

UCH-FC  
B. Ambiental  
M722  
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECOLOGICAS

# MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS ELQUI Y CACHAPOAL.

Seminario de Título entregado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile  
en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título Profesional de

**BIÓLOGO CON MENCIÓN EN MEDIO AMBIENTE**

***KARINA SOLEDAD DONOSO FERNÁNDEZ***

**Directora:** Ximena Molina Paredes  
**Co-directora:** Irma Vila Pinto



Santiago de Chile, 2006.



**“MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y LA EVALUACIÓN  
DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS ELQUI Y  
CACHAPOAL”**

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

***KARINA SOLEDAD DONOSO FERNÁNDEZ***

*M.sc. Ximena Molina Paredes*  
**Directora Seminario de Título**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ximena', written over a horizontal line.

*M.sc. Irma Vila Pinto*  
**Co-Directora Seminario de Título**

**Comisión de Evaluación Seminario de Título**

*Dr. Rodrigo Ramos Jiliberto*  
**Presidente Comisión**

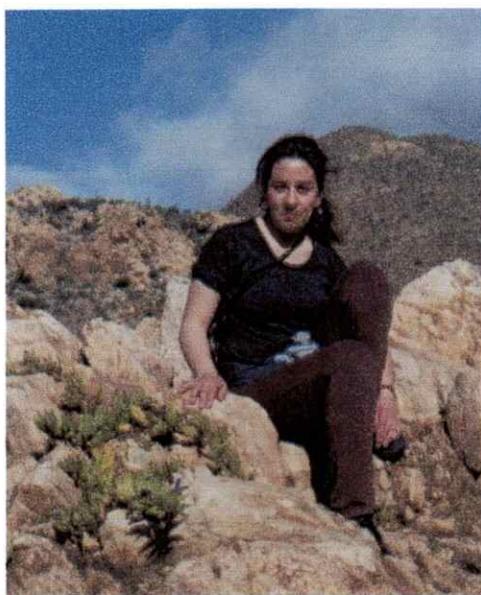
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rodrigo', written over a horizontal line.



*Dr. Manuel Contreras Leiva*  
**Corrector**

A large, complex handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line.

Santiago de Chile, 09 de enero de 2007



*“Nací en Chile, en la Ciudad de Santiago, en donde desde pequeña visitaba sitios que conservan una belleza natural, en los cuales comencé a descubrir mi amor por las ciencias naturales, y mi necesidad de estar cerca de ellos. Cuando escogí esta carrera, fue con la convicción de enseñar a otros lo aprendido y de aportar en el cuidado del medio ambiente, y de poder continuar admirando los paisajes hermosos de mi país. ....*

*El poder generar instancias para que niños y adultos logren disfrutar de corazón la maravilla que nos rodea en nuestro país y que yo he tenido la gracia de conocer.*

*El acercar el mundo científico a lo cotidiano, a la comprensión de toda la comunidad, que es una de nuestras mejores herramientas para lograr la conservación biológica. ...*

*Si bien todo esto es parte de mi sueño, siento que voy por el camino correcto y dispuesta a seguir luchando por ello.”*

*A mis padres Margarita y Julio,  
A mis Hermanas.  
A mi sobrina Trinidad,  
que me inspira con su  
descubrimiento del mundo  
y su amor incondicional.*

*Gracias.*



*"La vida es un paso cada día, en el cual se aprende  
a observar cada detalle, sin olvidar el todo,  
eso es lo que inspira mi búsqueda."*



## Agradecimientos

*En primer lugar, les agradezco a mi familia por su apoyo en todo el transcurso de mis estudios, por entender mi amor por la naturaleza y por la biología, por darme ánimos en los momentos en que quise renunciar a este sueño. Gracias Mami por haberme entregado valores que para mi son intransables y por darme la fuerza que a veces me falta, por ser una luchadora y por mostrarme que lo realmente importante son las cosas simples y las que vienen del alma. A ti Papá, por mostrarme desde pequeña la naturaleza, por agudizar mis sentidos en la observación y por hacer que un simple paseo al cerro fuera una aventura.*

*A mis hermanas, a ti Denise por ser mi yunta desde pequeña y por ayudarme a ver las cosas más simples, espero que algún día podamos trabajar en algo juntas. Julie, por ser mi consejera y calmar mi impulsividad, por recordarme que es necesario ver las cosas desde una perspectiva distinta y por regalarme a esa sobrinita preciosa.*

*A mi tutora Ximena Molina, por la oportunidad de participar en el proyecto SAG, por sus consejos en la corrección de esta tesis y por contribuir a mi descubrimiento de la Limnología.*

*Al proyecto SAG N° C3-73-N-42 "Desarrollo de un modelo para el uso de bioindicadores y bioensayos como medida de la condición biológica de un cuerpo de agua", ejecutado por el laboratorio de bioensayos del CENMA, por financiar parte de mi tesis.*

*Agradezco en especial a la profesora Irma Vila, por todo el apoyo recibido en todo este tiempo, por atender siempre a todas mis dudas e inquietudes, por su sencillez frente a sus años de experiencia, y por confirmarme con hechos que se debe tener amor, pasión y disfrutar lo que se elige en la vida como profesión. Por ser un modelo a seguir.....y por ser como una Madre, por su preocupación incluso en lo personal, por ser una persona íntegra y por enseñarme más allá de lo profesional.....Gracias Madame.*

*A los profesores pertenecientes a mi comisión, Rodrigo Ramos y Manuel Contreras por sus valiosas correcciones y consejos.*

*A Rodrigo Pardo, por su ayuda en la parte estadística, y por sus innumerables consejos en el texto y resultados de este seminario de título.*

*A todos los integrantes del laboratorio de Limnología: Catalina, Pato, Sergio, Adriana, etc., por su acogida y consejos varios. A ti Martita un millón de gracias por la ayuda prestada en todo orden de cosas desde recados a las profesoras hasta la ayuda en compaginación de esta tesis.*

*A mis amigas de toda una vida Pao, Fabi, Alejandra, Arabella, gracias por todo, por seguir acompañándonos y por lo enseñado a través de los años. A los más recientes, que han sido importantes en la finalización de esta tesis: Carmen, Nano, Leti, etc. A todos aquellos que han contribuido en lo que soy hasta hoy, independiente del tiempo en que estuvimos caminando juntos, que con sus críticas, sus vivencias, sus hechos y/o con sus sugerencias de vida, hicieron que me planteará la vida de otra forma. Finalmente, le doy gracias a Dios por observar mi vida y ayudarme a ver quien soy y soy capaz de hacer, por haberlos puesto a todos ustedes en mi camino o por que me haya puesto en los suyos, según como se mire.*

*Porque me puedo considerar feliz pesé a todas las cosas, que han pasado o están pasando en mi vida.*



# Índice de contenidos



	Página
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
Lista de abreviaturas.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xv
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1. Macroinvertebrados bentónicos.....	4
1.2. Utilización de índices bióticos a nivel mundial y en Chile.....	5
1.3. Antecedentes de los ríos Chilenos.....	7
1.4. Hipótesis.....	8
1.5. Objetivos.....	9
1.5.1. Objetivo general.....	9
1.5.2. Objetivos específicos.....	9
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
2.1. Área de Estudio.....	10
2.1.1. Cuenca del Río Elqui.....	10
2.1.2. Cuenca del Río Cachapoal.....	11
2.2. Metodología.....	13
2.2.1. Determinación de los sitios de muestreo.....	13
2.2.2. Muestreo de las Cuencas hidrográficas.....	13
2.2.3. Muestreos de las variables Físicas y Químicas.....	18
2.2.3.1. Medición de Variables Físicas y Químicas <i>in situ</i> .....	18
2.2.3.2. Metodología de Toma de Muestras para componentes Químicos.....	18
2.2.3.3. Muestreo de Fósforo y Nitrógeno total.....	18
2.2.4. Muestreos biológicos de Macroinvertebrados bentónicos.....	19

2.2.5. Determinación de las variables Físicas y Químicas.....	19
2.2.6. Determinación de las variables Biológicas (Macroinvertebrados bentónicos).....	19
<b>2.3 Análisis de datos.....</b>	<b>21</b>
2.3.1. Análisis de variables físicas y químicas.....	21
2.3.2. Análisis de los parámetros biológicos.....	21
2.3.2.1. Abundancia de Familias de macroinvertebrados bentónicos.....	22
2.3.2.2. Índices biológicos cuantitativos.....	23
2.3.2.3. Índices biológicos cualitativos.....	24
2.3.2.3.1. Índice Biótico de Familia ( <i>ChIBF</i> ).....	25
2.3.2.3.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT).....	26
2.3.2.3.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col.).....	27
2.3.2.3.4. Biological Monitoring Working Party para Chile ( <i>ChBMWP</i> ).....	27
2.3.2.4. Índices biológicos cuantitativos en los sitios de muestreo.....	28
2.3.3. Relación entre los parámetros biológicos, y las variables físicas y químicas.....	28
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Río Elqui.....</b>	<b>29</b>
3.1.1. Variables físicas y químicas en los sitios de muestreo.....	29
3.1.2. Clasificación del estado trófico del río Elqui en relación con valores de Nitrógeno y Fósforo.....	32
3.1.3. Parámetros biológicos: Macroinvertebrados bentónicos.....	33
3.1.3.1. Composición Taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.....	33
3.1.3.2. Abundancia total de familias de Macroinvertebrados bentónicos.....	34
3.1.3.3. Abundancia de cada una de las Familias de macroinvertebrados bentónicos.....	35
3.1.4. Índices biológicos cuantitativos.....	36
3.1.5. Índices biológicos cualitativos.....	40
3.1.5.1. Índice Biótico de Familia ( <i>ChIBF</i> ).....	40
3.1.5.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT).....	40
3.1.5.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col.).....	40
3.1.5.4. Biological Monitoring Working Party para Chile ( <i>ChBMWP</i> ).....	41
3.1.6. Relación entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.....	42
3.1.6.1. Relación entre la abundancia poblacional de Familias de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas.....	42

3.1.6.2. Relación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas.....	46
3.1.6.3. Relación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas .....	49
<b>3.2. Río Cachapoal.....</b>	<b>50</b>
3.2.1. Variables físicas y químicas en los sitios de muestreo.....	50
3.2.2. Clasificación del estado trófico del río Cachapoal en relación con valores de Nitrógeno y Fósforo.....	53
3.2.3. Parámetros biológicos: Macroinvertebrados bentónicos.....	54
3.2.3.1. Composición Taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.....	54
3.2.3.2. Abundancia total de Familias de Macroinvertebrados bentónicos.....	55
3.2.3.3. Abundancia de cada una de las Familias de macroinvertebrados bentónicos.....	56
3.2.4. Índices biológicos cuantitativos.....	57
3.2.5. Índices biológicos cualitativos.....	60
3.2.5.1. Índice Biótico de Familia ( <i>ChIBF</i> ).....	60
3.2.5.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera ( <i>EPT</i> ).....	60
3.2.5.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia ( <i>BMWP/Col</i> ).....	61
3.2.5.4. Biological Monitoring Working Party para Chile ( <i>ChBMWP</i> ).....	61
3.2.6. Relación entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas .....	62
3.2.6.1. Relación entre la abundancia poblacional de Familias de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas.....	62
3.2.6.2. Relación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas.....	66
3.2.6.3. Relación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas .....	69
<b>4. DISCUSION.....</b>	<b>70</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>86</b>





## Índice de tablas

	Página
<b>Tabla 1.</b> Principales Características de la Cuenca del Río Elqui, IV región	12
<b>Tabla 2.</b> Principales Características de la Cuenca del Río Cachapoal, VI región.	12
<b>Tabla 3.</b> Localización de sitios de muestreo de la hoya del Río Elqui, en Coordenadas UTM.	14
<b>Tabla 4.</b> Localización de sitios de muestreo de la hoya del Río Cachapoal, en Coordenadas UTM.	15
<b>Tabla 5.</b> Variables físicas y químicas medidas <i>in situ</i> en terreno e instrumentos utilizados, para los lugares de estudio.	18
<b>Tabla 6.</b> Metodología de determinación de las variables físicas y químicas, para los ríos Elqui y Cachapoal.	20
<b>Tabla 7.</b> Calidad de agua del <i>ChIBF</i> , basado en la reducción de valores a 5 clases de calidad (Figueroa, 2004).	26
<b>Tabla 8.</b> Calidad de agua para EPT (Carrera & Fierro, 2001).	27
<b>Tabla 9.</b> Clases de calidad de agua, valores para BMWP/Col y <i>ChBMWP</i> , significado y colores para representaciones cartográficas.	27
<b>Tabla 10.</b> Variables físicas y químicas obtenidas en el Río Elqui, (Mayo, 2004).	30
<b>Tabla 11.</b> Evaluación del estado trófico para Nitrógeno y Fósforo en el Río Elqui.	32
<b>Tabla 12.</b> Composición Taxonómica de Macroinvertebrados bentónicos (Clase: Insecta) de los diferentes sitios de muestreo del Río Elqui (Mayo, 2004). La X indica presencia del taxa en el sitio.	33
<b>Tabla 13.</b> Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Elqui.	34
<b>Tabla 14.</b> Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la riqueza e índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Elqui.	38
<b>Tabla 15.</b> Valores y Clases de calidad del agua de los índices cualitativos: <i>ChIBF</i> , EPT, BMWP/Col. y <i>ChBMWP</i> obtenidos en el Río Elqui. Las siglas son: MB: Muy buena; B: Buena; D: Dudosa; R: Regular; C: Crítica.	41
<b>Tabla 16.</b> Correlación entre las familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Elqui y las variables físicas y químicas (N=36; $p < 0,05$ ).	44
<b>Tabla 17.</b> Correlación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas, para el río Elqui (N= 36; $p < 0,05$ ).	47
<b>Tabla 18.</b> Correlación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas, para el río Elqui (N=6; $p < 0,05$ ).	49

	Página
<b>Tabla 19.</b> Variables físicas y químicas obtenidas en el Río Cachapoal (Marzo, 2004).	51
<b>Tabla 20.</b> Evaluación del estado trófico para Nitrógeno y Fósforo en el Río Cachapoal.	53
<b>Tabla 21.</b> Composición Taxonómica de Macroinvertebrados bentónicos (Clase: Insecta) de los distintos sitios de muestreo del Río Cachapoal (Marzo, 2004). La letra X, indica presencia del taxa en el sitio.	54
<b>Tabla 22.</b> Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.	55
<b>Tabla 23.</b> Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la riqueza e índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.	58
<b>Tabla 24.</b> Valores y Clases de calidad del agua de los índices cualitativos: <i>ChIBF</i> , <i>EPT</i> , <i>BMWP/Col.</i> y <i>ChBMWP</i> , obtenidos en el Río Cachapoal. Las siglas son: MB: Muy buena; B: Buena; MC: Muy crítica.	61
<b>Tabla 25.</b> Correlación entre las familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Cachapoal y las variables físicas y químicas (N=42; p<0,05).	64
<b>Tabla 26.</b> Correlación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas, para el río Cachapoal (N=42; p<0,05).	67
<b>Tabla 27.</b> Correlación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas, para el río Cachapoal (N=7; p<0,05).	69



## Índice de figuras



	Página
<b>Figura 1.</b> Cuenca hidrográfica del Río Elqui.	14
<b>Figura 2.</b> Cuenca hidrográfica del Río Cachapoal.	15
<b>Figura 3.</b> Fotos de los sitios de muestreo del río Elqui: a) S 1: Río Claro, b) S 2: Río Cochiguaz, c) S 3: Río Turbio (Varillar), d) S 4: Río Elqui (El Tambo), e) S 5: Río Elqui, f) S 6: Puente Altovalsol.	16
<b>Figura 4.</b> Fotos de los sitios de muestreo del río Cachapoal: a) S 1: Río Pangal, b) S 2: Río Cachapoal (Antes Río Coya), c) S 3: Río Cachapoal (Después Río Claro), d) S 4: Río Cachapoal (Sector Coinco), e) S 5: Río Cachapoal (Sector Coltauco), f) S 6: Río Cachapoal (Sector Peumo), g) S 7: Río Cachapoal (Sector Las Cabras).	17
<b>Figura 5.</b> Gráfico de abundancia total de Familias de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo del río Elqui. Las letras representan diferencias significativas o similitudes entre sitios (N= 36, $\alpha=0,05$ ).	34
<b>Figura 6.</b> Abundancia relativa de cada una de las Familias y abundancia total de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada sitio de muestreo, del río Elqui (Mayo 2004).	35
<b>Figura 7.</b> Gráfico de riqueza en los sitios de muestreo del río Elqui.	36
<b>Figura 8.</b> Gráficos de índices de diversidad y equidad del río Elqui: a) Índice de Brillouin, b) Equidad de Brillouin, c) Índice de Shannon-Wiener, d) Equidad de Shannon-Wiener, e) Índice de Simpson, f) Equidad de Simpson, g) Índice de Simpson insesgado y h) Equidad de Simpson insesgado.	38
<b>Figura 9.</b> Gráfico de abundancia total de Familias de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo del río Cachapoal. Las letras representan diferencias significativas o similitudes entre sitios (N=42, $\alpha=0,05$ ).	55
<b>Figura 10.</b> Abundancia relativa de cada una de las Familias y abundancia total de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada sitio de muestreo, del río Cachapoal (Marzo 2004).	56
<b>Figura 11.</b> Gráfico de riqueza en los sitios de muestreo del río Cachapoal.	57
<b>Figura 12.</b> Gráficos de índices de diversidad y equidad del río Cachapoal: a) Índice de Brillouin, b) Equidad de Brillouin, c) Índice de Shannon-Wiener, d) Equidad de Shannon-Wiener, e) Índice de Simpson, f) Equidad de Simpson, g) Índice de Simpson insesgado y h) Equidad de Simpson insesgado.	59

# Índice de Anexos



	Página
<b>7.1. Anexo 1</b>	86
Descripción ambiental de los sitios de muestreo de los lugares de estudio.	
<b>Tabla 1.1.</b> Descripción ambiental de la Cuenca del Río Elqui, en base a los antecedentes recopilados y las observaciones de terreno.	86
<b>Tabla 1.2.</b> Descripción ambiental de la Cuenca del Río Cachapoal, en base a los antecedentes recopilados y las observaciones de terreno.	86
<b>7.2. Anexo 2</b>	87
Estado trófico de los sistemas acuáticos	
<b>Tabla 2.1.</b> Características promedio de ríos en sus diferentes estados tróficos para Nitrógeno y Fósforo total (Dodds <i>et al.</i> , 1998 en Smith <i>et al.</i> , 1999).	87
<b>7.3. Anexo 3</b>	87
Índices biológicos cualitativos.	
<b>Tabla 3.1.</b> Ficha de registro de macroinvertebrados utilizada para el cálculo del <i>ChIBF</i> .	87
<b>Tabla 3.2.</b> Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas, para ríos de Chile mediterráneo <i>ChIBF</i> (Tabla modificada de Hauer & Lamberti, 1996).	88
<b>Tabla 3.3.</b> Hoja de campo para cálculo de EPT (Carrera & Fierro, 2001).	89
<b>Tabla 3.4.</b> Valores de tolerancia de las Familias de macroinvertebrados bentónicos para el índice BMWP/Col.	89
<b>Tabla 3.5.</b> Valores de tolerancias para <i>ChBMWP</i> , asignados a las diferentes Familias de macroinvertebrados acuáticos para ríos de Chile mediterráneo (Modificado de Alba-Tercedor, 1996).	90
<b>7.4. Anexo 4</b>	91
Norma secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales.	
<b>Tabla 4.1.</b> Clasificación de las variables físicas y químicas según las clases de calidad establecidas por la Norma secundaria de Calidad Ambiental de ACS, del Río Elqui (Mayo, 2004).	91
<b>Tabla 4.2.</b> Clasificación de las variables físicas y químicas, según las clases de calidad establecidas por la Norma secundaria de Calidad Ambiental de ACS, del Río Cachapoal (Marzo, 2004).	93

## Lista de Abreviaturas

ACS	Aguas Continentales Superficiales.
BMWP	Biological Monitoring Working Party.
BMWP'	Biological Monitoring Working Party adaptado a la Península Ibérica.
BMWP/Col.	Biological Monitoring Working Party para Colombia.
CENMA	Centro Nacional del Medio Ambiente.
C/ BMWP	Biological Monitoring Working Party para Chile.
C/IBF	Índice biótico de Familia para Chile.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DGA	Dirección General de Aguas
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente.
2,4-D	Ácido 2,4 diclorofenoxiacético.
EPA	Environmental Protection Agency
EPT	Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
HAP's	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.
IBF	Índice Biótico de Familia.
IGM	Instituto Geográfico Militar
ISO	International Organization for Standardization.
Km.	Kilómetros.
LD	Límite de Detección.
Ltda.	Limitada
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
NCh	Norma Chilena.
ND	No Detectado.
NH <sub>4</sub>	Amonio
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
PCB's	Bifenilos Policlorados
P-PO <sub>4</sub>	Fósforo orgánico
RAS	Razón de adsorción de sodio
S	Sitio de Muestreo
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SAAM	Surfactantes Aniónicos (Detergentes).
WGS 84	World Geodetic System Datum de 1984

## Resumen

Las especies en general, tienen requerimientos específicos a nivel físico, químico, de estructura del hábitat e interactúan con otras especies, ellas responden a determinados rangos de condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir, crecer y reproducirse. Basado en la estrecha relación entre los componentes biológicos y físicos y químicos se han utilizado organismos como bioindicadores de la calidad del agua. Esto, lleva a proponer que estas asociaciones pueden determinar el estado de la calidad del agua de los ríos Chilenos Elqui y Cachapoal.

Se seleccionaron seis segmentos del río Elqui y siete del Cachapoal, determinándose un conjunto de variables físicas, químicas y de macroinvertebrados bentónicos. Con esta información se calcularon los índices biológicos cuantitativos (Riqueza, índices de Brillouin, Shannon-Wiener, Simpson y Simpson insesgado y sus respectivas equidades) y los cualitativos (*ChIBF*, EPT, *BMWP/Col.* y *ChBMWP*). Se establecieron correlaciones entre las variables biológicas con las variables físicas y químicas.

Los resultados de correlaciones entre abundancia de Familia de insectos y las variables físicas y químicas mostraron que para ambos ríos la abundancia de las Familias Leptophlebiidae y Baetidae pueden ser posiblemente utilizadas como indicadoras de buena y regular calidad de aguas, respectivamente. En el río Elqui, la abundancia de las familias Elmidae, Hydrobiosidae, Simuliidae y Corydalidae mostraron ser afectadas por la contaminación orgánica. Por otra parte, en la zona rítrónica del río Cachapoal, la abundancia de la familia Gripopterygiidae podría considerarse como indicadora de buena calidad del agua. En ambos ríos, la Riqueza a nivel de Familia resultó ser sensible a las variables físicas y químicas utilizadas en la evaluación de la calidad de las aguas en los sistemas límnicos. Respecto a los índices bióticos los mejores indicadores de la calidad del agua, fueron el *ChIBF* y *ChBMWP*.

Finalmente, los *macroinvertebrados bentónicos* permitirían evaluar en forma integral la calidad de las aguas de los ríos Elqui y Cachapoal, siendo una buena herramienta para visualizar el estado de estos ecosistemas fluviales.

## Abstract

In general the species possess certain limits of environmental conditions among which the organisms can survive, grow and reproduce. These particular requirements, in terms of physical, chemical, structure of the habitats and relationships with other species, that produce a narrow relationship between biological components and environment quality, for that, biological communities commonly are used as bioindicators of environmental quality. This work intends to demonstrate that macroinvertebrate communities can determine the water quality of the Chilean rivers Elqui and Cachapoal.

Six segments of the Elqui River and seven of the Cachapoal River were selected, in each one, physical and chemical variables were determined and six quantitative samples of benthic macroinvertebrates were obtained. With this information the quantitative (Wealth, indexes of Brillouin, Shannon-Wiener, Simpson and unbiased Simpson and their respective evenness) and the qualitative (ChIBF, EPT, BMWP/Col. and ChBMWP) biological indexes were calculated. Finally, biological variables were correlated with physical and chemical variables.

The results of correlations between abundance of Family of insects and the physical and chemical variables showed that for both rivers the abundance of the Families Leptophlebiidae and Baetidae can be possibly used as bioindicator of good and medium water quality, respectively. In Elqui River, the abundance of the families Elmidae, Hydrobiosidae, Simuliidae and Corydalidae showed to be affected by the organic contamination. On the other hand, in the rithronic area of the river Cachapoal, the abundance of the family Gripopterygiidae could be considered as indicative of good quality of the water. In both rivers, Family Richness was sensitive to physical and chemical variables used in the evaluation of water quality in these

fluvial systems. Also, the biotic index as ChIBF and ChBMWP were good indicators of water quality.

Finally, the benthic macroinvertebrates would help to evaluate in a more integrative form the water quality of Elqui and Cachapoal Rivers, being a good tool to monitoring these fluvial ecosystems.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los componentes biológicos son afectados por alteraciones en la calidad del agua, por lo que son comúnmente utilizados como indicadores de estos cambios. En general el *concepto de especie indicadora*, se define como: "*especie (o conjunto de especies) que tienen un particular requerimiento en relación de variables físicas o químicas, tales que los cambios en la presencia/ausencia, número, morfología, fisiología o de comportamiento de esas especies indican que las variables físicas o químicas consideradas, están por fuera de los límites acostumbrados o normales*" (Rosenberg & Resh, 1993).

Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat e interactúan con otras especies. Cada especie o población posee determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir, crecer y reproducirse. En general, cuando más estenoica sea la especie en cuestión, es decir, cuando más estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico (Hilsenhoff, 1988; Hellowell, 1986; Jara *et. al.*, 2002). La presencia de una especie en abundancia significa que sus requerimientos están siendo cumplidos, por el contrario la ausencia de una especie no indica, necesariamente que los factores ambientales críticos no han sido reunidos (Jara *et. al.*, 2002).

Las alteraciones de la calidad del agua no modifican de forma inmediata a la fauna, los organismos son capaces de acumular y biomagnificar sustancias tóxicas en sus tejidos, de tal forma que pueden reflejar alteraciones acumuladas del medio que habitan. Sin embargo, muchos organismos continúan viviendo en ambientes alterados, a cambio de experimentar estrés fisiológico que se evidencia con la disminución de las tasas de crecimiento, capacidad

reproductiva y finalmente en las abundancias, lo cual permitiría precisar los cambios en la calidad de su hábitat. Según su sensibilidad a la contaminación orgánica se clasifican especies como *intolerantes*, *facultativas*, o *tolerantes*. Debe destacarse que, el término bioindicador se usa principalmente en este sentido para los ambientes acuáticos, siendo un indicador que muestra la existencia de condiciones que son complejas de interpretar y resultan de múltiples factores difíciles de medir directamente (Hellowell, 1986).

Para que un organismo sea un *buen indicador biológico*, debe tener los siguientes requisitos: 1) Tener validez taxonómica y ser de fácil reconocimiento. 2) Tener una distribución cosmopolita. La elección de una especie cosmopolita permitirá estudios comparativos regionales, nacionales o internacionales. 3) Abundancia numérica adecuada, lo que facilita muestrearla y también estimar conclusiones cuantitativas de los patrones de distribución. 4) Una baja variabilidad genética y ecológica: los indicadores deberían tener estrechas demandas ecológicas. 5) Un tamaño corporal grande: Esto facilita colectarlo e identificarlo. 6) Una movilidad limitada y ciclo de vida manejable, lo que permite una fácil integración de las escalas espaciales y temporales. 7) Características ecológicas que deben ser bien conocidas: Un respaldo de información fisiológica y autoecológica, deben ser bien estudiadas y conocidas previamente. 8) Propicio para ser usado en estudios de laboratorio: que permite la investigación de causalidad (Jara *et. al.*, 2002). Estos organismos, además, presentan dificultades como que la taxonomía de algunos grupos no es bien conocida y el tener variaciones estacionales (Zúñiga de Cardoso, 2001).

Los índices bióticos son índices numéricos que describen las comunidades y estructura de grupo, basados en la tolerancia o sensibilidad natural a la contaminación de los organismos. La tolerancia o nivel de respuesta de los organismos, difiere según el tipo o concentración del contaminante al que han sido expuestos. El grado de tolerancia se evalúa a nivel de comunidad en términos de presencia y ausencia de algunos de ellos, número o proporción respecto al total de los taxa, o alguna otra medida de abundancia que permita asignar un puntaje individual (Armitage *et. al.*, 1983; Hilsenhoff, 1988; Resh *et. al.*, 1996). Estos índices, se utilizan para determinar la calidad del agua, debido a que almacenan información histórica, reflejando eventos de vertidos esporádicos al sistema límnic, que producen cambios cualitativos y una disminución en el número de especies en el medio acuático, necesitando un tiempo para ser recolonizado por las mismas especies (Villalobos, 2001).

La literatura publicada en la actualidad, señala que los macroinvertebrados bentónicos son adecuados como indicadores, entre los cuales a modo de ejemplo se citan moluscos, crustáceos, anélidos e insectos, entre otros (Hellowell, 1986).

