



**Escuela de Pregrado  
Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias**

UCH-FC  
B - Ambiental  
C - 263  
C. 1



# **EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE BIOINDICADORES EN EL RÍO CACHAPOAL**

Seminario de Título

entregado a la

Universidad de Chile

en cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al Título de

**BIÓLOGA CON MENCIÓN EN MEDIO AMBIENTE**

por

**CAROLINE ALEJANDRA CARVACHO ARÁNGUIZ**

Octubre 2009  
Santiago - Chile

Directora de Seminario de Título: María Ximena Molina Paredes  
Co-Directora de Seminario de Título: Irma Vila Pinto



## **“Evaluación Integral de la Calidad del Agua mediante el uso de Bioindicadores en el río Cachapoal”**

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

**CAROLINE ALEJANDRA CARVACHO ARÁNGUIZ**

*Msc. Ximena Molina Paredes*  
**Directora Seminario de Título**

Firma manuscrita en azul de Ximena Molina Paredes, sobre una línea horizontal.

*Dra. Irma Vila Pinto*  
**Co-Directora**

Comisión de Evaluación Seminario de Título

*Dr. Ramiro Bustamante Araya*  
**Presidente comisión**

Firma manuscrita en azul de Ramiro Bustamante Araya, sobre una línea horizontal.

*Msc. María Catalina Sabando*  
**Evaluadora**

Santiago de Chile, Diciembre del 2009.



Llegue al mundo un día 25 de enero de 1984, fui la primera hija de una familia que hoy esta compuesta de cinco integrantes. Todos estos años mi lugar de residencia a sido Santiago, aquí se ha forjado gran parte de mi vida. Desde pequeña las ciencias naturales fueron mi mayor motivación de hecho desde los diez años cuando alguien me preguntaba ¿que quieres ser cuando grande?, yo respondía: quiero ser bióloga, quiero estudiar biología. Recuerdo con especial cariño cada una de mis vacaciones familiares a Frutillar, Panguipulli, Las Torres del Paine, el campo y tantos otros increíbles lugares en donde pude conectarme y encantarme con toda la naturaleza. Desde aquellos años nació en mí una gran curiosidad por la naturaleza la cual me motivo desde niña. A mis 17 años decidí desarrollar una carrera universitaria enfocada en el estudio del medio ambiente. En ella adquirí experiencia teórica y práctica en trabajos de investigación, estudios en terreno, congresos y ayudantías, lo cual me permitió desarrollar cada una de mis capacidades. Los años de pre-grado en la universidad han finalizado, y no solo me llevo conmigo todo lo aprendido en las salas de clases, laboratorios y terrenos, sino también todo lo que hizo de esta etapa de mi vida una experiencia única y que ha dejado una inmensa huella en mí, la cual no hubiese sido igual de no ser por todas aquellas personas que formaron parte de mi vida en esta experiencia, dejando recuerdos inolvidables que seguirán en mi vida para siempre. Hoy a mis 25 años he logrado una de mis metas, soy toda una bióloga. Esta meta es el inicio de muchos otros logros y sueños profesionales que deseo concretar de aquí en adelante.

Ahora comienza todo un mundo nuevo por descubrir y explorar.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a mis padres, Jeannette y Cristian y a mis hermanos, Daphne y Cristian por todo su amor y cariño, ya que mi vida sin ellos no hubiese sido igual. Porque en mí hay un pedacito de cada uno de ellos, los quiero mucho.

A Jorge Ibarra Ferez por todo lo que hemos construido juntos, sus consejos, su apoyo, su gran curiosidad en toda mi ciencia, su incondicional amor y especialmente por ser único en su especie, único en mi vida. Te amo.

A mis abuelos Yolanda y Sergio quienes siempre han sido muy importantes en mi vida y cada día me han hecho sentir más cercana y parte de sus vidas.

A mis amigos y compañeros de universidad Claudia, Mariella, Javi, Santy, Isa, Daniel, Dani, Robert, Felipe, Yoko, Cloa y Pablo, por haber compartido conmigo su amistad, sus sueños y nuestra pasión por la biología. En especial a las niñas por todo lo que hemos vivido y compartido juntas desde que nació nuestra amistad, por que las memorables juntaciones del club de las lulus sigan por siempre. Y a mis dos grandes amigas del colegio Cinthya y Elizabeth que me han acompañan en todo momento. A todos ustedes los quiero por doquier.

A mi tutora Ximena Molina y cotutora Irma Vila, quienes me guiaron durante el desarrollo de la tesis, por todo el apoyo, confianza, paciencia y cariño constante. Porque cada una a su manera apporto en mi formación y me ayudo a crecer.

A las personas del laboratorio de bioensayos del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) con quienes compartí durante todo este proceso y siempre recordare con mucho cariño, Ximena R., Tiare, Maribel, Adriana, Pablo, Anita, Manuel P., a los profesores Manuel E., Patricia P, Ximena M. y M<sup>a</sup> Isabel O.

A Ramiro Bustamante y Catalina Sabando, mi comisión de evaluación de tesis, les doy gracias por su buena disposición y los valiosos aportes en sus correcciones y sugerencias.

Finalmente, deseo agradecer a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron incondicionalmente durante este importante proceso el cual fue muy enriquecedor en mi vida profesional y personal.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
Agradecimientos.....	iv
Índice de Contenidos.....	v
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Anexos.....	ix
Lista de Abreviaturas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiv
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Hipótesis.....	9
1.2. Objetivos.....	9
1.2.1. Objetivo General.....	9
1.2.2. Objetivos Específicos.....	10
<b>2. Materiales y Métodos.....</b>	<b>11</b>
2.1. Área de estudio.....	11
2.1.1. Clima.....	11
2.1.2. Actividades antrópicas en la cuenca del río Cachapoal.....	12
2.1.3. Usos del Agua y principales descargas.....	12
2.2. Metodología.....	13
2.2.1. Determinación de las estaciones de muestreo.....	13
2.2.2. Metodología y estacionalidad temporal de Muestreo.....	16
2.2.3. Régimen hídrico de las Estaciones de muestreo.....	16
2.3. Metodología de muestreo de variables físicas y químicas.....	16
2.4. Metodología de obtención y análisis de macroinvertebrados bentónicos.....	18
2.4.1. Muestreo, cuantificación e identificación de macroinvertebrados bentónicos.....	18
2.4.2. Análisis numérico de los parámetros comunitarios.....	19
2.4.3. Aplicación del índice biótico de Familia (ChIBF) para definir la calidad del agua.....	20
2.5. Análisis multivariado.....	21
2.5.1. Variables físicas y químicas.....	21
2.5.2. Estructuras comunitarias de macroinvertebrados bentónicos.....	21
2.5.3. Análisis de Correspondencia.....	22
2.6. Relaciones entre las variables biológicas, físicas y químicas.....	22
<b>3. Resultados.....</b>	<b>23</b>
3.1. Variables físicas y químicas medidas y analizadas en el río Cachapoal.....	23
3.2. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos del sistema fluvial.....	25
3.2.1. Composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.....	25
3.2.2. Análisis de parámetros comunitarios.....	28

3.2.3. Abundancia Relativa de las Familias de Macroinvertebrados Bentónicos.....	31
3.2.3. Índice Biótico: ChIBF.....	33
3.3. Análisis multivariado.....	35
3.3.1. Variables físicas y químicas.....	35
3.3.2. Estructuras comunitarias de macroinvertebrados bentónicos.....	35
3.3.3. Análisis de Correspondencia.....	37
3.4. Relaciones entre las Familias de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros biológicos con las variables físicas y químicas.....	37
<b>4. Discusión.....</b>	<b>40</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>47</b>
<b>7. Anexos.....</b>	<b>51</b>

## INDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Localización georreferenciada de las estaciones de muestreo (E) en la cuenca del Río Cachapoal. Datum 56.	14
<b>Tabla 2.</b> Clases de Calidad objetivo de Agua establecidos en la Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad ambiental para la protección de Aguas Continentales Superficiales.	17
<b>Tabla 3.</b> Áreas de vigilancia a las cuales pertenece cada una de las 6 estaciones (E) de muestreo definidas en el río Cachapoal. Según su anteproyecto de “Normas Secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del río Cachapoal”.	18
<b>Tabla 4.</b> Calidad del agua de ChIBF, basados en 8 Clases de Calidad aplicadas en el río Cachapoal.	21
<b>Tabla 5.</b> Resumen de los compuestos y/o elementos en Clases de Regular y Mala calidad en las campañas de primavera y verano, según la Guía CONAMA (2005).	24
<b>Tabla 6.</b> Áreas de vigilancia a las cuales pertenece cada una de las 6 estaciones (E) de muestreo definidas en el río Cachapoal, incluyendo las variables críticas, por estación y período de muestreo. Según Anteproyecto de Norma Secundaria de la cuenca hidrográfica del Cachapoal.	24
<b>Tabla 7.</b> Familias registradas en el río Cachapoal, en las campañas de primavera (2007) y verano (2008).	26
<b>Tabla 8.</b> Densidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en la campaña de primavera y verano expresados en N° de Individuos/m <sup>2</sup> .	28
<b>Tabla 9.</b> Valores y Clases de calidad de agua obtenidas mediante el ChIBF para primavera y verano en el río Cachapoal. Las siglas son E: Excelente; MB: Muy buena; B: Buena R: Regular; RM: Relativamente mala; M: Mala; MM: Muy mala.	34
<b>Tabla 10.</b> Correlaciones lineales significativas entre las variables Físicas y químicas con los parámetros biológicos.	39
<b>Tabla 11.</b> Correlaciones lineales significativas entre las variables Físicas y Químicas con las Familias presentes en el río Cachapoal.	39

## INDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 1.** Cuenca Hidrográfica del Río Cachapoal. En ella se indican las seis estaciones de Muestreo. Proyecto CENMA-DGA, 2007-2008 (Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua”. (DGA). COD.BIO 30065693-0, DGA). 14
- Figura 2.** Fotografías de las estaciones de muestreo del río Cachapoal: **a)** E1: Río Cachapoal 5km. Aguas abajo del río Cortaderal; **b)** E2: Río Coya antes de la confluencia con el río Cachapoal; **c)** E3: Río Cachapoal en bocatoma canales ribera sur; **d)** E4: Río Cachapoal en puente Coinco; **e)** E5: Río Cachapoal en puente Codao; **f)** E6: Río Cachapoal en puente Arqueado. 15
- Figura 3.** Promedios de los parámetros biológicos calculados a través de las estaciones de muestreo en la hoya hidrográfica del río Cachapoal. a) Riqueza; b) Abundancia; c) Equitatividad. 30
- Figura 4.** Abundancias relativas de cada uno de los taxa presente por campaña, en cada estación de muestreo. a) Primavera; b) Verano. Cada color especifica una Familia. 32
- Figura 5.** Variación espacio temporal del índice biótico ChIBF aplicado en el río Cachapoal. 34

## INDICE DE ANEXOS

	Página
<b>7.1 Anexo I.</b>	
Descripción de las actividades antrópicas de la cuenca del río Cachapoal.	51
<b>Tabla 1.</b> Resumen de actividades antrópicas en los tramos considerados que podrían influir en la Calidad del agua para cada estación de muestreo.	51
<b>Figura 1.</b> Mapa resumen de actividades Antrópicas, cuenca del río Cachapoal.	53
<b>7.2. Anexo II.</b>	
Variables físicas y químicas medidas en el río Cachapoal.	54
<b>Tabla 1.</b> Variables físicas y químicas medidas, según método de análisis y tipo de medición en el río Cachapoal.	54
<b>7.3. Anexo III.</b>	
Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Río Cachapoal.	55
<b>Tabla 1.</b> Áreas de vigilancia de la cuenca del Cachapoal.	55
<b>7.4. Anexo IV.</b>	
Composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.	56
<b>Tabla 1.</b> Identificación taxonómica y localización de los macroinvertebrados bentónicos colectados en el muestreo Cualitativo y Cuantitativo en la campaña de primavera y verano para cada estación de muestreo.	56
<b>Tabla 2.</b> Abundancia Relativa (%) de Familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Cachapoal, por campaña y estación de muestreo.	57
<b>7.5. Anexo V.</b>	
Índices Bióticos	58
<b>Tabla 1.</b> Ficha de registro de macroinvertebrados utilizada para el cálculo de <i>ChIBF</i> (Resh y col, 1996; Molina y Vila, 2006).	58
<b>Tabla 2.</b> Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos para ríos de Chile, <i>ChIBF</i> (Chutter, 1972; Hilsenhoff, 1988. Modificado por: Resh y col (1996) y por Figueroa y col, 2007).	58
<b>Figura 1.</b> Mapa de calidad de agua construido para cada período de muestreo (primavera y verano) según las clases de calidad de agua de <i>ChIBF</i> , para la hoya hidrográfica del río Cachapoal (basado en Figueroa et al. 2004).	60

<b>7.6. Anexo VI.</b>	61
Análisis Multivariado.	
<b>Figura 1.</b> Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo (E) del río Cachapoal, de acuerdo a las variables físicas y químicas registradas en la campaña de primavera.	61
<b>Figura 2.</b> Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo (E) del río Cachapoal, de acuerdo a las variables físicas y químicas registradas en la campaña de verano.	61
<b>Figura 3.</b> Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo de acuerdo a la abundancia de Familias de macroinvertebrados presentes en el río Cachapoal en la campaña de primavera	62
<b>Figura 4.</b> Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo de acuerdo a la abundancia de Familias de macroinvertebrados presentes en el río Cachapoal en la campaña de verano	62
<b>Figura 5.</b> Análisis de correspondencia, para la campaña de primavera en el río Cachapoal. Ordenación de las estaciones de muestreo (E) en los dos primeros ejes de correspondencia.	64
<b>Figura 6.</b> Análisis de correspondencia, para la campaña de verano en el río Cachapoal. Ordenación de las estaciones de muestreo (E) en los dos primeros ejes de correspondencia.	64
<b>Tabla 1.</b> Resumen de porcentajes y taxa que contribuyen mayormente a la disimilitud entre estaciones de muestreo (E) en la campaña de primavera, mediante análisis SIMPER.	63
<b>Tabla 2.</b> Resumen de porcentajes y taxa que contribuyen mayormente a la disimilitud entre estaciones de muestreo (E), en la campaña de verano mediante análisis SIMPER.	63
<b>7.7. Anexo VII.</b>	64
Variables físicas y químicas por campaña y estación de muestreo en el río Cachapoal.	
<b>Tabla 1.</b> Variables físicas y químicas por estación de muestreo (E), obtenidas en la hoya hidrográfica del Río Cachapoal, campaña primavera (Diciembre, 2007) y campaña verano (enero, 2008).	65
<b>7.8. Anexo VIII.</b>	67
Correlaciones lineales de Spearman.	
<b>Tabla 1.</b> Correlaciones entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANOSIM	Análisis de Similitud
CE	Conductividad Eléctrica
CENMA	Centro Nacional del Medio Ambiente
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
<i>ChIBF</i>	Índice Biótico de Familia adaptado para Chile.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DGA	Dirección General de Aguas
DMA	Directiva Marco del Agua de la Unión Europea
E	Estación de Muestreo
GPS	Sistema de posicionamiento Global
INN	Instituto Nacional de Normalización
Km	Kilómetros
LD	Límite de Detección
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
NCh	Norma Chilena
ND	No Definido
NH <sub>4</sub>	Amonio
OD	Oxígeno Disuelto
P total	Fósforo Total
PAST	Palaeontological Statistics
SIMPER	Análisis de los porcentajes de Similitud
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SO <sub>4</sub>	Sulfato
(d)	Metales Disueltos
(t)	Metales Totales

## RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis integral de la calidad del agua en la hoya hidrográfica del río Cachapoal (Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile). Para esto se utilizaron macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos, los cuales han sido utilizados nacional e internacionalmente para evaluar la calidad del agua, complementados con variables físicas y químicas, bajo un enfoque de “integridad ecológica” con el objeto de aportar metodologías para el conocimiento de la calidad del agua.

Se evaluó la calidad del agua en seis estaciones de muestreo ubicadas desde la cabecera hasta la desembocadura del río, en dos períodos en los cuales se esperaba encontrar una mayor abundancia organismos bentónicos de la zona subhúmeda, primavera y verano. Se midieron 28 variables físicas y químicas que se clasificaron según la Guía CONAMA “Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales Superficiales” y el Anteproyecto de “Normas Secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del río Cachapoal”. Para la recolección de la fauna bentónica se utilizó el método de muestreo cuantitativo y cualitativo, identificando a los individuos hasta el nivel taxonómico de Familia. Se cuantificó riqueza, abundancia total y relativa (%) de Familias, utilizando la medida de Equidad (J) para el análisis de diversidad y el índice biótico ChIBF para obtener las clases de calidad de agua de cada sitio en estudio. Se realizó un Análisis de Similitud de Bray-Curtis complementado con un Análisis de Correspondencia para la obtención de un agrupamiento jerárquico de las estaciones de muestreo según las variables físicas, químicas y biológicas. Evaluando

finalmente las relaciones entre estas variables mediante la correlación lineal de Spearman.

