestra el ordenamiento de los sistemas según su clasificación en las Ecorregiones de agua dulce establecidas para Chile. En ella se observa que dos de las agrupaciones formadas incluyen a gran parte de los sistemas acuáticos de la Ecorregión de la Patagonia, mientras que la tercera gran agrupación incluye a sistemas de la Ecorregión Mediterránea y de los Lagos Valdivianos, sin embargo no se observa un patrón claro de similitud entre las comunidades zooplanctónicas de los sistemas acuáticos clasificado en las distintas Ecorregiones.

Figura 15. Ordenamiento MDS de los sistemas acuáticos evaluados respecto de sus comunidades de zooplancton.

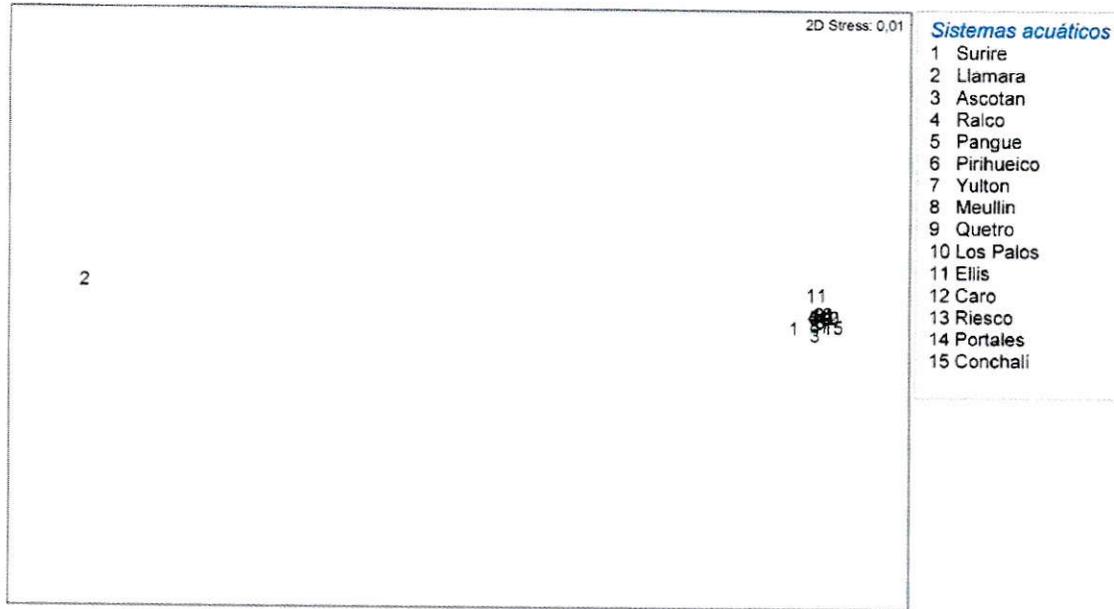


Figura 16. Zoom ordenamiento MDS de los sistemas acuáticos evaluados respecto de sus comunidades de zooplancton.

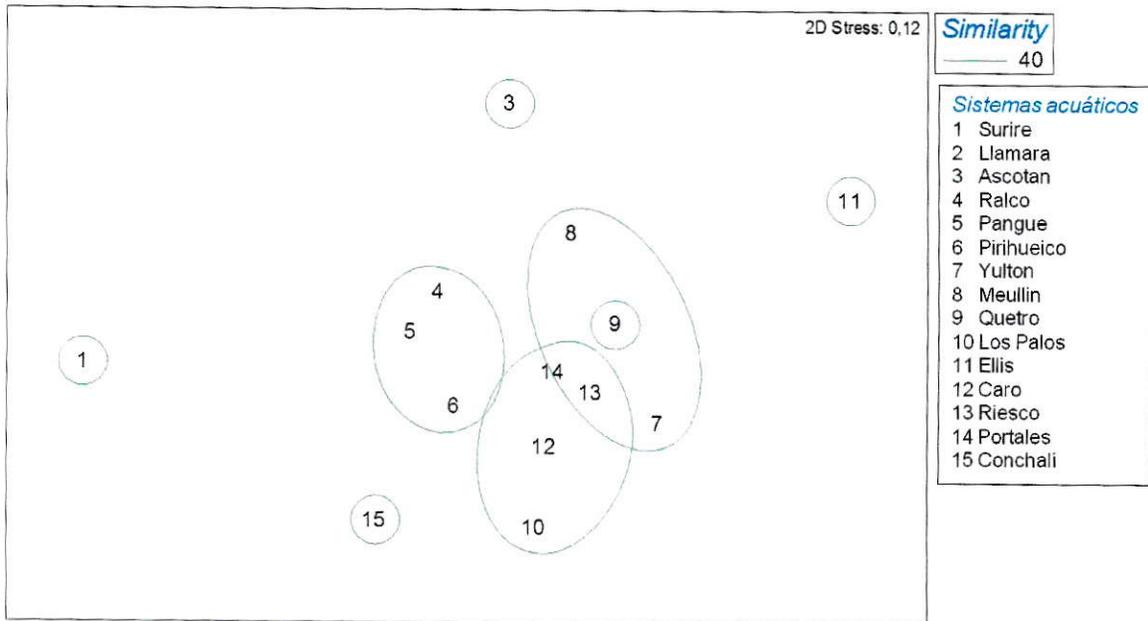
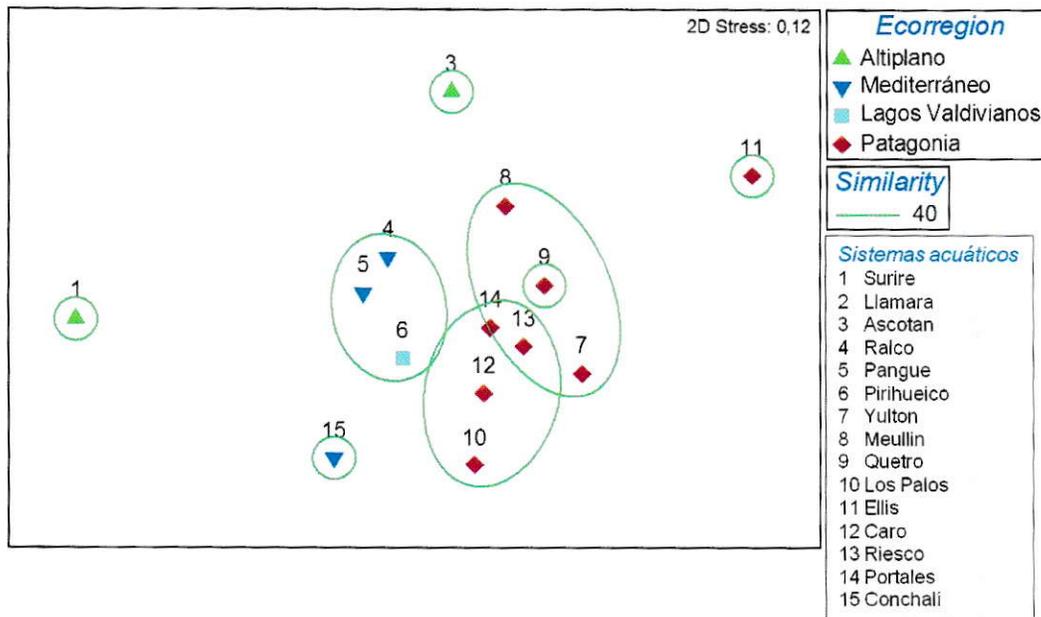