## 1.1. Macroinvertebrados bentónicos

Los insectos acuáticos, representan los componentes más abundantes de la comunidad bentónica, tienen tolerancia a diferentes calidades del agua (Resh *et. al.*, 1996), y además, poseen la capacidad de acumular los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo, aspectos que los señalan como eventuales y eficientes indicadores biológicos, adecuados para realizar monitoreos biológicos. Rosenberg & Resh (1993) mencionan que estos organismos serían adecuados para evaluar cambios en la calidad del agua de los ambientes acuáticos, ya que agregan otras características a las anteriormente señaladas: son organismos ubicuos, y se dispone de equipos simples y baratos para muestreos cuantitativos. Además, la taxonomía de los grupos mayores está bien estudiada y se dispone de claves para la identificación de taxa a nivel de familia, y las respuestas de varias especies a distintos contaminantes están bien documentadas. También existen numerosos métodos para el análisis de datos (índices bióticos y de diversidad) utilizados en biomonitoreo a nivel comunitario (Rosenberg & Resh, 1993).

Pinel-Alloul (1996) y Kemp & Spotila (1997), mencionan que aquellos sitios a lo largo de los ríos no alterados por la actividad antrópica, presentarían una abundante riqueza y diversidad taxonómica, principalmente de insectos de los Ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, sin embargo, en aquellos lugares que se ven afectados por la actividad antrópica presentarían una menor riqueza y diversidad taxonómica y generalmente la comunidad quedaría representada por algunos dípteros, coleópteros, oligoquetos y moluscos entre otros.

## 1.2. Utilización de índices bióticos a nivel mundial y en Chile

Los macroinvertebrados han sido usados como una manera de determinar la calidad del agua, hace más de 100 años. Siendo, los insectos acuáticos entre un 70 a 90 % de la fauna de macroinvertebrados límnicos y el grupo más estudiado para evaluar la calidad del agua por muchos investigadores (Hellawell, 1986; Abel, 1989; Rosenberg & Resh, 1993, 1996).

Diferentes índices bióticos para evaluar la calidad del agua, utilizan macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Dentro de éstos, los más ampliamente aplicados se pueden mencionar los siguientes: el Sistema Saprobio (Kolkwitz & Marsson, 1909), BMWP (Biological Monitoring Working Party), desarrollado para Gran Bretaña (Armitage *et. al.*, 1983) y BMWP' adaptado a la península Ibérica (Zamora-Muñoz & Alba-Tercedor, 1996), BMWP (Biological Monitoring Working Party) adaptado y modificado a la fauna del sur occidente Colombiano por la Universidad del Valle (Roldán, 1997, 1999, 2003; Domínguez & Fernández, 1998), BMWP (Biological Monitoring Working Party) de Armitage *et.al.* (1983) en Domínguez & Fernández (1998) utilizado en el río de Tucumán Argentina, el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera) de Carrera & Fierro (2001) aplicado en el río Angosturita en Argentina y el índice Biótico de Familia el cual fue desarrollado por Chutter (1972) para ríos de Sudáfrica y levemente modificado por Hilsenhoff (1988) para ser utilizado en ríos de Norteamérica, con el nombre Índice Biótico de Familias (IBF). Las ventajas de la mayoría de estos índices, es que requieren de un bajo nivel taxonómico (Familia) de cada uno de los grupos presentes en el sistema acuático, tienen un bajo costo en términos de tiempo (identificación de insectos) y dinero, convirtiéndose en una metodología rápida para ser utilizada en la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera en poco tiempo y de una manera acertada evaluar la calidad del agua de una hoya hidrográfica determinada.

La utilización de índices bióticos en Chile requiere de una baja resolución taxonómica (Familia), en la actualidad nuestro conocimiento de la composición taxonómica de la fauna de macroinvertebrados acuáticos es escaso y aún no permite llegar a un nivel específico (género o especie para todos los órdenes), para todos los ríos de Chile. Faltan especialistas, específicamente referido a los estados inmaduros, ciclos de vida y ecología (Solervicens, 1995), y a un marcado endemismo debido a su condición geográfica. Es necesario destacar que, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de los ecosistemas acuáticos continentales chilenos han sido abordadas recién en las últimas décadas (Campos *et. al.*, 1984; Valdovinos *et. al.*, 1993; Arenas, 1995; Habit *et. al.*, 1998; Valdovinos & Araya, 1998; Valdovinos & Figueroa, 2000; Muñoz *et. al.*, 2001; Valdovinos, 2001; Moya *et. al.*, 2002).

En este contexto, en nuestro país se han generado los trabajos siguientes relacionados con los indicadores biológicos: En la cuenca del río Damas (X Región), se aplicó el IBF para determinar la calidad del agua (Figueroa, 1999), donde se determinó además de la composición taxonómica de la cuenca, la relación entre los puntajes obtenidos del IBF y las variables físicas y químicas, a través de análisis de correlación. En la cuenca del río Traiguén (IX Región) (Weisser, 2003), también se utilizó el IBF para determinar calidad de agua, aplicándose de manera complementaria los índices EPT, BMWP y BMWP', con el objetivo de comparar lo obtenido con el IBF y observar las similitudes entre los índices bióticos aplicados en la cuenca. También, se evaluó la presencia de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua, en tres ríos de las zonas semiáridas del Norte (Elqui, Limarí y Aconcagua) (Jara, 2002) y se establecieron posibles asociaciones entre la calidad física y química del agua y la presencia de insectos en las zonas ritrónicas y potámicas de los ríos anteriormente mencionados. Además, se utilizó macroinvertebrados bentónicos como Bioindicadores de

calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu IX, donde se aplicó el IBF, EPT, BMWP y BMWP' (Leiva, 2003), entre otros.

Con la utilización de estos índices en el país, se pueden construir mapas de calidad del agua lo que facilitaría a las instituciones responsables de la gestión y uso de las aguas en Chile, el establecer planes de gestión incorporando redes de vigilancia permanente.

### **1.3. Antecedentes de los ríos chilenos.**

Los ríos son sistemas de elevada complejidad y heterogeneidad en su estructura y funcionamiento, en los que las relaciones entre la componente biológica y abiótica del medio, se influyen y determinan mutuamente. En los últimos años, han sido sometidos a un marcado deterioro de la calidad de sus aguas, provocado fundamentalmente por las actividades que se desarrollan en la cuenca, como por ejemplo: el ingreso de pesticidas y gran cantidad de material particulado, por actividades agrícolas y deforestación, fragmentación del hábitat, cambios del sustrato por extracción y remoción de materiales e incorporación de metales pesados, por actividades mineras, a lo cual se suma el incremento de materia orgánica por ingresos de aguas no tratadas (Cabrera, 1995; Universidad de Chile, 2002).

Chile, en su larga extensión, presenta una variedad de sistemas hidrográficos, con amplias variaciones de las precipitaciones, regímenes y períodos de caudales máximos. Los ríos chilenos se caracterizan por ser cortos, de escaso caudal y torrentosos, y a consecuencia de la disposición del relieve y la estrechez del territorio, en general, los ríos del norte tienen régimen nivoso, los del centro mixto y los del sur pluvial (Niemeyer & Cereceda, 1984).

Según Fuenzalida (1965), Chile se divide en cuatro grandes zonas hidrológicas: Zona del Norte Árido, Zona Semiárida, Zona Subhúmeda y Zona Húmeda. Este Trabajo contempla el estudio de dos sistemas hidrográficos: El primero el del río Elqui que se encuentra en la zona Semiárida, y el segundo el del río Cachapoal situado en la zona Subhúmeda.

## **1.4. Hipótesis**

Considerando que los ríos reflejan las actividades de la cuenca, por cambios en sus características físicas y químicas tales como concentración de nutrientes, metales, pH, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros; que la fauna se ha adaptado a condiciones físicas y químicas específicas, por lo que es posible observar en ella la influencia directa de las causas que modifican estas características. Finalmente que, en innumerables sistemas acuáticos se encuentran asociaciones entre la abundancia y distribución de los macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas de los ríos:

Se postula que los parámetros biológicos (familias de macroinvertebrados bentónicos, índices biológicos cuantitativos y cualitativos) se asocian con las variables físicas y químicas, lo que permitiría evaluar la calidad del agua en los Ríos Elqui (IV región) y Cachapoal (VI región).

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar las relaciones entre la abundancia y distribución de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas, para determinar la calidad del agua de los ríos Elqui y Cachapoal.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- 1) Caracterizar las variables físicas y químicas de los ríos Elqui y Cachapoal.
- 2) Determinar la abundancia y composición taxonómica de los Macroinvertebrados bentónicos de los ríos Elqui y Cachapoal.
- 3) Calcular los índices biológicos cuantitativos y cualitativos de los Macroinvertebrados bentónicos en los Ríos Elqui y Cachapoal.
- 4) Determinar la relación entre la abundancia de familias de Macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas de los Ríos Elqui y Cachapoal.
- 5) Determinar la relación entre los índices biológicos cuantitativos y cualitativos, y las variables físicas y químicas, en los ríos Elqui y Cachapoal.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudio

#### 2.1.1. Cuenca del Río Elqui

La Cuenca hidrográfica del río Elqui, se encuentra en la IV región de Coquimbo, en la Provincia del mismo nombre, aproximadamente entre los paralelos 29° 34' y 30° 27' Latitud Sur y meridianos 71° 22' y 69° 52' Longitud Oeste, con una extensión de 9.657 Km<sup>2</sup>. El área de esta cuenca se encuentra bajo la influencia de un bioclima mediterráneo y durante nueve meses del año presenta déficit hídrico. El Río Elqui, con una extensión de 240 Km., se genera a 815 m.s.n.m., a 2 Km. aguas arriba de Rivadavia de la unión de los ríos Turbio que viene del oriente y Claro que proviene del sur (Niemeyer & Cereceda, 1984). El río Turbio, es considerado su principal constituyente y se forma a 43 Km. aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m.s.n.m. de la unión de los ríos Toro y La Laguna. El río Claro o Derecho nace también en la alta cordillera y su único afluente es el río Cochiguaz (Niemeyer & Cereceda, 1984). En la tabla 1 es posible apreciar las características principales de la cuenca del río Elqui.

Las aguas del río Elqui están reguladas por medio de dos embalses: La Laguna que opera desde 1941, con una capacidad de 40 millones de metros cúbicos y el embalse Puclaro que opera desde 1999, con una capacidad de 207 millones de metros cúbicos.

La calidad de las aguas del río Elqui ha sido principalmente afectada por las actividades mineras, agrícolas y descargas de aguas servidas (DGA, 2004 a).

### **2.1.2. Cuenca del Río Cachapoal**

La Cuenca del Río Cachapoal, se ubica dentro del sistema hidrográfico de la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, y junto con la Cuenca del Río Tinguiririca, constituyen la Cuenca del río Rapel que se sitúa entre los paralelos 33°53'-35°01' Latitud Sur y los meridianos 70°12'-71°51' Longitud Oeste y drena 14.177 Km.<sup>2</sup> El clima predominante corresponde al Clima Templado Mediterráneo.

La Cuenca del Río Cachapoal, ubicada en la provincia del mismo nombre comprende una superficie de 6.370 km<sup>2</sup>, tiene sus cabeceras a los pies de las cumbres englacadas Pico del Barroso y Nevado de los Piuquenes, a 4.460 m de altura. La ciudad de Rancagua se ubica en su margen Norte. En el ámbito cordillerano se le juntan varios tributarios de importancia, de los cuales los principales son los ríos Las Leñas, Cortaderal, Los Cipreses, y el más importante, el río Pangal. Cerca del pueblo minero de Coya recibe al río homónimo y al río Pangal, que le aportan las aguas de la parte septentrional de la hoya cordillerana (Niemeyer & Cereceda, 1984). En la tabla 2 se aprecian las características principales de la cuenca del río Cachapoal.

El río Cachapoal, a diferencia del anterior, se ha visto afectado principalmente por el riego, la minería, la industria y el consumo por parte de la población (DGA, 2004 b).

**Tabla 1.** Principales Características de la Cuenca del Río Elqui, IV región.

Ubicación Geográfica	29°35' -30°20' latitud Sur, y 71°22' -69°52' longitud Oeste.
Superficie de la Cuenca	9.657 Km <sup>2</sup>
Longitud Total Río Elqui (Km.)	240
Geomorfología (unidades de relieve)	Cordillera de Los Andes, Valles Transversales, Cordillera de La Costa y Planicies Litorales.
Fuente de Alimentación	Régimen de alimentación Mixto (Nivo-pluvial)
Nacimiento (origen del sistema fluvial)	Andina. Cajones cordilleranos estrechos confinados por cerros de más de 3.000 m.
Desembocadura	En la bahía de Coquimbo (Sector La Serena).
Tipo de Cuenca	Exorreica
Zona Hidrográfica	Zona Semiárida
Principales usos del agua	<i>Usos extractivos:</i> Riego (126 canales y un embalse mayor); Captación para agua potable <i>Uso y descarga:</i> Minería (mineral El Indio y San Jerónimo: Oro y Cobre), Industrias (agroindustria, la producción de vinos y licores: Capel Ltda. y Cooperativa Agrícola Control Pisquero de Elqui Ltda.; y las embotelladoras), descarga aguas servidas domésticas (empresa sanitaria ESSCO, Andacollo y Paiguano, menor % de tratamiento). <i>Usos in – situ:</i> Pesca deportiva y recreativa.
Principales Centros Urbanos (Riles)	La Serena (capital regional), Vicuña, Andacollo y Paiguano.

**Tabla 2.** Principales Características de la Cuenca del Río Cachapoal, VI región.

Ubicación Geográfica (Aproximada)	33°53' -34°15' Latitud Sur y los 70°12' -71°15' Longitud Oeste
Superficie de la Cuenca	6.370 Km. <sup>2</sup>
Longitud Total Río Cachapoal (Km.)	170
Geomorfología (unidades de relieve)	Cordillera de Los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de La Costa.
Fuente de Alimentación	Régimen de alimentación pluvionival
Nacimiento (origen del sistema fluvial)	Andino, Cerro de los Piuquenes a 4.460 m de altura.
Desembocadura	Sector La Junta, donde se une con el Río Tinguiririca a 113 m.s.n.m., llega al río Rapel (Embalse Rapel).
Tipo de Cuenca	Exorreica
Zona Hidrográfica	Zona Subhúmeda
Principales usos del agua	<i>Usos extractivos:</i> Riego (371 canales y 230 embalses); Captación para agua potable; Generación de energía eléctrica: Central Pangal de CODELCO (Río Pangal, central de pasada), Central Coya de CODELCO (Ríos Cachapoal y Pangal, central de pasada), Central Sauzal de ENDESA (Ríos Cachapoal y Claro de Rengo, central de pasada), Central Sauzalito de ENDESA, (Aguas de la central Sauzal, central de pasada). <i>Uso y descarga:</i> Minería (El Teniente en Coya), Industrias (Agrosuper, faenadora San Vicente, Dole, Jucosa, Malloa alimentos, etc.), descarga aguas servidas domésticas (Estero La Cadena, Río Cachapoal). <i>Usos in – situ:</i> Pesca deportiva y recreativa.
Principales Centros Urbanos (Riles)	Rancagua, Rengo, Requinoa, Coltauco y Graneros.

Fuente: Arrau, 1998; Arcadis Geotécnica, 2001; Arcadis Geotécnica, 2000; Cabrera, 1995; DGA, 1987; DGA, 1992; DGA, 1996; DGA, 2004a, 2004b; Estadísticas de Aguas Superficiales; Fernández & Saldivia, 2000; Fuenzalida, 1965; González, 1995; IGM, 1988; Orrego, 2002.

## **2.2. Metodología**

### **2.2.1. Determinación de los sitios de muestreo**

La determinación de los tramos de los ríos a muestrear para cada hoya hidrográfica, se realizó principalmente en base a revisión bibliográfica de las fuentes de contaminación y actividades antropogénica de los ríos en estudio (Arcadis Geotécnica, 2000, 2001; DGA, 2004 a, 2004 b) (Anexo 1, Tabla 1.1 y 1.2). En cada tramo del río, se eligió una zona de sustrato homogéneo para el muestreo biológico compatible con el uso de red Surber. Las figuras 1, 2, 3, y 4 muestran los sitios de muestreo de los ríos Elqui y Cachapoal.

Cada sitio de muestreo, para ambas hoyas hidrográficas, se georreferenció con un equipo GPS eTrex Vista Garmin, y se ajustaron los datos según el sistema internacional WGS 84 (Tabla 3 y 4).

### **2.2.2. Muestreo de las Hoyas hidrográficas**

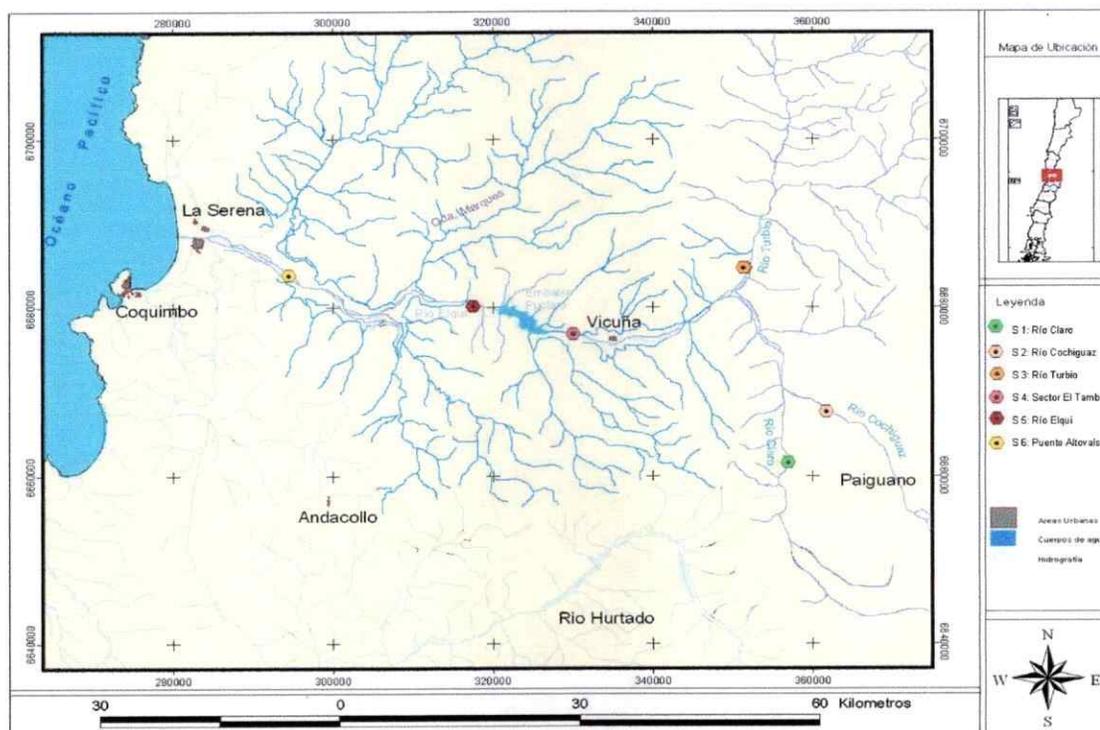
- *Hoya del Río Elqui:* La campaña de terreno se realizó entre el 29 y 31 de Mayo del 2004, considerando que entre los meses de Abril a Agosto es la época de estiaje, presentándose una menor dilución de compuestos en el cuerpo de agua.
- *Hoya del Río Cachapoal:* La campaña de terreno, se llevó a cabo entre el 8 y 10 de Marzo del 2004, que sería una época de estiaje o de caudales más bajos (Arcadis Geotécnica, 2001; Vila *et. al.*, 1996).

Se seleccionaron seis sitios de análisis, a lo largo del río Elqui. Mientras que, para el río Cachapoal se seleccionaron siete sitios.

**Tabla 3.** Localización de sitios de muestreo de la Hoya del Río Elqui, en Coordenadas UTM.

Sitios de Muestreo	N° Sitio	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)
		UTM N	UTM E	
1 Río Claro (Horcón)	S1	6659170	356977	1409
2 Río Cochiguaz	S2	6666324	361678	1376
3 Río Turbio (Varillar)	S3	6686470	351534	926
4 Río Elqui (El Tambo)	S4	6686439	351714	531
5 Río Elqui (Después Embalse Puclaro)	S5	6681091	317552	404
6 Puente Altovalsol	S6	6685404	294464	116

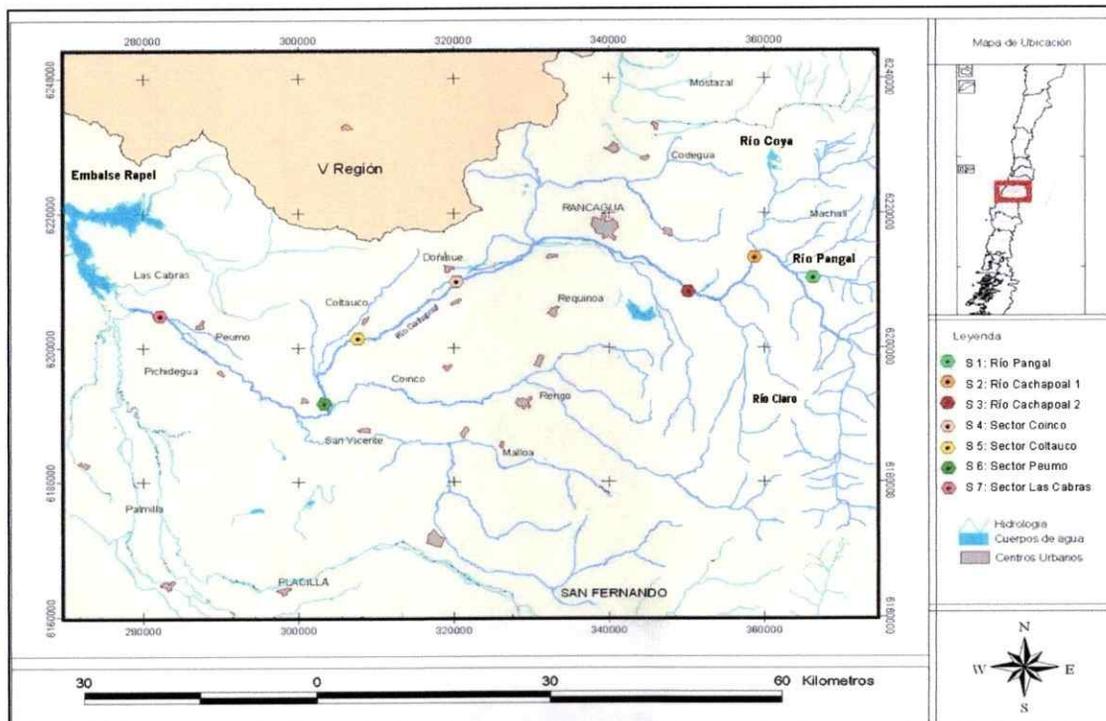
**Figura 1.** Cuenca hidrográfica del Río Elqui.



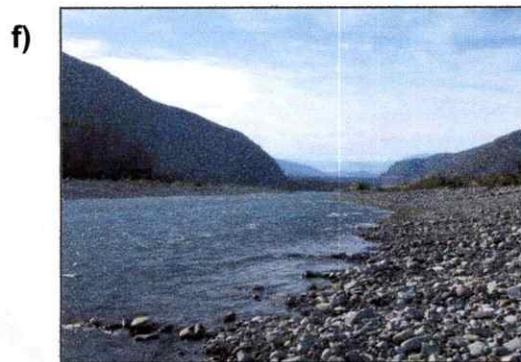
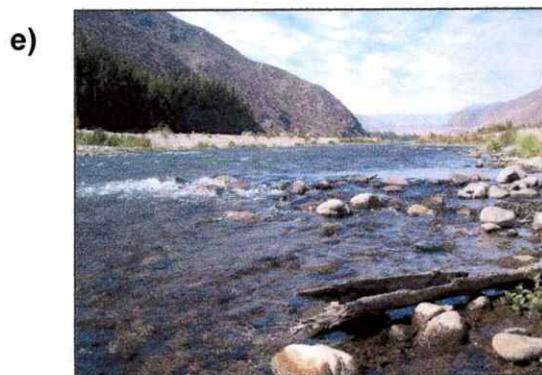
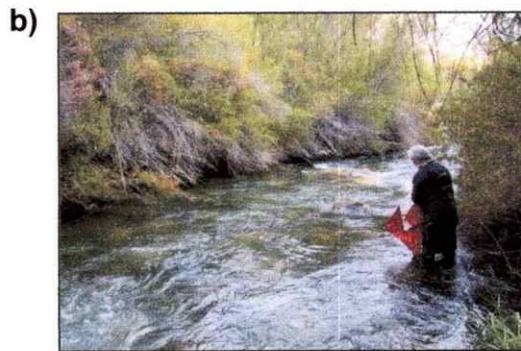
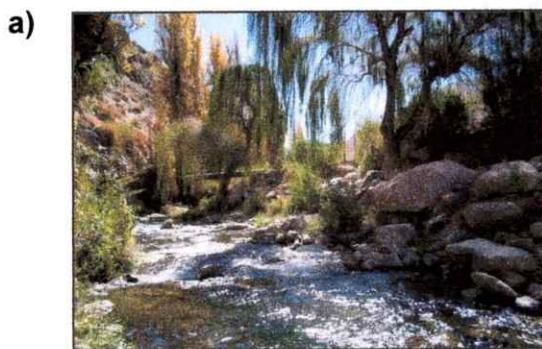
**Tabla 4.** Localización de sitios de muestreo de la Hoya del Río Cachapoal, en Coordenadas UTM.

Sitios de muestreo	N° Sitio	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)
		UTM N	UTM E	
1 Río Pangal (Bocatoma Pangal)	S1	6210399	366323	905
2 Río Cachapoal (Antes Río Coya)	S2	6213400	358800	750
3 Río Cachapoal (Después Río Claro)	S3	6208328	350227	637
4 Río Cachapoal (Sector Coinco)	S4	6209770	320367	347
5 Río Cachapoal (Sector Coltauco)	S5	6201357	307717	256
6 Río Cachapoal (Sector Peumo)	S6	6191672	303727	234
7 Río Cachapoal (Sector Las Cabras)	S7	6204695	282211	117

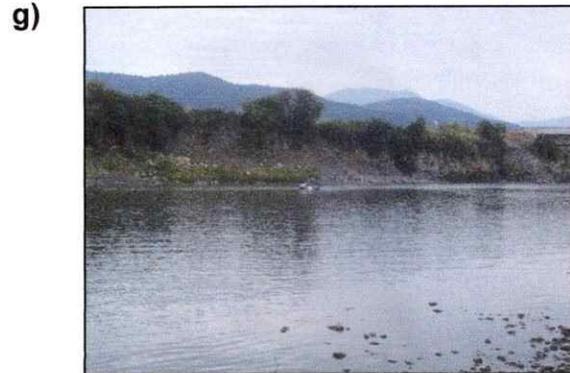
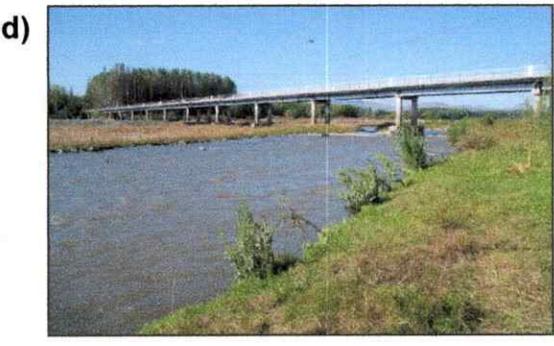
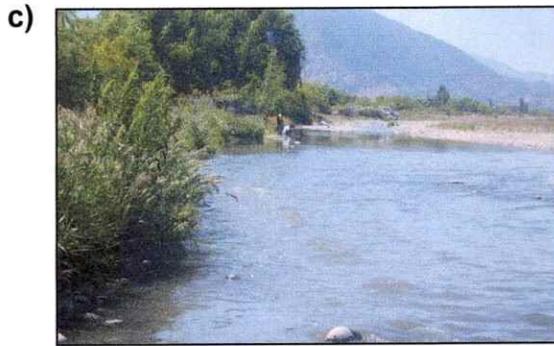
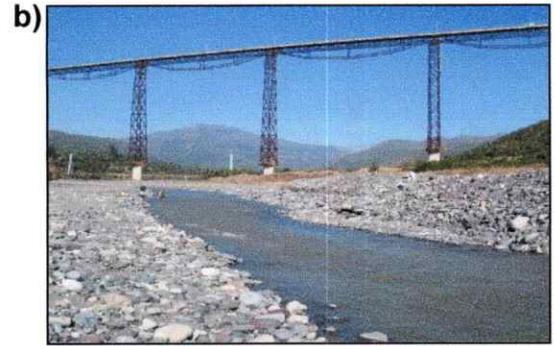
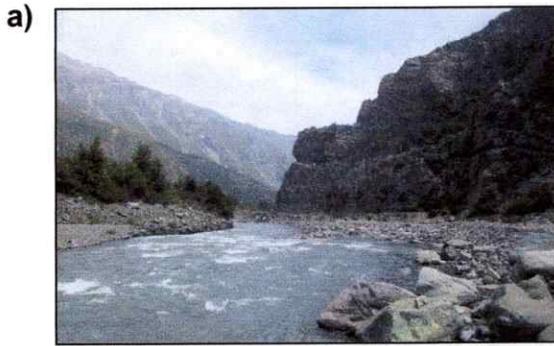
**Figura 2.** Cuenca hidrográfica del Río Cachapoal.