En el río Cachapoal se encontró una comunidad constituida por 20 Familias de macroinvertebrados, destacándose Gripopterygidae, Chironomidae y Naididae como potenciales bioindicadores. Los índices biológicos utilizados permitieron definir áreas en buen estado y otras fuertemente impactadas en el río Cachapoal. Para la evaluación de la calidad del agua se propone el ChIBF, ya que en comparación a los parámetros de diversidad utilizados en este estudio, resultó ser la metodología más rápida y directa de monitoreo ambiental. Las correlaciones muestran que las comunidades de macroinvertebrados bentónicos se relacionan principalmente con las variables ambientales consideradas al evaluar la calidad del agua CE, DBO<sub>5</sub>, pH, SDT y con los metales pesados Al, Cu y Mn, destacándose la relación positiva entre CE y ChIBF.

Finalmente, la calidad del agua entregada por las comunidades de macroinvertebrados bentónicos registrados en la hoya hidrográfica del río Cachapoal, presentó cambios a nivel espacial y temporal, la cual también fue reflejada por las variables físicas y químicas. En conclusión la evaluación de la calidad del agua en el río Cachapoal mediante la incorporación de bioindicadores complementarios a las variables físicas y químicas resultó ser una metodología adecuada para determinar la calidad del agua superficial de este sistema lótico.

## ABSTRACT

In this work, I've realized an integral analysis about water's quality in the hydrographic basin of Cachapoal river (Libertador Bernardo O'Higgins Region, Chile). For this, we used benthic macroinvertebrates as biological indicators, which have been used national and internationally to evaluate the water quality, complemented with physical and chemical variables, under an approach of "ecological integrity" in order to contribute methodologies for the knowledge of the water quality.

Water's quality was evaluated on six sampling stations located from the headwaters to the river mouth, in two periods in which they expect to find a greater abundance of benthic organisms of the subhumid zone, spring and summer. 28 physical and chemical variables were measured and classified according to CONAMA's Guide "Secondary Environmental Quality Standards for protection of surface fresh water" and the Preliminary design "Secondary Environmental Quality Standards for protection of surface waters of Cachapoal River". For benthic Families' compilation, we used the method of quantitative and qualitative sampling, identifying individuals to the family taxonomic level. There was quantified wealth, total and relative abundance (%) of Families, using the measure of Equity (J) for the analysis of diversity and the biotic index ChIBF to obtain the classes of water quality of every site in study. There was realized an Analysis of Bray-Curtis's Similarity complemented with an Analysis of Correspondence for the obtaining of a hierarchic grouping of the stations of sampling according to the physical, chemical and

biological variables. Evaluating finally the relations between these variables by means of Spearman's linear correlation.

In the river Cachapoal one found a community constituted by 20 Families of macroinvertebrates, standing Gripterygidae, Chironomidae and Naididae as potential bioindicators. Biological indexes used allowed to define areas in good condition and others strongly affected the river Cachapoal. For the evaluation of the quality of the water one proposes the ChIBF, since in comparison to the parameters of diversity used in this study, it turned out to be the most rapid and direct methodology of environmental monitoring. Correlations show that benthic communities are mainly related to environmental variables considered to evaluate water quality CE, DBO<sub>5</sub>, pH, SDT and with heavy metals Al, Cu and Mn, stressing the positive relationship between CE and ChIBF.

Finally, the quality of water delivered by the benthic community registered in the hydrographic pit of the river Cachapoal, there presented changes to spatial and temporary level, which was also reflected by the physical and chemical variables. In conclusion the evaluation of quality of the water in the river Cachapoal by means of the incorporation of bioindicators complementary to the physical and chemical variables turned out to be an appropriate methodology for determining the quality of surface water lotic system.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas fluviales proveen numerosos servicios ecosistémicos, tales como de agua potable, agua de riego, generación hidroeléctrica, recreación entre otros (Callow & Petts 1994). Los sistemas fluviales altamente antropizados han sido paulatinamente degradados como por ejemplo debido a su uso como simples receptores de desechos, alterando la calidad del agua. Este deterioro puede conducir a la pérdida de aquellos servicios o un aumento de los costos asociados a ellos, generando problemas ambientales complejos. Para la recuperación o restauración de estos ecosistemas se debe actualizar el conocimiento sobre su situación ambiental, identificando las fuentes de contaminación y niveles de degradación de la cuenca, de tal forma de implementar las medidas adecuadas para su conservación (Habit 2003).

La calidad intrínseca o natural de las aguas, se define por las condiciones físicas, químicas y biológicas de un medio natural que no ha experimentado intervención humana (Leiva & López 2005). La “calidad de las aguas continentales” es un término relativo que depende del uso final que se le de al recurso en relación con las actividades de la cuenca hidrográfica, ya que, las actividades de ésta determinan las diversas demandas de uso del agua (Wanielista 1997).

En la década de los años 70, los análisis químicos eran los métodos más utilizados para evaluar la calidad del agua, aunque eran ineficaces para detectar cambios en las condiciones naturales de los ríos, puesto que sólo son un reflejo instantáneo de la

condición ambiental (Resh et al. 1996) sin informar sobre las variaciones en el tiempo (Alba-Tercedor 1996). Ante esta situación se revalorizaron los métodos biológicos cuyo uso en el monitoreo de las condiciones de los sistemas acuáticos ha tenido un gran auge en las dos últimas décadas y se han convertido en una herramienta valiosa y complementaria a los métodos químicos y bacteriológicos (Segnini 2003). Existe el consenso general, que la información biológica no reemplaza a los registros físicos y químicos, sin embargo algunos autores consideran que el método biológico resulta ventajoso para evaluar la calidad del agua por su bajo costo y nivel integrativo (De la Lanza et al. 2000). Por ello en los últimos años el concepto de calidad del agua ha ido cambiando desde un enfoque estrictamente físico y químico descriptivo a uno más holístico, incorporando los componentes biológicos del ecosistema.

La bioevaluación de la calidad del agua se fundamenta en la capacidad natural que posee la biota de responder a los efectos de perturbaciones eventuales o permanentes. En términos generales se puede decir que la biota acuática experimenta cambios de estructura y funcionamiento frente a modificaciones de las condiciones ambientales de su hábitat natural. Es así posible usar algunas características o propiedades estructurales y funcionales de los diferentes niveles de organización biológica para evaluar en forma comparativa el estado de la biota acuática, cuya condición es reflejo del estado ecológico del cuerpo de agua (Segnini 2003).

Tanto la flora y fauna crecen y se desarrollan en condiciones físicas y químicas características, tales que las alteraciones naturales o antropogénicas repercuten en la

distribución y sobrevivencia de los organismos. Basado en este concepto se desarrolla el empleo de bioindicadores como un método para medir la calidad del agua, siendo relevante la elección del organismo indicador o bioindicador que se asocia al tipo de contaminación (De la Lanza et al. 2000). Rosenberg y Resh (1993) han definido el concepto de *especie indicadora*, 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 o de comportamiento de esas especies indican que las variables físicas o químicas consideradas, están por fuera de los límites acostumbrados o normales*”.

El creciente interés por conocer, proteger y estudiar la dinámica de los ecosistemas fluviales, ha incentivado el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en ellos (Norris & Hawkins 2000). Distintos autores consideran que actualmente el uso de los macroinvertebrados bentónicos es la mejor alternativa metodológica para detectar modificaciones tempranas y/o de origen difuso que se producen en los ecosistemas acuáticos (Cairns & Pratt 1993, Resh & Jackson 1993, Rosemberg & Resh 1993, Barbour et al. 1999, Karr & Chu 1999, Roldán 2003). Los macroinvertebrados están generalmente representado en ambientes lóticos por insectos en estado de larva, ninfa, pupa o adultos y por otros invertebrados tales como oligoquetos, crustáceos, moluscos, nemátodos y arácnidos. Todos ellos han sido ampliamente usados como indicadores de la calidad de agua debido a que pueden revelar cambios en su ambiente (Figueroa 2003). Estos son organismos que se encuentran adheridos a diversos sustratos sumergidos (naturales o artificiales) en el

fondo y ribera de los ríos y arroyos. Se distribuyen en diferentes hábitats o parches que se generan como producto del movimiento lateral y longitudinal y del aporte orgánico alóctono (Guevara-Cardona et al. 2006). Su distribución y abundancia en el sistema acuático depende de características tales como: i) restricciones fisiológicas relativas a la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad del medio, ii) disponibilidad de alimento y sustrato, iii) condiciones hidrológicas del río tales como velocidad y caudal, y iv) adaptaciones y forma de vida de los organismos, como son por ejemplo, movilidad y tasa de colonización de las especies (Wetzel 2001).