Figura 17. Ordenamiento MDS de los sistemas acuáticos clasificados según su clasificación en las Ecorregiones de agua dulce para Chile



Finalmente, los resultados obtenidos del análisis BEST (BIOENV) que relaciona los valores de abundancia (variable biológica) con las variables ambientales se muestran en la Tabla 9. Estos resultados muestran que las variables ambientales se correlacionan pobremente ($\rho < 0,571$) con las comunidades zooplanctónicas en los sistemas acuáticos evaluados. No obstante lo anterior, la combinación de variables ambientales que mejor explica el patrón de distribución del zooplancton observado en este estudio corresponden a la temperatura y el pH ($\rho < 0,571$).

Tabla 10. Tabla resumen de los resultados (correlación de Spearman) obtenidos a partir del análisis BEST (BIOENV) que relaciona las variables ambientales con los valores de abundancia de zooplancton.

Nº DE VARIABLES	CORRELACIÓN	VARIABLES
2	0,571	Temperatura, pH
3	0,555	Temperatura, pH, Oxígeno disuelto
4	0,535	Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Conductividad
3	0,529	Temperatura, Oxígeno disuelto
2	0,527	Temperatura, pH, Conductividad
3	0,505	Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad
3	0,494	pH, Oxígeno disuelto, Conductividad
2	0,470	pH, Oxígeno disuelto
2	0,463	pH, Conductividad
1	0,454	pH

6 DISCUSION

La gran variedad de climas, suelos y biomas presentes en la extensa longitud territorial de Chile, permite encontrar variados tipos de ecosistemas que se desarrollan en un gradiente latitudinal (norte-sur), así como también altitudinal (de cordillera a costa). Lo anterior se observa igualmente a nivel de cuencas hidrográficas, encontrándose la clasificación o división del país en distintas zonas hidrográficas, de acuerdo con sus características físicas, regímenes de escurrimiento y gasto de los ríos y caudales comprometidos (Niemeyer y Cereceda, 1984). También se han clasificado los sistemas de agua presentes en el territorio nacional en Ecorregiones de agua dulce (Abell *et al.*, 2008), basándose en la distribución y composición de especies de peces e incorporando patrones evolutivos y ecológicos (CONAMA, 2010).

El presente estudio busca establecer la existencia de un patrón de distribución de las comunidades de zooplancton y determinar si este patrón se relaciona con ciertas variables ambientales de importancia y gran variabilidad a lo largo de Chile. Asimismo, se contrasta el patrón de distribución del zooplancton con la clasificación de los sistemas de agua dulce establecidos para Chile (Ecorregiones), elaborada a partir de la distribución de especies de peces, de manera de determinar si ambas distribuciones se condicen. Para cumplir con este objetivo se contó con dos tipos de información, la primera fue obtenida de la revisión de estudios y publicaciones científicas relacionadas con la distribución del zooplancton en Chile, mientras que la segunda se obtuvo de monitoreos realizados por el Centro de Ecología Aplicada (CEA). A continuación se discuten los resultados obtenidos.

De acuerdo a la recopilación bibliográfica realizada en el presente estudio, el número de *taxa* zooplanctónicos descrito en el territorio chileno presenta mayores valores en las Ecorregiones Mediterránea, Lagos Valdivianos y Patagonia, en el orden mencionado. Por otra parte, según la información generada por CEA, el mayor número de *taxa* se concentra en los sistemas incluidos en la

Ecorregión Mediterránea, seguidos por los sistemas de las Ecorregiones Lagos Valdivianos y Patagonia. De esta forma, ambas fuentes de información indican un aumento en la riqueza taxonómica de las comunidades zooplanctónicas hacia los sistemas de mayor latitud, concentrándose particularmente en la Ecorregión Mediterránea.

Anteriormente, el comportamiento de distribución del zooplancton ha sido descrito como contrario a lo observado a nivel global para el resto de la fauna marina y terrestre, entre los cuales el número de especies es mayor hacia los trópicos (Stehli *et al.* 1969). El comportamiento de la riqueza de especies de zooplancton no marino ha sido atribuido a la distribución irregular de los sistemas acuáticos continentales (Fernando *et al.* 1990), lo que en Chile parece hacer total sentido pues existen zonas que concentran gran parte de los lagos y lagunas, mientras que otras presentan un bajo número de sistemas lacustres, los que además poseen características distintas principalmente debido a las contrastantes condiciones climáticas de los ambientes en los que se encuentran. Otro factor importante a destacar es el mayor desarrollo en investigación que se le ha dedicado en particular a los sistemas lacustres de la zona Sur (Ecorregión de los Lagos Valdivianos), en contraste con otras zonas como la Austral y el Altiplano que presenta condiciones desfavorables para su estudio, determinadas por el clima y el relieve. Es así como para la Ecorregión de la Patagonia, a pesar de ser la que presenta el mayor número de sistemas lacustres con un total de 254 lagos (DGA, 1983), sólo se encontró información del zooplancton de 41 sistemas lacustres, es decir un 16% del total, mientras que para la Ecorregión de los Lagos Valdivianos se cuenta con información de 28 lagos, lo que representa un 55% del total de lagos presentes en esta zona, dando cuenta de la mayor accesibilidad al estudio de estos últimos.

Los resultados aquí expuestos concuerdan con Soto & Zuñiga (1991), quienes mencionan que el mayor número de especies se encuentra en los lagos Araucanos, los que han sido incluidos dentro de las Ecorregiones Mediterránea y Lagos Valdivianos en el presente estudio. En cuanto a la distribución de los principales grupos del zooplancton, se encontró que existe heterogeneidad en términos de la

composición taxonómica del zooplancton a lo largo del territorio. Esta diferenciación en la distribución geográfica de los distintos grupos ha sido atribuida a variaciones en las habilidades de colonización y dispersión dadas por los distintos ciclos de vida de cada grupo o por el aislamiento geológico e historia climática del área (Soto & Zúñiga 1991).

Entre los taxa descritos para cada uno de los sistemas acuáticos revisados en la bibliografía, destacaron algunos por presentar una amplia distribución espacial a lo largo de todo el territorio, entre los que se cuentan *Boeckella gracilipes*, *Mesocyclops longisetus* y *Ceriodaphnia dubia*. En tanto, los datos otorgados por los muestreos realizados por CEA, indicaron que los taxa de mayor distribución entre los sistemas evaluados correspondieron a: *Mesocyclops longisetus*, *Bosmina longirostris* y *Keratella cochlearis*.