**Figura 3.** Fotos de los sitios de muestreo del río Elqui: **a)** S 1: Río Claro, **b)** S 2: Río Cochiguaz, **c)** S 3: Río Turbio (Varillar), **d)** S 4: Río Elqui (El Tambo), **e)** S 5: Río Elqui, **f)** S 6: Puente Altovalsol.



**Figura 4.** Fotos de los sitios de muestreo del río Cachapoal: **a)** S 1: Río Pangal, **b)** S 2: Río Cachapoal (Antes Río Coya), **c)** S 3: Río Cachapoal (Después Río Claro), **d)** S 4: Río Cachapoal (Sector Coinco), **e)** S 5: Río Cachapoal (Sector Coltauco), **f)** S 6: Río Cachapoal (Sector Peumo), **g)** S 7: Río Cachapoal (Sector Las Cabras).



### 2.2.3. Muestras de Variables Físicas y Químicas

#### 2.2.3.1. Medición de Variables Físicas y Químicas *in situ*.

Todos los instrumentos fueron calibrados con solución de referencia del Laboratorio químico de CENMA, acreditado a NCh 17025. Las variables físicas y químicas, que se determinaron en terreno se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Variables físicas y químicas medidas *in situ* en terreno e instrumentos utilizados, para los lugares en estudio.

Variables	Equipo y modelo	Unidad
Temperatura	Termómetro de mercurio previamente calibrado.	° Celsius
pH	Equipo HANNA Instruments pH/EC/TDS Waterproof Family.	--
Oxígeno disuelto	Oxigenómetro YSI Model 95	mg/L.O <sub>2</sub>
Conductividad eléctrica	Equipo HACH Company, CO150 Conductivity Meter Model 50150	µS/cm

#### 2.2.3.2. Metodología de Toma de Muestras para componentes Químicos.

La toma de Muestras de agua para medir los componentes químicos se realizó según las siguientes normas: NCh 411/3. Of. 96; NCh 411/2. Of. 96; NCh 411/6. Of. 98, basadas en la Guía de CONAMA para la "Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales".

#### 2.2.3.3. Muestreo de Fósforo y Nitrógeno total.

La toma de muestras *in situ* para fósforo y nitrógeno total, se realizó según APHA, AWWA & WFF (1998). Estos compuestos son importantes porque representan el estado trófico del sistema (Smith *et. al.*, 1999).

#### **2.2.4. Muestreos biológicos de Macroinvertebrados bentónicos**

Se realizaron muestreos aleatorios de fauna de macroinvertebrados bentónicos (Hauer, R. & Lamberti, 1996; SAG, 2002; De la Lanza *et. al*, 2000), en sustrato de piedras y guijarros (Bain *et. al.*, 1995) mediante la utilización de una Red Surber de 900 cm<sup>2</sup> de área de superficie y de apertura de malla de 250 µm, que permite la captura de los primeros estados de insectos (Surber, 1937), ISO 8265 y NCh 411/2. Se recolectaron 6 réplicas por sitio de muestreo, para ambos ríos en estudio y fueron fijadas en formalina al 10 %.

#### **2.2.5. Determinación de las Variables Físicas y Químicas**

Para la realización de los análisis de determinación de los componentes o compuestos, que requieren determinación en laboratorio se utilizaron diferentes procedimientos que están descritos en la Tabla 6.

#### **2.2.6. Determinación de las Variables Biológicas (Macroinvertebrados bentónicos)**

Cada una de las muestras de macroinvertebrados bentónicos de las áreas de estudio (6 réplicas por sitio), se llevaron al laboratorio donde se separaron y se identificaron en un microscopio estereoscópico marca WILD M3, primero a nivel de Orden y posteriormente a nivel de Familia, género o especie, según el sitio de muestreo, por medio de claves taxonómicas de Lopretto & Tell (1995) y Domínguez & Fernández (2001). Los resultados se expresaron en términos de abundancia y distribución estimada como el número de individuos por familia.

**Tabla 6.** Metodología de determinación de las variables físicas y químicas, para los ríos Elqui y Cachapoal.

Variable	Metodología de determinación	Lugar (Hoya)
Nitrógeno Total <sup>1</sup>	Variación del método Kjeldahl según Mühlhauser, H. <i>et al.</i> (1987)	AR
Fósforo Total: Como Ortofosfato (P-PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) <sup>1</sup>	Método del complejo Molibdato según Zahradnik (1981)	AR
Razón de adsorción de sodio (RAS) <sup>2*</sup>	Cromatografía Iónica, APHA, AWWA & WFF (1998), 4110 C.	RE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) <sup>2</sup>	NCh 2313/5 Of. 96.	AR
Color Verdadero <sup>2</sup>	NCh 412 Of. 63.	AR
Sólidos Disueltos <sup>2</sup>	APHA, AWWA & WFF (1998), 2540 C.	AR
Sólidos Suspendidos <sup>2</sup>	NCh 2313/3 Of. 95.	AR
Cianuro <sup>2</sup>	APHA, AWWA & WFF (1998) 4500 E.	AR
Fluoruro, Cloruro, Sulfato, Nitrito (NO <sub>2</sub> ) y de Nitrato (NO <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	Cromatografía iónica, APHA, AWWA & WFF (1998) 4110 C.	AR
Sulfuros <sup>2</sup>	Método colorimétrico, APHA, AWWA & WFF (1998), 4500-SD-(2).	RE
Amonio (NH <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	Cromatografía iónica, APHA, AWWA & WFF (1998), 4110 C. Método colorimétrico Nessler (Método Hach 8038).	RE RCh
Aceites y Grasas <sup>2</sup>	NCh 2313/6 Of. 97	AR
Bifenilos Policlorados (PCB's) <sup>2</sup>	APHA, AWWA & WFF (1998), 6431 C.	AR
Surfactantes Aniónicos (SAAM) <sup>2</sup>	Colorimetría, NCh 2313/27 Of. 98.	AR
Índice de Fenol <sup>2</sup>	APHA, AWWA & WFF (1998), 5530 C.	AR
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) <sup>2</sup>	Método cromatografía gaseosa en detector de masa APHA, AWWA & WFF (1998), 6431 C.	AR
Hidrocarburos Totales (Hid. Fijos + Hid. Volátiles) <sup>2</sup>	Hidrocarburos fijos: NCh 2313/7 Of. 97. Hidrocarburos volátiles: APHA, AWWA & WFF (1998), 6200 B.	AR
Pesticidas organoclorados (2,4-D, Atrazina, Captán, Dieldrín, Dimetoato, Paratión, Simazina) <sup>3</sup>	Method 507 (2ª revisión, 1989) EPA/600/4-88/039. 6630 B (Method I), 6630 C (Method II), 6630 D (Mass Spectrometric Method) y 6640 B (Micro) Liquid-liquid Extraction Gas Chromatographic Method de APHA, AWWA & WFF, (1998).	RCh
Metales Disueltos (B, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn, Al, As, Cd, Sn y Pb) <sup>2</sup>	ICP-OES	AR
Coliformes Fecales y Totales <sup>2</sup>	Método de Tubos Múltiples, NCh 409/1 Of. 84.	AR

\* A partir de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup> y Mg<sup>+</sup>, en meq por litro.

RE: Cuenca del Río Elqui; RCh: Cuenca del Río Cachapoal; AR: Ambos Ríos.

1 Laboratorio Químico de Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

2 Laboratorio de Química Ambiental, Centro Nacional del Medio Ambiente.

3 Analizados por empresa externa.

## **2.3. Análisis de datos**

Para cada una de las hoyas hidrográficas (Río Elqui y Cachapoal), se realizó el siguiente procedimiento:

### **2.3.1. Análisis de variables físicas y químicas.**

Las concentraciones de las variables físicas y químicas, se evaluaron a lo largo de los dos ríos. En forma adicional, los valores de las variables físicas y químicas analizadas, se compararon con los rangos que establece la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales Superficiales, la cual clasifica la calidad de agua en cuatro clases y corresponden a: *Clase excepcional*: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte del patrimonio ambiental de la República; *Clase 1*: Muy Buena calidad; *Clase 2*: Buena calidad; *Clase 3*: Regular calidad. Y si es superior a esta corresponde a un agua de Mala calidad, siendo de *Clase 4*. En el caso, en el que la variable se encontrara bajo el límite de detección (LD), este era considerado como el valor base para establecer en que clase de calidad se encuentra la variable. Si era categorizado como no detectado (ND), también se considera el LD como valor base (Anexo 4). Este es el mismo dato utilizado para realizar las correlaciones.

El Fósforo y el Nitrógeno total, pueden determinar el estado trófico de los sistemas, y estos fueron evaluaron en base a valores de referencia de clasificación del estado trófico en los ríos (Dodds *et. al.*, 1998 en Smith *et. al.*, 1999) (Anexo 2, Tabla 2.1).

### **2.3.2. Análisis de los parámetros biológicos.**

Se obtuvieron las abundancias a nivel de cada Familia para cada sitio de muestreo y las totales para analizar las diferencias de abundancias de individuos por familia, utilizando la abundancia relativa. Además, se obtuvieron a nivel de Familias los índices biológicos

cuantitativos: riqueza, índices de diversidad de Shannon-Wiener (1949), Simpson (1949), Simpson insesgado (Pielou, 1969) y Brillouin (1962); y sus Equidades. Por último, se calcularon los siguientes índices biológicos cualitativos: Índice biótico de Familia para Chile (*ChIBF*), índice de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col) y Biological Monitoring Working Party para Chile (*ChBMWP*) (Roldán, 1988; Figueroa 1999, 2004; Plafkin *et. al*, 1989).

En los análisis se utilizaron los siguientes Software Excel XP, Sigmaplot 6.0, Multivariate Statistical Package 3.1 (MVSP 3.1) y STATISTICA 6.0.

#### **2.3.2.1. Abundancia de Familias de macroinvertebrados bentónicos.**

Para evaluar la abundancia total de Familias de macroinvertebrados bentónicos de cada sitio de muestreo, se realizó el test de Kruskal-Wallis (Programa STATISTICA 6.0) comparando las abundancias entre todos los sitios de muestreo, para ver si existe diferencia entre los grupos de sitios de muestreo, siendo significativa con un  $p < 0,05$ . Si la prueba anterior es significativa se aplica nuevamente el test de Kruskal-Wallis, comparando entre pares de sitios de muestreo, de la siguiente forma: Sitios 1-2 (S 1-2), Sitios de muestreo 2-3 (S 2-3), Sitios de muestreo 3-4 (S 3-4), Sitios de muestreo 4-5 (S 4-5), y Sitios de muestreo 5-6 (S 5-6), para el río Elqui. Y para el Cachapoal se comparan además los sitios de muestreo 6-7 (S 6-7) (Sokal & Rohlf, 1981; Zar, 1996).

La Abundancia de cada una de las Familias de macroinvertebrados bentónicos, se evaluó en función de la abundancia relativa de cada una de ellas.

### 2.3.2.2. Índices biológicos cuantitativos

Los índices de diversidad de los sitios de muestreo, se determinaron mediante la utilización del software MVSP 3.13 y en Nits (Log e). Los índices biológicos cuantitativos utilizados fueron: Riqueza, índices de diversidad, y equidad u homogeneidad. Esta última, expresada como:

$$J = H / H \text{ max} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$J$  = Equidad

$H$  = Diversidad observada

$H \text{ max}$  = Maxima diversidad esperada

La formulación de los índices de diversidad, es:

a) *Índice de diversidad de Shannon-Wiener* (1949): expresado como:

$$H' = - \sum_{i=1}^k p_i \log p_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$H'$  = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

$k$  = Número de categorías

$p_i$  = Proporción de las observaciones encontradas en la categoría  $i$  ( $n_i/n$ )

$n_i$  = Número de individuos por taxa

$n$  = Número total de individuos

b) *Índice de diversidad de Simpson* (1949): Con la fórmula:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$D$  = Índice de diversidad de Simpson

$s$  = Número de taxa

$p_i$  = Proporción de taxa  $i$  en la comunidad

c) *Índice de diversidad de Simpson insesgado* (Pielou, 1969): expresado como:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s \left[ \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

$D$  = Índice de diversidad de Simpson

$s$  = Número de taxa

$n_i$  = Número de individuos de taxa  $i$  en la muestra

$N$  = Número total de individuos de la muestra

d) *Índice de diversidad de Brillouin* (1962): Con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{1}{N} \log \left[ \frac{N!}{n_1! n_2! n_3! \dots n_s!} \right] \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$H$  = Índice de diversidad de Brillouin

$n_i$  = Número de individuos de taxa  $i$  en la muestra

$N$  = Número total de individuos de la muestra

### 2.3.2.3. *Índices biológicos cualitativos.*

El índice Biótico de Familia (IBF), es una modificación del IBF desarrollado por Chutter (1972) para ríos de Sudáfrica, realizada por Hilsenhoff (1988) para aguas templadas de Norteamérica. Este se basa en la diversidad de taxa (Familias) como en la abundancia de éstos, considerando la tolerancia individual a nivel taxonómico de Familias, de modo que requiere una aproximación cuantitativa. Para Chile este fue modificado por Figueroa (1999, 2004).

El índice EPT (Plafkin *et. al.*, 1989), utiliza estos tres grupos de macroinvertebrados, que son indicadores de la calidad de agua, debido a que son más sensibles a la contaminación. El valor del índice resume la riqueza del taxa, dentro de los grupos de insectos generalmente considerados como sensibles a la contaminación. El índice EPT generalmente es mayor con la mejor calidad de agua. Este se desarrolló para las identificaciones a nivel de especie; sin

embargo, el concepto es válido para el uso a nivel de familia por referirse a presencia de los ordenes (Carrera & Fierro, 2001; Leiva, 2003).

El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), es originalmente propuesto para Gran Bretaña por Hellowell (1978). Para algunos sistemas fluviales de Colombia, se modificó recibiendo el nombre de BMWP/Col, por Roldán (1988). Por último, el *Ch*BMWP modificado por Figueroa (2004), para los sistemas fluviales de Chile mediterráneo, excluye aquellas Familias que no se encuentran en Chile e incluye las Familias chilenas y cambia algunos puntajes de tolerancia asignadas a las Familias presentes en estos índices. El método solo requiere llegar hasta nivel de Familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación. El valor del índice de un determinado sitio de muestreo, es el resultado de la suma de los puntajes de tolerancia correspondientes a cada una de las Familias capturadas en ese sitio de muestreo, cuanto mayor es el puntaje final, menor es el grado de contaminación ambiental asociado al lugar de estudio (Roldán, 1988).

A continuación se detalla la forma de calcular estos índices:

#### 2.3.2.3.1. Índice Biótico de Familia (*Ch*IBF)

La forma en que opera este índice, una vez identificadas todas las muestras, es:

Primero, obtener la taxonomía completa de los macroinvertebrados bentónicos a nivel de Familia, y el número de individuos de cada Familia por sitio de muestreo estudiado, información que se anota en la ficha de trabajo (Anexo 3, Tabla 3.1). Luego para cada Familia se determina el puntaje de tolerancia, en donde 0 representa el menos tolerante y el 10 corresponde al más tolerante a la contaminación orgánica (Anexo 3, Tabla 3.2). Los puntajes de tolerancia son traspasados a la Tabla 3.1 (Anexo 3) y multiplicados los valores de cada fila (Nº

individuos x puntaje de tolerancia). Los resultados son sumados y divididos por el número total de individuos de cada estación lo que corresponde al *ChIBF* según la siguiente ecuación:

$$IBF = \frac{1}{N \sum n_i t_i} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

*IBF* = Índice Biótico de Familia

*N* = Número total de individuos en la muestra

*n<sub>i</sub>* = Número de individuos en una Familia

*t<sub>i</sub>* = Puntaje de tolerancia de cada Familia

Posteriormente los valores del *ChIBF* se expresan en 5 clases de calidad ambiental (Tabla 7) producto de la reducción de las 7 clases de calidad (Figueroa, 1999, 2004). Estos, corresponden a una escala de condición biológica que fue desarrollada para determinar el grado de contaminación orgánica.

**Tabla 7.** Calidad de agua del *ChIBF*, basado en la reducción de valores a 5 clases de calidad (Figueroa, 1999, 2004).

Clase	IBF	Característica Ambiental	Color
I	0,00 - 3,75	Muy Bueno	Azul
II	3,76 - 4,63	Bueno	Verde
III	4,64 - 6,12	Regular	Amarillo
IV	6,13 - 7,25	Malo	Naranja
V	7,26 - 10,00	Muy Malo	Rojo

#### 2.3.2.3.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)

Para el análisis de EPT, es necesario: Primero, colocar en una columna de una tabla la clasificación de organismos, en la segunda columna la abundancia y en la última columna los EPT presentes (Anexo 3, Tabla 3.3). Posteriormente los EPT presentes se dividen por la abundancia total, obteniendo un valor, el cual se lleva a una tabla de calificaciones de calidad de agua que va de muy buena a mala calidad (Tabla 8) (Carrera & Fierro, 2001).

**Tabla 8.** Calidad de agua para EPT (Carrera & Fierro, 2001).

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua
1	75- 100	Muy buena
2	50- 74	Buena
3	25 -- 49	Regular
4	0 -- 24	Mala

#### 2.3.2.3.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col.)

Para el cálculo del índice BMWP/Col, se asigna a cada una de las Familias un valor de tolerancia (Anexo 3, Tabla 3.4). Luego se multiplica el valor de tolerancia asignado por el número de individuos, para cada Familia, y finalmente se suman todos los valores resultantes de las Familias presentes en el sitio de muestreo, lo cual da el valor del índice. Los valores obtenidos se llevan a una tabla de cinco clases de calidades de agua (Tabla 9), y con ello se le asigna a cada sitio de muestreo una de las calidades establecidas, con un código de colores.

#### 2.3.2.3.4. Biological Monitoring Working Party para Chile (*Ch*BMWP)

El índice *Ch*BMWP, se calcula de la misma manera que el índice BMWP/Col (Roldán, 1988). La diferencia es que, en la asignación a cada Familia de la puntuación asignada, se utiliza la Tabla 3.5 (Anexo 3), y al final se lleva a la tabla de calidad de agua (Tabla 9).

**Tabla 9.** Clases de calidad de agua, valores para BMWP/Col y *Ch*BMWP, significado y colores para representaciones cartográficas. .

Clase	Valor BMWP	Calidad del agua (Significado)	Color
I	>150 101-120	Muy Buena Calidad (Aguas muy limpias a limpias)	Azul
II	61-100	Buena Calidad (Aguas ligeramente contaminadas)	Verde
III	36-60	Calidad media (Aguas moderadamente contaminadas)	Amarillo
IV	16-35	Escasa Calidad (Aguas muy contaminadas)	Naranja
V	< 15	Calidad mala (Aguas fuertemente contaminadas)	Rojo

#### **2.3.2.4. Índices biológicos cuantitativos en los sitios de muestreo.**

Para analizar si existen diferencias de los índices biológicos cuantitativos, en los sitios de muestreo, se utilizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis considerando el nivel de significancia  $p < 0,05$ , realizando el siguiente proceso: Primero se compararon todos los sitios de muestreo en conjunto y luego si este resultaba ser significativo se realizaron comparaciones de pares entre los sitios de muestreo: S 1-2, S 2-3, S 3-4, S 4-5 y S 5-6. Y para el río Cachapoal S 6-7.

#### **2.3.3. Relación entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.**

Para evaluar esta relación, se realizaron análisis de correlación no paramétrica de Spearman, entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas, a través de las abundancias de individuos de cada familia de macroinvertebrados bentónicos, índices biológicos cuantitativos (riqueza e índices de diversidad) y los cualitativos (*ChIBF*, *EPT*, *BMWP/Col.* y *ChBMWP*) (Sokal & Rohlf, 1981; Zar, 1996). Para lo cual, se usó el programa STATISTICA 6.0.

En estos análisis no se consideraron las variables químicas que resultaron tener un mismo valor en los diferentes sitios de muestreo.

Para los índices cualitativos sólo se consideraron para la correlación los valores de éstos, por ser variables continuas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Río Elqui

##### 3.1.1. Variables físicas y químicas en los sitios de muestreo

En la Tabla 10, se detallan las 45 variables físicas y químicas obtenidas en los distintos sitios de muestreo del río Elqui, para la campaña realizada en Mayo del 2004. De ella, se puede deducir que, la conductividad eléctrica registró los mayores valores en los sitios 3 (670  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y 6 (665  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El color Verdadero presentó un máximo valor en el sitio 4 (46,554 UCV). El pH con los mayores valores en los sitios 3 y 6 (8,3 y 8,4). Los sólidos disueltos (SD) y suspendidos (SS), aumentan sus concentraciones en el sitio 3 (420 mg/l SD y 34 mg/l SS). El Nitrógeno total aumentó sus concentraciones en dos ordenes de magnitud en los sitios 4 y 5 (193, 76  $\mu\text{g}/\text{l}$  y 185, 68  $\mu\text{g}/\text{l}$ ). El fósforo total tuvo un valor máximo de 1959,16  $\mu\text{g}/\text{l}$  en el sitio 5. Aceites y Grasas aumentaron sus concentraciones a partir del sitio 4, siendo mayor en el sitio 6 (12,8 mg/l). Los Metales que presentaron mayores concentraciones en el sitio 3 son: Boro (590  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), Cobre (136  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), Hierro (52,9  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), Manganeso (609  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), Zinc (43,3  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) y Aluminio (65,5  $\mu\text{g}/\text{l}$ ). Los valores más altos de los indicadores Microbiológicos se encontraron para Coliformes fecales en el sitio 1 (70 NMP/100ml) y para Coliformes totales en el sitio 5 (170 NMP/100ml).

**Tabla 10.** Variables físicas y químicas obtenidas en el Río Elqui (Mayo, 2004).

Variable	Unidad	LD	Sitios de Muestreo					
			1	2	3	4	5	6
<b>Datos de terreno</b>								
Hora muestreo	H:min	--	10:30	12:30	13:45	17:00	16:30	17:45
<b>Indicadores físicos y químicos</b>								
Conductividad eléctrica	µS/cm	--	305	238	670	556	550	665
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	4,0	<LD	<LD	4,2	<LD	5,3	4,35
Color verdadero	UCV	0,338	7,83	7,11	(1)	46,55	9,13	11,35
Oxígeno Disuelto	mg/L	--	--	--	--	--	10,82	11,03
pH	--	--	8,1	7,7	8,3	7,9	8,3	8,4
RAS <sup>(2)</sup>	--	--	1,592	1,524	5,302	4,217	4,535	4,912
Sólidos disueltos	mg/L	0,28	102	114	420	350	347	384
Sólidos suspendidos	mg/L	0,34	2,5	3	34	12,5	3	3
Temperatura	°C	--	8,8	8,3	10,3	14	17	16,5
<b>Inorgánicos</b>								
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	0,056	0,16	0,22	<LD	<LD	0,186	<LD
Cianuro	µg/L	8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cloruro	mg/L	0,093	1,72	2,36	23,98	14,3	20,42	14,68
Fluoruro	mg/L	0,052	0,08	0,34	0,71	0,47	0,53	0,54
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/L	0,132	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sulfato	mg/L	0,131	19,49	67,05	232,49	158,74	170,4	155,31
Sulfuros	mg/L	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Orgánicos</b>								
Aceites y Grasas	mg/L	10,19	<LD	<LD	<LD	10,5	12,7	12,8
Bifenilos policlorados (PCB's)	µg/L	(a)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,08	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Índice de fenol	µg/L	2,79	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	(b)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos fijos	mg/L	0,5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos volátiles	mg/L	(c)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos totales*	mg/L	--	0,502	0,502	0,502	0,502	0,502	0,502
<b>Metales esenciales</b>								
Boro	µg/L	5,0	48	72	590	256	323	341
Cobre	µg/L	3,91	<LD	<LD	136	87	24,7	7,52
Cromo	µg/L	8,2	<LD	<LD	8,54	<LD	9,32	<LD
Hierro	µg/L	5,41	17,8	41,7	52,9	39,6	23,6	27
Manganeso	µg/L	2	<LD	15,1	609	233	49,5	9,6
Molibdeno	µg/L	8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Níquel	µg/L	5,24	<LD	<LD	5,36	<LD	<LD	<LD
Selenio	µg/L	4,9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Zinc	µg/L	4,57	<LD	5,68	43,3	35,1	10,1	<LD

**Tabla 10.** Continuación.

Variable	Unidad	LD	Sitios de Muestreo					
			1	2	3	4	5	6
<b>Metales No esenciales</b>								
Aluminio	µg/L	7,83	<LD	26,3	65,5	55,9	24,7	<LD
Arsénico	µg/L	8,13	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cadmio	µg/L	2,1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Estaño	µg/L	5,0	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Plomo	µg/L	2,18	5,57	5,65	3,47	4,42	2,6	5,34
<b>Indicadores Microbiológicos</b>								
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml	2	70	13	<LD	6	33	<LD
Coliformes totales	NMP/ 100 ml	2	110	33	2	20	170	<LD
<b>VARIABLES NO INSERTAS EN LA NORMA</b>								
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	0,063	1,46	0,79	3,13	5,56	4,484	3,99
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	µg/L	2,36	4,33	5,16	6,83	8,5	1959,16	8,5
Nitrógeno total	µg/L	82,66	176,74	153,52	172,9	193,76	185,68	139,54

LD = Limite de detección.; ND = No detectado.

(1) Muestra con alto nivel de interferencia en espectro cromatográfico.

(2) RAS: Razón de Adsorción de Sodio =  $Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$

(a) Sin límite de detección (LD) determinado por los laboratorios. El LD depende del compuesto detectado; El Barrido de compuestos PCB's realizado fue de Monoclorobifenilo, Triclorobifenilo, Tetraclorobifenilo, Pentaclorobifenilo, Hexaclorobifenilo, Heptaclorobifenilo, Octaclorobifenilo, Nonaclorobifenilo, Decaclorobifenilo. Se estima un LD de  $\pm 1,7 E-4$  mg/L.

(b) El límite de detección (LD) depende del compuesto detectado; El barrido de compuestos HAP's realizado fue de Nafteno, Acetaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluorantreno, Pireno, Benzo (a) antraceno, Criseno, Benzo (b) fluoranteno, Benzo (K) fluoranteno, Benzo (a) pireno y Benzo (g, h, i) perileno. El valor de LD mayor lo posee el compuesto fenantreno con  $3,5 E-1$  mg/L.

(c) El barrido analítico incluye los compuestos Cloruro de Vinilo, 1,1 dicloroetileno, 2-butanona, Tetracloruro de carbono, Benceno, Tricloroetileno, Clorobenceno, 1,4-diclorobenceno, Tetracloroetileno y Tolueno. Los límites de detección (LD) dependen del compuesto determinado; el LD mayor en el barrido es para tolueno con  $1,82 E-3$  mg/L.

\* Hidrocarburos totales = Hidrocarburos fijos + VOC's. Calculados a partir de los límites de detección mayores de los barridos analíticos.

### **3.1.2. Clasificación del estado trófico del río Elqui en relación con valores de Nitrógeno y Fósforo**

A partir de la Tabla 11, vemos que el estado trófico en base a Nitrógeno no presenta problemas en los sitios de muestreo, ya que el río está en estado oligotrófico. En cambio, para Fósforo los sitios son Oligotróficos, a excepción del sitio 5 es Eutrófico. El estado trófico no presenta una relación con la presencia de macroinvertebrados, en especial la productividad dada por Fósforo.

**Tabla 11.** Evaluación del estado trófico para Nitrógeno y Fósforo en el Río Elqui.

<b>Sitios de muestreo</b>	<b>Estado trófico para Nitrógeno</b>	<b>Estado trófico para Fósforo</b>
S 1	Oligotrófico	Oligotrófico
S 2	Oligotrófico	Oligotrófico
S 3	Oligotrófico	Oligotrófico
S 4	Oligotrófico	Oligotrófico
S 5	Oligotrófico	Eutrófico
S 6	Oligotrófico	Oligotrófico

### 3.1.3. Parámetros biológicos: Macroinvertebrados bentónicos.

#### 3.1.3.1. Composición Taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.

El listado general de Familias registrado en el río Elqui para la campaña de Mayo del 2004 (Tabla 12), está constituido por 10 Familias que corresponden en general a estados inmaduros de insectos, principalmente larvas de los órdenes Trichoptera, con las Familias Hydropsychidae, Hydrobiosidae y Leptoceridae; Ephemeroptera con las Familias Leptophlebiidae y Baetidae; Coleoptera con la Familia Elmidae; Diptera con las Familias Chironomidae y Simuliidae; Megaloptera con la Familia Corydalidae, y Odonata con la Familia Gomphidae.