Las razones por las cuales los macroinvertebrados son considerados los mejores indicadores de calidad de agua son: a) abundancia, de amplia distribución y fáciles de recolectar. Se encuentran prácticamente en todos los sistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos; b) naturaleza relativamente sedentaria, la que permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente; c) relativamente fáciles de identificar (Nivel taxonómico de Familia); d) proporcionan información para integrar efectos acumulativos; e) responden rápidamente a los cambios ambientales; f) varían poco genéticamente; g) existen numerosos métodos para el análisis de datos, incluyendo índices bióticos y de diversidad, los cuales han sido ampliamente utilizados en biomonitoreos a nivel comunitario y validados en diferentes ríos del mundo. Entre sus desventajas mencionamos que a) Las variaciones estacionales o de dinámica de población puede interferir en la interpretación o comparación de los resultados; b) Pueden existir otros factores independientes a la calidad del agua que afectan la distribución y abundancia (e.g. perturbaciones por cambios de caudales

manejados artificialmente, eventos naturales como inundaciones o crecidas, estiaje depredación, entre otros).

Los macroinvertebrados han sido utilizados por décadas para evaluar la calidad del agua, utilizando índices biológicos, que se han desarrollado desde principios del siglo XX. Los índices son una de las formas numéricas biológicas que entrega información y criterios para la evaluación de la contaminación basado en la integridad biológica. Se distinguen tres enfoques para la evaluación de la repuesta de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos a la contaminación. Estos son el sapróbico, el de diversidad y el biótico. Primero, el Sistema Saprobiótico Continental (Kolkwitz & Marsson 1908), introdujo la idea de Saprobidad, como la medida del grado de contaminación orgánica de un cuerpo de agua. Se destaca porque sentó las bases para el desarrollo de otros índices (e.g. Trent Biotic Index (TBI); Biological Monitoring Working Party (BMWP) y otros). Segundo, los índices de diversidad biológica se comenzaron a utilizar en la década de los años 60, como medida de perturbaciones ambientales de diferentes tipos (Washington, 1984). La premisa ecológica que sostiene este postulado es que la estabilidad de una comunidad se ve incrementada con su complejidad (Lampert & Sommer 1997). Se postula que una comunidad natural no intervenida, presenta una gran diversidad de especies, bajo número de individuos por especie y abundancias de valores similares (alta equitatividad), mientras que una comunidad sometida bajo presión antropogénica y/o stress natural, presenta un bajo número de especies y un gran número de individuos por especie (baja equitatividad) (Roldán 2003). Los más utilizados son Shannon & Wiever, Simpson y Margalef (1951)

(Segnini 2003), cuya utilidad para la evaluación de la calidad del agua posee una limitación importante, y es que los índices de biodiversidad no toman en cuenta la tolerancia de cada organismo bioindicador (Segnini, 2003). Finalmente, con posterioridad, se desarrollaron los índices bióticos que describen las comunidades y estructura del grupo, basados en la tolerancia o sensibilidad natural a la contaminación, donde los macroinvertebrados bentónicos se clasificaron según su grado de tolerancia a la contaminación orgánica, ordenándolos en una escala numérica determinada. Estos se han incorporado en los monitoreos biológicos en varios países. Dos de ellos son: IBF y BMWP, ambos adaptados para Chile (Figueroa 2004) con la exclusión de taxa que no se encuentran en Chile y la inclusión y asignación de puntuaciones a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en los ríos de Chile mediterráneo. ChIBF es un índice de tipo cuantitativo, el cual considera la riqueza específica y la abundancia, presentando por ende una mayor sensibilidad para el análisis de la calidad del agua (Figueroa 1999), además se ha correlacionado con alteraciones antropogénicas (Eaton 2001). En cambio *ChBMWP* es un índice cualitativo, basado en la presencia o ausencia de un determinado taxa. Estudios recientes sugieren el uso de ChIBF por sobre ChBMWP para la evaluación de la calidad del agua, ya que se ha visto que ChIBF es más sensible a perturbaciones no detectadas por ChBMWP (Figueroa et al. 2007).

Los índices bióticos sugieren que el nivel taxonómico de Familia permite una buena interpretación general de la calidad ecológica de un sistema fluvial (Figueroa et al. 2005). Además estos engloban información ecológica en un indicador único, de esta forma se facilita la comparación espacial y temporal, además son de fácil interpretación para personas sin información científica en el área (Riestra 1999).

El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos ha sido de larga tradición en los países desarrollados y son incorporados en todas las evaluaciones de calidad ecológica de sistemas fluviales (Figueroa et al. 2007). La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA) ha recogido la utilidad de las comunidades biológicas para valorar el estado ecológico de los ecosistemas fluviales, lo que obliga a los países miembros a incluir las comunidades de plantas acuáticas, peces y macroinvertebrados bentónicos en la valoración del estado de sus ríos y arroyos. Por tanto, el conocimiento de la estructura y funcionamiento ecológico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y las técnicas para su recolección y seguimiento son esenciales para alcanzar adecuadamente los objetivos de la evaluación de la calidad del agua.

En Chile el año 2005 la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, genera una “Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para las aguas continentales superficiales y marinas” para apoyar la implementación de las Normas Secundarias de calidad ambiental para las cuencas hidrográficas seleccionadas por dicha autoridad ambiental. Una de las cuencas hidrográficas seleccionadas por CONAMA incorporada en el programa priorizado de normas es la cuenca del Río Cachapoal, cuyo proceso de normalización se encuentra en etapa de Anteproyecto (CONAMA 2007). Estas futuras normas secundarias tienen como objetivo el proteger, mantener o recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando

los beneficios sociales, económicos y ambientales. Esta guía establece en uno de sus artículos que “Los bioensayos y bioindicadores podrán ser utilizados en las normas secundarias como herramientas complementarias para determinar los impactos producidos sobre las comunidades acuáticas, los usos prioritarios y/o el estado trófico de los lagos, canales, fiordos y estuarios entre otros” (CONAMA 2005). Dicha Guía define los objetivos de calidad según clases, considerando objetivos de aplicación nacional como también objetivos particulares que den cuenta de las calidades específicas de los cursos y cuerpos de agua, para la protección de los recursos acuáticos.

Lo anterior implica considerar modelos de monitoreo, metodologías de análisis de laboratorio, técnicas de muestreo y de análisis de bioensayos que cuenten con un sistema de aseguramiento y control de la calidad (Molina & Vila 2006).

Resulta fundamental para establecer modelos de gestión ambiental sustentables en el país, obtener resultados de exactitud y precisión acorde con una adecuada toma de decisión. Por lo cual esta metodología podría ser considerada en el seguimiento de la calidad del agua del río a través de la implementación de Planes de vigilancia futuros de las Normas Secundarias de Calidad ambiental.

## **1.1. Hipótesis de trabajo.**

Las actividades antrópicas en las cuencas han provocado cambios en las características físicas y químicas de los ríos, tales perturbaciones en la calidad del agua afectarían las características biológicas del sistema ecológico.

Se espera demostrar que las alteraciones físicas y/o químicas a lo largo del sistema fluvial en una dinámica temporal, se reflejen en las comunidades bentónicas.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Analizar la calidad del agua a lo largo del río Cachapoal, durante los períodos de primavera y verano. Esta evaluación se realizará mediante el uso de bioindicadores complementados a variables físicas y químicas con el objeto de suministrar una información completa sobre la condición del sistema fluvial, aportando metodológicamente a la evaluación de la calidad del agua.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Conocer e identificar taxonómicamente los macroinvertebrados bentónicos de las estaciones de muestreo definidas en el río Cachapoal a nivel taxonómico de Familia.
  
- Evaluar la calidad del agua mediante variables físicas y químicas medidas en sistema hídrico estudiado en base criterios de calidad ambiental establecidos por CONAMA (2005 & 2006).
  
- Aplicar índices de diversidad y el índice biótico ChIBF para la evaluación de la calidad del agua en la hoya hidrográfica del Cachapoal.
  
- Relacionar las variables y los parámetros biológicos con variables físicas y químicas para proponer la aplicación del biocriterio en la evaluación del río Cachapoal.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudio.**

La localidad de estudio corresponde a una hoya hidrográfica mediterránea de Chile Central: la hoya hidrográfica del río Cachapoal (Región del Libertador Bernardo O'Higgins). El río Cachapoal nace del cerro de los Piuquenes, a 4.460 m de altura, alimentado por el deshielo de un conjunto de ventisqueros y su longitud total es de 172 Km. Su cuenca compromete una superficie de 6.250 Km<sup>2</sup>, siendo su ubicación geográfica aproximada 33°53'-34°15' Latitud Sur y los 70°12'-71°15' Longitud Oeste (Fig. 1).

El río Cachapoal se clasifica dentro de la zona hidrológica subhúmeda formada por parte de la zona central de Chile y caracterizada por la presencia de la depresión intermedia o valle central (Niemeyer & Cereceda 1984).

El tramo alto de la hoya hidrográfica de río Cachapoal ha sido descrito con claras características ritrónicas, es decir, un río de montaña (fuerte pendiente, aguas caudalosas, frías y de alta oxigenación). En su geomorfología se distinguen tres relieves: Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes. Su desembocadura es en el sector La Junta, donde se une con el río Tinguiririca a 113 m.s.n.m., llegando al río Rapel (Embalse Rapel).