La especie *Mesocyclops longisetus* (Copépoda: Cyclopoida) es señalada como la de mayor distribución por ambas fuentes de información analizadas en el presente trabajo, y ha sido descrita previamente a lo largo de todo Chile continental (Araya & Zúñiga 1985, Campos *et al.* 1982, 1983, 1987a, 1987b, 1988, 1990, 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, Soto *et al.* 1994, Wöfl 1996, Villalobos 1999, Villalobos *et al.* 2003). En el año 2003, Pilati & Menu-Marque propusieron que las poblaciones, originalmente descritas como *Mesocyclops longisetus*, que se localizan desde los 38° S hacia el sur debieran pertenecer a la especie *M. araucanus*. Esta última había sido considerada anteriormente sólo como una subespecie, *M. longisetus araucanus* (Loeffler, 1961). Lo anterior, podría generar una sobrestimación de la distribución de *M. longisetus* en el territorio nacional, puesto que gran parte de la información recopilada corresponde a publicaciones realizadas previo a la re-clasificación de la nueva especie. A lo anterior, se suma la falta de claves de reconocimiento del zooplancton chileno actualizadas que incorporen estas modificaciones.

El género *Boeckella* se encuentra distribuido comúnmente en el hemisferio sur, en aguas continentales

dulces y salinas (Villalobos 2006) predominando en zonas de altura mayor e intermedia en latitudes templadas y subpolares (Zúñiga 1975, Menu-Marque *et al.* 2000). La especie *Boeckella gracilipes* corresponde a una de las de mayor distribución en Chile según los datos bibliográficos recopilados, y se destaca además como una de las de más amplia distribución geográfica en Sudamérica (Villalobos & Zúñiga 1991, Villalobos 1994).

Los cladóceros *Ceriodaphnia dubia* y *Bosmina longirostris*, fueron señalados como los de mayor distribución entre los sistemas descritos en la bibliografía y los sistemas muestreados por CEA, respectivamente. La especie *Ceriodaphnia dubia*, ha sido descrita anteriormente como una especie de amplia distribución en el territorio chileno (Villalobos 2006), en particular se ha descrito en los lagos y lagunas del Parque Nacional Torres del Paine como una especie típica en sistemas acuáticos pequeños con presencia de peces (Soto & De los Ríos, 2006). Este tipo de sistemas acuáticos representan condiciones favorables para los Daphnidos, debido a la baja profundidad de mezcla (Soto, 2002; De los Ríos, 2003), lo que resulta en altas concentraciones de clorofila-a que pueden ser aprovechadas por los cladóceros para incrementar su abundancia (Villalobos, 2002). Por otra parte, la familia Bosminidae ha sido mencionada como otro de los taxa del orden cladócera que presenta una amplia distribución en Chile (Villalobos, 2006).

En términos de dominancia numérica, los datos recopilados de la bibliografía indicaron que en los sistemas de la Ecorregión del Altiplano el grupo más representado (mayor riqueza taxonómica) correspondió a los Cladóceros, en los sistemas de la Ecorregión Mediterránea y Lagos Valdivianos se observó una mayor representación del grupo de los Rotíferos, y finalmente en la Patagonia estuvo mayormente representado el grupo de los Copépodos calanoideos. Esta distribución difiere de la observada a partir de la información levantada por CEA, para la cual se observó un mayor número de *taxa* pertenecientes al grupo de los Rotíferos en las Ecorregiones del Altiplano, Mediterránea y Patagonia, mientras que la Ecorregión Lagos Valdivianos estuvo mayormente representado el grupo de

los cladóceros. En la Ecorregión de Atacama sólo se incluyó un sistema acuático (Llamara), en el cual se registró la presencia de un *taxón* perteneciente al grupo de los Rotíferos.

Por otra parte, el análisis de los valores de abundancia del zooplancton obtenidos a partir de la información generada por CEA, indicó una dominancia general del grupo de los Rotíferos (Ecorregiones del Altiplano, Atacama, Mediterránea y Patagonia). La única excepción se observó en la Ecorregión de los Lagos Valdivianos, donde se dominaron en abundancia los cladóceros.

Según Soto & Zúñiga (1991), una de las características más típicas del zooplancton Chileno es la fuerte dominancia numérica y de biomasa de los copépodos calanoideos, indicando que esta dominancia se observa a lo largo de todo el gradiente latitudinal. Esta característica difiere de lo observado en el presente estudio donde al considerar la información levantada por CEA, se observa la dominancia del grupo Rotíferos (en términos de número de taxa y de abundancia), mientras que en base a la recopilación de información bibliográfica se observa una dominancia (en cuanto número de taxa) que varía de norte a sur, siendo los cladóceros dominantes en el Altiplano, los rotíferos en las Ecorregiones Mediterránea y Lagos Valdivianos, y de los Copépodos calanoideos en la Patagonia.

Las diferencias entre la distribución observada y la descrita por otros autores (Soto & Zúñiga, 1991; De los Ríos & Soto, 2006) podrían ser explicadas por dos factores relevantes. El primero dice relación con el escaso estudio que se le ha dado al grupo Rotífera, el cual es someramente abordado en estudios de zooplancton en Chile, y el que sí fue considerado en el presente estudio, particularmente en el análisis de las muestras obtenidas por CEA. El segundo factor, estaría relacionado con el mayor desarrollo en investigación que se le ha dedicado a los sistemas lacustres de ciertas zonas de Chile. Tal como se mencionó anteriormente los estudios del zooplancton en Chile se han desarrollado mayoritariamente en la zona Sur (Ruiz & Bahamonde, 1989; Soto & Zúñiga 1991; Schmid-Araya, 1991; Campos, 1984; Campos *et al*, 1982; Campos *et al*, 1983; Campos *et al* 1987a; Campos *et al* 1987b; Campos *et al* 1989,

Campos *et al* 1990) y algunos sectores particulares como Lagunas altiplánicas del norte de Chile y otros sistemas lacustres de la Patagonia (Campos *et al.*, 1994a; Campos *et al.*, 1994b; De los Ríos 2005; De los Ríos & Crespo, 2004; Campos *et al.*, 1996; De los Ríos & Contreras, 2005; Soto & De los Ríos, 2006). Asimismo, se pueden mencionar factores tales como diferencias en las metodologías de colecta del zooplancton, así como también en los periodos en los que fueron colectadas las muestras. Estos últimos factores, pueden resultar de gran importancia ya que las comunidades zooplanctónicas presentan amplias variaciones tanto a nivel espacial (dentro de un mismo sistema acuático), como a nivel temporal, debido por ejemplo, a variaciones estacionales o interanuales.