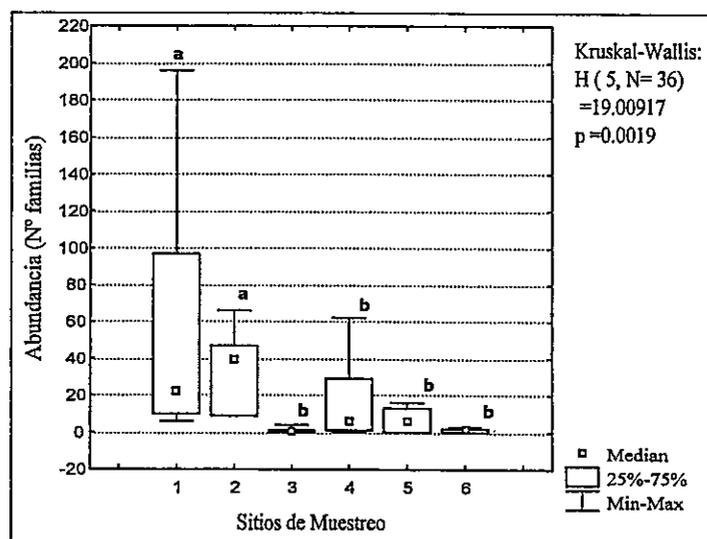
**Tabla 12.** Composición Taxonómica de Macroinvertebrados bentónicos (Clase: Insecta) de los diferentes sitios de muestreo del Río Elqui (Mayo, 2004). La X indica presencia del taxa en el sitio.

Orden	Familia	Especie	Sitios de muestreo					
			S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea chilensis</i>	X	X		X	X	
	Hydrobiosidae	Indeterminado	X	X				
	Leptoceridae	Indeterminado	X		X	X		X
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Meridialaris laminata</i>	X					
		<i>Meridialaris diguillina</i>	X	X				
		<i>Meridialaris sp.</i>		X				
		<i>Massartellopsis irarrazavali</i>	X					
		<i>Nousia maculata</i>		X				
		<i>Penaphlebia chilensis</i>		X				
		<i>Penaphlebia flavidula</i>		X				
	Baetidae	<i>Deceptiviosa torrens</i>	X	X	X	X	X	X
		<i>Deceptiviosa ardua</i>	X	X			X	X
Diptera	Simuliidae	<i>Simulium sp.</i>	X	X				
	Chironomidae	Indeterminado	X			X	X	X
Coleoptera	Elmidae	<i>Elmis sp.</i> (larva)	X	X	X		X	
		<i>Elmis sp.</i> (Adulto)			X			
Megaloptera	Corydalidae	<i>Protochauliodes sp.</i>	X	X				
Odonata	Gomphidae	Indeterminado				X		

### 3.1.3.2. Abundancia total de Familias de Macroinvertebrados bentónicos.

La abundancia total por sitio de muestreo en el río Elqui (Figura 5), con el test de Kruskal-Wallis, resultó ser significativamente diferente entre los sitios de muestreo ( $N=36$ ,  $p<0,01$ ) y evidencia un patrón decreciente desde la parte alta hacia abajo de la hoya hidrográfica, con una forma hiperbólica. Al comparar entre pares de sitios de muestreo: No se observo diferencias estadísticamente significativas entre los sitios 1 y 2. Mientras que S 2-3, son significativamente diferentes. Las estaciones ubicadas entre los sitios 3 al 6, no presentan diferencias significativas entre sí (Tabla 13). La mayor abundancia total en promedio se da en el Sitio 1 ( $58,83\pm 30,64$ ) y las menores en los sitios 3 ( $1,17\pm 0,6$ ) y 6 ( $1,33\pm 0,49$ ).

**Figura 5.** Gráfico de abundancia total de Familias de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo del río Elqui. Las letras representan diferencias significativas o similitudes entre sitios ( $N=36$ ,  $\alpha=0,05$ ).



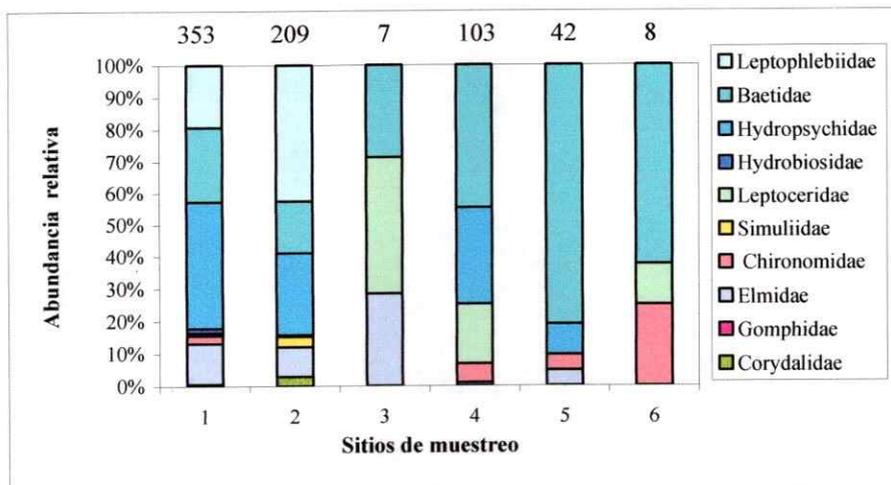
**Tabla 13.** Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Elqui.

Variable	Pares de sitios de muestreo									
	S 1-2		S 2-3		S 3-4		S 4-5		S 5-6	
	N	p	N	p	N	p	N	p	N	P
Abundancia total	12	1	12	<0,01	12	0,08	12	0,63	12	0,32

### 3.1.3.3. Abundancia de cada una de las Familias de macroinvertebrados bentónicos.

La mayor abundancia de macroinvertebrados bentónicos en la campaña de Mayo del 2004 realizada en el río Elqui, se encontró en los sitios 1 y 2. Las menores abundancias son encontradas en los sitios 3 y 6, mientras que los sitios 4 y 5 tienen abundancias intermedias (Figura 6). En cuanto a las Familias: **Leptophlebiidae** sólo se encontró en los sitios 1 (19,26 %) y 2 (42,58 %). **Baetidae**, estaba presente en todos los sitios de muestreo con abundancias mayores al 15 %. Ambas Familias, citadas como organismos indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas (Sandoval & Molina, 2000; Roldán, 1996; Lopretto & Tell, 1995). Mientras que **Hydropsychidae**, se halló en los sitios 1 (39,38 %), 2 (25,36 %), 4 (30,1 %) y 5 (9,52 %), y es conocida como indicadora de Aguas oligotróficas a eutróficas (Lopretto & Tell, 1995; Roldán, 1996). **Leptoceridae** se encontró en los sitios 1, 3 (42,86 %), 4 y 6. **Chironomidae** en los sitios 1, 4, 5 y 6 (25 %), conocido como indicador de aguas contaminadas (Roldán, 1996). Y finalmente, **Elmidae** encontrada en los sitios 1, 2, 3 (28,57 %) y 5, considerados como indicadores de aguas limpias (Hilsenhoff, 1977; Margalef, 1983; Vázquez, 1985).

**Figura 6.** Abundancia relativa de cada una de las Familias y abundancia total de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada sitio de muestreo, del río Elqui (Mayo 2004).

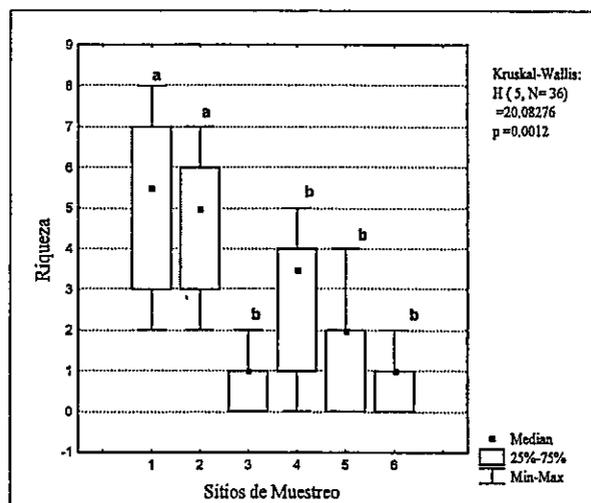


### 3.1.4. Índices biológicos cuantitativos.

A partir del test no paramétrico (Kruskal-Wallis), realizado entre los sitios de muestreo, para los índices biológicos cuantitativos del río Elqui, tenemos:

La **Riqueza**, presentó diferencias significativas entre todos los sitios de muestreo, ( $N=36$ ,  $p<0,01$ ). Al igual que en la abundancia, la riqueza tiene dos grupos diferentes entre sí. Los sitios 1-2, son el primer grupo que entre ellos no presentó diferencias significativas. La diferencia entre grupos estaba dada por los sitios 2-3, que presentaron diferencias entre sí. El otro grupo está dado por los sitios 3-4, 4-5 y 5-6, que entre ellos no presentan diferencias (Figura 7, Tabla 14). La mayor riqueza promedio es para el sitio 1 ( $5,2\pm 0,95$ ) y la menor riqueza promedio se dio en los sitios 3 y 6 ( $0,83\pm 0,31$ ).

**Figura 7.** Gráfico de riqueza en los sitios de muestreo del río Elqui.



El **índice de Brillouin**, presentó diferencias entre los sitios ( $N=29$ ,  $p<0,01$ ), formando dos conglomerados, el primero sitio 1-2 y el segundo dado por los sitios 3-4, 4-5 y 5-6, que no son diferentes entre sí. La diferencia es marcada por sitios 2-3, que son diferentes entre sí (Figura 8a, Tabla 14). El mayor Índice de Brillouin promedio es de  $1,05\pm 0,15$  (S 1), y el menor de  $0,08\pm 0,07$  (S 3). En cambio, la **equidad de Brillouin** no presentó diferencias entre los sitios de muestreo ( $N=29$ ,  $p=0,1$ ) (Figura 8b). La mayor equidad de Brillouin promedio es de  $0,84\pm 0,05$ , para el sitio 1, y el mínimo valor es de  $0,18\pm 0,14$  en el sitio 3.

El **índice de Shannon-Wiener (S-W)**, presento diferencias significativas ( $N=29$ ,  $p<0,01$ ), comportándose igual que el índice anterior, formando grupos: uno sitios 1-2 y el otro, sitios 3-4, 4-5 y 5-6 (Figura 8c, Tabla 14). Este índice resultó con un valor máximo promedio en el sitio 1 ( $1,26\pm 0,17$ ) y un mínimo en el sitio 3 ( $0,13\pm 0,1$ ). La **Equidad de Shannon-Wiener**, por su parte no presentó diferencias significativas ( $N=29$ ,  $p=0,09$ ) (Figura 8d). Con un valor mínimo promedio de  $0,18\pm 0,15$  en el sitio 3 y un máximo de  $0,84\pm 0,05$  en el sitio 1.

El **índice de Simpson**, también se divide en dos grupos de sitios diferentes: el primero sitios 1-2 y el segundo sitios 3-4, 4-5 y 5-6 (Figura 8e, Tabla 14). Con un valor máximo promedio de  $0,66\pm 0,05$  en el Sitio 1, y el valor mínimo promedio de  $0,08\pm 0,06$  en el sitio 3. La **Equidad de Simpson**, presentó diferencias entre los sitios ( $N=29$ ,  $p=0,03$ ), separándose en grupos de sitios al igual que el índice (Figura 8f, Tabla 14). Y obtuvo un valor máximo promedio de  $0,88\pm 0,04$  (Sitio 1), y un valor mínimo promedio de  $0,16\pm 0,13$  (Sitio 3).

El índice (Figura 8g) y Equidad de Simpson insesgado (Figura 8h), no presentaron diferencias entre sitios (Índice:  $N=24$ ,  $p=0,33$ , Equidad:  $N=24$ ,  $p=0,4$ ). El primero obtuvo su máximo valor promedio en el sitio 4 ( $0,71\pm 0,06$ ) y un mínimo en el sitio 6 ( $0,22\pm 0,16$ ). El segundo un máximo promedio de  $0,88\pm 0,04$  (Sitio 1), y un mínimo de  $0,33\pm 0,24$  (Sitio 6).

**Tabla 14.** Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la riqueza e índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Elqui.

Variable	Pares de sitios de muestreo									
	S 1-2		S 2-3		S 3-4		S 4-5		S 5-6	
	N	p	N	p	N	p	N	p	N	P
Riqueza	12	0,63	12	<0,01	12	0,08	12	0,25	12	0,28
Índice Brillouin	12	0,34	10	<0,01	9	0,06	9	0,22	8	0,14
Índice S-W	12	0,42	10	<0,01	9	0,06	9	0,33	8	0,08
Índice Simpson	12	0,26	10	<0,01	9	0,06	9	0,27	8	0,08
Equidad Simpson	12	0,08	10	<0,01	9	0,06	9	0,8	8	0,14

**Figura 8.** Gráficos de índices de diversidad y equidad del río Elqui: a) Índice de Brillouin, b) Equidad de Brillouin, c) Índice de Shannon-Wiener, d) Equidad de Shannon-Wiener, e) Índice de Simpson, f) Equidad de Simpson, g) Índice de Simpson insesgado y h) Equidad de Simpson insesgado.

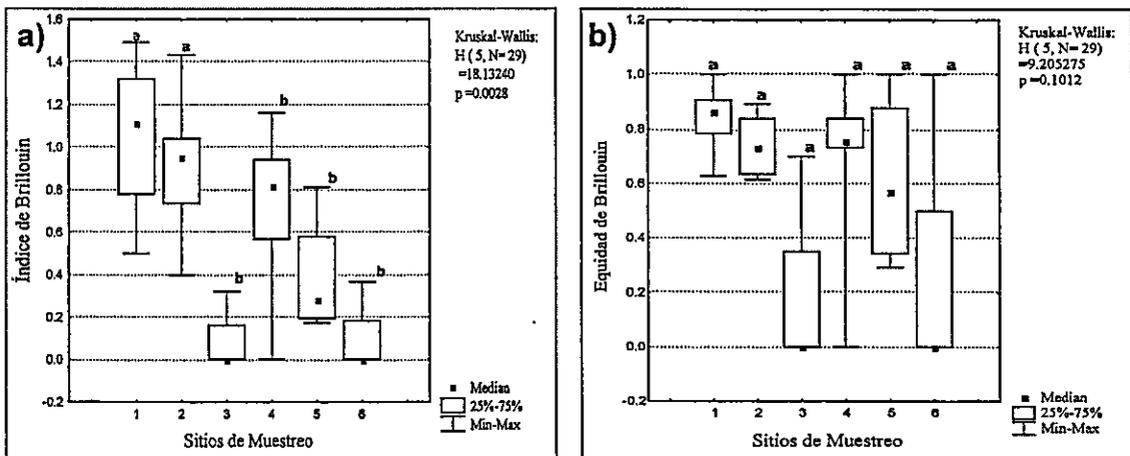
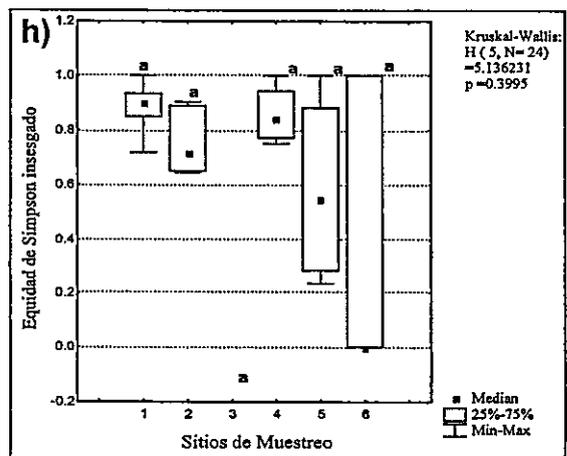
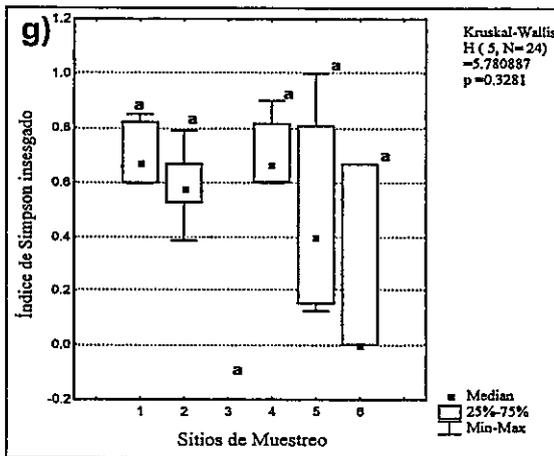
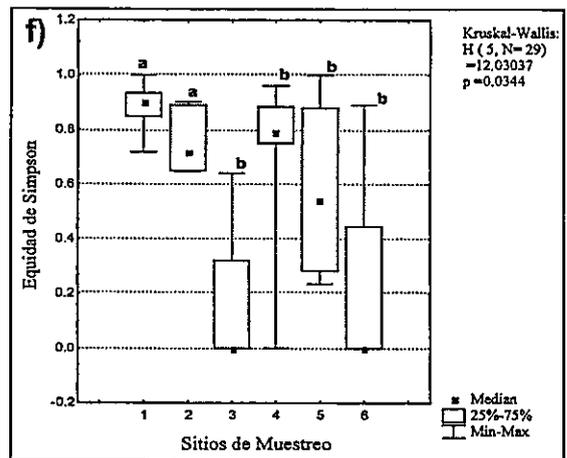
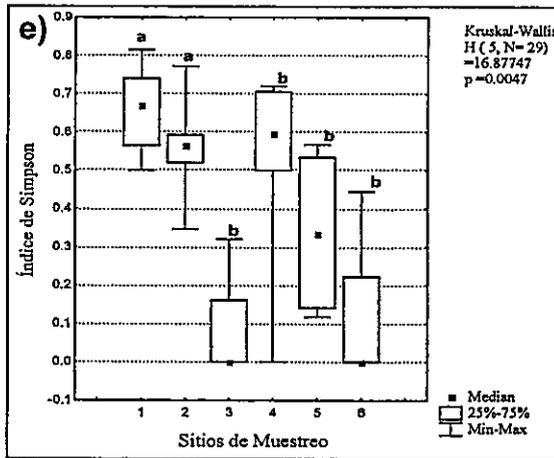
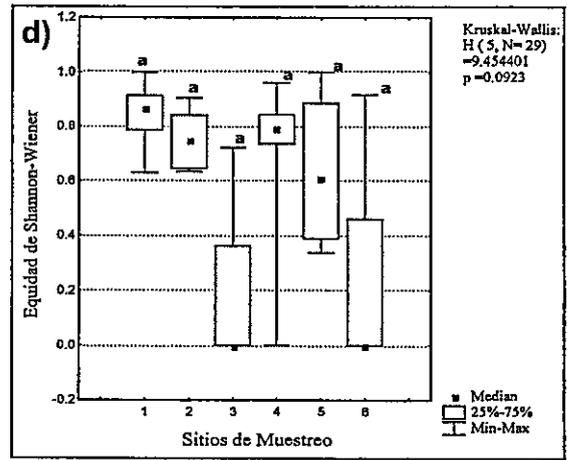
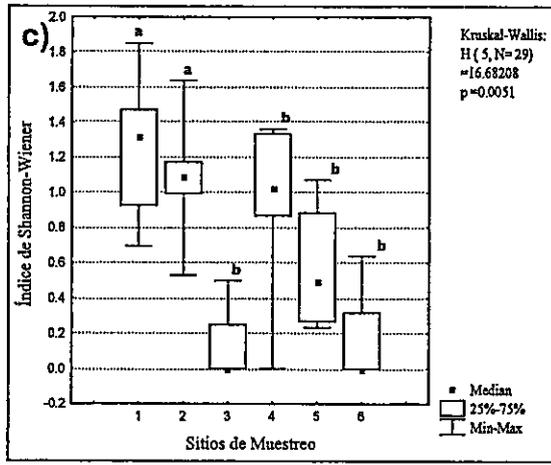


Figura 8. Continuación.



### **3.1.5. Índices biológicos cualitativos.**

#### **3.1.5.1. Índice Biótico de Familia (ChIBF).**

El análisis de calidad de agua del Río Elqui empleando el *ChIBF*, que considera en forma simultánea la diversidad de Familias indicadoras y la abundancia de cada una de ellas, entregó las siguientes calidades (Tabla 15): *Clase I* (Muy buena calidad), para los sitios de muestreo 1 y 2. *Clase II* (Buena calidad), en los sitios de muestreo 3, 4 y 5; y *Clase III* (Regular calidad), en el sitio de muestreo 6. Es decir, la calidad del agua estimada por el *ChIBF*, disminuye a lo largo del río Elqui variando de una muy buena calidad a una de regular calidad, por lo que se dedujo que reflejó la actividad antrópica en cuanto al aumento de la contaminación orgánica.

#### **3.1.5.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)**

Al aplicar el índice EPT, la calidad del agua para el río Elqui resulta de la siguiente manera (Tabla 15): *Clase I* (Muy buena), en los sitios de muestreo 1, 2, 4, 5 y 6; y *Clase II* (Buena), en el sitio de muestreo 3. El Río Elqui, al aplicar el EPT es catalogado en general en los tramos muestreados como de muy buena calidad, a excepción del sitio de muestreo 3 en donde disminuye ligeramente su calidad (Buena calidad), lo que se relaciona con ser el sitio que tiene menor abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos y dentro de ellas la familia Elmidae que no pertenece a los ordenes que implica el índice.

#### **3.1.5.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col)**

Para el análisis de calidad de agua, a través de la aplicación del BMWP/Col. en el río Elqui (Tabla 15), se obtuvo el siguiente resultado: *Clase I* (Buena calidad), en los sitios de muestreo 1, 2, 4 y 5; y *Clase III* (Dudosa calidad), en los sitios de muestreo 3 y 6. Para la aplicación del BMWP/Col. en el río Elqui, indica una buena calidad en los primeros dos sitios

de muestreos y luego en el tercero se produce una disminución de su calidad al del tipo dudosa calidad, recuperándose en el cuarto sitio volviendo a ser de buena calidad, sin embargo el ultimo sitio muestreado vuelve a decrecer siendo de dudosa calidad. Lo que coincidió con las menores abundancias totales de familias de macroinvertebrados bentónicos de los sitios.

### 3.1.5.4. Biological Monitoring Working Party para Chile (ChBMWP)

Los resultados obtenidos de la aplicación de ChBMWP para el río Elqui, se presentan en la Tabla 15, considerando que este trabaja sobre la base de presencia/ausencia a nivel de Familia con respecto a la contaminación orgánica: *Clase I* (Buena calidad), en los sitios de muestreo 1, 2, 4 y 5, siendo aguas muy limpias; *Clase III* (Dudosa calidad), en el sitio de muestreo 3, para aguas contaminadas; y *Clase IV* (Crítica calidad), en el sitio de muestreo 6, siendo aguas muy contaminadas. En el río Elqui, al aplicar el ChBMWP el curso presenta calidades de agua similares con las que resultan de la aplicación del BMWP/Col., ya que los sitios de muestreo presentan iguales calidades, a excepción del sitio seis que en el caso de ChBMWP es de una calidad critica.

**Tabla 15.** Valores y Clases de calidad del agua de los índices cualitativos: ChIBF, EPT, BMWP/Col. y ChBMWP obtenidos en el Río Elqui. Las siglas son: MB: Muy buena; B: Buena; D: Dudosa; R: Regular; C: Crítica.

Sitio de muestreo	Índice ChIBF			Índice EPT			Índice BMWP/Col			Índice ChBMWP		
	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad
S 1	I	3,62	MB	I	84,14	MB	I	2529	B	I	2025	B
S 2	I	3,08	MB	I	84,69	MB	I	1625	B	I	1488	B
S 3	II	4	B	II	71,43	B	III	50	D	III	48	D
S 4	II	4,15	B	I	93,21	MB	I	713	B	I	549	B
S 5	II	4,14	B	I	90,48	MB	I	282	B	I	170	B
S 6	III	4,75	R	I	75	MB	III	47	D	IV	34	C

### **3.1.6. Relación entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.**

#### **3.1.6.1. Relación entre la abundancia poblacional de Familias de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas.**

Los resultados de las correlaciones del río Elqui, se presentan como una forma de identificar la o las Familias que pueden ser consideradas como indicadores de calidad del agua (N=36;  $p < 0,05$ ). En la Tabla 16, se puede ver que: las familias **Leptoceridae** (Orden: Tricoptera) y **Gomphidae** (Orden: Odonata), no se correlacionaron con ninguna variable. Y **Chironomidae** (Orden: Díptera), sólo se correlacionó positivamente con Nitrógeno total.

La familia **Hydropsychidae** (Orden: Tricoptera), se correlacionó negativamente con casi todas las variables indicadores físicos y químicos a excepción de Oxígeno disuelto. También se correlacionó con todos los elementos o compuestos inorgánicos y orgánicos. Negativamente con Boro, Cobre, Níquel y Fósforo total. Positivamente con Plomo, Coliformes fecales y totales y Altura.

La familia **Hydrobiosidae** (Orden: Tricoptera), se correlacionó con los indicadores físicos y químicos, con excepción de Oxígeno disuelto y pH. Con los compuestos o elementos inorgánicos a excepción de Amonio. Negativamente con Aceites y grasas, y con los Metales Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc, Aluminio Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo, Coliformes fecales y Altura.

La familia **Leptophlebiidae** (Orden: Ephemeroptera), se correlacionó con todos los indicadores físicos y químicos y los elementos o compuestos inorgánicos. Además

negativamente con Aceites y grasas; con los Metales Boro, Cobre, Cromo, Manganeso, Zinc Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo, los indicadores microbiológicos y Altura.

**Baetidae** (Orden: Ephemeroptera), se correlacionó con todos los elementos o compuestos inorgánicos. En forma negativa con Conductividad eléctrica, Color verdadero, pH, RAS, Sólidos disueltos y suspendidos, con los Metales Boro, Cobre y Níquel. Positivamente con los indicadores microbiológicos.

**Simuliidae** (Orden: Díptera), se asoció negativamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, pH, RAS, Temperatura, Cobre y Nitrato. En forma positiva con Amonio y Plomo.

**Elmidae** (Orden: Coleoptera), se correlacionó con todas las variables incluidas en indicadores físicos y químicos, en elementos o compuestos inorgánicos y orgánicos. Además se correlacionó negativamente con Boro, Cobre, Manganeso, Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo, los indicadores microbiológicos y Altura.

**Corydalidae** (Orden: Megaloptera), se correlacionó con casi todas las variables que son indicadores físicos y químicos a excepción de Oxígeno disuelto y Sólidos suspendidos. Con todos los elementos o compuestos inorgánicos. Negativamente con Aceites y grasas, los Metales Boro, Cobre, Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo y Altura.

**Tabla 16.** Correlación entre las familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Elqui y las variables físicas y químicas (N=36; p < 0,05).

Elementos o compuestos físicos y químicos	FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS									
	Hydropsychidae		Hydrobiosidae		Leptoceridae		Leptophlebiidae		Baetidae	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,70	****	-0,40	*	0,12	NS	-0,77	****	-0,53	***
DBO <sub>5</sub>	-0,54	***	-0,37	*	-0,25	NS	-0,61	****	-0,31	NS
Color verdadero	-0,57	***	-0,40	*	0,22	NS	-0,77	****	-0,46	**
Oxígeno Disuelto	0,32	NS	0,28	NS	0,23	NS	0,45	**	0,11	NS
pH	-0,68	****	-0,21	NS	-0,11	NS	-0,61	****	-0,40	*
RAS	-0,74	****	-0,40	*	-0,01	NS	-0,77	****	-0,53	***
Sólidos disueltos	-0,64	****	-0,54	***	0,05	NS	-0,75	****	-0,56	***
Sólidos suspendidos	-0,34	*	-0,53	***	0,12	NS	-0,58	***	-0,41	*
Temperatura	-0,46	**	-0,40	*	-0,01	NS	-0,77	****	-0,23	NS
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	0,54	****	0,22	NS	-0,30	NS	0,64	****	0,40	*
Cloruro	-0,61	****	-0,54	***	-0,12	NS	-0,75	****	-0,49	**
Fluoruro	-0,69	****	-0,54	***	-0,09	NS	-0,75	****	-0,56	***
Sulfato	-0,49	**	-0,54	***	-0,03	NS	-0,75	****	-0,42	*
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	-0,36	*	-0,37	*	-0,02	NS	-0,61	****	-0,17	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	-0,69	****	-0,54	***	-0,09	NS	-0,75	****	-0,56	***
Cobre	-0,48	**	-0,48	**	0,15	NS	-0,77	****	-0,41	*
Cromo	-0,32	NS	-0,28	NS	-0,21	NS	-0,45	**	-0,21	NS
Hierro	-0,12	NS	-0,40	*	-0,03	NS	-0,13	NS	-0,32	NS
Manganeso	-0,25	NS	-0,50	**	0,07	NS	-0,54	***	-0,31	NS
Níquel	-0,41	*	-0,18	NS	-0,02	NS	-0,29	NS	-0,41	*
Zinc	-0,18	NS	-0,41	*	0,09	NS	-0,46	**	-0,25	NS
<b>Metales No esenciales</b>										
Aluminio	-0,05	NS	-0,36	*	0,09	NS	-0,25	NS	-0,22	NS
Plomo	0,46	**	0,40	*	-0,005	NS	0,77	****	0,29	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	0,53	***	0,50	**	-0,045	NS	0,55	***	0,52	**
Coliformes totales	0,46	**	0,31	NS	-0,12	NS	0,37	*	0,46	**
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	0,49	**	0,54	***	0,05	NS	0,75	****	0,32	NS
Nitrato	-0,30	NS	-0,40	*	0,22	NS	-0,77	****	-0,15	NS
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	-0,36	*	-0,55	***	-0,03	NS	-0,76	****	-0,22	NS
Nitrógeno total	0,19	NS	0,03	NS	0,26	NS	-0,22	NS	0,21	NS

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

Tabla 16. Continuación.