#### **2.1.1. Clima.**

El clima es templado mediterráneo, con ciertas variaciones en función de la topografía; así, en la costa es nuboso, mientras que el interior es seco, con mayores

fluctuaciones térmicas. Existen precipitaciones mayores en la costa (638 mm/año) y en la zona de la Cordillera de Los Andes unos 686 mm/año, mientras que el interior es más seco (406 mm/año). En general, los valores registrados de precipitación son mayores durante el invierno, en los meses de junio, julio y agosto, lo que es característico del clima mediterráneo (Niemeyer & Cereceda 1984).

### **2.1.2. Actividades antrópicas en la cuenca del río Cachapoal.**

Las principales actividades económicas desarrolladas en la cuenca son del tipo silvoagropecuaria y minero, se destaca la diversidad de otros rubros productivos existentes tales como industrias de alimentos, conservas y otros alimentos deshidratados, industria avícola, fabricación de productos metálicos, fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón, fabricación de vinos y servicio de saneamiento, además el sector productivo se ve representado por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (DGA 2004). Desde el punto de vista de su aporte al producto, las actividades silvoagropecuarias contribuyen con el 29,3%, seguido por la minería con el 24,8%, el comercio con el 11,0% y la industria manufacturera con el 10% (CENMA 2006<sub>b</sub>).

### **2.1.3 Usos del Agua y principales descargas en el río Cachapoal.**

Los principales usos del agua de la cuenca son destinadas a pesca deportiva y recreativa, para el desarrollo intensivo del riego, generación hidroeléctrica, consumo por la población, siendo la principal actividad demandante de agua el rubro alimenticio y agroindustrial. Además, se destaca la presencia de la gran minería del cobre en la



parte alta de la cuenca; este río ha recibido descargas por actividad minera desde el siglo pasado, incluso aun hay drenajes que indirectamente llegan al río. Las principales descargas de aguas servidas son de las poblaciones aledañas. También ha recibido descargas de RILES por industrias agrícolas, de tinturas y viñas. (Arcadis Geotécnica 2001).

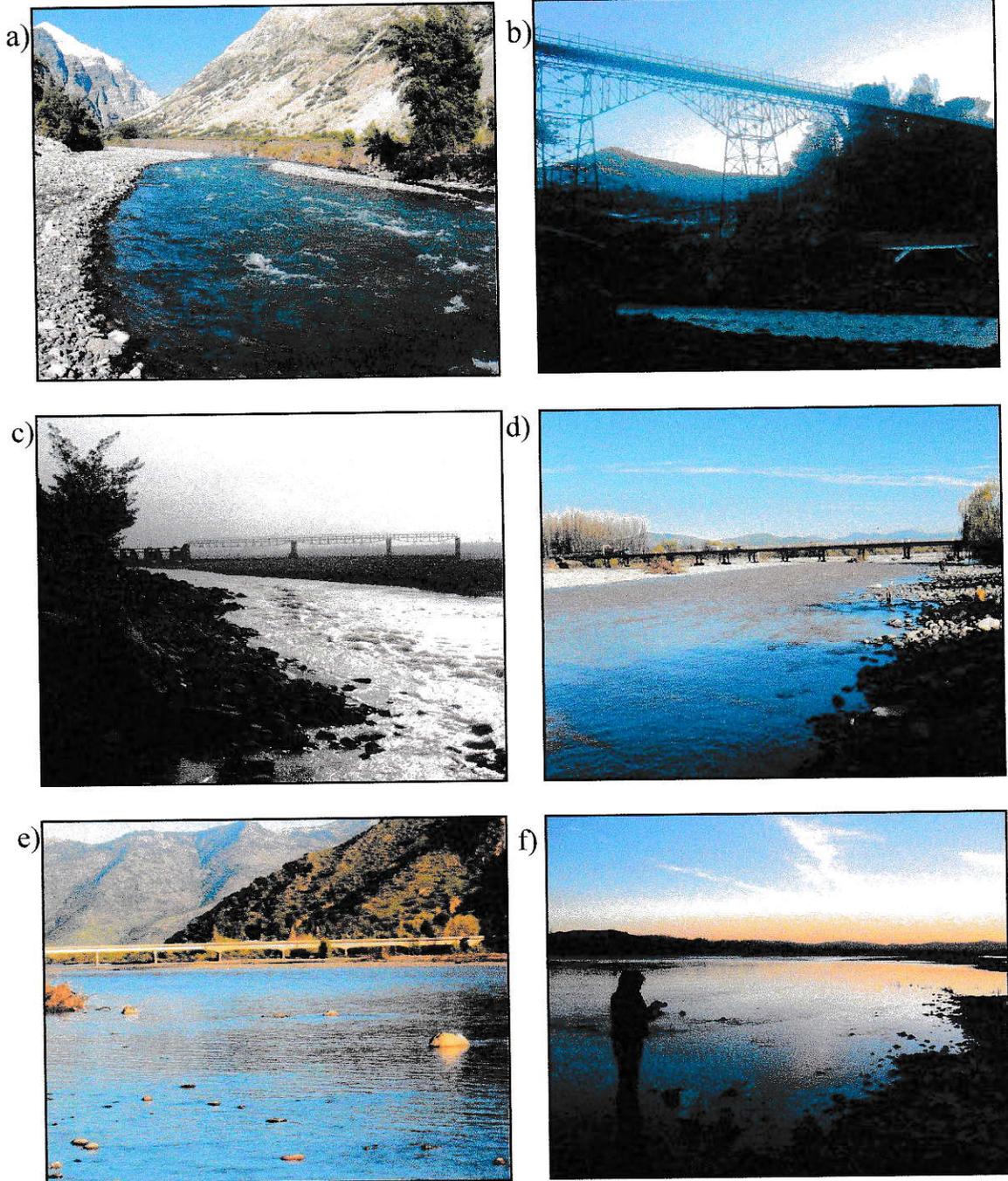
## **2.2. Metodología**

### **2.2.1 Determinación de las estaciones de muestreo.**

La selección de las estaciones de muestreo fue definida bajo criterios físicos, químicos y biológicos, establecidas en una campaña de diagnóstico en terreno. Se determinaron 6 estaciones de muestreo distribuidas en el curso principal de la hoya, desde su cabecera a su desembocadura. La primera de ellas corresponde a la estación menos perturbada: Cachapoal bajo Cortaderal (E1), la cual posee una baja intervención antrópica en comparación a las estaciones de muestreo siguientes río abajo: Coya (E2), Ribera Sur (E3), Coinco (E4), Codao (E5) y Las Cabras (E6). Cada estación de muestreo presentó diferentes impactos por acciones antrópicas, las cuales se detallan en el Anexo I (Tabla 1 y Fig. 1). Cada estación de muestreo fue debidamente georreferenciada en terreno con un equipo GPS Garmin (Tabla 1). La distribución espacial de las estaciones de muestreo en la hoya hidrográfica del río Cachapoal se muestra en la Figura 1.



**Figura 2.** Fotografías de las estaciones de muestreo del río Cachapoal: **a)** E1: Río Cachapoal 5km. Aguas abajo del río Cortaderal; **b)** E2: Río Coya antes de la confluencia con el río Cachapoal; **c)** E3: Río Cachapoal en bocatoma canales ribera sur; **d)** E4: Río Cachapoal en puente Coinco; **e)** E5: Río Cachapoal en puente Codao; **f)** E6: Río Cachapoal en puente Arqueado.



### **2.2.2 Metodología y estacionalidad temporal de muestreo.**

Se evaluaron dos períodos cada uno evaluado en una campaña de trabajo: primavera (Diciembre 2007) y verano (Enero 2008), períodos en los cuales se espera encontrar una mayor abundancia de organismos bentónicos de la zona subhúmeda (SAG-CENMA 2006). Estos incluyeron valores de variables físicas, químicas y biológicas (macroinvertebrados bentónicos).

### **2.2.3. Régimen hídrico de las estaciones de muestreo.**

El régimen del río es nivo-pluvial (mixto), con crecidas en los meses de primavera debidas al deshielo. Esta cuenca en su cabecera ha sido descrita como un sistema con régimen nival con escurrimiento torrencial, por lo que presenta un mayor caudal en el período de primavera y su menor caudal ocurre durante el período de invierno. Los sectores intermedios son de régimen mixto y en el tramo final de régimen pluvial (DGA 2004, CENMA 2007).

### **2.3. Metodología de muestreo y clasificación de variables físicas y químicas.**

Tanto la toma de muestras, como la preservación, el transporte y el análisis de las diversas variables muestreadas se realizó de acuerdo con los protocolos establecidos por las Normas Chilenas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización (INN).