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la medición de variables ambientales y a los análisis estadísticos a los que fueron sometidos, se determinó que existen diferencias significativas entre los sistemas acuáticos de las distintas Ecorregiones evaluadas. En general, para la temperatura y el pH se observó una disminución en el gradiente latitudinal (de norte a sur), encontrándose los valores más altos en la Ecorregión del Altiplano y los menores en los Lagos Valdivianos y Patagonia. Por otra parte, el oxígeno disuelto mostro un comportamiento contrario al de las variables antes mencionadas, encontrándose mayores valores en los sistemas ubicados hacia latitudes mayores. Respecto de la conductividad, los valores registrados no mostraron un gradiente significativo entre los distintos sistemas, sin embargo se determinó que existen diferencias significativas entre la ecorregión Mediterránea y las restantes. Estas diferencias se deben principalmente a que dentro de esta Ecorregión se encuentra la laguna Conchalí, sistema que presenta condiciones particulares que la diferencian de los restantes sistemas acuáticos de la Ecorregión Mediterránea, las cuales están determinadas por la alta influencia de las aguas marinas que le confieren características de humedal costero con una alta intrusión salina a sus aguas.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) llevado a cabo para las variables ambientales concuerda con el comportamiento observado para las variables ambientales, e indicó que el oxígeno

disuelto y pH son las variables que más explican la varianza total de los sistemas acuáticos evaluados. A partir de la interpretación de la grafica resultante de este análisis, se pudo inferir la existencia de un gradiente latitudinal en el que las Ecorregiones que se encuentran a mayor distancia (Norte-Sur) muestran mayores diferencias entre los valores de estas variables. De esta forma los sistemas acuáticos de la Ecorregión Altiplano presentan mayores valores de pH y menores valores de oxígeno disuelto, mientras que la Ecorregión Patagonia presenta valores de pH menores y concentración de oxígeno disuelto más altas. El análisis de PCA indicó también que las variables conductividad y temperatura, aunque en menor proporción, explicarían el ordenamiento observado de los sistemas acuáticos. De esta forma, se determinó que los sistemas Ascotán y Llamara se diferencian de los restantes sistemas evaluados debido a que presentan mayores valores de temperatura, y que la Laguna Conchalí se diferencia por ser el sistema acuático con los mayores valores de conductividad.

En cuanto a la distribución de las comunidades zooplanctónicas entre los distintos sistemas acuáticos muestreados por CEA, el análisis de escalamiento multidimensional (MDS) permitió describir al sistema acuático Llamara, como el que más se diferencia de todos los restantes sistemas evaluados en términos de la composición y abundancia de sus comunidades zooplanctónicas. Asimismo, se determinó que luego de Llamara, los Sistemas Surire y Laguna Ellis son los que muestran mayores diferencias entre sus comunidades zooplanctónicas. Cabe destacar que ambos sistemas se encuentran en las Ecorregiones de agua dulce más distantes en el gradiente latitudinal, las Ecorregiones del Altiplano y de la Patagonia. No obstante lo anterior, la superposición del análisis de Cluster que se observa en la Figura 17 no permite realizar una agrupación en la que se distingan claramente los sistemas correspondientes a las Ecorregiones evaluadas, lo cual permite concluir que esta clasificación de los sistemas de agua no se ajusta a lo observado para las comunidades zooplanctónicas. Esta última deducción resulta de especial interés puesto que plantea la necesidad de reevaluar la efectividad de este tipo de herramienta para sustentar planes de conservación a distintas escalas o como un marco lógico

para las estrategias de conservación en Chile, dado que no se ajusta adecuadamente a los componentes bióticos de los sistemas acuáticos continentales.

Finalmente, el análisis BEST que relacionó a las variables ambientales con los valores de abundancia del zooplancton, identificó a las variables temperatura y pH, como aquellas que mejor explican la distribución del zooplancton observada. Estos resultados fueron apoyados por valores de correlación bajos (inferiores a 0,571) por lo que no se consideran como concluyentes. Sin embargo, y de acuerdo a los resultados observados en el presente estudio, se considera que las variables ambientales juegan un importante rol en la distribución de las comunidades zooplanctónicas y actuarían como uno de los principales factores que influyen en las diferencias latitudinales observadas. Lo anterior ya ha sido reportado anteriormente por Oyanedel *et al.* (2008), quienes intentaron encontrar patrones de distribución del fitoplancton, zooplancton y peces mediante un análisis de parsimonia de endemismos. En el trabajo mencionado los autores indicaron que la latitud corresponde al principal factor que explica la distribución del zooplancton en Chile, señalando además que este factor se encuentra asociado al clima y composición del suelo, los que determinan parcialmente la morfometría de las cuencas y sistemas lacustres, la química de las aguas y la temperatura, sin embargo su estudio no contó con información de las condiciones físicas y químicas de los sistemas acuáticos evaluados, por lo que no les fue posible probar la influencia de estas variables sobre las comunidades zooplanctónicas. De esta forma, los resultados expuestos aquí servirían para apoyar y complementar la hipótesis ya planteada por estos autores, respecto de la relación de algunas de las variables ambientales que muestran mayor variabilidad en el gradiente latitudinal encontrado a lo largo de Chile.

7 CONCLUSIONES

El presente estudio ha mostrado que las características físicas y químicas del agua muestran variaciones importantes a lo largo de un gradiente latitudinal en los sistemas lénticos de Chile continental, jugando un importante rol como factores condicionantes de la composición y estructura de las comunidades zooplanctónicas que habitan en estos. El pH y la temperatura mostraron valores más altos en la zona norte disminuyendo hacia latitudes superiores, mientras que el oxígeno disuelto presentó valores superiores hacia los sistemas acuáticos del sur de Chile.

Si bien fue posible determinar la existencia de un gradiente latitudinal para las variables ambientales evaluadas, las comunidades de zooplancton no mostraron un patrón de distribución claro con el cual sea posible identificar zonas de características particulares. Más aun, los resultados obtenidos del análisis de la composición y estructura de las comunidades zooplanctónicas no concuerdan con estudios previos llevados a cabo en Chile, en los cuales se indica como grupo dominante a los Copépodos Calanoideos. De igual forma, los análisis realizados mostraron que no existe coincidencia entre la distribución de los sistemas acuáticos continentales, determinada por la composición y abundancia de sus comunidades zooplanctónicas, y la clasificación de sistemas de agua dulce en Ecorregiones establecida para Chile según CONAMA 2010. Esto último plantea la necesidad de reevaluar la efectividad de este tipo de herramienta para sustentar planes de conservación a distintas escalas o como un marco lógico para las estrategias de conservación en Chile, dado que no se ajusta adecuadamente a los componentes bióticos de los sistemas acuáticos continentales.

Los resultados aquí obtenidos muestran como grupo dominante en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales, tanto en términos de riqueza taxonómica como en cuanto a valores de abundancia, al grupo de los Rotíferos. Lo anterior, se explica debido al escaso estudio de este grupo en la bibliografía

especializada.

Finalmente, el presente estudio determinó que las variables que explican de mejor forma la distribución del zooplancton en los sistemas lenticos de Chile corresponden al pH y temperatura, sin embargo estos resultados no se consideran como concluyentes debido a su bajo peso estadístico. No obstante los anterior, el presente estudio aporta nuevos antecedentes para tratar de comprender el rol que juegan las variables ambientales sobre las comunidades zooplanctónicas dulceacuícolas de Chile.