Elementos o compuestos físicos y químicos	FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS									
	Chironomidae		Simuliidae		Elmidae		Corydalidae		Gomphidae	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,03	NS	-0,39	*	-0,51	**	-0,57	***	0,05	NS
DBO <sub>5</sub>	-0,21	NS	-0,28	NS	-0,40	*	-0,42	*	-0,16	NS
Color verdadero	0,08	NS	-0,39	*	-0,51	**	-0,57	***	0,15	NS
Oxígeno Disuelto	0,09	NS	0,21	NS	0,35	*	0,31	NS	0,12	NS
pH	-0,12	NS	-0,33	*	-0,35	*	-0,49	**	-0,15	NS
RAS	-0,13	NS	-0,39	*	-0,48	**	-0,57	***	-0,05	NS
Sólidos disueltos	-0,12	NS	-0,32	NS	-0,56	***	-0,48	**	0,05	NS
Sólidos suspendidos	-0,05	NS	-0,21	NS	-0,45	**	-0,32	NS	0,16	NS
Temperatura	0,09	NS	-0,39	*	-0,56	***	-0,57	***	0,05	NS
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	-0,18	NS	0,35	*	0,43	**	0,51	**	-0,16	NS
Cloruro	-0,22	NS	-0,32	NS	-0,49	**	-0,48	**	-0,05	NS
Fluoruro	-0,22	NS	-0,32	NS	-0,53	***	-0,48	**	-0,05	NS
Sulfato	-0,12	NS	-0,32	NS	-0,49	**	-0,48	**	0,05	NS
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	0,10	NS	-0,28	NS	-0,54	***	-0,42	*	0,05	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	-0,22	NS	-0,32	NS	-0,53	***	-0,48	**	-0,05	NS
Cobre	0,03	NS	-0,36	*	-0,51	**	-0,53	***	0,15	NS
Cromo	-0,21	NS	-0,21	NS	-0,20	NS	-0,31	NS	-0,12	NS
Hierro	-0,23	NS	0,04	NS	-0,18	NS	0,05	NS	0,05	NS
Manganeso	-0,05	NS	-0,20	NS	-0,39	*	-0,30	NS	0,15	NS
Níquel	-0,24	NS	-0,13	NS	-0,08	NS	-0,20	NS	-0,08	NS
Zinc	-0,03	NS	-0,17	NS	-0,30	NS	-0,26	NS	0,15	NS
<b>Metales no esenciales</b>										
Aluminio	-0,07	NS	-0,05	NS	-0,20	NS	-0,08	NS	0,15	NS
Plomo	-0,01	NS	0,39	*	0,46	**	0,57	***	-0,05	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	0,14	NS	0,20	NS	0,49	**	0,30	NS	-0,05	NS
Coliformes totales	0,09	NS	0,15	NS	0,33	*	0,22	NS	-0,05	NS
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	0	NS	0,32	NS	0,65	****	0,48	**	-0,05	NS
Nitrato	0,30	NS	-0,39	*	-0,60	***	-0,57	***	0,25	NS
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	0,05	NS	-0,32	NS	-0,62	****	-0,48	**	0,10	NS
Nitrógeno total	0,36	*	-0,15	NS	-0,09	NS	-0,22	NS	0,25	NS

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

### 3.1.6.2. Relación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas.

Los resultados de las correlaciones no paramétricas se presentan a partir de los parámetros biológicos cuantitativos ( $N=36$ ;  $p<0,05$ ) para el río Elqui, que se detallan en la Tabla 17 y de ella se vislumbra que: **Índice y Equidad de Brillouin**, **Índice y Equidad de Shannon-Wiener**, e **Índice y Equidad de Simpson** no se correlacionaron con las variables físicas o químicas.

La **Abundancia**, se correlacionó con las variables contempladas en los indicadores físicos y químicos a excepción de Oxígeno disuelto. Con todos los elementos o compuestos inorgánicos. Negativamente con Aceites y grasas, los Metales Boro, Cobre, Cromo, Manganeso, Níquel, Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo, los indicadores microbiológicos y Altura.

La **Riqueza**, se correlacionó con todos los indicadores físicos y químicos y elementos o compuestos inorgánicos. Negativamente con Aceites y grasas, los Metales Boro, Cobre, Cromo, Manganeso, Níquel, Nitrato y Fósforo total. Positivamente con Plomo, los indicadores microbiológicos y Altura.

El **Índice de Simpson insesgado**, se correlacionó positivamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, RAS, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos, Fluoruro, Sulfato, los Metales Boro, Cobre y Níquel. Negativamente con Amonio. Su **Equidad**, se correlacionó con las mismas variables que el índice con excepción de Sólidos suspendidos.

**Tabla 17.** Correlación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas, para el río Elqui (N= 36; p<0,05).

Elementos o compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cuantitativos									
	Abundancia		Riqueza		Í. Br.		E. Br.		I. S-W	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,69	****	-0,68	****	-0,25	NS	-0,08	NS	-0,22	NS
DBO <sub>5</sub>	-0,53	***	-0,59	***	-0,18	NS	0,02	NS	-0,15	NS
Color verdadero	-0,61	****	-0,58	***	-0,21	NS	-0,06	NS	-0,18	NS
Oxígeno Disuelto	0,32	NS	0,39	*	0,09	NS	-0,08	NS	0,06	NS
pH	-0,59	***	-0,63	****	-0,20	NS	-0,004	NS	-0,18	NS
RAS	-0,72	****	-0,73	****	-0,25	NS	-0,06	NS	-0,23	NS
Sólidos disueltos	-0,69	****	-0,69	****	-0,27	NS	-0,12	NS	-0,25	NS
Sólidos suspendidos	-0,46	**	-0,44	**	-0,19	NS	-0,12	NS	-0,17	NS
Temperatura	-0,49	**	-0,54	***	-0,13	NS	0,10	NS	-0,09	NS
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	0,52	**	0,47	**	0,17	NS	0,04	NS	0,15	NS
Cloruro	-0,66	****	-0,69	****	-0,24	NS	-0,07	NS	-0,21	NS
Fluoruro	-0,71	****	-0,74	****	-0,27	NS	-0,11	NS	-0,25	NS
Sulfato	-0,58	***	-0,59	***	-0,20	NS	-0,05	NS	-0,16	NS
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	-0,39	*	-0,44	**	-0,12	NS	0,07	NS	-0,09	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	-0,71	****	-0,74	****	-0,27	NS	-0,11	NS	-0,25	NS
Cobre	-0,56	***	-0,55	***	-0,18	NS	-0,04	NS	-0,15	NS
Cromo	-0,35	*	-0,39	*	-0,10	NS	0,01	NS	-0,07	NS
Hierro	-0,23	NS	-0,22	NS	-0,15	NS	-0,20	NS	-0,16	NS
Manganeso	-0,38	*	-0,37	*	-0,14	NS	-0,08	NS	-0,12	NS
Níquel	-0,40	*	-0,38	*	-0,17	NS	-0,14	NS	-0,17	NS
Zinc	-0,30	NS	-0,29	NS	-0,10	NS	-0,06	NS	-0,08	NS
<b>Metales no esenciales</b>										
Aluminio	-0,19	NS	-0,16	NS	-0,09	NS	-0,11	NS	-0,08	NS
Plomo	0,51	**	0,54	***	0,14	NS	-0,05	NS	0,09	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	0,58	***	0,57	***	0,25	NS	0,16	NS	0,25	NS
Coliformes totales	0,46	**	0,43	**	0,21	NS	0,16	NS	0,22	NS
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	0,55	***	0,59	***	0,19	NS	-0,016	NS	0,15	NS
Nitrato	-0,39	*	-0,39	*	-0,09	NS	0,10	NS	-0,04	NS
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	-0,46	**	-0,51	**	-0,14	NS	0,06	NS	-0,09	NS
Nitrógeno total	0,12	NS	0,14	NS	0,12	NS	0,15	NS	0,15	NS

I.Br.=Índice de Brillouin, E. Br.= Equidad de Brillouin, I. S-W = Índice de Shannon-Wiener.

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

Tabla 17. Continuación.

Elementos o compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cuantitativos									
	E. S-W		I. S.		E. S.		I. S.in.		E. S.in.	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,08	NS	-0,21	NS	-0,12	NS	0,41	*	0,44	**
DBO <sub>5</sub>	0,02	NS	-0,15	NS	-0,01	NS	0,13	NS	0,14	NS
Color verdadero	-0,06	NS	-0,15	NS	-0,09	NS	0,43	**	0,45	**
Oxígeno Disuelto	-0,08	NS	0,07	NS	-0,07	NS	0,03	NS	0,03	NS
pH	-0,01	NS	-0,17	NS	-0,03	NS	0,22	NS	0,26	NS
RAS	-0,07	NS	-0,21	NS	-0,11	NS	0,38	*	0,41	*
Sólidos disueltos	-0,13	NS	-0,24	NS	-0,18	NS	0,36	*	0,38	*
Sólidos suspendidos	-0,12	NS	-0,17	NS	-0,16	NS	0,34	*	0,33	NS
Temperatura	0,10	NS	-0,07	NS	0,07	NS	0,16	NS	0,17	NS
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	0,04	NS	0,13	NS	0,07	NS	-0,36	*	-0,40	*
Cloruro	-0,07	NS	-0,21	NS	-0,12	NS	0,32	NS	0,33	NS
Fluoruro	-0,11	NS	-0,25	NS	-0,16	NS	0,33	*	0,35	*
Sulfato	-0,05	NS	-0,16	NS	-0,09	NS	0,35	*	0,34	*
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	0,07	NS	-0,08	NS	0,04	NS	0,02	NS	0,04	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	-0,11	NS	-0,25	NS	-0,16	NS	0,33	*	0,35	*
Cobre	-0,04	NS	-0,13	NS	-0,08	NS	0,41	*	0,40	*
Cromo	0,02	NS	-0,07	NS	0,01	NS	0,19	NS	0,17	NS
Hierro	-0,20	NS	-0,18	NS	-0,23	NS	0,17	NS	0,15	NS
Manganeso	-0,07	NS	-0,12	NS	-0,11	NS	0,31	NS	0,29	NS
Níquel	-0,14	NS	-0,17	NS	-0,17	NS	0,35	*	0,35	*
Zinc	-0,06	NS	-0,08	NS	-0,08	NS	0,30	NS	0,28	NS
<b>Metales No esenciales</b>										
Aluminio	-0,11	NS	-0,08	NS	-0,13	NS	0,24	NS	0,21	NS
Plomo	-0,06	NS	0,08	NS	-0,03	NS	-0,31	NS	-0,30	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	0,17	NS	0,25	NS	0,22	NS	-0,27	NS	-0,29	NS
Coliformes totales	0,17	NS	0,22	NS	0,21	NS	-0,25	NS	-0,29	NS
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	-0,01	NS	0,15	NS	0,03	NS	-0,12	NS	-0,13	NS
Nitrato	0,11	NS	-0,01	NS	0,09	NS	0,21	NS	0,21	NS
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	0,06	NS	-0,09	NS	0,03	NS	0,12	NS	0,12	NS
Nitrógeno total	0,16	NS	0,17	NS	0,18	NS	0,09	NS	0,07	NS

E. S-W = Equidad de Shannon-Wiener, I. S.= Índice de Simpson, E. S.= Equidad de Simpson, I. S.in. = Índice de Simpson insesgado, E. S.in. =Equidad Simpson insesgado.

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

### 3.1.6.3. Relación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas.

Los índices biológicos cualitativos en el río Elqui, se correlacionaron (N=6,  $p < 0,05$ ), de la siguiente forma (Tabla 18): El Valor del índice *ChIBF* se correlacionó positivamente con Temperatura, Aceites y Grasas y Nitrato. Negativamente con Altura. El Valor del índice *EPT* no se correlacionó con ninguna variable. Los valores de los índices *BMWP/Col.* y *ChBMWP* se correlacionaron negativamente con Conductividad eléctrica, pH, RAS, Sólidos disueltos, Cloruro, Fluoruro y Boro; y positivamente con Coliformes fecales y Altura.

**Tabla 18.** Correlación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas, para el río Elqui (N=6;  $p < 0,05$ ).

Elementos o compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cualitativos							
	Valor <i>ChIBF</i>		Valor <i>EPT</i>		Valor <i>BMWP/Col</i>		Valor <i>ChBMWP</i>	
	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>								
Conductividad eléctrica	0,66	NS	-0,49	NS	-0,83	*	-0,83	*
pH	0,64	NS	-0,55	NS	-0,81	*	-0,81	*
RAS	0,60	NS	-0,54	NS	-0,89	*	-0,89	*
Sólidos disueltos	0,60	NS	-0,43	NS	-0,89	*	-0,89	*
Temperatura	0,83	*	0,20	NS	-0,66	NS	-0,66	NS
<b>Inorgánicos</b>								
Cloruro	0,43	NS	-0,31	NS	-0,83	*	-0,83	*
Fluoruro	0,54	NS	-0,49	NS	-0,94	**	-0,94	**
<b>Orgánicos</b>								
Aceites y Grasas	0,88	*	0,21	NS	-0,64	NS	-0,64	NS
<b>Metales esenciales</b>								
Boro	0,54	NS	-0,49	NS	-0,94	**	-0,94	**
<b>Indicadores Microbiológicos</b>								
Coliformes fecales	-0,52	NS	0,46	NS	0,81	*	0,81	*
Coliformes totales	-0,41	NS	0,58	NS	0,64	NS	0,64	NS
<b>Variables no insertas en la Norma</b>								
Altura	-0,89	*	-0,09	NS	0,83	*	0,83	*
Nitrato	0,83	*	0,49	NS	-0,43	NS	-0,43	NS

$r_s$  = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo, \* =  $< 0,05$ ; \*\* =  $< 0,01$ .

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

**Nota:** Las variables que no presentaron correlación no son mostradas en la tabla.

## 3.2. Río Cachapoal

### 3.2.1. Variables físicas y químicas en los sitios de muestreo.

En la Tabla 19, se detallan las 50 variables físicas y químicas obtenidas en los distintos sitios de muestreo del río Cachapoal para la campaña realizada en Marzo del 2004. De está se desprende que: la conductividad eléctrica registró los máximos valores en los sitios 3 (584  $\mu\text{S/cm}$ ) y 7 (576  $\mu\text{S/cm}$ ). El color Verdadero, coincide en sus valores máximos con el anterior, en los sitios 3 (3,1 UCV) y 7 (2,81 UCV). El pH con los mayores valores en los sitios 7 (8,7) y 6 (8,4). Los sólidos disueltos tiene las más altas concentraciones en el sitio 3 (398 mg/l) y en el 7 (420 mg/l). Los sólidos suspendidos tienen las mayores concentraciones en los sitios 2 (103 mg/l) y 3 (194 mg). Los sulfatos tienen sus concentraciones máximas en los sitios 3 (159,05 mg/l) y 7 (239,15 mg/l). El Nitrógeno total aumenta a partir del sitio 2 y llega a su valor máximo en el sitio 4 (1168,69  $\mu\text{g/l}$ ), donde disminuye nuevamente. El Fósforo total aumentó en el sitio 2 llegando a su máxima concentración en el sitio 5 (1913,83  $\mu\text{g/l}$ ). Aceites y Grasas, tiene dos sitios de alta concentración el sitio 1 (54,7 mg/l) y el 4 (22,8 mg/l). Los Metales se presentaron de la siguiente manera: en el sitio 6 se encontró las mayores concentraciones de Boro (574  $\mu\text{g/l}$ ) y Aluminio (246  $\mu\text{g/l}$ ). Mientras que en el sitio 3 se encontraron las máximas concentraciones de Cobre (88,6  $\mu\text{g/l}$ ), Hierro (17  $\mu\text{g/l}$ ), Manganeso (238  $\mu\text{g/l}$ ) y Arsénico (11,1  $\mu\text{g/l}$ ). Los indicadores Microbiológicos presentaron los siguientes valores: Coliformes fecales con un valor máximo de 7900 NMP/100ml en el sitio 5 y de 4900 NMP/100ml en el sitio 4. Y Coliformes totales, aumento su concentración a partir del sitio 4, llegando a un valor máximo de 54000 NMP/100ml en el sitio 5, y volviendo a aumentar en el sitio 7 (22000 NMP/100ml).

**Tabla 19.** Variables físicas y químicas obtenidas en el Río Cachapal (Marzo, 2004).

Variable	Unidad	LD	Sitios de Muestreo						
			1	2	3	4	5	6	7
<b>Datos de terreno</b>									
Hora muestreo	H:min	--	8:30	15:00	11:30	15:00	8:30	11:00	15:00
<b>Indicadores físicos y Químicos</b>									
Conductividad eléctrica	µS/cm	--	378	426	584	502	562	558	576
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	4,0	<LD	<LD	<LD	11,9	<LD	<LD	<LD
Color verdadero	UCV	0,338	0,55	1,54	3,1	1,12	1,55	1,29	2,81
Oxígeno Disuelto	mg/L	--	10,23	9,87	9,00	8,84	9,66	11,51	10,04
pH	--	--	7,03	8	8,1	7,36	7,93	8,4	8,66
Sólidos disueltos	mg/L	0,28	238	278	398	318	308	336	420
Sólidos suspendidos	mg/L	0,34	40,8	103	194	68,8	28,2	34,5	26,7
Temperatura	°C	--	9,1	13	16,7	13,7	17,8	20	17,8
<b>Inorgánicos</b>									
Amonio	µg/L	0,017	0,568	0,485	0,456	0,605	1,478	0,443	0,679
Cianuro	µg/L	8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cloruro	mg/L	0,093	17,75	34,69	26,28	37,56	33,29	35	30
Fluoruro	mg/L	0,052	0,65	0,55	0,49	0,31	0,43	0,57	0,62
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/L	0,132	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Sulfato	mg/L	0,131	97,12	100,81	159,05	116,88	115,22	103,86	239,15
<b>Orgánicos</b>									
Aceites y Grasas	mg/L	10,19	54,7	<LD	<LD	22,8	16,4	<LD	<LD
Bifenilos Policlorados (PCB's)	µg/L	(a)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,08	<LD	<LD	<LD	0,09	<LD	<LD	<LD
Índice de fenol	µg/L	2,79	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	(b)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hidrocarburos fijos	mg/L	0,5	2,3	3,7	2,4	2	2,6	2,1	0,6
Hidrocarburos volátiles	mg/L	(c)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0017	0,0024	<LD
Hidrocarburos totales*	mg/L	--	2,3	3,7	2,4	2	2,602	2,102	0,6
<b>Orgánicos Plaguicidas</b>									
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	mg/L	0,05	--	--	--	ND	ND	ND	ND
Atrazina, Captán, Dieldrin, Dimetoato, Paratión, Simazina	mg/L	0,01	--	--	--	ND	ND	ND	ND
<b>Metales esenciales</b>									
Boro	µg/L	5,0	476	379	441	508	540	574	530
Cobre	µg/L	3,91	<LD	10,6	88,6	13,2	12,7	23,8	6,67
Cromo	µg/L	8,2	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Hierro	µg/L	5,41	<LD	<LD	17	<LD	<LD	<LD	<LD
Manganeso	µg/L	2	<LD	<LD	238	<LD	<LD	<LD	<LD
Molibdeno	µg/L	8	<LD	<LD	<LC	<LD	<LD	<LD	<LD
Níquel	µg/L	5,24	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Selenio	µg/L	4,9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Zinc	µg/L	4,57	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

**Tabla 19.** Continuación.

Variable	Unidad	LD	Sitios de Muestreo							
			1	2	3	4	5	6	7	
<b>Metales No esenciales</b>										
Aluminio	µg/L	7,83	<LD	9,7	<LD	<LD	<LD	<LD	246	<LD
Arsénico	µg/L	8,13	<LD	<LD	11,1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cadmio	µg/L	2,1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Estaño	µg/L	5,0	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Plomo	µg/L	2,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml	2	23	22	2	4900	7900	490	1200	
Coliformes totales	NMP/ 100 ml	2	49	350	110	17000	54000	3300	22000	
<b>Variables no insertas en la norma</b>										
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	0,063	0,916	0,81	1,04	3,75	8,85	8,73	9,5	
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	µg/L	2,36	76,83	13,5	135,16	233,5	1913,83	128,5	45,16	
Nitrógeno total	µg/L	82,66	131,8	262,66	512,82	1168,69	446,76	352,8	336,8	

LD = Limite de detección.; LC = Límite de Cuantificación, que es  $LC = LD \times 3,33$ ; ND = No detectado.

(a) Sin límite de detección (LD) determinado por los laboratorios. El LD depende del compuesto detectado; El Barrido de compuestos PCB's realizado fue de Monoclorobifenilo, Triclorobifenilo, Tetraclorobifenilo, Pentaclorobifenilo, Hexaclorobifenilo, Heptaclorobifenilo, Octaclorobifenilo, Nonaclorobifenilo, Decaclorobifenilo. Se estima un LD de  $\pm 1,7 \text{ E-4 mg/L}$ .

(b) El límite de detección (LD) depende del compuesto detectado; El barrido de compuestos HAP's realizado fue de Nafteno, Acetaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluorantreno, Pireno, Benzo (a) antraceno, Criseno, Benzo (b) fluoranteno, Benzo (K) fluoranteno, Benzo (a) pireno y Benzo (g, h, i) perileno. El valor de LD mayor lo posee el compuesto Fenantreno con  $3,5 \text{ E-1 mg/L}$ .

(c) El barrido analítico incluye los compuestos Cloruro de Vinilo, 1,1 dicloroetileno, 2-butanona, Tetracloruro de carbono, Benceno, Tricloroetileno, Clorobenceno, 1,4-diclorobenceno, Tetracloroetileno y Tolueno. Los límites de detección (LD) dependen del compuesto determinado; el LD mayor en el barrido es para tolueno con  $1,82 \text{ E-3 mg/L}$ .

\* Hidrocarburos totales = Hidrocarburos fijos + VOC's. Calculados a partir de los límites de detección mayores de los barridos analíticos.

### **3.2.2. Clasificación del estado trófico del río Cachapoal en relación con valores de Nitrógeno y Fósforo.**

Para el Nitrógeno el sitio 4 es Mesotrófico y los demás sitios son Oligotróficos. Para el Fósforo los sitios 1 y del 3 al 6 son Eutróficos, el sitio 2 es Oligotrófico y el 7 es Mesotrófico (Tabla 20). El estado trófico no presenta una relación con la presencia de macroinvertebrados, en especial la productividad dada por Fósforo.

**Tabla 20.** Evaluación del estado trófico para Nitrógeno y Fósforo en el Río Cachapoal.

<b>Sitios de muestreo</b>	<b>Estado trófico para Nitrógeno</b>	<b>Estado trófico para Fósforo</b>
S 1	Oligotrófico	Eutrófico
S 2	Oligotrófico	Oligotrófico
S 3	Oligotrófico	Eutrófico
S 4	Mesotrófico	Eutrófico
S 5	Oligotrófico	Eutrófico
S 6	Oligotrófico	Eutrófico
S 7	Oligotrófico	Mesotrófico

### 3.2.3. Parámetros biológicos: Macroinvertebrados bentónicos.

#### 3.2.3.1. Composición Taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.

El listado de Familias registrado en el río Cachapoal para la campaña de Marzo del 2004 (Tabla 21), está compuesto por 9 Familias, principalmente de los órdenes Trichoptera, con las Familias Hydropsychidae, Hydrobiosidae y Hydroptilidae; Ephemeroptera con las Familias Leptophlebiidae y Baetidae; Coleoptera con la Familia Elmidae; Diptera con las Familias Chironomidae y Blephariceridae; y Plecoptera con la Familia Gripopterygiidae.

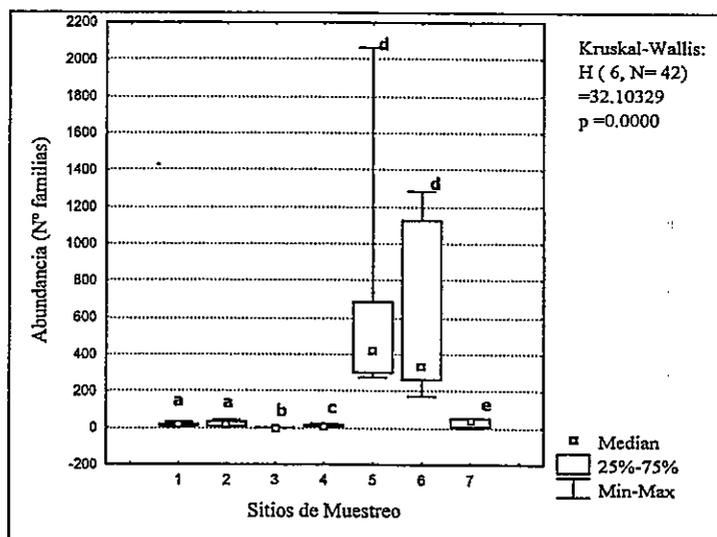
**Tabla 21.** Composición Taxonómica de Macroinvertebrados bentónicos (Clase: Insecta) de los distintos sitios de muestreo del Río Cachapoal (Marzo, 2004). La letra X, indica presencia del taxa en el sitio.

Orden	Familia	Especie	Sitios de muestreo						
			S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea chilensis</i>	X	X	X	X	X	X	X
		<i>Smicridea sp.</i>					X	X	X
	Hydrobiosidae	<i>Rheochorema sp.</i>	X			X			
	Hydroptilidae	<i>Ochrotrichia sp.</i>					X	X	X
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Meridialaris laminata</i>	X						
		<i>Meridialaris diguillina</i>	X	X		X			
		<i>Meridialaris chiloeensis</i>		X					
		<i>Massartellopsis irrazavali</i>	X						
	Baetidae	<i>Deceptiviosa torrens</i>	X	X	X	X			
		<i>Andesiops peruvianus</i>	X	X		X	X	X	
Plecoptera	Gripopterygiidae	<i>Notoperla sp.</i>		X					
		<i>Perlugoperla personata</i>		X					
		<i>Antarctoperla michaelsoni</i>		X					
Diptera	Blephariceridae	<i>Edwardsina sp.</i>	X						
	Chironomidae	Indeterminado	X	X		X	X		X
		<i>Orthocladius sp.</i>		X					X
Coleoptera	Elmidae	<i>Elmis sp. (larva)</i>				X	X	X	X
		<i>Elmis sp. (Adulto)</i>				X	X	X	

### 3.2.3.2. Abundancia total de Familias de Macroinvertebrados bentónicos.

Se encontraron diferencias significativas entre sitios de muestreo en el río Cachapoal, con el test de Kruskal-Wallis ( $N=42$ ,  $p<0,001$ ) y mostró en primera instancia un comportamiento ascendente, con la menor abundancia promedio en el sitio 3 ( $0,33\pm 0,21$ ), que se diferenció significativamente de los restantes y con el valor más alto en el sitio 5, con la mayor abundancia promedio ( $695,5\pm 280,12$ ) y luego se comportó en forma descendente. Al comparar entre pares de sitios de muestreo, tenemos que: los sitios 1-2, y 5-6, no se diferenciaron entre sí. Mientras que, los sitios 2-3, 3-4, 4-5 y 6-7, presentaron diferencias significativas entre sitios. Además, los sitios 5 y 6 presentaron las mayores abundancias, diferenciándose de los restantes sitios (Figura 9, Tabla 22).

**Figura 9.** Gráfico de abundancia total de Familias de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo del río Cachapoal. Las letras representan diferencias significativas o similitudes entre sitios ( $N=42$ ,  $\alpha=0,05$ ).