En el río Cachapoal se realizaron medidas de variables físicas y químicas *in-situ* en la columna de agua, los instrumentos para tales mediciones fueron debidamente calibrados según el sistema de calidad del Laboratorio Químico de CENMA. Además se analizaron variables inorgánicas, metales totales (t) y disueltos (d), los cuales fueron

analizados en el Laboratorio de Química y Referencia Medio Ambiental, CENMA. En el Anexo II, Tabla 1 se detallan las 28 variables físicas y químicas medidas en las distintas estaciones de muestreo del río Cachapoal y su correspondiente método de análisis. Todas las variables descritas en el Anexo II, Tabla 1 se clasificaron según su valor en una clase de calidad objetivo en base a la Guía CONAMA “Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales Superficiales”. Esto consiste en la tipificación del agua de acuerdo a niveles de calidad por elemento o compuesto para los dos períodos de muestreo (Tabla 2).

**Tabla 2.** Clases de Calidad objetivo de Agua establecidos en la Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad ambiental para la protección de Aguas Continentales Superficiales.\*

Clases de Calidad	Simbología	Características de las Clase de Calidad de Agua
Clase excepcional	C0	Excepcional Calidad
Clase 1	C1	Muy buena calidad
Clase 2	C2	Buena calidad
Clase 3	C3	Regular calidad
Clase 4	C4	Mala calidad

\* Cada una de las clases de calidad es representada por un color.

La cuenca del río Cachapoal posee además un anteproyecto de “Normas Secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del río Cachapoal”, el cual establece niveles de calidad ambiental para cada uno de los compuestos o elementos normados, según tramos de vigilancia definidos en la cuenca del río Cachapoal (Anexo III, Tabla 1), especificando si los límites establecidos por tramo para cada elemento o compuesto medidos son críticos, es decir, superan el valor establecido para dicho tramo de vigilancia.

Las variables físicas y químicas evaluadas en el río (Anexo II, Tabla 1) también fueron clasificadas según su anteproyecto. En la Tabla 3 se indica a que tramo del río Cachapoal corresponden las 6 estaciones de muestreo definidas en el río para este estudio.

**Tabla 3.** Áreas de vigilancia a las cuales pertenece cada una de las 6 estaciones (E) de muestreo definidas en el río Cachapoal. Según su anteproyecto de “Normas Secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del río Cachapoal”.

<b>Estación</b>	<b>Nombre Estación</b>	<b>Área de Vigilancia</b>
E1	Cachapoal bajo Cortaderal	CA-10
E2	Coya	CO-10
E3	Ribera Sur	CA-40
E4	Coinco	CA-40
E5	Codao	CA-70
E6	Las Cabras	CA-70

## **2.4. Metodología de obtención y análisis de macroinvertebrados bentónicos.**

### **2.4.1. Muestreo, cuantificación e identificación de macroinvertebrados bentónicos.**

La recolección de las muestras de los diferentes sitios de muestreo se realizó en sustrato de bolones preferentemente, para establecer un criterio de homogenización de hábitat (sustrato y profundidad).

Se utilizaron métodos de recolección de tipo cuantitativo (3 réplicas por estación) y cualitativo (1 réplica por estación). Mediante el muestreo cualitativo se obtuvo un catastro general de los taxa presentes, con el fin de complementar la información obtenida de las muestras cuantitativas. Ambos métodos se aplicaron utilizando una red Surber de 0,09m<sup>2</sup> de área de superficie y de apertura de malla de

250 $\mu$ m, que permite la captura de los macroinvertebrados (Surber 1973). En el muestreo la red se coloca en el fondo del río contra la corriente, en un sustrato pedregoso dentro del área de la red Surber se lava bajo el agua de manera que los organismos sean atrapados en la malla. El material recolectado se limpia lo mejor posible y se vierte en un frasco (previamente etiquetado), dejándolo inmerso en alcohol al 70%. En el laboratorio primero se procedió a limpiar las muestras, para la posterior identificación y cuantificación de los organismos bentónicos recolectados en cada estación, para este propósito se utilizaron pinzas DUMON 5 y una lupa SM2-U de zoom 1:100, NIKON, y una lámpara de luz de fibra óptica MKII. Los individuos fueron identificados al nivel taxonómico de Familia mediante la utilización de diversas claves y guías para identificar macroinvertebrados bentónicos de la zona central de Chile (Domínguez & Fernández 2001, Figueroa 2004, Sabando & Peñaloza 2006). Los resultados fueron expresados en términos de densidad (Nº de individuos/m<sup>2</sup>).

#### **2.4.2. Análisis numérico de los parámetros comunitarios.**

Para los dos períodos de muestreo (primavera y verano) se realizó un análisis de riqueza y abundancia de cada Familia por estación de muestreo. Se cuantificó abundancia total y abundancia relativa (%) de las Familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en cada campaña de muestreo. En el caso de la abundancia relativa los resultados son expresados en porcentaje, las Familias con un porcentaje menor al 5% fueron designadas como Otros Taxas. Para el análisis de diversidad se utilizó la medida de Equidad (J). Estos parámetros fueron calculados, analizados y graficados por campaña, para cada estación de muestreo.

Se realizó también una comparación estadística de la riqueza obtenida en el muestreo cuantitativo versus el cualitativo a través del Test de Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ), en primavera y verano. Para estos propósitos se utilizó el programa estadístico PAST versión 1.77.

#### **2.4.3. Aplicación del índice biótico de Familia (ChIBF) para definir la calidad del agua.**

Se utilizó ChIBF para evaluar la calidad del agua en el río Cachapoal en primavera y verano. La selección de este índice se fundamenta en su aplicación en climas de tipo mediterráneo similares a nuestra área de estudio y por su aceptación en la comunidad científica en términos de los valores de tolerancia asignada a las familias (Figuroa 2004). Los organismos se cuantificaron y clasificaron al nivel taxonómico de Familia, el cual integra suficiente información para justificar su uso en la evaluación de la calidad de agua (Figuroa et al. 2005).

ChIBF asigna un puntaje de tolerancia a cada Familia, el valor 0 corresponde al menos tolerante a la contaminación orgánica, mientras que el valor 10 corresponde al más tolerante, en el Anexo V (Tabla 2) se muestran los valores de tolerancia para cada Familia. En el Anexo V (Tabla 1) se detalla la ficha de registro de macroinvertebrados utilizada para el cálculo de ChIBF. Este índice se obtuvo con las tres réplicas obtenidas del muestreo cuantitativo, cuyos valores fueron promediados. El puntaje final del índice es expresado finalmente en una clase de calidad de agua definida en particular para el río Cachapoal (Tabla 4). Tanto el puntaje destinado a los organismos, como para el rango de clases de calidad de agua se adecuaron a la hoya hidrográfica del río

Cachapoal. Este índice fue calculado y graficado por campaña, para cada estación de muestreo.

**Tabla 4.** Calidad del agua de ChIBF, basados en 7 Clases de Calidad aplicadas en el río Cachapoal.

Clase	ChIBF	Calidad del agua
I	0,00-3,75	Excelente
II	3,76-4,25	Muy Buena
III	4,26-5,00	Buena
IV	5,01-5,75	Regular
V	5,76-6,50	Relativamente Mala
VI	6,51-7,25	Mala
VII	7,26-10,00	Muy Mala

## **2.5. Análisis multivariado.**

Todos estos análisis se realizaron con el software estadístico PAST versión 1.77.

### **2.5.1. Variables físicas y químicas**

Se realizó un análisis de similitud de Bray-Curtis para la obtención de un agrupamiento jerárquico de las estaciones de muestreo según las variables físicas y químicas medidas en el río Cachapoal, para cada período en estudio.

### **2.5.2. Estructuras comunitarias de macroinvertebrados bentónicos.**

Se realizó un análisis de similitud de Bray-Curtis para la obtención de un agrupamiento jerárquico de las estaciones de muestreo según la abundancia de macroinvertebrados bentónicos encontradas en el río. La abundancia fue previamente transformada mediante raíz cuadrada, a fin de dar mayor énfasis a aquellas Familias con

menores valores de representación. Debido a que el análisis multivariado descrito anteriormente, es solamente exploratorio, la confirmación estadística se demostró con el Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía, a un nivel de significancia del 5%.

Para evaluar la contribución de cada taxa por diferencias de disimilitud entre las estaciones, se aplicó la prueba SIMPER (Porcentaje de Similitud) (Clarke & Warwick 1994). Este análisis se realizó mediante la comparación entre pares de estaciones y los resultados de estas comparaciones se presentan en una tabla para cada período en estudio.

### **2.5.3. Análisis de Correspondencia**

Para complementar el análisis de similitud de Bray-Curtis se realizó un Análisis de Correspondencia (CA) con el propósito de evidenciar la asociación de las seis estaciones de muestreo del río Cachapoal, generada por la integración de las variables físicas, químicas y biológicas consideradas en este trabajo para primavera y verano.