8 BIBLIOGRAFIA

- Abell R., Thieme M., Revenga C., Bryer M., Kottelat M., Bogutskaya N., Coad B., Mandrak N., Balderas S., Bussing W., Stiassny M., Skelton P., Allen G., Unmack P., Naseka A., Sindorf N., Robertson J., Armijo E., Higgins J., Heibel T., Wikramanayake E., Olson D., López H., Reis R., Lundberg J., Sabaj- Pérez M & Petry P. 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. *Bioscience*. 58(5): 403-414.
- Araya J. & Zúñiga L. 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. *Boletín Limnológico*, Universidad Austral de Chile 8: 1-169.
- Artigas J. 1975. Introducción al estudio por computación de las áreas zoogeográficas de Chile continental basado en la distribución de 903 especies de animales terrestres. *Gayana*. 4: 3-25.
- Bayly I. 1992. Fusion of the genera *Boeckella* and *Pseudoboeckella* (Copepoda) and revision of their species from South America and sub-Antarctic islands. *Revista Chilena de Historia Natural*. 65: 17-63.
- Campos H., Arenas J., Steffen W., Román C. & Agüero G. 1982. Limnological study of lake Ranco (Chile): Morphometry, physics and plankton. *Archiv für Hydrobiologie*, 94: 137-171.
- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1983. Limnological studies in lake Villarrica: Morphometry, physics, chemistry and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*. 71: 37-67.
- Campos H. 1984. Limnological study of Araucanian lakes (Chile). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 22: 1319-1327.
- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1987a. Limnology of lake Riñihue. *Limnologica*. 18: 339-357.
- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1987b. Estudios limnológicos en el lago Caburgua (Chile). *Gayana Botánica*, 44: 61-84.
- Campos H., Steffens W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1988. Limnological study of Lake Llanquihue (Chile). Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*. 81(1): 37-67.

- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O & Zúñiga L. 1989. Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): Morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. *Medio Ambiente*. 10: 36-53.
- Campos H., Steffens W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1990. Limnology study of lake Todos los Santos (Chile). Morphometry, Physics, Chemistry, Plankton and Primary Productivity. *Archiv für Hydrobiologie*. 117(4): 453-484.
- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1992a. Limnological study of lake Ranco (Chile). *Limnologica*. 22: 337-353.
- Campos H., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1992b. Limnological studies of lake Rupanco (Chile): Morphometry, physics, chemistry and primary productivity. *Archiv für Hydrobiologie*. 90: 85-113.
- Campos, H., Ruiz V., Gavilán J & Alay F. 1993. Peces del Río Bío-Bío. Serie Publicaciones de Divulgación EULA, Universidad de Concepción, Chile. 100 p.
- Campos H., Soto D., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1994a. Limnological studies of Lake del Toro (Chile) morphometry, physics, chemistry and plankton. *Archiv für Hydrobiologie*. 99: 199-215.
- Campos H., Soto D., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1994b. Limnological studies of Lake Sarmiento (Chile): a subsaline lake from Chilean Patagonia. *Archiv für Hydrobiologie*. 99: 217-234.
- Campos H., Soto D., Steffen W., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1996. Limnological studies of Amarga Lagoon, Chile: a saline lake in Patagonian South America. *International Journal of Salt Lake Research*. 4:301-314.
- Camus P. 2001. Biogeografía marina de Chile continental. *Revista Chilena de Historia Natural*. 74: 587-617.
- Centro de Ecología Aplicada, CEA. 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. V. 2. Informe final. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 114 p. Disponible en: <http://www.sinia.cl/1292/articles-41303_recurso_1.pdf>
- Centro de Ecología Aplicada, CEA. 2009. Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación. Informe Final. Dirección General de Agua,

Ministerio de Obras Públicas, Chile. 193 p.

- Clarke K. & Green R. 1988. Statistical design and analysis for a "biological effects" study. Marine ecology progress series. 46: 213-226.
- Clarke K. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology. 18: 117-143.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. 2010. Clasificación de cuerpos de agua. Informe Final. Disponible en < http://www.sinia.cl/1292/articles-48828_recurso_1.pdf>.
- Conde-Porcuna J, Ramos-Rodriguez E. & Morales-Baquero R. 2004. El zooplancton como integrante en la estructura trófica de los ecosistemas lenticos. Ecosistemas. 2: 1-9
- Crespo J & Baessolo L. 2002. Biogeografía y taxonomía del género *Artemia* (crustacea, anostraca) en Chile: una revisión Historia Natural (Segunda Serie). Buenos Aires. 1 (4): 17-21.
- De los Ríos P. & Contreras P. 2005. Salinity level for occurrence of calanoids copepods in shallow ponds of South American Altiplano and Chilean Patagonia. Polish Journal of Ecology. 53: 445-450
- De los Ríos P. & Crespo J. 2004. Salinity effects on the abundance of *Boeckella poopoensis* (Copepoda, Calanoida) in saline ponds of the Atacama desert, northern Chile. Crustaceana. 77: 417-423.
- De los Ríos P. & Soto D. 2005. Survival of two species of crustacean zooplankton under two chlorophyll concentrations and protection from or exposure to natural ultraviolet radiation. Crustaceana. 78: 163-169.
- De los Ríos P. & Soto D. 2007. Crustacean (Copepoda and Cladocera) zooplankton richness in Chilean Patagonian lakes. Crustaceana 80: 285-296.
- De los Ríos P. 2003. Efectos de las disponibilidades de recursos energéticos, estructurales y de protección sobre la distribución y abundancia de copépodos y cladóceros zooplanctónicos lacustres chilenos: (Doctoral Thesis, Austral University of Chile, Valdivia). 1-107.
- De Los Ríos P. 2005. Richness and distribution of zooplanktonic crustacean species in Chilean altiplanic and southern Patagonia ponds. Polish Journal of Environmental Studies. 14(6): 817-822.

- De los Ríos P. 2008. A null model for explain crustacean zooplankton species associations in central and southern Patagonian inland waters. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*. 36:25-33.
- Dirección General de Aguas, DGA. 1983. Catastro de los Principales Lagos y Lagunas de Chile. BF Ingenieros Civiles
- Domínguez P. & Zúñiga L. 1979. Perspectiva temporal de la entomostracofauna limnética de lago Ranco (Valdivia, Chile). *Noticiero Mensual del Museo de Historia Natural de Valparaíso, Chile*. 12: 53-58.
- Domínguez P. 1971. Nota sobre *Moina micrura* Kurz. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*. 3: 353-358.
- Domínguez P. 1973. Contribución al estudio de los Cladóceros Chilenos. I: Cladóceros del Lago Chungará. *Noticiero Mensual, Museo Nacional de Historia Natural, Santiago*. 17(201-202): 3-10.
- Domínguez, P. & Zúñiga L. 1976. Análisis fenológico de los cladóceros limnéticos (Crustacea: Entomostraca) de la laguna El Plateado (Valparaíso). *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*. 9: 35-44.
- Dyer B. 2000a. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estudios Oceanológicos, Chile*. 19: 77-98.
- Dyer B. 2000b. Revisión sistemática de los pejerreyes de Chile (Teleostei, Atheriniformes). *Estudios Oceanológicos, Chile*. 19: 99-127.
- Fernández M., Jaramillo E., Marquet P., Moreno C., Navarrete S., Ojeda F., Valdovinos C & Vásquez J. 2000. Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: an overview and guidelines for conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73: 797-830.
- Fernando, C. H., C. Tudorancea & S. Mengestou. 1990. Invertebrate zooplankton predator composition and diversity in tropical lentic waters. *Hidrobiología*, 198: 13-31.
- Gajardo R. 1994. *La Vegetación Natural de Chile*. CONAF. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
- Irwin M. & Schlinger E. 1986. A gazetteer for the 1966-67, University of California-Universidad de Chile arthropod expedition to Chile and parts of Argentina. *Occasional papers of the California Academy of Science*. 144: 1-11.