**Tabla 22.** Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.

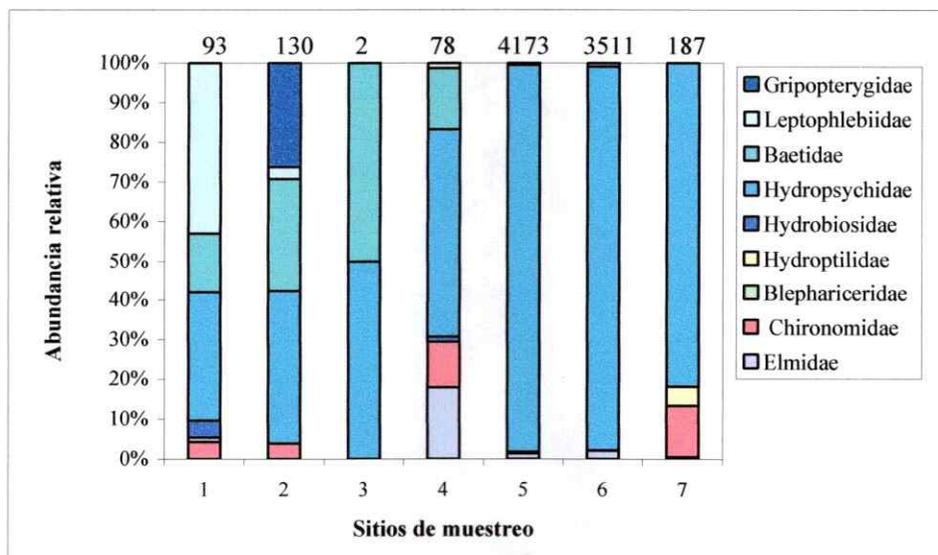
Variable	Pares de sitios de muestro											
	S 1-2		S 2-3		S 3-4		S 4-5		S 5-6		S 6-7	
	N	p	N	p	N	p	N	p	N	p	N	p
Abundancia total	12	0,52	12	<0,01	12	<0,01	12	<0,01	12	0,52	12	<0,01

### 3.2.3.3. Abundancia de cada una de las Familias de macroinvertebrados bentónicos.

El Río Cachapoal en la campaña de Marzo del 2004, presentaba las mayores abundancias en los sitios 5 y 6, siendo de un orden de magnitud mayor a la registrada en el río Elqui. Mientras que los sitios 1, 2, 4 y 7, presentaban abundancias intermedias. Y el sitio 3, presentó la menor abundancia total (Figura 10).

Las principales Familias de insectos presentes en esta campaña, tienen la siguiente distribución: **Leptophlebiidae** presente en los sitios 1 (43,01 %), 2 (3,08 %) y 4 (1,28 %). **Baetidae** en los sitios 1 al 6 en diferente grado de presencia. **Hydropsychidae** en todos los sitios con una presencia mínima de 30 %. **Chironomidae** en los sitios 1 (4,3 %), 2 (3,85 %), 4 (11,54 %), 5 (0,31 %) y 7 (12,83 %). **Elmidae** presentes en los sitios 4 (17,95 %), 5 (1,41 %), 6 (2,11 %) y 7 (0,53 %). **Gripopterygidae** sólo presente en el sitio 2 (26,15 %), considerado como indicador de aguas muy limpias y oligotróficas (Hellowell, 1986; Lopretto & Tell, 1995; Domínguez & Fernández, 2001).

**Figura 10.** Abundancia relativa de cada una de las Familias y abundancia total de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada sitio de muestreo, del río Cachapoal (Marzo 2004).

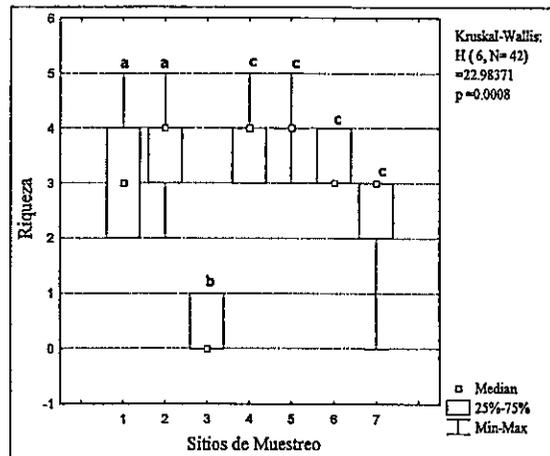


### 3.2.4. Índices biológicos cuantitativos.

A partir del test realizado para los índices biológicos cuantitativos del río Cachapoal, se encontró que:

La **Riqueza**, presentó diferencias significativas entre todos los sitios ( $N=42$ ,  $p<0,001$ ). Al comparar entre pares de sitios: 1-2, son similares; los sitios 2-3 y 3-4, son diferentes entre sí y los sitios 4-5, 5-6 y 6-7 no son diferentes entre sí (Figura 11, Tabla 23). La mayor riqueza promedio se dio en el sitio 5 ( $4\pm 0,26$ ), y la menor en el sitio 3 ( $0,33\pm 0,21$ ).

**Figura 11.** Gráfico de riqueza en los sitios de muestreo del río Cachapoal.



El **índice de Brillouin** presentó diferencias significativas entre todos los sitios de muestreo ( $N=37$ ,  $p<0,001$ ). Las comparaciones entre pares de sitios dieron que: S 2-3, S 3-4, S 4-5 y S 6-7 son diferentes entre sí. Mientras que, S 1-2 y 5-6 no tienen diferencias entre sí (Figura 12a, Tabla 23). Su mayor valor promedio es  $0,86\pm 0,1$  (S 2), y el menor es  $0\pm 0$  (S 3). El mismo comportamiento tuvo la **Equidad de Brillouin** que mostró diferencias entre todos los sitios de muestreo ( $N=37$ ,  $p<0,001$ ) (Figura 12b, Tabla 23). Con un valor máximo promedio de  $0,85\pm 0,08$  en el sitio 1 y un mínimo de 0 en el sitio 3.

Para el **índice de Shannon-Wiener**, el comportamiento de los sitios de muestreo es igual al índice anterior (Figura 12c, Tabla 23). Con un valor máximo promedio en el sitio 4 ( $1,13 \pm 0,11$ ) y un mínimo valor en el sitio 3 (0). La **Equidad** sigue la misma tendencia que su índice (Figura 12d, Tabla 23). La equidad tuvo un valor mínimo promedio de 0 (sitio 3) y un máximo promedio de  $0,86 \pm 0,07$  (sitio 1).

El **índice de Simpson** sigue el mismo comportamiento anterior (Figura 12e, Tabla 23), con un valor máximo promedio de  $0,62 \pm 0,05$  (Sitio 4) y uno mínimo promedio de 0 (sitio 3). Al igual que la **equidad de Simpson** (Figura 12f, Tabla 23), con un valor máximo promedio de  $0,85 \pm 0,04$  (Sitio 2) y un mínimo promedio de 0 (Sitio 3).

Tanto el **índice de Simpson insesgado** ( $N=35$ ,  $p=1$ ) (Figura 12g), como su **Equidad** ( $N=35$ ,  $p=1,0$ ) (Figura 12h), no presentaron diferencias significativas entre los sitios. Para el índice el máximo valor promedio es  $0,70 \pm 0,07$  (Sitio 4) y un mínimo de  $0,07 \pm 0,02$  (Sitio 5). Y la Equidad menor promedio es  $0,09 \pm 0,03$  (Sitio 5) y el máximo es de  $0,86 \pm 0,04$  (Sitio 2).

**Tabla 23.** Test de Kruskal-Wallis aplicado entre pares de sitios de muestreo para la riqueza e índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.

Variable	Pares de sitios de muestro											
	S 1-2		S 2-3		S 3-4		S 4-5		S 5-6		S 6-7	
	N	p	N	p	N	p	N	p	N	p	N	p
Riqueza	12	0,41	12	<0,01	12	<0,01	12	0,65	12	0,08	12	0,06
Índice Brillouin	12	0,63	8	<0,05	8	0,04	12	<0,01	12	0,38	11	0,02
Equidad Brillouin	12	0,42	8	0,04	8	0,04	12	<0,01	12	0,26	11	<0,01
Índice S-W	12	0,75	8	0,04	8	0,04	12	<0,01	12	0,42	11	<0,05
Equidad S-W	12	0,42	8	0,04	8	<0,05	12	<0,01	12	0,26	11	<0,01
Índice Simpson	12	0,75	8	0,04	8	<0,05	12	<0,01	12	0,26	11	0,01
Equidad Simpson	12	0,34	8	0,04	8	0,04	12	<0,01	12	0,26	11	<0,01

**Figura 12.** Gráficos de índices de diversidad y equidad del río Cachapoal: a) Índice de Brillouin, b) Equidad de Brillouin, c) Índice de Shannon-Wiener, d) Equidad de Shannon-Wiener, e) Índice de Simpson, f) Equidad de Simpson, g) Índice de Simpson insesgado y h) Equidad de Simpson insesgado.

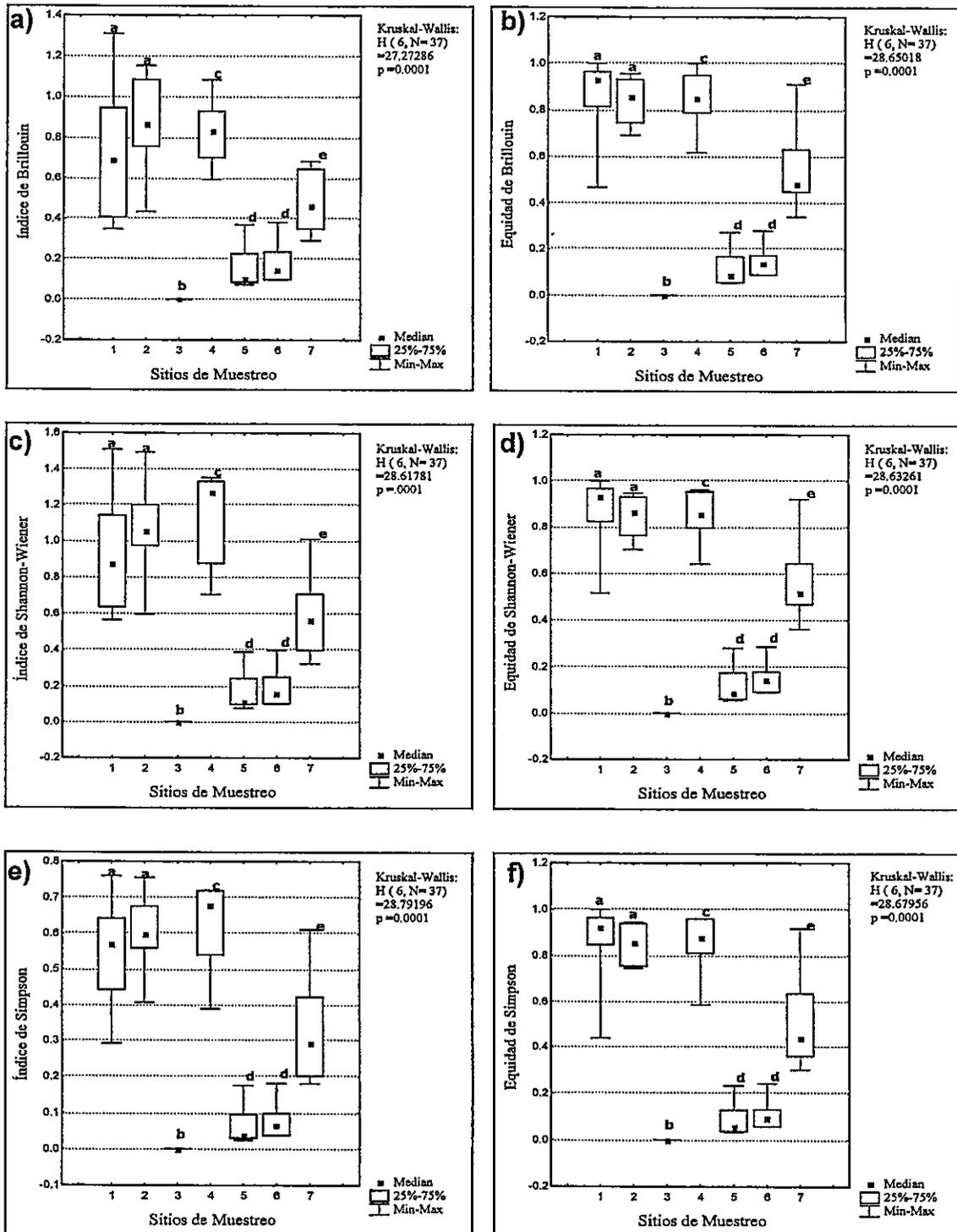
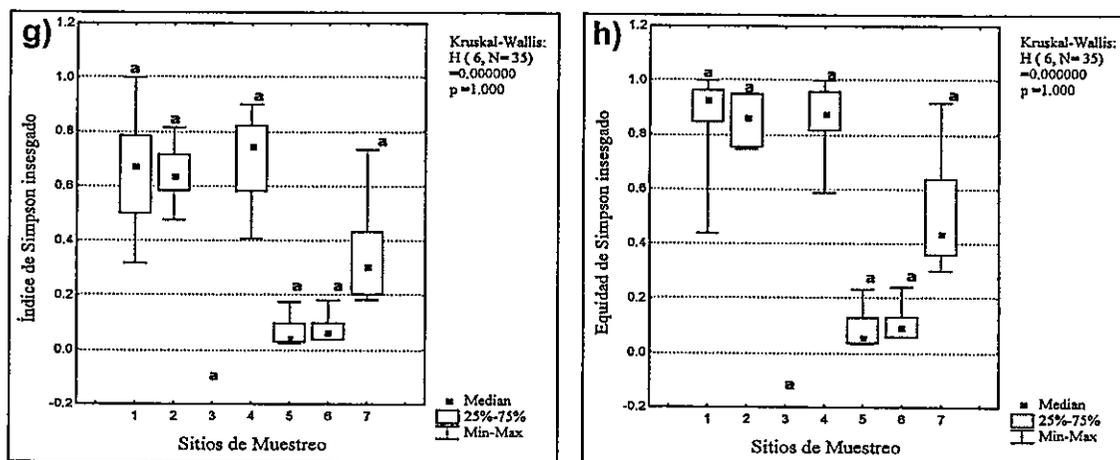


Figura 12. Continuación.



### 3.2.5. Índices biológicos cualitativos.

#### 3.2.5.1. Índice Biótico de Familia (ChIBF).

El análisis de calidad de agua del Río Cachapoal empleando el *ChIBF*, entregó las siguientes calidades (ver Tabla 24): **Clase I** (Muy buena calidad), en los sitios de muestreo 1 y 2. **Clase II** (Buena calidad), en los sitios de muestreo 3, 4, 5, 6 y 7. Es decir, la calidad del agua estimada por el *ChIBF* para el río Cachapoal, disminuye de muy buena calidad a una buena calidad a lo largo del río, lo que es coherente con las mayores abundancias de individuos de la familia Hydropsychidae en los sitios 6 y 7, asociada a aguas medianamente contaminadas.

#### 3.2.5.2. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)

El índice EPT para el río Cachapoal (Tabla 24) muestra que: **Clase I** (Muy Buena calidad), en los sitios de muestreo 1, 2, 3, 5, 6 y 7; y **Clase II** (Buena calidad) en el sitio de muestreo 4. El Río Cachapoal aplicando el EPT muestra que el sitio de muestreo 4 tiene un leve decrecimiento de su calidad. Esta disminución, no coincide con el sitio en donde existe la menor abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos, pero en este sitio se encontraron dos familias que no pertenecen a los ordenes en estudio (Elmidae y Chironomidae).

### 3.2.5.3. Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col)

Para el análisis de calidad de agua, a través de la aplicación del BMWP/Col. para el río Cachapoal (Tabla 24), se obtuvo el siguiente resultado: *Clase I* (Buena calidad), en los sitios de muestreo 1, 2, 4, 5, 6 y 7; y *Clase V* (Muy crítica), en el sitio de muestreo 3. Al aplicar el BMWP/Col. en el río Cachapoal, en general este presenta una buena calidad del agua, a excepción del sitio de muestreo 3 donde se produce una fuerte disminución siendo de una muy crítica calidad, siendo el sitio de menor abundancia total de familias de macroinvertebrados y luego en el sitio 4 se recupera la buena calidad del agua del curso.

### 3.2.5.4. Biological Monitoring Working Party para Chile (ChBMWP)

A partir de la aplicación de ChBMWP para el río Cachapoal, que se presentan en la Tabla 24, los resultados obtenidos son: *Clase I* (Buena calidad), en los sitios de muestreo 1, 2, 4, 5, 6 y 7, para aguas muy limpias; y *Clase V* (Muy crítica), en el sitio de muestreo 3, para aguas fuertemente contaminadas. El resultado de la aplicación del ChBMWP en el río Cachapoal, es igual a la que resulta de la aplicación del BMWP/Col., siendo de una buena calidad del agua, a excepción del sitio de muestreo tres donde es de muy crítica calidad.

**Tabla 24.** Valores y Clases de calidad del agua de los índices cualitativos: ChIBF, EPT, BMWP/Col. y ChBMWP, obtenidos en el Río Cachapoal. Las siglas son: MB: Muy buena; B: Buena; MC: Muy crítica.

Sitio de muestreo	Índice ChIBF			Índice EPT			Índice BMWP/Col			Índice ChBMWP		
	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad
S1	I	3,05	MB	I	94,62	MB	I	722	B	I	652	B
S2	I	3,27	MB	I	96,15	MB	I	689	B	I	788	B
S3	II	4	B	I	100	MB	V	14	MC	V	9	MC
S4	II	4,27	B	II	70,51	B	I	491	B	I	358	B
S5	II	4,01	B	I	98,27	MB	I	29087	B	I	20806	B
S6	II	4	B	I	97,89	MB	I	24503	B	I	17525	B
S7	II	4,39	B	I	86,63	MB	I	1188	B	I	872	B

### **3.2.6. Relación entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.**

#### **3.2.6.1. Relación entre la abundancia poblacional de Familias de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicas y químicas.**

Para el río Cachapoal, las Familias que se correlacionaron significativamente con las diferentes variables ( $N=42$ ;  $p<0,05$ ), son las que se presentan a continuación y se detalla en la Tabla 25: La familia **Blephariceridae** (Orden: Díptera) no se correlacionó con las variables físicas y químicas (datos no mostrados).

La familia **Hydropsychidae** (Orden: Tricoptera), se correlacionó positivamente con Oxígeno disuelto, Temperatura, Cloruro, con los Metales Boro, Aluminio, los Indicadores microbiológicos y Nitrato. Negativamente con Sólidos suspendidos, Hierro, Manganeso, Arsénico y Altura.

La familia **Hydrobiosidae** (Orden: Tricoptera), se correlacionó negativamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, pH, Temperatura y positivamente con Aceites y grasas.

**Leptophlebiidae** (Orden: Ephemeroptera), se correlacionó negativamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, pH, Sólidos disueltos, Temperatura, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Coliformes totales, Nitrato, Fósforo y Nitrógeno total. Y positivamente con Fluoruro, Aceites y grasas y Altura.

**Baetidae** (Orden: Ephemeroptera), se correlacionó negativamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, Sólidos disueltos, Sulfato, Hierro, Manganeso y Arsénico. Positivamente con Cloruro, Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales y Aluminio.

**Chironomidae** (Orden: Diptera), se correlacionó negativamente con Sólidos suspendidos, Hidrocarburos volátiles, Hierro, Manganeso, Aluminio, Arsénico y Altura. En forma positiva con Amonio, los indicadores microbiológicos y Nitrato.

**Gripopterygiidae** (Orden: Plecoptera), se correlacionó positivamente con Sólidos suspendidos, Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales, Aluminio y Altura. En forma negativa con Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos, Temperatura, Sulfatos, Aceites y grasas, Boro, Coliformes fecales, Nitrato, Fósforo y Nitrógeno total.

**Elmidae** (Orden: Coleoptera), se correlacionó positivamente con Temperatura, Cloruro, Boro, Cobre, los indicadores microbiológicos, Nitrato, Fósforo y Nitrógeno total. Y Negativamente con Sólidos suspendidos, Fluoruro, Hierro, Manganeso, Arsénico y Altura.

**Hydroptilidae** (Orden: Tricoptera), se correlacionó positivamente con pH, Sólidos disueltos, Temperatura, Boro, Coliformes totales y Nitrato. Negativamente con Sólidos suspendidos, Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales y Altura.

**Tabla 25.** Correlación entre las familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Cachapoal y las variables físicas y químicas (N=42; p<0,05).

Elementos o Compuestos físicos y químicos	FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS							
	Hydropsychidae		Hydrobiosidae		Leptophlebiidae		Baetidae	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>								
Conductividad eléctrica	-0,03	NS	-0,33	*	-0,71	****	-0,43	**
DBO <sub>5</sub>	-0,13	NS	0,14	NS	-0,09	NS	0,01	NS
Color verdadero	-0,14	NS	-0,37	*	-0,58	****	-0,41	**
Oxígeno Disuelto	0,36	*	0,05	NS	0,29	NS	0,20	NS
pH	0,13	NS	-0,37	*	-0,58	****	-0,24	NS
Sólidos disueltos	-0,05	NS	-0,28	NS	-0,68	****	-0,46	**
Sólidos suspendidos	-0,63	****	0,05	NS	0,17	NS	-0,02	NS
Temperatura	0,57	****	-0,33	*	-0,71	****	0,02	NS
<b>Inorgánicos</b>								
Amonio	0,22	NS	0,05	NS	-0,05	NS	-0,13	NS
Cloruro	0,39	*	-0,15	NS	-0,39	*	0,39	*
Fluoruro	-0,04	NS	0,15	NS	0,46	**	-0,11	NS
Sulfato	-0,16	NS	-0,24	NS	-0,66	****	-0,55	***
<b>Orgánicos</b>								
Aceites y Grasas	-0,01	NS	0,41	**	0,52	***	0,13	NS
Detergentes (SAAM)	-0,13	NS	0,14	NS	-0,09	NS	0,01	NS
Hidrocarburos fijos	-0,02	NS	-0,09	NS	0,18	NS	0,33	*
Hidrocarburos volátiles	-0,02	NS	0	NS	0	NS	0,08	NS
Hidrocarburos totales	-0,02	NS	-0,09	NS	0,18	NS	0,33	*
<b>Metales esenciales</b>								
Boro	0,74	****	-0,09	NS	-0,40	**	0,18	NS
Cobre	-0,02	NS	-0,24	NS	-0,59	****	0,02	NS
Hierro	-0,57	****	-0,11	NS	-0,23	NS	-0,40	**
Manganeso	-0,57	****	-0,11	NS	-0,23	NS	-0,40	**
<b>Metales No esenciales</b>								
Aluminio	0,35	*	-0,17	NS	-0,07	NS	0,48	**
Arsénico	-0,57	****	-0,11	NS	-0,23	NS	-0,40	**
<b>Indicadores Microbiológicos</b>								
Coliformes fecales	0,61	****	-0,003	NS	-0,28	NS	0,16	NS
Coliformes totales	0,58	****	-0,24	NS	-0,59	****	0,05	NS
<b>Variables no insertas en la Norma</b>								
Altura	-0,51	***	0,28	NS	0,68	****	0,11	NS
Nitrato	0,50	***	-0,19	NS	-0,58	****	-0,17	NS
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	0,23	NS	-0,003	NS	-0,35	*	0,08	NS
Nitrógeno total	-0,02	NS	-0,15	NS	-0,61	****	-0,11	NS

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

Tabla 25. Continuación.

Elementos o compuestos físicos y químicos	FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS							
	Chironomidae		Gripopterygidae		Elmidae		Hydroptilidae	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>								
Conductividad eléctrica	0,09	NS	-0,41	**	0,08	NS	0,25	NS
DBO <sub>5</sub>	0,22	NS	-0,17	NS	0,21	NS	-0,17	NS
Color verdadero	0,09	NS	0	NS	-0,16	NS	0,18	NS
Oxígeno Disuelto	-0,23	NS	0	NS	0,04	NS	0,27	NS
pH	-0,01	NS	0	NS	0,01	NS	0,42	**
Sólidos disueltos	0,09	NS	-0,41	**	0,05	NS	0,36	*
Sólidos suspendidos	-0,41	**	0,41	**	-0,40	**	-0,45	**
Temperatura	0,09	NS	-0,41	**	0,61	****	0,41	**
<b>Inorgánicos</b>								
Amonio	0,64	****	-0,20	NS	0,11	NS	0,11	NS
Cloruro	0,13	NS	0,20	NS	0,58	****	0,02	NS
Fluoruro	-0,19	NS	0	NS	-0,40	**	0,22	NS
Sulfato	0,30	NS	-0,41	**	-0,01	NS	0,26	NS
<b>Orgánicos</b>								
Aceites y Grasas	0,14	NS	-0,34	*	0,10	NS	-0,25	NS
Detergentes (SAAM)	0,22	NS	-0,17	NS	0,21	NS	-0,17	NS
Hidrocarburos fijos	-0,21	NS	0,61	****	-0,09	NS	-0,33	*
Hidrocarburos volátiles	-0,43	**	0	NS	0,01	NS	0,13	NS
Hidrocarburos totales	-0,21	NS	0,61	****	-0,09	NS	-0,33	*
<b>Metales esenciales</b>								
Boro	0,18	NS	-0,61	****	0,77	****	0,36	*
Cobre	-0,29	NS	-0,20	NS	0,37	*	-0,08	NS
Hierro	-0,34	*	-0,17	NS	-0,34	*	-0,17	NS
Manganeso	-0,34	*	-0,17	NS	-0,34	*	-0,17	NS
<b>Metales no esenciales</b>								
Aluminio	-0,34	*	0,51	***	0,25	NS	0,07	NS
Arsénico	-0,34	*	-0,17	NS	-0,34	*	-0,17	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>								
Coliformes fecales	0,54	***	-0,41	**	0,65	****	0,20	NS
Coliformes totales	0,56	***	-0,20	NS	0,57	****	0,31	*
<b>Variables no insertas en la Norma</b>								
Altura	-0,32	*	0,41	**	-0,50	***	-0,48	**
Nitrato	0,41	**	-0,61	****	0,50	***	0,45	**
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	0,11	NS	-0,61	****	0,61	****	-0,12	NS
Nitrógeno total	0,10	NS	-0,41	**	0,42	**	-0,08	NS

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

### 3.2.6.2. *Relación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas.*

Los resultados de las correlaciones no paramétricas ( $N=42$ ;  $p<0,05$ ) del río Cachapoal, se presentan a partir de los parámetros biológicos cuantitativos (Tabla 26), que se detallan a continuación:

La **Abundancia**, se correlacionó positivamente con Oxígeno disuelto, Temperatura, Cloruro, Boro, Aluminio, Coliformes fecales, Coliformes totales y Nitrato. Y en forma negativa con Sólidos suspendidos, Hierro, Manganeso, Arsénico y Altura.

La **Riqueza**, se asoció negativamente con Conductividad eléctrica, Color verdadero, pH, Sólidos disueltos, Sulfato, Hierro, Manganeso y Arsénico. Positivamente con Cloruro, Aceites y grasas y los indicadores microbiológicos (Coliformes fecales y totales).

El **Índice de Brillouin**, se asoció negativamente con Temperatura, Boro, Coliformes fecales, Coliformes totales y Nitrato; y positivamente con Sólidos suspendidos y Altura. La **Equidad de Brillouin**, se asoció con las mismas variables que su índice y además negativamente con Fósforo total.

El **Índice de Shannon-Wiener**, se correlacionó negativamente con Temperatura, Boro, los indicadores microbiológicos y Nitrato; y positivamente con Sólidos suspendidos y Altura. La **Equidad de Shannon-Wiener**, se correlacionó con las mismas variables que su índice.

El **Índice de Simpson** y su **Equidad**, se correlacionaron negativamente con las variables Temperatura, Boro, Coliformes fecales, Coliformes totales y Nitrato. En forma positiva con Sólidos suspendidos y Altura.

El **Índice de Simpson insesgado** y su **Equidad**, se correlacionaron negativamente con Oxígeno disuelto, Temperatura, Cloruro, Boro, Aluminio, los indicadores microbiológicos y Nitrato. Positivamente con Sólidos suspendidos, Hierro, Manganeso, Arsénico y Altura.

**Tabla 26.** Correlación entre los índices biológicos cuantitativos y las variables físicas y químicas, para el río Cachapoal (N=42; p<0,05).

Elementos o Compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cuantitativos									
	Abundancia		Riqueza		I. Br.		E. Br.		I. S-W	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	P	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,10	NS	-0,46	**	-0,17	NS	-0,20	NS	-0,17	NS
DBO5	-0,19	NS	0,26	NS	0,22	NS	0,19	NS	0,29	NS
Color verdadero	-0,17	NS	-0,44	**	-0,05	NS	-0,10	NS	-0,07	NS
Oxígeno Disuelto	0,41	**	0	NS	-0,25	NS	-0,20	NS	-0,29	NS
pH	0,09	NS	-0,37	*	-0,16	NS	-0,20	NS	-0,18	NS
Sólidos disueltos	-0,14	NS	-0,46	**	-0,07	NS	-0,09	NS	-0,05	NS
Sólidos suspendidos	-0,61	****	-0,20	NS	0,44	**	0,41	**	0,44	**
Temperatura	0,52	***	-0,07	NS	-0,52	***	-0,56	***	-0,53	***
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	0,19	NS	0,28	NS	-0,09	NS	-0,09	NS	-0,07	NS
Cloruro	0,34	*	0,45	**	-0,12	NS	-0,22	NS	-0,10	NS
Fluoruro	0,01	NS	-0,23	NS	0,03	NS	0,11	NS	-0,01	NS
Sulfato	-0,24	NS	-0,38	*	0,03	NS	-0,002	NS	0,06	NS
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	0,01	NS	0,34	*	0,05	NS	0,12	NS	0,10	NS
Detergentes (SAAM)	-0,19	NS	0,26	NS	0,22	NS	0,19	NS	0,29	NS
Hidrocarburos fijos	0,05	NS	0,15	NS	-0,02	NS	-0,06	NS	-0,07	NS
Hidrocarburos volátiles	-0,03	NS	-0,19	NS	0,04	NS	0,05	NS	0,04	NS
Hidrocarburos totales	0,05	NS	0,15	NS	-0,02	NS	-0,06	NS	-0,07	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	0,70	****	0,21	NS	-0,58	****	-0,58	****	-0,57	****
Cobre	-0,07	NS	-0,20	NS	-0,13	NS	-0,19	NS	-0,12	NS
Hierro	-0,58	****	-0,61	****	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS
Manganeso	-0,58	****	-0,61	****	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS
<b>Metales No esenciales</b>										
Aluminio	0,38	*	0,18	NS	-0,17	NS	-0,23	NS	-0,22	NS
Arsénico	-0,58	****	-0,61	****	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	0,56	***	0,47	**	-0,37	*	-0,38	*	-0,33	*
Coliformes totales	0,52	***	0,31	*	-0,37	*	-0,43	**	-0,36	*
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	-0,44	**	0,02	NS	0,39	**	0,43	**	0,38	*
Nitrato	0,44	**	-0,004	NS	-0,43	**	-0,43	**	-0,41	**
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	0,18	NS	0,14	NS	-0,30	NS	-0,31	*	-0,26	NS
Nitrógeno total	-0,11	NS	-0,04	NS	-0,06	NS	-0,12	NS	-0,02	NS

I.Br.=Índice de Brillouin, E. Br.= Equidad de Brillouin, I. S-W = Índice de Shannon-Wiener.