### **2.6. Relaciones entre las variables biológicas, físicas y químicas.**

Para evaluar esta relación, se utilizó la correlación lineal de Spearman rank R ( $p < 0,05$ ) entre las variables físicas, químicas, biológicas (macroinvertebrados bentónicos). Para lo cual, se usó el software Statistica 7.0. En este análisis no se consideraron los taxa que representaran una abundancia relativa menor al 5% y las variables químicas que resultaron tener un mismo valor en las diferentes estaciones de muestreo.

### 3. RESULTADOS

#### 3. 1. Variables físicas y químicas medidas y analizadas en el río Cachapoal.

Los resultados y la clasificación de las variables físicas y químicas según las Clases de calidad establecidas en la Guía CONAMA (CONAMA, 2005) obtenidas de la hoya hidrográfica del Río Cachapoal, en la campaña de primavera y verano se muestran en el Anexo VII (Tabla 1). Del total de compuestos y/o elementos físicos y químicos medidos en la hoya hidrográfica del río Cachapoal solo 7 variables se encontraron dentro de la Calidad de agua Clase 3 (regular calidad) o Clase 4 (mala calidad) (Ver Tabla 5).

El Oxígeno Disuelto se presentó a través del río en Clase excepcional ( $>7,5$  mg/L), excepto en la campaña de verano en E6 (Clase 2  $<7,5$  mg/L). La  $DBO_5$  fue variable en primavera y verano no superando la Clase 2 ( $< 10$  mg/L) en las seis estaciones de muestreo. La CE no presenta cambios importantes, aunque se aprecia un ligero aumento en sentido longitudinal del río. El pH presentó variaciones entre 7,6-8,6 valores los cuales se encuentran dentro de los rangos naturales para la vida acuática. En primavera se observó una tendencia al aumento del pH a lo largo del río Cachapoal, superando el valor 8,6 en E6 (Clase 4, mala calidad), esto no fue observado en la campaña de verano donde por el contrario el pH disminuyó desde la cabecera del río hasta la desembocadura.

Los metales pesados Aluminio y Manganeso se encontraron dentro de la Clase 3 y 4 (regular y mala calidad) a lo largo del río Cachapoal en primavera y verano. Cobre

presento elevadas concentraciones definidas en Clase 3 únicamente en la estación E2 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Resumen de los compuestos y/o elementos en Clases de Regular y Mala calidad en las campañas de primavera y verano, según la Guía CONAMA (2005). \*

Estación	Nombre Estación	Campaña	Parámetros, compuestos y/o elementos en Clase 3 (Regular calidad)	Parámetros, compuestos y/o elementos en Clase 4 (Mala calidad)
E1	Cachapoal bajo Cortaderal	Prim		
		Ver	Cu(t), Al(d)	SST, Mn(t), Al(t)
E2	Coya	Prim	SST, Al(t)	Mn(t), Mn(d)
		Ver	Cu (t), Al(t)	Mn(t), Mn(d)
E3	Ribera Sur	Prim	Al(t), Al(d)	
		Ver	Al(t)	SST
E4	Coinco	Prim	SST, Al(t), Al(d)	
		Ver	Al(d)	SST, Al(t)
E5	Codao	Prim		
		Ver	SST, Al(t), Al(d)	
E6	Las Cabras	Prim		pH
		Ver	SST, Al(t)	

\* Para los metales: (t) indica metales totales y (d) indica metales disueltos.

**Tabla 6.** Áreas de vigilancia a las cuales pertenece cada una de las 6 estaciones (E) de muestreo definidas en el río Cachapoal, incluyendo las variables críticas, por estación y período de muestreo. Según Anteproyecto de Norma Secundaria de la cuenca hidrográfica del Cachapoal. \*

Estación	Nombre Estación	Área de Vigilancia	Campaña	Variables Críticas
E1	Cachapoal bajo Cortaderal	CA-10	Prim	
			Ver	SST, Al(t)
E2	Coya	CO-10	Prim	
			Ver	
E3	Ribera Sur	CA-40	Prim	
			Ver	
E4	Coinco	CA-40	Prim	
			Ver	
E5	Codao	CA-70	Prim	DBO <sub>5</sub>
			Ver	
E6	Las Cabras	CA-70	Prim	pH
			Ver	Pb(t)

\* Para los metales: (t) indica metales totales y (d) indica metales disueltos.

Solo 5 variables físicas y químicas medidas se clasificaron como variables críticas según el Anteproyecto de Norma Secundaria de la cuenca hidrográfica del Cachapoal (Tabla 6).

### **3.2. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos del sistema fluvial.**

#### **3.2.1. Composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos.**

El listado de Familias registradas en el río Cachapoal durante los dos períodos de muestreo (primavera-verano) está constituido por 20 taxas de macroinvertebrados bentónicos, principalmente de la Clase Insecta, Orden Ephemeroptera, Familia Baetidae; Orden Trichoptera, Familia Hidropsychidae; Orden Coleóptera, Familia Elmidae; Orden Díptera, Familia Chironomidae; Clase Oligochaeta, Orden Haplotaxida, Familia Naididae. En la Tabla 7 se detallan todas las Familias registradas mediante los dos métodos de recolección utilizados (cualitativo y cuantitativo), durante primavera y verano en el río Cachapoal. Se indica el tipo de hábitat, tipo de alimentación y valor de ChIBF, entre otras características como lo documentan Lafont (1984), De la Lanza et al. (2000), Domínguez & Fernández (2001), Jara (2002), Figueroa (2003), Roldán (2003), Figueroa (2004), Vera & Camousseight (2006), entre otros.

En la Tabla 1, Anexo IV se presenta la riqueza faunística general encontrada en el área de estudio, para primavera y verano. Además se muestran los organismos colectados mediante el muestreo cualitativo (x, indica la presencia del taxa por sitio de muestreo) y aquéllos que se obtuvieron en el muestreo cuantitativo (X, indica la presencia del taxa por sitio de muestreo).

**Tabla 7.** Familias registradas en el río Cachapoal, en las campañas de primavera (2007) y verano (2008).

Clase	Orden	Familia	Hábitat	Tipo de Alimentación	ChIBF	Observaciones
Insecta	Plecóptera	Gripopterygidae	Muchos están relativamente restringidos a ciertos tipos de hábitats. Capaces de mantenerse en zonas Rápidas del Río.	Larvas carnívoras o detritívoras, pero algunas especies se alimentan principalmente de perifiton.	1	Son conocidos como insectos de aguas limpias, intolerantes a la contaminación por materia orgánica.
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Tienden a vivir en ambientes de aguas corrientes, y por ello es posible predecir que los contenidos de oxígeno que requieren para desarrollarse deben ser elevados.	La mayoría de las especies son detritívoras y/o herbívoras.	2	Son altamente susceptibles a la contaminación del agua; por esta razón las Ephemeras han demostrado ser muy útil en el análisis o biomonitoreo de la calidad del agua en que viven.
		Baetidae	Gran diversidad sustratos y hábitat. Nada libremente en el agua. Viven en aguas rápidas, debajo de troncos, rocas, hojas y adheridos a vegetación sumergida.	Recolectores y raspadores, se alimentan de algas principalmente.	4	Intolerante contaminación orgánica
	Trichoptera	Hidrobiosidae	Viven agua corriente sobre material pedregoso.	Contribuyen a la cadena trófica de los ecosistemas de agua dulce y así, directa o indirectamente, proveen alimento a los peces. Son micrófagos, dotados de sofisticados sistemas de filtración.	0	No construyen casas.
		Hidropsychidae	Gran diversidad sustratos y hábitat. Viven principalmente sobre rocas.		4	Asociado con una abundante carga materia orgánica en descomposición y presencia de metales pesados
		Hidroptilidae	Viven sobre rocas en rápidos de ríos y quebradas.		4	Como mecanismo adaptativo construye vainas o "casitas", cuya forma y función es particular particulares.
	Coleoptera	Elmidae	Aguas limpias, hábitos bentónicos altos requerimiento O <sub>2</sub> .	Herbívoros, detritívoros, raspadores, colectores.	4	Taxa altamente sensible contaminación
		Hidrophilidae	Enteramente acuáticos, se colectan en zonas con alta Materia orgánica, viven en rocas.	Herbívoros, colectores y desmenuzadores.	8	Escarabajos basureros, organismos facultativos.
	Díptera	Athericidae	Habitán lugares muy poco contaminados En sistemas lóticos con aguas bien oxigenadas.	Depredadores, se alimentan de otros invertebrados acuáticos.	2	Organismos intolerantes a la contaminación orgánica.
		Blephaceridae	Viven preferencialmente en aguas lóticas, sobre rocas y cascadas.	Filtradores, Herbívoros.	0	Se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Propios de aguas muy limpias.