- Jerez V. 2000a. Diversidad y patrones de distribución geográfica de insectos coleópteros en ecosistemas desérticos de la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73: 79-92.
- Jerez V. 2000b. Microestructura coriónica en huevos de *Lysathia atrocyanea* (Phil. & Phil.) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Revista Chilena de Entomología*. 27: 71-73.
- Lancellotti D. & Vásquez J. 1999. Biogeographical patterns of benthic macroinvertebrates in the Southeastern Pacific littoral. *Journal of Biogeography*. 26:1001-1006.
- Lancellotti D. & Vásquez J. 2000. Zoogeografía de macroinvertebrados bentónicos de la costa de Chile: contribución para la conservación marina. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73:99-129.
- Loeffler H. 1961. Zur systematik und Ökologie der chilenischen Süßwasserentomofauna. *Beiträge zur Neotropischen Fauna* 2: 145-222.
- Menu-Marque S., Morrone J. & Locascio de Mitrovich C. 2000. Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Copepoda, Centropagidae): a track analysis. *Journal of Crustacean Biology*. 20: 262-272.
- Montecino V, Oyanedel JP, Vila I & Zuñiga L. 2011. Limnetic zooplankton of Chilean lakes and reservoirs: A tribute to Bernard Dussart. *Studies on Freshwater Copepoda*, 16: 367-382
- Niemeyer H. & Cereceda P. 1984. *Hidrografía. Geografía de Chile*. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 320 p.
- O'Brien C. 1971. The biogeography of Chile through entomofaunal regions. *Entomological News*. 82:197-207.
- Ojeda P. 1983. Distribución latitudinal y batimétrica de la ictiofauna demersal del extremo austral de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 56: 61-70.
- Ojeda P., Labra F & Muñoz A. 2000. Biogeographic patterns of Chilean littoral fishes. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73: 625-641.
- Ormazábal C. 1993. The conservation of biodiversity in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 383-402.
- Oyanedel A., Valdovinos C., Moya C., Azocar M., Mancilla G. & Figueroa R. 2008. Patrones de

- distribución espacial de los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Aisén. *Gayana*. 72: 241-257.
- Oyanedel P, Vega-retter C, Scott S, Hinojosa L. & Ramos-Jiliberto R. 2008. Finding patterns of distribution for freshwater phytoplankton, zooplankton and fish, by means of parsimony analysis of endemism. *Revista Chilena de Historia Natural*. 81: 185-203.
- Peña L. 1996. Introducción al estudio de los insectos de Chile. Cuarta edición. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 253p.
- Peters R., Duarte C., Kalff, J. y Peters R. 1986. Patterns in biomass and cover of aquatic macrophytes in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 43: 1900-1908.
- Pezzani-Hernandez S. 1970. Cladóceros del embalse del río Yeso (Crustacea, Cladocera). *Noticiero Mensual Museo Nacional Historia Natural Santiago de Chile*. 16 (168): 3-9.
- Quijada P. & Cáceres C. 2000. Patrones de abundancia, composición trófica y distribución espacial del ensamble de peces intermareales de la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73: 739-747.
- Ruiz R. & Bahamonde N. 1989. Cladóceros y copépodos límnicos en Chile y su distribución geográfica. Lista sistemática. Publicación ocasional Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile 45: 1-48.
- Schmid-Araya J. 1991. The effect of food concentration on the life histories of *Brachionus plicatilis* (O.F.M.) and *Encentrum linnhei* Scott. *Archiv fur Hydrobiologie*. 121: 87-102.
- Soto D. & De los Ríos P. 2006. Trophic status and conductivity as regulators in daphniid dominance and zooplankton assemblages in lakes and ponds of Torres del Paine National Park. *Biologia, Bratislava*. 61: 541-546.
- Soto D. & De los Ríos R. 2006. Influence of trophic status and conductivity on zooplankton composition in lakes and ponds of Torres del Paine National Park (Chile). *Biología Bratislava*. 61: 541-546.
- Soto D. & Zúñiga L. 1991. Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes: a comparison with North American counterparts. *Revista Chilena de Historia Natural*. 64: 569-581.
- Soto D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de historia natural*. 75(2): 377-393.

- Soto D., Campos H., Steffen W., Parra O. & Zúñiga L. 1994. The Torres del Paine lake district (Chilean Patagonia): A case of potentially N-limited lakes and ponds. *Archiv für Hydrobiologie* 99:181-197.
- Stehli R., Douglas R., & Newell N. 1969. Generation and maintenance of gradients in taxonomic diversity. *Science*. 164:947-949.
- Thomasson K. 1963. Araucanian lakes. *Acta Phytogeograph Sue.* 47: 1-139.
- Vendaño A. & Sáiz F. 1977. Taxocenosis de rotíferos limnéticos de la laguna El Plateado. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso.* 10: 121-133.
- Villalobos L. & Zúñiga L. 1991. Latitudinal gradient and morphological variability of copepods in Chile: *Boeckella gracilipes* Daday. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 24: 2834-2838.
- Villalobos L. 1994a. Distribution of *Daphnia* in high mountain and temperate lakes of South America. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie.* 25: 2400-2404.
- Villalobos L. 1994b. Zooplankton of andine temperature lakes in South-America with special emphasis on the *Daphnia* species: taxonomy, geographical distribution, ecology, and functional morphology of the filtering apparatus. Ph. D. Thesis. Univ. Konstanz, Germany. 197 p.
- Villalobos L. 1999. Determinación de capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida en la XI región. Technical report Fisheries Research Foundation-Chile.
- Villalobos L. 2002. Comparison of the filtration structures in South American *Daphnia*. *Archiv für Hydrobiologie* 154: 647-663.
- Villalobos L. 2006. Estado del conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile. *Gayana.* 70:31-39.
- Villalobos L., Parra O., Grandjean M., Jaque E., Woelfl S. & Campos H. 2003. A study of the river basins and limnology of five humic lakes on Chiloe Island. *Revista Chilena de Historia Natural.* 76:563-590.
- Villalobos L., Wöfl S., Parra O. & Campos H. 2003. Lake Chapo: A baseline of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: II. Biological properties.