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

Tabla 26. Continuación.

Elementos o compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cuantitativos									
	E. S-W		I. S.		E. S.		I. S. in.		E. S.in.	
	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p	r <sub>s</sub>	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>										
Conductividad eléctrica	-0,20	NS	-0,18	NS	-0,20	NS	0,07	NS	0,05	NS
DBO <sub>5</sub>	0,20	NS	0,26	NS	0,20	NS	0,20	NS	0,14	NS
Color verdadero	-0,10	NS	-0,08	NS	-0,10	NS	0,16	NS	0,14	NS
Oxígeno Disuelto	-0,20	NS	-0,26	NS	-0,19	NS	-0,42	**	-0,36	*
pH	-0,20	NS	-0,18	NS	-0,20	NS	-0,10	NS	-0,12	NS
Sólidos disueltos	-0,09	NS	-0,06	NS	-0,09	NS	0,11	NS	0,08	NS
Sólidos suspendidos	0,40	**	0,44	**	0,40	**	0,66	****	0,65	****
Temperatura	-0,56	***	-0,53	***	-0,56	***	-0,53	***	-0,56	***
<b>Inorgánicos</b>										
Amonio	-0,09	NS	-0,09	NS	-0,08	NS	-0,24	NS	-0,24	NS
Cloruro	-0,22	NS	-0,12	NS	-0,22	NS	-0,31	*	-0,38	*
Fluoruro	0,12	NS	0,03	NS	0,12	NS	-0,04	NS	0,03	NS
Sulfato	0,001	NS	0,04	NS	0	NS	0,21	NS	0,17	NS
<b>Orgánicos</b>										
Aceites y Grasas	0,13	NS	0,09	NS	0,13	NS	-0,02	NS	-0,004	NS
Detergentes (SAAM)	0,20	NS	0,26	NS	0,20	NS	0,20	NS	0,14	NS
Hidrocarburos fijos	-0,07	NS	-0,06	NS	-0,07	NS	-0,01	NS	0,003	NS
Hidrocarburos volátiles	0,05	NS	0,06	NS	0,05	NS	0,05	NS	0,05	NS
Hidrocarburos totales	-0,07	NS	-0,06	NS	-0,07	NS	-0,01	NS	0,003	NS
<b>Metales esenciales</b>										
Boro	-0,57	****	-0,58	****	-0,57	****	-0,73	****	-0,73	****
Cobre	-0,19	NS	-0,13	NS	-0,19	NS	0,10	NS	0,06	NS
Hierro	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS	0,59	****	0,59	****
Manganeso	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS	0,59	****	0,59	****
<b>Metales No esenciales</b>										
Aluminio	-0,23	NS	-0,20	NS	-0,24	NS	-0,33	*	-0,34	*
Arsénico	0,19	NS	0,19	NS	0,19	NS	0,59	****	0,59	****
<b>Indicadores Microbiológicos</b>										
Coliformes fecales	-0,38	*	-0,36	*	-0,38	*	-0,59	****	-0,62	****
Coliformes totales	-0,43	**	-0,38	*	-0,43	**	-0,55	***	-0,59	****
<b>Variables no insertas en la Norma</b>										
Altura	0,43	**	0,40	**	0,43	**	0,47	**	0,50	***
Nitrato	-0,43	**	-0,42	**	-0,42	**	-0,48	**	-0,50	***
Fósforo total (P-PO <sub>4</sub> )	-0,30	NS	-0,28	NS	-0,30	NS	-0,19	NS	-0,22	NS
Nitrógeno total	-0,12	NS	-0,05	NS	-0,12	NS	0,11	NS	0,05	NS

E. S-W = Equidad de Shannon-Wiener, I. S.= Índice de Simpson, E. S.= Equidad de Simpson, I. S.in. = Índice de Simpson incesgado, E. S.in. =Equidad Simpson incesgado.

r<sub>s</sub> = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo.

\* = < 0,05; \*\* = < 0,01; \*\*\* = < 0,001; \*\*\*\* = < 0,0001.

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

### 3.2.6.3. Relación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas.

Los índices biológicos cualitativos en el río Cachapoal se correlacionaron (N=7;  $p < 0,05$ ), de la siguiente forma (Tabla 27): El Valor del índice *ChIBF* se correlacionó positivamente con la variable Amonio. El Valor del índice EPT no se correlacionó con alguna variable. El Valor del índice *BMWP/Col.* se correlacionó negativamente con Sólidos suspendidos y positivamente con Boro. Y el Valor del índice *ChBMWP* se correlacionó negativamente con Sólidos suspendidos.

**Tabla 27.** Correlación entre los índices biológicos cualitativos y las variables físicas y químicas, para el río Cachapoal (N=7;  $p < 0,05$ ).

Elementos o compuestos físicos y químicos	Índices biológicos cualitativos							
	Valor <i>ChIBF</i>		Valor EPT		Valor <i>BMWP/Col</i>		Valor <i>ChBMWP</i>	
	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p	$r_s$	p
<b>Indicadores físicos y químicos</b>								
Sólidos suspendidos	-0,51	NS	0,25	NS	-0,86	*	-0,79	*
<b>Inorgánicos</b>								
Amonio	0,85	*	-0,36	NS	0,36	NS	0,32	NS
<b>Metales esenciales</b>								
Boro	0,13	NS	0	NS	0,79	*	0,71	NS

$r_s$  = Coeficiente de correlación de Spearman.

NS = No significativo, \* =  $< 0,05$ .

Los números en rojo indican correlaciones significativas.

**Nota:** Las variables que no presentaron correlación no son mostradas en la tabla.

#### 4. DISCUSION

El amplio y exitoso uso de bioindicadores en los sistemas acuáticos para evaluar la calidad de las aguas del hemisferio Norte y Europa, basados en la taxonomía de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Alba-Tercedor, 1996; Eaton, 2001; Hellawell, 1986; Hilsenhoff, 1988; Hynes, 1970; Merritt & Cummins, 1984; Pennak, 1978; Resh *et. al.*, 1996; Rosenberg & Resh, 1993; entre otros), nos ha llevado a considerar que en los ríos chilenos, con características hidrológicas y químicas especiales asociadas a su corta longitud, pendientes y velocidades altas (Niemeyer & Cereceda, 1984), y que sustentan fauna bentónica con un menor número de Familias, géneros y especies (Cekalovic, 1999), permite utilizarla para evaluar la calidad del agua de los sistemas acuáticos. Además, en el caso particular de las estaciones de muestreo en los ríos Elqui y Cachapoal, consideradas en este estudio, se eligieron segmentos con condiciones de caudal y sustrato similares, por lo que las diferencias en estructura y abundancia de las comunidades de fauna bentónica, podría ser atribuida a las diferencias en la calidad de las aguas que habitan.

Tanto en los ríos Elqui como Cachapoal, las Familias Leptophlebiidae y Baetidae podrían ser utilizadas como Indicadoras de aguas limpias y ligeramente contaminadas. Estas Familias han sido frecuentemente utilizadas en la evaluación de la calidad de los ríos (Roldán, 1996, 2003; Sandoval & Molina, 2000; Domínguez & Fernández, 2001; Jara *et. al.*, 2002; Lopretto & Tell, 1995), primer paso para usarlas como familias indicadoras de la calidad del agua en los ríos chilenos.

Las Familias Hydropsychidae y Elmidae en el río Elqui, mostraron ser sensibles a las variables físicas y químicas utilizadas en la evaluación de la calidad de los ríos (Roldán, 2003), por lo que podrían ser buenas indicadoras de contaminación orgánica. En el río Cachapoal el comportamiento no es claro, ya que Hydropsychidae y Elmidae presentaron correlaciones

positivas con coliformes fecales y totales. La Familia Elmidae ha sido citada asociada a aguas limpias e intolerante a la contaminación orgánica (Hilsenhoff, 1977; Margalef, 1983; Vázquez, 1985; Sandoval & Molina, 2000).

Chironomidae se encontró en ambos ríos, en varios de los sitios mostrando una respuesta de sobrevivencia en amplios rangos de condiciones físicas y químicas. Esta Familia ha sido utilizada como tolerante a la contaminación orgánica y a metales pesados en otros ríos (Jara et. al., 2002; Sandoval & Molina, 2000; Roldán, 1996, 2003; Hernández & Domínguez, 2001).

En el Río Elqui, las familias Hydrobiosidae, Simuliidae, y Corydalidae, tuvieron una presencia específica en los sitios de mejor calidad de agua, evidenciando sensibilidad a la contaminación orgánica de las zonas más bajas. Esto es confirmado con las correlaciones encontradas entre estas familias y las variables físicas y químicas. Esto se condice con lo encontrado en literatura donde es considerada como indicadora de aguas de buena calidad (Jara et. al., 2002; Sandoval & Molina, 2000; Roldán, 1996).

En el río Cachapoal, la familia Gripopterygiidae se correlacionó negativamente con las variables físicas y químicas usadas para evaluar la calidad del agua (Roldán, 2003), la disminución de ella indicaría una contaminación orgánica para este río, lo que permitiría considerarla a futuro como indicadora de aguas muy limpias, concordando con lo encontrado por diversos autores (Roldán, 1996; Sandoval & Molina, 2000; Hellawell, 1986; Domínguez & Fernández, 2001; Jara et. al., 2002).

Los metales pesados se asociaron con algunas de las familias presentes en los ríos Elqui y Cachapoal, por lo que sería importante realizar estudios ecotoxicológicos para evaluar las respuestas de ellas frente al aumento de estos metales, estudios recientes han encontrado que algunas son indicadoras de contaminación por metales pesados (Castillo et. al., 2000; Marqués et. al., 2001; Neumann et. al., 2003a, 2003b).

Las asociaciones encontradas entre los índices biológicos cuantitativos (o índices de diversidad) y las variables físicas y químicas, en el río Elqui mostraron que el índice y equidad de Simpson insesgado se correlacionó positivamente con las variables físicas y químicas usadas para evaluar la calidad de las aguas (Roldán, 2003). Debido a que no existió correlación de algunos de los índices de diversidad usados en el río Elqui, solo podemos afirmar que para este río el índice de Simpson insesgado, uno de los menos utilizados en estudios de este tipo, resultó un buen indicador en este río. Mientras que, en el río Cachapoal se encontraron correlaciones con todos los índices y equidades analizados. Los índices y sus equidades se correlacionaron negativamente con variables físicas y químicas, ya que estos resultaron ser inversamente proporcionales a la abundancia total de familias de macroinvertebrados bentónicos.

En ambos ríos, la Riqueza se correlacionó negativamente con las variables físicas y químicas usadas para evaluar la calidad de las aguas (Roldán, 2003), la forma inversa de correlación de esta en relación con el índice de Simpson insesgado, se debe principalmente a que el índice es el inverso de la riqueza. Este estudio al igual que estudios anteriores (Figueroa, 2004; Toro *et. al.*, 2003a, 2003b) mostró la utilidad de la Riqueza a nivel de Familias, lo que es beneficioso para futuros estudios en estos ríos, dado la dificultad para obtener una clasificación a nivel de especie de todos los individuos, por la falta de conocimiento de la composición taxonómica de la fauna de macroinvertebrados acuáticos de Chile.

La abundancia total, en el río Elqui se correlacionó negativamente con las variables físicas y químicas, y en el río Cachapoal se correlacionó en forma positiva con las variables físicas y químicas usadas para evaluar la calidad de las aguas. Considerando lo anterior, se deduce que la abundancia total no es medida suficiente para evaluar el estado de las aguas de los ríos Elqui y Cachapoal, debido a que grandes abundancias de macroinvertebrados bentónicos no están necesariamente relacionados positivamente con una mejor calidad del agua. Las especies

tolerantes a la contaminación a menudo se presentan en gran número, siendo más adecuado evaluar la estructura comunitaria (Toro *et. al.*, 2003b).

La futura utilización de los índices biológicos cuantitativos puede ser mejorada comparando la evaluación de ellos a nivel de especie con la evaluación a nivel de familia y ver si a niveles jerárquicos más bajos existirían asociaciones con las variables físicas y químicas. Esto es avalado por lo encontrado en la literatura, donde los sistemas más deteriorados presentan diversidad de taxa menores, por lo que índices como Brillouin, Shannon-Wiener, Simpson y Riqueza (Brillouin, 1962; Hulbert, 1971; Hill, 1973; Moreno, 2001; Pielou, 1969; Shannon & Wiener, 1949; Simpson, 1949) son utilizados como indicadores a nivel comunitario de la calidad del agua.

Los índices biológicos cualitativos en el río Elqui, mostraron que los sitios de muestreo 3 y 6, tenían menor calidad del agua y un aumento de la contaminación (específicamente los índices *ChIBF*, *BMWP/Col.* y *ChBMWP*), coincidiendo con los lugares donde se encontraron menores abundancias de insectos acuáticos. Además, es necesario puntualizar que aguas arriba del sitio de muestreo 3, se encuentra el Mineral El Indio, la existencia de algunos depósitos de basura alrededor del lecho del río, y viviendas en los alrededores. El sitio 6 avena las aguas de la zona de la extracción de áridos y descarga de aguas servidas. No se apreció ningún efecto en el cambio de la calidad de las aguas en los sitios 4 y 5, localidades ubicadas antes y después del Embalse Puclaro.

En el río Cachapoal, estos índices biológicos cualitativos (*ChIBF*, *BMWP/Col.* y *ChBMWP*) indican mayor contaminación en el sitio de muestreo 3, coincidiendo con la menor abundancia de insectos acuáticos encontrados en el río, con la alta turbidez, la extracción de áridos, el ingreso de aguas servidas, residuos industriales y agrícolas. En el sitio 4, al evaluarlo con el índice EPT, el lugar de menor calidad se encuentra aguas abajo de Rancagua, por lo que

sería influenciado por procesos productivos y desechos domiciliarios, y por los aportes del Estero la Cadena, que recibe desechos industriales (DGA, 2004b).

Los índices *ChIBF* y *ChBMW* (Figuroa, 2004), resultaron ser buenos indicadores de la calidad del agua para ambos ríos estudiados, sin embargo para obtener un mejor resultado es necesario realizar muestreos cualitativos utilizando red de mano, red D-net y red Surber, abarcando cada uno de los hábitat del lugar de muestreo (Roldán, 2003), en las cuatro estaciones del año, y si fuese posible usar, además, sustratos artificiales (De Pauw *et. al.*, 1986). El IBF es uno de los índices más utilizados en la evaluación de calidad del agua a nivel mundial (DeWalt *et. al.*, 1999; Eaton, 2001; Klemm *et. al.*, 2002; Maxted, 2000; Stewart *et. al.*, 2001; Wente, 2000; Whiles *et. al.*, 2000), lo que indica su amplitud de utilidad, previa calibración al lugar en que se utilice.

Considerando el número de sitios de muestreos utilizados en este estudio, se recomienda considerar los tributarios y puntos de interés a lo largo del río principal de la Cuenca (Toro *et. al.*, 2003b; Leiva, 2003; Figuroa *et. al.*, 2003), es necesario realizar estudios a futuro en Chile, que consideren mayor cantidad de sitios de muestreo y la variabilidad estacional. Además, es necesario considerar estudios más detallados a nivel de cada zona hidrográfica de Chile y analizar si las cuencas son comparables entre sí.

En lo relacionado con la clasificación las variables físicas y químicas medidas en los ríos Elqui y Cachapoal, según la Guía de CONAMA "Norma Secundaria de calidad para Aguas Continentales Superficiales" ninguno de los sitios de muestreo presentaron aguas en clase excepción para todas las variables, al contrario, desde el objetivo de la protección y conservación de las comunidades acuáticas (límites que no deben sobrepasar clase 1), todos los sitios presentaron al menos dos variables, sobre la clase 1; y considerando las variables en Clase 3 o 4, se encontró un mínimo de ocho variables y un máximo de 13, para ambos ríos.

Por lo expuesto anteriormente los macroinvertebrados bentónicos dada la función que presentan como parte de la cadena trófica en los sistemas acuáticos y por su sensibilidad a la contaminación (Caldichoury, 1995; Cummins, 1978; Cummins & Merritt, 1996; De Pauw & Vannevel, 1993), permitirían evaluar en forma integral la calidad de las aguas de los ríos Elqui y Cachapoal, representando una buena herramienta para conocer el estado de conservación de los ecosistemas fluviales.

## 5. CONCLUSIONES

- 1) Los macroinvertebrados bentónicos, de las Familias Leptophlebiidae y Baetidae mostraron en ambos ríos un comportamiento que permite inferir su uso futuro como indicadoras de calidad de aguas.
- 2) En el río Elqui, las familias Elmidae, Hydrobiosidae, Simuliidae y Corydalidae mostraron ser sensibles a la contaminación por lo que podrían ser usadas como indicadoras de aguas limpias.
- 3) En el río Cachapoal, la familia Gripopterygiidae podría considerarse a futuro como indicadora de aguas muy limpias.
- 4) En ambos ríos, el índice biológico cuantitativo conocido como Riqueza permitió discriminar entre los sitios de muestreo y las calidades de agua, siendo calculado a nivel de Familia. En el río Elqui, el índice de Simpson insesgado fue sensible al aumento de las variables físicas y químicas, por lo que podría ser usado como indicador de la calidad del agua.
- 5) Los índices bióticos *ChIBF* y *ChBMWP* en los ríos Elqui y Cachapoal, resultaron ser herramientas adecuadas para evaluar el estado de la calidad del agua.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Abel, P. D. 1989. Water pollution biology. Ellis Horwood, Chichester, England. 466 pp
- APHA, AWWA & WFF. 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. American Public Health Association Washington D. C.
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería 2: 203-213.
- Arcadis Geotécnica Consultores. 2000. Diagnóstico de Calidad del Agua del río Cachapoal. Informe Final Etapa I. Informe Avance N°4
- Arcadis Geotécnica Consultores. 2001. Diagnóstico de Calidad del Agua del río Cachapoal. Informe Final Etapa I, Resumen Ejecutivo.
- Arenas, J.N. 1995. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Bio-bío, Chile. *Medio Ambiente* 12 (2): 39-50.
- Armitage P. D., Noss D., Wright J.F. & Furse M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research* 17: 333 – 347.
- Arrau C., F. 1998. Distribución y Comercialización de las Aguas en Chile. [www.bcn.cl](http://www.bcn.cl)
- Bain M.B., Finn J.T. & Booke H. E. 1985. Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. *N Am J Fish Manage* 5: 499-500.
- Brillouin, L. 1962. Science and information Theory. 2<sup>nd</sup> ed. Academia Press. New York
- Cabrera, N. 1995. Estado de las aguas continentales y marinas de Chile. Perfil Ambiental de Chile, CONAMA. 1<sup>o</sup> Edición. 559 pp.
- Caldichoury R., S. 1995. Variables Hidrológicas, Oferta de Alimento y Estructura de Grupos Funcionales Bentónicos en ríos de régimen nival (Río Maipo Superior). Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Campos H., Arenas J., Jara C., Gonser T. & Prins R. 1984. Macrozoobentos y fauna íctica de las aguas límnicas de Chiloé y Aysén continentales (Chile). *Medio Ambiente* 7: 52-64.
- Carrera C. & Fierro K. 2001. Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Editorial Eco Ciencia. Quito, Ecuador. 67 pp. BUSCAR
- Castillo G. C., Vila I. & Neild E. 2000. Ecotoxicity Assessment of metals and Wastewater using Multitrophic Assays. 370-375.

Cekalovic, P. 1999. Descripción de la composición taxonómica de la entomofauna acuática de ríos chilenos entre los 18° y 39° latitud Sur. Tesis de grado de licenciatura en Biología Marina, Facultad de Ciencias, Universidad austral de Chile, Valdivia, Chile.

Chutter, F. M. 1972. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers. *Water Research* 6: 19- 30.

CONAMA. 2003. Instructivo Presidencial para la Dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. Santiago, Chile. 19 pp. BUSA P

CONAMA 2004. Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. BUSA P

Cummins, K. W. 1978. Ecology and Distribution of Aquatic Insects, p. 29-31. *In*: R. W. Merritt & K. W. Cummins (Eds.). An introduction to the aquatic insects in North America. Kendall-Hunt. Dubuque, Iowa.

Cummins, K. W. & R. W. Merritt. 1996. Ecology and Distribution of Aquatic Insects, p. 74-86. *In*: R. W. Merritt & K. W. Cummins (Eds.). An introduction to the aquatic insects of North America. Third edition, Kendall-Hunt. Dubuque, Iowa.

De la Lanza E. G., Hernández S. & Carvajal J. L. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés Editores. Primera edición. Instituto de Biología, UNAM. SEMARNAP. México. BUSA P

De Pauw N. & R. Vannevel 1993. Macroinvertebrates and water quality. Dossier 11. Stichting Leefmilieu, Antwerpen 324 p.

DeWalt R. E., Webb D. W. & Harris M. A. 1999. Summer Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) Species richness and community structure in the lower Illinois River basin of Illinois. *Great Lakes Entomologist* 32: 115-132.

DGA 1987. Balance Hídrico de Chile. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. BUSA P

DGA 1992. Análisis estadístico de caudales en los ríos de Chile.

DGA 1996. Análisis uso actual y futuro de los recursos hídricos en Chile. IPLA Ltda. MOP.

DGA 2004a. Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua: Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Elqui. MOP, DGA. Realizado por Cade-Idepe consultores en ingeniería.

DGA 2004b. Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua: Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Rapel. MOP, DGA. Realizado por Cade-Idepe consultores en ingeniería.

- Domínguez E. & Fernández H. 1998. Calidad de los ríos de la Cuenca del Salí (Tucumán Argentina) medida por un índice biótico. 38 pp.
- Domínguez E. & Fernández H. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lillo. 237 pp.
- Eaton, L. 2001. Development and validation of biocriteria using benthic macroinvertebrates for North Carolina estuarine waters. *Marine Pollution Bulletin* 42: 23-30.
- EPA. 1988. Methods for the Determination of Organics Compounds in Drinking Water. US Environmental Protection Agency EPA/600/4-88/039.
- Fernández E. & Saldivia J. E. 2000. Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Chile <sup>ES-CP</sup>
- Figueroa, R. 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de calidad de agua, Río Damas, Osorno, X Región de los Lagos, Chile. Tesis para optar al Magister en Ciencias mención en Zoología. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 105 pp.
- Figueroa, R. 2004. Calidad Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del río Chillán, VIII región, Chile. Tesis de Doctor en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga, España. 132 pp.
- Figueroa R., Valdovinos C., Araya E. & Parra O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76 (2): 275-285.
- Fuenzalida, H. 1965. Hidrografía. Capítulo V. En: Geografía económica de Chile. Corporación de Fomento de la Producción. Texto refundido, 885 pp.
- González, S. P. 1995. Estado de la Contaminación de los Suelos en Chile. Estación Experimental la Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. En: Perfil Ambiental de Chile, CONAMA.
- Habit E., Beltrán C., Arévalo S. & Victoriano P. 1998. Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). *Irrigation Sciences* 18: 91-99.
- Hauer F. R. & Lamberti, G. A. 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press. United States of America. 674 pp.
- Hellawell, J. M. 1978. Biological surveillance of rivers. Water Research Center, Stevenage. 332 pp.
- Hellawell, J. M. 1986. Biological indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier Applied Science. New York. 546 pp.
- Hill, M. O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54: 427-432.

- Hilsenhoff, W. 1977. Use of Arthropods to evaluate water quality of streams. Technical Bulletin N° 100. US Department of Nature Research. Madison, Wisconsin.
- Hilsenhoff, W. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 65-68.
- Hulbert, S. H. 1971. The nonconcept of diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Hynes, H. B.N. 1970. The Ecology of running Waters. Toronto, University of Toronto Press. 555 pp.
- Instituto Geográfico Militar 1988. Atlas Geográfico de Chile, 2° Edición.
- ISO 8265. 1988. Water Quality-Design and use of quantitative samplers for benthic macroinvertebrates on stony substrate in shallow freshwaters.
- Jara C., Mercado M. & Grandjean M. 2002. Macrozoobentos, peces y contaminación de ecosistemas acuáticos continentales. En: Apuntes curso de postgrado ZOOLOGÍA 331 Limnología Práctica, Universidad Austral de Chile.
- Jara, C. 2002. Evaluación preliminar para la definición de insectos bioindicadores de la calidad del agua de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Seminario de título de Biólogo c/m en medio ambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Kemp J. & Spotila J. 1997. Effects of urbanization on brown trout *Salmo trutta*, others fishes and macroinvertebrates in valley creek, Valley Forge, Pennsylvania. *American Midland Naturalist*. 138: 55- 68.
- Klemm D. J., Blocksom K. M., Thoeny W. T., Fulk F. A., Herlihy A. T. & Kaufmann P. R. 2002. Methods development and use of macroinvertebrates as indicators of ecological conditions for streams in the Mid-Atlantic Highlands Region. *Environmental Monitoring and Assessment* 78:169-212.
- Kolkwitz R. & Marsson W.A. 1909. Okologie der tierischen Saprobien. Beitäge zur Lehre von der biologische Gewässerbeuteulung. *Internationale Reveu der gesamten Hydrobiologie* 2: 126-152.
- Leiva, M. J. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu comuna de Lautaro IX región de la Araucanía. Tesis de Licenciado en Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco, Temuco.
- Lennat, D. R. 1993. A biotic index for the southeastern United States: Derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 279-290.
- Lopretto E. C. & Tell G. 1995. Ecosistemas de aguas continentales: Metodologías para su estudio. Tomo III. Ediciones Sur.

Mackie, G. L. 2000. Applied aquatic ecosystem concepts. Kendall/Hunt Publishing Company. ISBN: 0-7872-7490-9.xxvi. 744 pp.

Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona. España. 954 pp. *Omega*

Marqués M., Martínez E. & Rovira J. 2001. Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales pesados. Departamento Inter. Universitario de ecología, facultad de ciencias biológicas, Universidad de Madrid. España.1: 1- 8. *Omega*

Maxted, JR. 2000. Assessment framework for mid-atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 19: 128-144.

Merritt, R.W. & Cummins, K.W. 1984. An introduction to the Aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. I. Zaragoza, 84 pp. *Omega*

Moya C., Valdovinos C. & Olmos V. 2002. Efecto de un embalse sobre la deriva de macroinvertebrados en el río Bio-bío (Chile Central). Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, Chile. 73.

Mühlhauser H., Soto L & Zahradnik P. 1987. Improvement of the Kjeldahl Method for total Nitrogen including Acid-Hydrolyzable Phosphorus determinations in Freshwater Ecosystems. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 28 (3): 1-12.

Muñoz S., Mendoza G. & Valdovinos C. 2001. Evaluación rápida de la biodiversidad en 5 sistemas lénticos de Chile Central: Macroinvertebrados bentónicos. *Gayana* 65: 173-180.

NCh. 409/1 Of. 84. Decreto Supremo N° 11 del 1984 del Ministerio de Salud: Calidades de agua para Uso Potable. Parte 1: Requisitos.

NCh411/1 Of. 96. Calidad del agua – Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.

NCh 411/2 Of. 96. Calidad del Agua-Muestreo- Parte 2: Guía sobre Técnicas de muestreo.

NCh 411/3 Of. 96. Calidad del agua–Muestreo–Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

NCh 411/6 Of. 98. Calidad del agua–Muestreo–Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.

NCh 412 Of. 63. Agua potable para fines industriales- Ensayos- Examen organoléptico.

NCh 2313/3 Of. 95. Decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 3: Determinación de Sólidos Suspendidos Totales secados a 103°C - 105°C.