- Hydrobiologia. 510: 225-237.
- Wetzel R. 1984. Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystems. Bulletin of Marine Science 35: 503-509.
- Wölfel S. 1996. Untersuchungen zur Zooplanktonstruktur einschließlich der mikrobiellen Gruppen unter besonderer Berücksichtigung der mixotrophen Ciliaten in zwei südchilenischen Andenfüßseen. Doctoral Thesis Universität Konstanz. 1-242 p.
- Zúñiga L. & Domínguez P. 1977. Observaciones sobre el zooplancton de los lagos Chilenos. Annales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile) 10: 107-120.
- Zúñiga L. & Domínguez P. 1978. Entomostracos planctónicos del lago Riñihue (Valdivia, Chile): distribución temporal de la taxocenosis. Annales del Museo de Historia Natural de Valparaíso. 11: 89-95.
- Zúñiga L. 1975. Sobre *Diaptomus diabolicus* Breh (Crustacea, Copepoda, Calanoidea). Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural Santiago de Chile. 228: 3-9.

ANEXO A- MATRICES DE PRESENCIA-AUSENCIA DE ZOOPLANCTON, REVISION BIBLIOGRÁFICA.

Tabla A-1. Listado de especies presentes en sistemas acuáticos de la Ecorregión Altiplano.

Sistema	Chungara	Miniques	Salar de Surire	Laguna Cejas	Laguna Tebenquiche	Miscanti	Salar de Capur	Seca	Gemela Este	Gemela Oeste	Santa Rosa	Frecuencia de aparición (%)
Copepoda, Calanoida												
<i>Boeckella gracilipes</i>	x											9
<i>Boeckella poopoensis</i>		x				x	x		x	x	x	55
<i>Boeckella gracilis</i>								x				9
<i>Boeckella occidentalis</i>	x											9
Copepoda, Cyclopoida												
<i>Diacyclops bisetosus</i>	x											9
<i>Mesocyclops longisetus</i>								x				9
<i>Cyclopoideo no id</i>		x				x	x				x	36
Branchiopoda, Cladocera												
<i>Daphnia sp.</i>		x				x					x	27
<i>Daphnia pulex</i>	x							x				18
<i>Ceriodaphnia dubia</i>								x				9
<i>Chydoridae sp</i>							x					9
<i>Chydorus sphaericus</i>	x							x				18
<i>Eubosmina hagmanni</i>	x											9
<i>Alona pulchella</i>		x				x					x	27
<i>Alona pulchella var. cambouei</i>	x											9
<i>Alonella excisa var. Clathratula</i>	x											9
<i>Macrothrix palearis</i>	x											9
<i>Simosa vetula</i>	x											9
Branchiopoda, Anostraca												
<i>Artemia franciscana</i>			x	x	x							27
RIQUEZA DE TAXA	10	4	1	1	1	4	3	5	1	1	4	

Tabla A-2. Listado de especies presentes en sistemas acuáticos de la Ecorregión Mediterránea.

Sistema	Aculeo	Rungue	Catapilco	Inca	Negra	Orozco	Peñuelas	Peral	Plateado	Rapel	Yeso	Lanalhue	Lieu-Lieu	Pirihueico	Puyehue	Frecuencia de aparición (%)
Copepoda, Calanoida																
<i>Boeckella gracilipes</i>				x	x						x			x		24
<i>Boeckella gracilis</i>					x											6
<i>Boeckella bergi</i>	x															6
<i>Boeckella erubescens</i>											x					6
<i>Boeckella gibbosa</i>					x											6
<i>Diaptomus diabolicus</i>	x		x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	71
Copepoda, Cyclopoida																
<i>Acantocyclops vernalis</i>														x		6
<i>Eucyclops macrurus</i>								x								6
<i>Eucyclops serrulatus</i>	x			x												12
<i>Mesocyclops longisetus</i>					x				x			x	x	x	x	41
<i>Metacyclops mendocinus</i>		x	x				x			x						24
<i>Microcyclops anceps</i>					x			x								12
<i>Paracyclops fimbriatus chiltoni</i>							x									6
<i>Tropocyclops prasinus</i>																12
<i>Tropocyclops prasinus meridionalis</i>		x				x	x				x	x	x	x	x	47
Branchiopoda, Cladocera																
<i>Daphnia ambigua</i>					x	x	x		x	x	x	x		x	x	53
<i>Daphnia pulex</i>				x										x		12
<i>Diaphanosoma chilense</i>			x		x	x			x	x				x		53
<i>Camptocercus rectirostris</i>	x			x										x	x	12
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	71
<i>Bosmina longirostris</i>									x							6
<i>Chydorus sphaericus</i>	x				x		x	x	x	x						41
<i>Eubosmina hagdmani</i>	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	76
<i>Iliocryptus spinifer</i>					x	x		x								18
<i>Alona pulchella</i> var. <i>cambouei</i>					x		x	x								24
<i>Alona guttata</i>												x				6
<i>Leydigia leydigi</i>						x										12
<i>Macrothrix hirsuticornis</i>								x								6
<i>Macrothrix inflata</i>						x										6

Sistema	Aculeo	Rungue	Catapilco	Inca	Negra	Orozco	Peñuelas	Peral	Plateado	Rapel	Yeso	Lanalhue	Lleu-Lleu	Pirihueico	Puyehue	Frecuencia de aparición (%)
<i>Macrothrix laticornis</i>								x								6
<i>Macrothrix odontocephala</i>				x												6
<i>Moina micrura</i>		x				x	x			x	x	x				35
<i>Pleuroxus scopulifer</i>	x										x					12
<i>Simosa exspinosa</i>							x	x								12
<i>Simosa serrulata</i>							x									6
<i>Latonopsis occidentalis</i>								x								6
Rotifera																
<i>Anuraeopsis navicula</i>		x	x			x	x									24
<i>Asplachna brightwelli</i>			x			x										12
<i>Brachiomus calyciflorus</i>		x				x				x		x				24
<i>Brachiomus caudatus</i> f. <i>austrogenitus</i>						x										6
<i>Brachiomus havanaensis</i>										x						6
<i>Cephalodella gibba</i>				x												6
<i>Conochilus dossuiai</i> var. <i>coenobasis</i>															x	6
<i>Conochilus unicornnis</i>						x	x		x	x		x	x		x	41
<i>Collotheca mutabilis</i>	x															6
<i>Collotheca pelagica pelagica</i>							x			x		x			x	24
<i>Collotheca pelagica</i>															x	6
<i>Filina longiseta</i>				x					x	x		x	x			29
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tecta</i> f. <i>typica</i>															x	6
<i>Keratella cochlearis</i> f. <i>tecta</i>	x		x			x	x					x			x	35
<i>Keratella cochlearis</i>	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x				59
<i>Keratella gracilentia</i>			x	x					x			x	x			29
<i>Keratella valga</i>		x	x	x			x	x	x	x						41
<i>Lepadella ovalis</i>			x	x				x		x						24
<i>Lecane luna</i>		x		x				x								18
<i>Monostyla bulla</i>						x	x	x								18
<i>Monostyla lunaris</i>		x					x	x								18
<i>Monostyla quadridentata</i>							x	x								12
<i>Pompholix complanata</i>		x				x	x			x		x				29
<i>Pompholix sulcata</i>						x	x			x		x				24

Sistema	Aculeo	Rungue	Catapilco	Inca	Negra	Orozo	Peñuelas	Peral	Plateado	Rapel	Yeso	Lanahue	Lleu-Lleu	Pirihueico	Puyehue	Frecuencia de aparición (%)
<i>Platyas quadricornis</i>							x	x								12
<i>Polyarthra cf. vulgaris</i>										x						6
<i>Polyarthra vulgaris</i>												x	x			12
<i>Polyarthra dolichoptera dolichoptera</i>															x	6
<i>Polyarthra dolichoptera</i>		x					x				x				x	24
<i>Trichocerca similis</i>	x															6
<i>Trichocerca sp.</i>															x	6
<i>Trichotria pucillum</i>				x						x						12
<i>Synchaeta stylata</i>							x									6
<i>Hexarthra fennica</i>				x								x				12
RIQUEZA DE TAXA	12	12	10	13	9	19	30	17	14	21	12	19	10	11	17	

Tabla A-3. Listado de especies presentes en sistemas acuáticos de la Ecorregión Lagos Valdivianos.

Sistema	Bella	Caburga	Del Risco	Huilipilun	Los Pastos	Negrita	Pellaifa	Quillehue	Vaca Hundida	Villarrica	Bonita	Calafquen	Chapo	De los Patos	Llanquihue	Neltume	Panguipulli	Pichilafquen	Ranco	Riñihue	Rio Chico	Rupanco	Todos los Santos	Natri	Tepuhueico	Tarahuin	Huilinco	Cucao	Frecuencia de aparición (%)
Copepoda, Calanoida																													
<i>Boeckella gracilipes</i>									x			x	x		x	x	x		x	x		x	x	x	x	x			
<i>Boeckella poppei</i>																													46
<i>Boeckella gracilis</i>	x		x		x	x			x					x							x								4
<i>Diaptomus diabolicus</i>														x							x								25
Copepoda, Cyclopoida																													36
<i>Acantocyclops vernalis</i>																													
<i>Eucyclops serrulatus</i>													x																4
<i>Mesocyclops longisetus</i>		x	x		x	x			x		x			x	x						x								4
<i>Microcyclops sp</i>														x								x	x	x	x	x	x		61
<i>Tropocyclops prasinus</i>									x					x							x								4
<i>Tropocyclops prasinus meridionalis</i>		x							x		x				x						x	x	x	x	x	x	x		43
Branchiopoda, Cladocera																													25
<i>Daphnia ambigua</i>		x							x		x																		
<i>Daphnia dadayana</i>															x	x			x	x									25
<i>Daphnia pulex</i>																					x								4
<i>Diaphanosoma chilense</i>	x	x			x				x	x		x	x	x								x				x			21
<i>Ceriodaphnia dubia</i>		x	x		x	x			x	x						x				x	x				x	x			50
<i>Neobosmina chilense</i>																x					x			x		x			50
													x																4

Sistema	Bella	Caburga	Del Risco	Huillipitun	Los Pastos	Negrita	Pellafra	Quillehue	Vaca Hundida	Villarica	Bonta	Calafquen	Chapo	De los Patos	Languihue	Netume	Panguipulli	Pichilafquen	Ranco	Riñihue	Rio Chico	Rupanco	Todos los Santos	Natri	Tepuhueico	Tarahuin	Huillimco	Cucao	Frecuencia de Aparición (%)	
<i>Bosmina chilensis</i>																														
<i>Chydorus sphaericus</i>						x														x									14	
<i>Eubosmina hagdmani</i>	x																												18	
<i>Scapholeberis spinifera</i>	x																												36	
Rotifera																													21	
<i>Anuraeopsis fissa</i>																														
<i>Ascomorpha</i> sp																														4
<i>Ascomorpha ovalis</i>																														4
<i>Brachionus calyciflorus</i>																														4
<i>Cephalodella</i> sp																														7
<i>Conochilus unicormis</i>																														4
<i>Collotheca libera</i>																														54
<i>Collotheca mutabilis</i>																														7
<i>Collotheca pelagica pelagica</i>																														4
<i>Collotheca pelagica</i>																														14
<i>Euchlanis dilatata</i>																														14
<i>Filina longiseta</i>																														7
<i>Keratella cochlearis cochlearis</i>																														32
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tropica</i>																														11
<i>Keratella cochlearis</i> f. <i>tecta</i>																														11
<i>Keratella quadrata</i>																														29
																														7

Sistema	Bella	Caburga	Del Risco	Huñipilun	Los Pastos	Negrita	Pellafía	Quillehue	Vaca Hundida	Villarica	Bonita	Calafquen	Chapo	De los Patos	Lanquihue	Netume	Panguipulli	Pichilafquen	Ranco	Riñihue	Rio Chico	Rupanco	Todos los Santos	Natri	Tepuhueico	Tarahuin	Huñilmo	Cucao	Frecuencia de aparición (%)
<i>Keratella americana</i>							x	x		x	x	x			x		x		x	x		x	x						4
<i>Keratella cochlearis</i>				x							x									x									61
<i>Keratella gracilentia</i>																													4
<i>Lepadella ovalis</i>										x																			4
<i>Lecane luna</i>																													4
<i>Monostyla bulla</i>						x									x									x					18
<i>Monostyla lunaris</i>						x			x						x									x					11
<i>Pompholix sulcata</i>									x		x				x														14
<i>Polyarthra vulgaris vulgaris</i>																							x						18
<i>Polyarthra vulgaris</i>				x			x																						4
<i>Polyarthra dolichoptera dolichoptera</i>																													46
<i>Polyarthra dolichoptera</i>																													4
<i>Trichoerca porcellus porcellus</i>																													11
<i>Trichoerca porcellus</i>																													11
<i>Trichoerca similis similis</i>																													7
<i>Trichoerca similis</i>																													7
<i>Trichotria pucillum</i>																													14
<i>Synchaeta longipes</i>																													4
<i>Synchaeta stylata</i>									x																				7
<i>Synchaeta oblonga</i>																													11
<i>Synchaeta pectinata</i>																													4
																													29

Sistema					
Sistema	<i>Hexarthra feminea</i>				
	<i>Bdelloidea gen sp</i>				
	RIQUEZA DE TAXA				
		2			
		7			
		3			
		6			
		4			
		5			
		6			
		4			
		4			
		4			
		20	x		
		4			
		15			
		6			
		4			
		27	x		
		7			
		12			
	10				
	18				
	16				
	3				
	22	x			
	18	x			
	11				
	14	x			
	14				
	14	x			
	14	x			
	10	x			
	7	21			