- NCh 2313/5 Of. 96. Decreto supremo N° 146 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 5: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).
- NCh 2313/6 Of. 97. Decreto Supremo N° 317 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Métodos de análisis-Parte 6: Determinación de Aceites y Grasas.
- NCh 2313/7 Of. 97. Decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 7: Determinación de Hidrocarburos totales.
- NCh 2313/27 Of. 98. Decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 27: Determinación de Surfactantes aniónicos, Método para Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM).
- Neumann M., Liess M. & Ralf S. 2003a. An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators .Parte 1. The database of LIMPACT. *Ecological indicators*.2: 379-389.
- Neumann M., Liess M. & Ralf S. 2003b. An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators. Knowledge base of LIMPACT. *Ecological indicators* 2: 391-401.
- Niemeyer H. & Cereceda, P. 1984. Hidrografía. Tomo VIII. En: Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar.
- Orrego, J. P. 2002. Estado de las aguas terrestres en Chile: Cursos y aguas subterráneas. Fundación Terram. Diciembre de 2002. Santiago, Chile
- Pennak, R.W. 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. Wiley. Nueva York.
- Pielou, E. C. 1969. An Introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York. 286 pp.
- Pinel-Alloul B., Méthot G., Lapierre L & Willsie A. 1996. Macroinvertebrate community as biological indicator of ecological and toxicological factors in lake Saint-Francois (Quebec). *Environmental Pollution* 91 (1): 65- 87.
- Plafkin J. L. ,Barbour K. D., Poter S. K., Gross & Hughes R. M. 1989. Rapid Bioassessment Protocols for use in stream and rivers. Benthic macroinvertebrates and fish. EPA/444/4-89/0001. Office of Water regulations and standard, United States Environmental Protection Agency, Washington. D. C.
- Prat N., Munné A., Rieradevall M., Solá C. & Bonada N. 2000. ECOSTRIMED Protocol per determinar l'estat ecològic dels rius mediterranis. Diputació de Barcelona. Àrea de Medi Ambient. 94 pp.

- Resh V.H., Myers M. M. & Hannaford M. J. 1996. Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality. *In*: Hauer, F.R. & G.A. Lamberti. Eds. *Methods in stream ecology*. Academic Press. San Diego. 674 pp.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de Investigaciones, CIEN.
- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de Investigaciones, CIEN.
- Roldán, G. 1997. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. En: *Bioindicadores ambientales de la calidad del agua*. Cali, Universidad del Valle. BUSA
- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. y Nat.* **23** (88): 375-387. BUSA
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la Calidad del agua en Colombia: Una propuesta para el uso del método BMWP/col. Editorial Universidad de Antioquia. 170 pp.
- Rosenberg D. M. & Resh V. H. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York. 488 pp.
- Rosenberg D.M. & Resh V.H. 1996. Use of aquatic insects in biomonitoring. *In*: *Aquatic Insects of North American*, Ed. By R. W. Merritt & K. W. Cummins. Third Ed. Dubuque, Iowa, Kendal/Hunt Publishing. Company.
- SAG 2002. Manual de monitoreo: Uso de macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad de agua. Laboratorio de bioindicadores, Protección de Recursos Naturales, XI región. BUSA
- Sandoval J. C. & Molina I. F. 2000. Insectos. *En*: *Organismos indicadores de la Calidad del agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. De la Lanza Espino, Guadalupe; Salvador Hernández Pulido y José Luis Carvajal Pérez (compiladores). Plaza y Valdés Editores, Instituto de Biología UNAM, SEMARNAP. México. BUSA
- Shannon C. E. & Wiener W. 1949. The mathematical theory of communication. Pp. 19-27, 82-103, 104-107. The University of Illinois Press, Urbana. Il.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163** (4148): 688.
- Smith, V. H., Tilman, G. D. & Nekola, J. C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marina, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* **100**: 179-196.
- Sokal R.R. & Rohlf F.J. 1981. *Biometry*. Edited by W. H. Freeman and Company New York. Second edition.

- Solervicens, J. 1995. Consideraciones generales sobre los insectos: El estado de su conocimiento y las colecciones. *En*: Javier Simonetti, Mary T. K. Arroyo, Angel E. Spotorno & Eliana Lozada, Editores. Diversidad biológica de Chile. Comité Nacional de diversidad biológica, Comisión Nacional de Investigación Científica y tecnológica Santiago, Chile.
- Stewart J. S., Wang L. Z., Lyons J., Horwathich J. A. & Bannerman R. 2001. Influences of watershed, riparian-corridor, and reach-scale characteristics on aquatic biota in agricultural watersheds. *Journal of the American Water Resources Association* 37: 1475-1487.
- Surber, E. W. 1937. *In*: Wetzel R. G. & Likens G. E. 1990. Limnological Analyses. Second Edition. Springer-Verlag.
- Toro J., Schuster J. P., Kurosawa J., Araya E. & Contreras M. 2003 a. Diagnostico de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos utilizando Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores: Río Maipo (Santiago: Chile). Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica XVI, Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- Toro J., Kurosawa J., Contreras M. & Araya E. 2003 b. Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo. Informe Final. Comisión Nacional de Riego, JICA, Universidad de Chile y CEA.
- Universidad de Chile. 2002. Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile. Ediciones Lom.
- Valdovinos C. & Araya E. 1998. Zoobentos. Documentos de síntesis. Estudio de línea de base para la evaluación del impacto ambiental del complejo Forestal industrial Itata, Centro Eula-Chile, Universidad de Concepción: 67-77.
- Valdovinos C. & Figueroa R 2000. Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiología* 429:151-156.
- Valdovinos, C. 2001. Riparian leaf litter processing by benthic macroinvertebrates in a woodland stream of central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 445- 453.
- Valdovinos C., Stuardo J. & Arenas J. 1993. Estructura comunitaria del Macrozoobentos de la zona de transición Epiritrón – Hipo Epiritrón del río Bío Bío. Monografías científicas. EULA 12: 217- 247.
- Vázquez, N. M. L. 1985. Estudio taxonómico de los insectos acuáticos del orden coleoptera del río Amacuzac (en las zonas de Huajintlán y El Estudiante) Morelos, México, Tesis de licenciatura Esc. de Ciencias Biológicas UAEM, México. 233 pp.
- Villalobos, M. 2001. Calidad de las aguas de los ríos de Navarra. 13 pp.
- Vila I., Contreras M. & Pizarro J. 1996. Análisis del Efecto del Material Particulado en Aguas de Riego I-X región. S.I.T. N° 35. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Departamento de Conservación y Protección de Recursos hídricos. Convenio

Universidad de Chile. Departamento de Ciencias Ecológicas. Laboratorio de Limnología.  
90 pp.

Weisser, K. 2003. Evaluación de la calidad del agua utilizando Bioindicadores en la Cuenca del río Traiguén. Tesis de Licenciado en Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco. 109 pp.

Wente, S. P. 2000. Proximity-based measure of land use impacts to aquatic ecosystem integrity. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19:1148-1152.

Whiles M. R., Brock B. L., Franzen A. C. & Dinsmore S. C. 2000. Stream invertebrate communities, water quality, and land use patterns in an agricultural drainage basin of northeastern Nebraska. USA. *Environmental Management* 26: 563-576.

Zaharadnik, P. 1981. Methods for freshwater analysis. Int. Course for Limnol. UNESCO. Univ. of Viena. 43 pp.

Zamora-Muñoz C. & Alba-Tercedor J. 1996. Bioassessment of organically polluted Spanish Rivers, using a Biotic Index and multivariate methods .I.N.A.M.-*Benthol Soc.* 15(3): 332-352.

Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Zúñiga de Cardoso M. 2001. Los insectos como bioindicadores de calidad de agua. Universidad del valle. Departamento de Procesos químicos y Biológicos. Colombia. 22 pp

#### **Páginas Web.**

Calidad de las Aguas en los Ríos (Ambiente y empresa). En: Diagnóstico de la Calidad del Agua. <http://www2.netexplora.com/ambiente/diagnostico/diagnostico-agua.html>

Diagnóstico de la situación actual del Valle de Elqui. Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat. [http://www.chileriego.cl/elqui\\_puclaro/tr\\_elqui\\_puclaro.pdf](http://www.chileriego.cl/elqui_puclaro/tr_elqui_puclaro.pdf).

Estado de las Aguas Continentales y Marítimas de Chile  
<http://lauca.usach.cl/mineduc/cap10.htm>

Estadísticas de Aguas Superficiales. Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat  
<<http://www.ine.cl/17-ambiente/II-2.pdf>>

Origen y Distribución de las Aguas.  
[http://www.bcn.cl/pags/publicaciones/serie\\_estudios/esolis/178-02.htm](http://www.bcn.cl/pags/publicaciones/serie_estudios/esolis/178-02.htm)>

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo 1

Descripción ambiental de los sitios de muestreo de los lugares de estudio.

**Tabla 1.1.** Descripción ambiental de la Cuenca del Río Elqui, en base a los antecedentes recopilados y las observaciones de terreno.

Sitios de Muestreo	Descripción Antropogénica
1 Río Claro (Horcón)	Gran presión por pesca. Se observó, diferencias en ambas riberas del río, una de ellas con claras señas de zona utilizada como área de camping, y la otra con presencia de algas e insectos presentes. Área de muestreo cercana al Pueblo de Horcón, y a caminos. Presencia de viñedos en la zona. Área de prístinidad, planificación Tranque de Piuquenes.
2 Río Cochiguaz	Zona de Camping cercana a zona de muestreo, presencia de viñedos en los alrededores. En el sitio, hay presencia de troncos alrededor y cercos alrededor del lecho del río; gran cantidad de raíces en el lecho. Contaminación por actividad Minera.
3 Río Turbio (Varillar)	Agua de color turquesa, posiblemente por actividad minera. Alrededor del lecho, existen algunos depósitos de basura, muestreo cerca del Puente Varillar. Alrededor del río hay viñedos y arboledas de Eucaliptus. Presencia de casas, en baja cantidad. Aguas arriba, se encuentra la Minera de oro El Indio; El Tambo. Por sobre esta zona se ubica "Huanta" que presenta un alto grado de prístinidad (Área de conservación de biodiversidad).
4 Río Elqui (El Tambo)	Zona Agrícola e industrial pisquera. Río bordeado de parronales. En las cercanías del puente Gulliguaica existe descarga de aguas servidas. Ausencia de macrofitas, agua de color verde oscuro.
5 Río Elqui (Emb. Puclaro)	Área con registros de Eutrofización, actividad turística, Zona agrícola (Papayas) e industrial. Presencia de basurales, extracción de áridos. Zona de minas de Manganeso. Ausencia de macrofitas.
6 Puente Altovalsol	Zona de minería San Jerónimo, Quebrada La Marquesa, Agricultura, descarga de aguas servidas. Extracción de áridos, fábrica de Asfalto. Presencia abundante de Macrofitas. Gran cantidad de basura presente alrededor del lecho del río.

**Tabla 1.2.** Descripción ambiental de la Cuenca del Río Cachapoal, en base a los antecedentes recopilados y las observaciones de terreno.

Sitios de muestreo	Descripción antropogénica
1 Río Pangal (Bocatoma)	Vegetación Nativa, Zona de poca intervención. Se extrae agua para alimentar el sector. Muy limpio, agua translúcida, no se ve gran impacto por acción antrópica
2 Río Cachapoal (Río Coya)	Zona de actividad minera, Escasa vegetación, alta turbiedad no se observaron macrofitas. Presencia de residuos (escombros tipo construcción), Descarga de aguas servidas, extracción de áridos.
3 Río Cachapoal (Río Claro)	Zona de alta turbidez. Zona de extracción de áridos y minibasural. No se observaron macrofitas. En alrededores del río hay presencia de mediaguas habitadas
4 Río Cachapoal (Coinco)	Zona de alta intervención, ubicada aguas abajo del Estero La Cadena. Descarga de aguas servidas significativa, mala calidad, grasosa, mal olor. En el curso del río se observan los restos de basura por actividad Agrícola y faenadoras de pollo. Agua de alta turbidez.
5 Río Cachapoal (Coltauco)	Zona de gran influencia de industria alimenticia. Zona de extracción de áridos, gran cantidad de escombros. Agua de alta turbidez. Sedimentos de particulado muy fino, aspecto viscoso, color muy oscuro.
6 Río Cachapoal (Peumo)	Zona de confluencia de esteros. Se observó gran cantidad de macrofitas, presencia de garzas. Presencia en los alrededores del río de basura (no en gran cantidad).
7 Río Cachapoal (Las Cabras)	Último tramo del río. Presencia de macrofitas y garzas. Desarrollo de actividad agrícola en la ribera (siembras de tomates y sandías). Zona de desarrollo de pesca deportiva.

## 7.2. Anexo 2

Estado trófico de los sistemas acuáticos

**Tabla 2.1.** Características promedio de ríos en sus diferentes estados tróficos para Nitrógeno y Fósforo total (Dodds *et al.*, 1998 en Smith *et al.*, 1999).

Estado trófico	Nitrógeno Total ( $\mu\text{g/l}$ )	Fósforo Total ( $\mu\text{g/l}$ )
Oligotrófico	< 700	< 25
Mesotrófico	700-1500	25-75
Eutrófico	> 1500	> 75

## 7.3. Anexo 3

Índices biológicos cualitativos.

**Tabla 3.1.** Ficha de registro de macroinvertebrados utilizada para el cálculo del *C/I*BF.

Fecha:			
Localidad:			
Estación:			
Responsable:			
A	B	C	D
Familia	Nº de organismos	Puntaje de tolerancia	Total
1.		x	=
2.		x	=
3.		x	=
4.		x	=
5.		x	=
6.		x	=
7.		x	=
8.		x	=
9.		x	=
10.		x	=
11.		x	=
12.		x	=
Total =		Total	
FBI = total de la columna D / total de la columna B			

**Tabla 3.2.** Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas, para ríos de Chile mediterráneo *ChBF* (Tabla modificada de Hauer & Lamberti, 1996).

Orden	Familia	Tolerancia	Orden	Familia	Tolerancia
<b>Plecoptera</b>	Gripopterygiidae	1	<b>Trichoptera</b>	Calamoceratidae	3
	Notonemouridae	0		Glossosomatidae	0
	Perlidae	1		Helicopsychidae	3
	Diamphipnoide	0		Hydropsychidae	4
	Eustheniidae	0		Hydroptilidae	4
	Austroperlidae	1		Leptoceridae	4
<b>Ephemeroptera</b>	Baetidae	4		Limnephilidae	2
	Caenidae	7		Ecnomidae	3
	Leptophlebiidae	2		Helicophidae	6
	Siphonuridae	7		Polycentropodidae	3
	Oligoneuridae	2	Philopotamidae	2	
	Ameletopsidae	2	Hydrobiosidae	0	
	Oniscigastridae	3	Sericostomatidae	3	
<b>Odonata</b>	Aeshnidae	3	<b>Diptera</b>	Atheridae	2
	Calopterygidae	5		Blephariceridae	0
	Gomphidae	1		Ceratopogonidae	6
	Lestidae	9		Chironomidae	7
	Libellulidae	9		Empididae	6
	Coenagrionidae	9		Ephydriidae	6
	Cordulidae	5		Psychodidae	10
	Petaluridae	5		Simuliidae	6
<b>Mollusca</b>	Amnicolidae	6		Syrphidae	10
	Lymnaeidae	6		Tabanidae	6
	Physidae	8	Tipulidae	3	
	Sphaeridae	8			
	Chilinae	6			
<b>Megaloptera</b>	Corydalidae	0	<b>Coleóptera</b>	Elmidae	4
	Sialidae	4		Psephenidae	4
<b>Lepidoptera</b>	Pyralidae	5	<b>Acari</b>		4
<b>Platyhelminthes</b>	Turbellaria	4	<b>Decapoda</b>		6
<b>Amphipoda</b>	Hyaellidae	8	<b>Oligochaeta</b>		8
<b>Isopoda</b>	Janiriidae	4	<b>Hirudinea</b>		10

**Tabla 3.3.** Hoja de campo para cálculo de EPT (Carrera & Fierro, 2001).

Clasificación			Abundancia	EPT Presentes
<b>Total</b>				
EPT Total/ Total	Abundancia	Abundancia total	Total EPT Presentes	

**Tabla 3.4.** Valores de tolerancia de las Familias de macroinvertebrados bentónicos para el índice BMWP/Col.

Familias	Tolerancia
Perlidae, Oligoneuridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Lampiridae, Odontoceridae, Blepharoceridae, Psephenidae, Hidridae, Chordodidae, Lymnessiidae, "hidracáridos", Polythoridae, Gomphidae.	10
Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Dytiscidae, Polycentropodidae, Hydrobiosidae, Gyrinidae.	9
Veliidae, Gerridae, Philopotamidae, Simuliidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Pseudothelpusidae, Hebridae, Hydrobiidae.	8
Baetidae, Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohyphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychodidae, Coenagrionidae, Planariidae, Hydroptilidae, Caenidae.	7
Ancyliidae, Lutrochidae, Aeshnidae, Libellulidae, Elmidae, Staphylinidae, Limnychidae, Neritidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Corydalidae.	6
Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pyralidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Planorbidae.	5
Chrysomelidae, Mesovelidae, Stratiomidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae.	4
Hirudinea (Glossiphoniidae, Cyclobdellidae), Physidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae.	2
Oligochaeta (Tubificidae).	1

**Tabla 3.5.** Valores de tolerancias para *ChBMWP*, asignados a las diferentes Familias de macroinvertebrados acuáticos para ríos de Chile mediterráneo (Modificado de Alba-Tercedor, 1996).

Familias	Tolerancia
P Austroperlidae, Diamphipnoide, Eustheniidae, Gripopterygiidae, Notonemouridae P Perlidae E Leptophlebiidae, Siphonuridae, Ameletopsidae, Oligoneuridae T Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicophidae, Kokriidae, Leptoceridae T Phylorhynchidae, Sericostomatidae, Stenopsychidae, Tasiimidae Mg Corydalidae D Atheridae, Blephariceridae C Limmichidae, Psephenidae	10
E Oniscigastridae T Philopotamidae, Glossosomatidae O Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Aeshnidae, Cordulidae, Libellulidae Cr Parastacidae	8
T Ecnomidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
T Hydroptilidae O Coenagrionidae, Petaluridae Cr Aeglidae, Hyallelidae Ml Ancyliidae, Chilinidae, Hyriidae	6
T Hydropsychidae D Simuliidae, Tipulidae C Dryopidae, Elmidae Tc Tricladia* Ml Aminicolidae	5
E Baetidae, Caenidae Mg Sialidae D Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dixidae, Ceratopogonidae, Limoniidae D Psychodidae C Halplidae, Curculionidae, Psephenidae H Belostomatidae A Hydracarina	4
C Hydrophilidae, Dytiscidae, Gyrinidae H Gerridae, Notonectidae, Corixidae M Limnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeridae Cr Janiiridae H Hirudinea*	3
D Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	2
D Syrphidae Ol Oligochaeta	1

*Nota:* Se han eliminado aquellas familias que no se encuentran en Chile, así como incorporado otras asignando puntajes de tolerancia de acuerdo a datos de Hilsenhoff (1988); Lennat (1993); Roldán (1999), Mackie (2000), Prat et al. (2000) y Figueroa et al. (2003).

\*Todas las familias se consideran dentro del grupo.

#### 7.4. Anexo 4.

Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales.

**Tabla 4.1.** Clasificación de las variables físicas y químicas según las clases de calidad establecidas por la Norma secundaria de Calidad Ambiental de ACS, del Río Elqui (Mayo, 2004).

Grupo de compuestos o elementos	Unidad	Clases de calidad				Sitios de muestreo					
		C0	C1	C2	C3	1	2	3	4	5	6
<b>Indicadores físicos y químicos</b>											
Conductividad eléctrica	µS/cm	< 600	750	1500	2250	C0	C0	C1	C0	C0	C1
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	< 2	5	10	20	≤C1	≤C1	C1	≤C1	C2	C1
Color verdadero	UCV	< 16	20	100	> 100	C0	C0	(1)	C2	C0	C0
Oxígeno Disuelto <sup>(2)</sup>	mg/L	> 7,5	7,5	5,5	5	--	--	--	--	C0	C0
RAS	--	< 2,4	3	6	9	C0	C0	C2	C2	C2	C2
Sólidos disueltos	mg/L	< 400	500	1000	1500	C0	C0	C1	C0	C0	C0
Sólidos suspendidos	mg/L	< 24	30	50	80	C0	C0	C2	C0	C0	C0
<b>Inorgánicos</b>											
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	< 0,5	1	1,5	2,5	C0	C0	≤C0	≤C0	C0	≤C0
Cianuro	µg/L	< 4	5	10	50	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2
Cloruro	mg/L	< 80	100	150	200	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Fluoruro	mg/L	< 0,8	1	1,5	2	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/L	< 0,05	0,06	> 0,06	> 0,06	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Sulfato	mg/L	< 120	150	500	1000	C0	C0	C2	C2	C2	C2
Sulfuros	mg/L	< 0,04	0,05	0,05	0,05	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
<b>Orgánicos</b>											
Aceites y Grasas	mg/L	< 4	5	5	10	≤C4	≤C4	≤C4	C4	C4	C4
Bifenilos policlorados	µg/L	NE	0,04	0,045	> 0,045	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Detergentes (SAAM) <sup>5</sup>	mg/L	< 0,16	0,2	0,5	0,5	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Índice de fenol	µg/L	< 1,6	2	2	10	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	< 0,16	0,2	1	1	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Hidrocarburos fijos	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Hidrocarburos volátiles	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Hidrocarburos totales	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	C3	C3	C3	C3	C3	C3

**Tabla 4.1.** Continuación.

Grupo de compuestos o elementos	Unidad	Clases de calidad				Sitios de muestreo					
		C 0	C 1	C 2	C 3	1	2	3	4	5	6
<b>Metales esenciales</b>											
Boro	µg/L	< 400	500	750	750	C0	C0	C2	C0	C0	C0
Cobre <sup>(3)</sup>	µg/L	< 7,2	9	200	1000	≤C0	≤C0	C2	C2	C2	C1
Cromo	µg/L	< 8	10	100	100	≤C1	≤C1	C1	≤C1	C1	≤C1
Hierro	µg/L	< 800	1000	5000	5000	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Manganeso	µg/L	< 40	50	200	200	≤C0	C0	C4	C4	C1	C0
Molibdeno	µg/L	< 8	10	150	500	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Níquel <sup>(3)</sup>	µg/L	< 42	52	200	200	≤C0	≤C0	C0	≤C0	≤C0	≤C0
Selenio	µg/L	< 4	5	20	50	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
Zinc <sup>(3)</sup>	µg/L	< 96	120	1000	5000	≤C0	C0	C0	C0	C0	≤C0
<b>Metales No esenciales</b>											
Aluminio	µg/L	< 70	90	100	500	≤C0	C0	C0	C0	C0	≤C0
Arsénico	µg/L	< 40	50	100	100	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Cadmio <sup>(3)</sup>	µg/L	< 1,8	2	10	10	C3	C3	C3	C3	C3	C3
Estaño	µg/L	< 4	5	25	50	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
Plomo <sup>(3)</sup>	µg/L	< 2	2,5	200	5000	C2	C2	C2	C2	C2	C2
<b>Indicadores Microbiológicos</b>											
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 10	1000	2000	5000	C1	C1	≤C0	C0	C1	≤C0
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 200	2000	5000	10000	C0	C0	C0	C0	C0	≤C0

Nota:

NE = No especificado.

(1) Muestra con alto nivel de interferencia en espectro cromatográfico.

(2) Oxígeno disuelto, Norma expresada en términos de valor mínimo.

(3) Norma expresada en términos de valor máximo y mínimo.

(4) Temperatura, Norma: diferencia de temperatura entre la zona monitoreada y la temperatura natural del agua.

(5) SAAM: Sustancias activas al azul de metileno.

C0 = Clase de Excepción, Azul; C1 = Clase 1, Celeste; C2 = Clase 2, Verde; C3 = Clase 3, Amarillo; C4 = Clase 4, Rojo.

**Tabla 4.2.** Clasificación de las variables físicas y químicas, según las clases de calidad establecidas por la Norma secundaria de Calidad Ambiental de ACS, del Río Cachapoal (Marzo, 2004).

Grupo de compuestos o elementos	Unidad	Clases de calidad				Sitios de Muestreo						
		C0	C1	C2	C3	1	2	3	4	5	6	7
<b>Indicadores físicos y Químicos</b>												
Conductividad eléctrica	µS/cm	< 600	750	1500	2250	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C0
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	< 2	5	10	20	≤C1	≤C1	≤C1	C3	≤C1	≤C1	≤C1
Color verdadero	UCV	< 16	20	100	> 100	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Oxígeno Disuelto <sup>(1)</sup>	mg/L	> 7,5	7,5	5,5	5	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Sólidos disueltos	mg/L	< 400	500	1000	1500	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C1
Sólidos suspendidos	mg/L	< 24	30	50	80	C2	C4	C4	C3	C1	C2	C1
<b>Inorgánicos</b>												
Amonio	µg/L	< 0,5	1	1,5	2,5	C1	C0	C0	C1	C2	C0	C1
Cianuro	µg/L	< 4	5	10	50	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2	≤C2
Cloruro	mg/L	< 80	100	150	200	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Fluoruro	mg/L	< 0,8	1	1,5	2	C0	C0	C0	C0	C0	C0	C0
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/L	< 0,05	0,06	> 0,06	> 0,06	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Sulfato	mg/L	< 120	150	500	1000	C0	C0	C2	C0	C0	C0	C2
<b>Orgánicos</b>												
Aceites y Grasas	mg/L	< 4	5	5	10	C4	≤C4	≤C4	C4	C4	≤C4	≤C4
Bifenilos Policlorados	µg/L	NE	0,04	0,045	> 0,045	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Detergentes (SAAM) <sup>4</sup>	mg/L	< 0,16	0,2	0,5	0,5	≤C0	≤C0	≤C0	C0	≤C0	≤C0	≤C0
Índice de fenol	µg/L	< 1,6	2	2	10	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	< 0,16	0,2	1	1	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Hidrocarburos fijos	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C3
Hidrocarburos volátiles (VOC's)	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	C0	C0	≤C0
Hidrocarburos totales	mg/L	< 0,04	0,05	0,2	1,0	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C3
<b>Orgánicos Plaguicidas</b>												
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	mg/L	**	0,004		0,1	--	--	--	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Atrazina	mg/L	**	0,001			--	--	--	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Captán	mg/L	**	0,003	0,01		--	--	--	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Dieldrin <sup>(5)</sup>	mg/L	**	0,0005			--	--	--	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Dimetoato	mg/L	**	0,006			--	--	--	≤C4	≤C4	≤C4	≤C4
Paratión	mg/L	**	0,035			--	--	--	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Simazina	mg/L	**	0,005	0,01		--	--	--	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3

**Tabla 4.2.** Continuación.

Grupo de compuestos o elementos	Unidad	Clases de calidad				Sitios de Muestreo						
		C 0	C 1	C 2	C 3	1	2	3	4	5	6	7
<b>Metales esenciales</b>												
Boro	µg/L	< 400	500	750	750	C1	C0	C1	C3	C3	C3	C3
Cobre <sup>(2)</sup>	µg/L	< 7,2	9	200	1000	≤C0	C2	C2	C2	C2	C2	C0
Cromo	µg/L	< 8	10	100	100	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
Hierro	µg/L	< 800	1000	5000	5000	≤C0	≤C0	C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Manganeso	µg/L	< 40	50	200	200	≤C0	≤C0	C4	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Molibdeno	µg/L	< 8	10	150	500	≤C0	≤C0	≤C2	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Níquel <sup>(2)</sup>	µg/L	< 42	52	200	200	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Selenio	µg/L	< 4	5	20	50	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
Zinc <sup>(2)</sup>	µg/L	< 96	120	1000	5000	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
<b>Metales No esenciales</b>												
Aluminio	µg/L	< 70	90	100	500	≤C0	C0	≤C0	≤C0	≤C0	C3	≤C0
Arsénico	µg/L	< 40	50	100	100	≤C0	≤C0	C0	≤C0	≤C0	≤C0	≤C0
Cadmio <sup>(2)</sup>	µg/L	< 1,8	2	10	10	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3	≤C3
Estaño	µg/L	< 4	5	25	50	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
Plomo <sup>(2)</sup>	µg/L	< 2	2,5	200	5000	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1	≤C1
<b>Indicadores Microbiológicos</b>												
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 10	1000	2000	5000	C1	C1	C0	C3	C4	C1	C2
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 200	2000	5000	10000	C0	C1	C0	C4	C4	C2	C4

*Nota:*

NE = No especificado; ND = No detectado.

(1) Oxígeno disuelto, Norma expresada en términos de valor mínimo.

(2) Norma expresada en términos de valor máximo y mínimo.

(3) Temperatura, Norma: diferencia de temperatura entre la zona monitoreada y la temperatura natural del agua.

(4) SAAM: Sustancias activas al azul de metileno.

(5) Con prohibición de uso agrícola establecida por el Servicio Agrícola y Ganadero.

\*\*= La determinación de estos compuestos o elementos deberá estar bajo el límite de detección del instrumental analítico más sensible.

C0 = Clase de Excepción, Azul; C1 = Clase 1, Celeste; C2 = Clase 2, Verde; C3 = Clase 3, Amarillo; C4 = Clase 4, Rojo.