**Continuación Tabla 7.** Familias registradas en el río Cachapal, en las campañas de primavera (2007) y verano (2008).

Insecta	Diptera	Chironomidae	Gran diversidad sustratos y hábitat., sistemas lóticos y lénticos. Es uno de los grupos de insectos más importantes en los ecosistemas acuáticos y debido a su abundancia, riqueza de sp y su ancho espectro ecológico, se le encuentra en un rango de condiciones naturales mayor al de cualquier otro grupo de insectos.	Comen detritus orgánico en efluentes asociados a bacterias. Colectores, filtradores y depredadores.	7	Tolera contaminación orgánica e inorgánica como metales pesados; indicadores temprano polución; versátil ciclo vida; tolera menos que tubificidae.
		Empididae	Entre detritus, corrientes lentas adheridos a vegetación, aguas contaminadas a moderadamente contaminadas.	Su fuente de alimento es bastante variada. Herbívoros y filtradores.	4	Tolera contaminación orgánica.
		Simuliidae	Viven en corrientes asociados a sus pupas, fuertemente adheridos al sustrato.	Filtradores dotados de sofisticados sistemas de filtración	6	Intolerante contaminación orgánica. Importancia sanitaria, rol bioenergético, se propone por sensibles a contaminación ser incorporados como índice biótico.
		Tipulidae	Entre detritus, sedimento orgánico fino, macrofitas, aguas limpias.	Micrófagos, filtradores.	3	
	Hemiptera	Corixidae	Vive en ecosistemas lóticos, en zonas de deposición de sedimentos y restos vegetales. Nada libremente.	Depredadores de vertebrados dulceacuícolas.	ND	
Arachnida	Acari		Poco estudiado por dificultades taxonómicas. Enorme diversidad de hábitat		4	Los ácaros constituyen un componente normal en este medio.
Gastropoda	Basommatophora	Physidae	Se encuentran en todo tipo de aguas, pero con preferencia en aguas contaminadas.	Filtradores. Se alimentan de algas y restos vegetales.	8	Tolera contaminación, grupo tolerante a condiciones sépticas. Indicador de aguas relativamente contaminadas
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Viven en aguas poco profundas debajo de piedras, troncos sumergidos, ramas, hojas y sustratos similares.	Carnívoras o necrófagas.	4	Tolera contaminación, bioindicador de aguas con mediana calidad.
Crustácea	Ostracoda		Viven en las orillas de aguas corrientes.	Se alimentan de restos de algas, presas vivas.	ND	Grupo indicador de ambientes con alto contenido de materia orgánica.
Oligochaeta	Haplotaxida	Naididae	Viven en el fondo de los ríos.	Desechos orgánicos.	8	Bioindicador de aguas muy contaminadas.

\*ND = No Definido.

### 3.2.2. Análisis de parámetros comunitarios.

Los valores obtenidos mediante el muestreo cuantitativo en río Cachapoal indican que en primavera la riqueza y equitatividad presentó una tendencia similar en las estaciones de muestreo del río, excepto en E2 (Coya,  $J = 0$ ), lo cual nos indicó que en esta estación de muestreo hay una Familia que es dominante, ella es Chironomidae, perteneciente al Orden Diptera (Fig. 3; a, b y c).

En verano, en cambio E1 (Cachapoal bajo Cortaderal) fue la estación que presentó las mejores condiciones en términos de riqueza faunística y equidad ( $J = 0,9$ ). E2 en presentó nuevamente una acotada riqueza, abundancia y equitatividad. En E3 y E4 la diversidad y equidad aumentan considerablemente, para observar luego una disminución paulatina hacia la desembocadura del río, presentando E6 la menor equidad ( $J = 0,16$ ) registrada en verano en el río Cachapoal (Fig. 3; a, b y c). En esta estación se registro la una sola familia dominante, Naididae (Clase Oligochaeta).

En el río Cachapoal la mayor densidad de macroinvertebrados bentónicos fue registrada en la campaña de verano, en ambos períodos E2 presentó la menor densidad. La mayor densidad fue registrada en el tramo final del río (E6 en primavera y E5 en verano) (Tabla 8 y Fig. 3; b).

**Tabla 8.** Densidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en la campaña de primavera y verano expresados en N° de Individuos/m<sup>2</sup>.

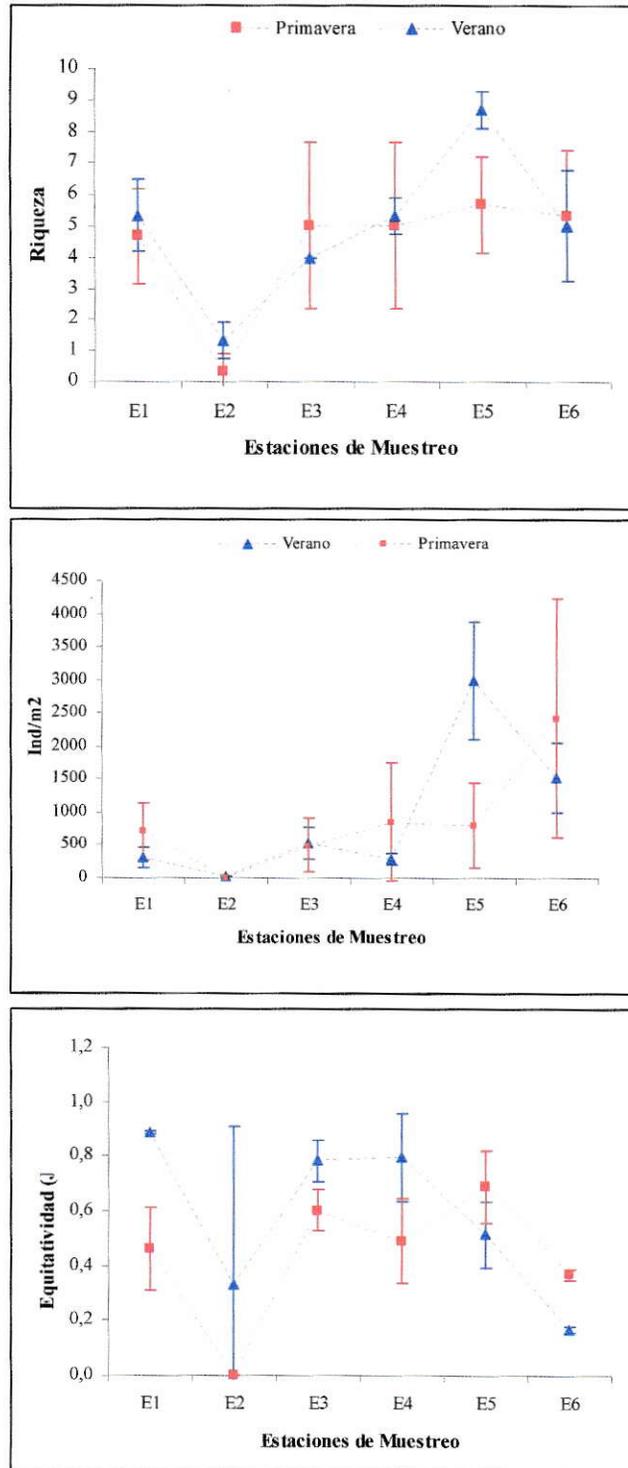
Estación	Estación de Muestreo	Unidad	Primavera	Verano
E1	Cachapoal bajo Cortaderal	Ind/m <sup>2</sup>	700	304
E2	Coya		4	15
E3	Ribera Sur		496	530
E4	Coinco		848	289
E5	Codao		796	2989
E6	Las Cabras		2419	1533

En la riqueza del río Cachapoal se pudo observar una tendencia similar a nivel espacial. Nuevamente en primavera y verano aparecen los menores valores en E2. En verano se destaca a E4 ya que, en esta se encuentra el mayor valor de riqueza de Familias (Fig. 3; a).

En ambos períodos de estudio el muestreo cualitativo registró un mayor número de taxa en el río Cachapoal, presentando 3 taxa (Simuliidae, Ostracoda y Hidrophantidae) más en primavera y 2 taxa (Simuliidae y Corixidae) más en verano.

Mediante la comparación estadística de la riqueza obtenida en el muestreo cuantitativo versus el cualitativo a través del Test de Kolmogorov-Smirnov no se encontró diferencia significativa entre la utilización de una u otra metodología, en primavera ( $N = 12$ ;  $D = 0,333$ ;  $p = 0,809$ ) y verano ( $N = 12$ ;  $D = 0,166$ ;  $p = 0,999$ ).

**Figura 3.** Promedios de los parámetros biológicos calculados a través de las estaciones de muestreo en la hoya hidrográfica del río Cachapoal. a) Riqueza; b) Abundancia; c) Equitatividad.\* \*\*



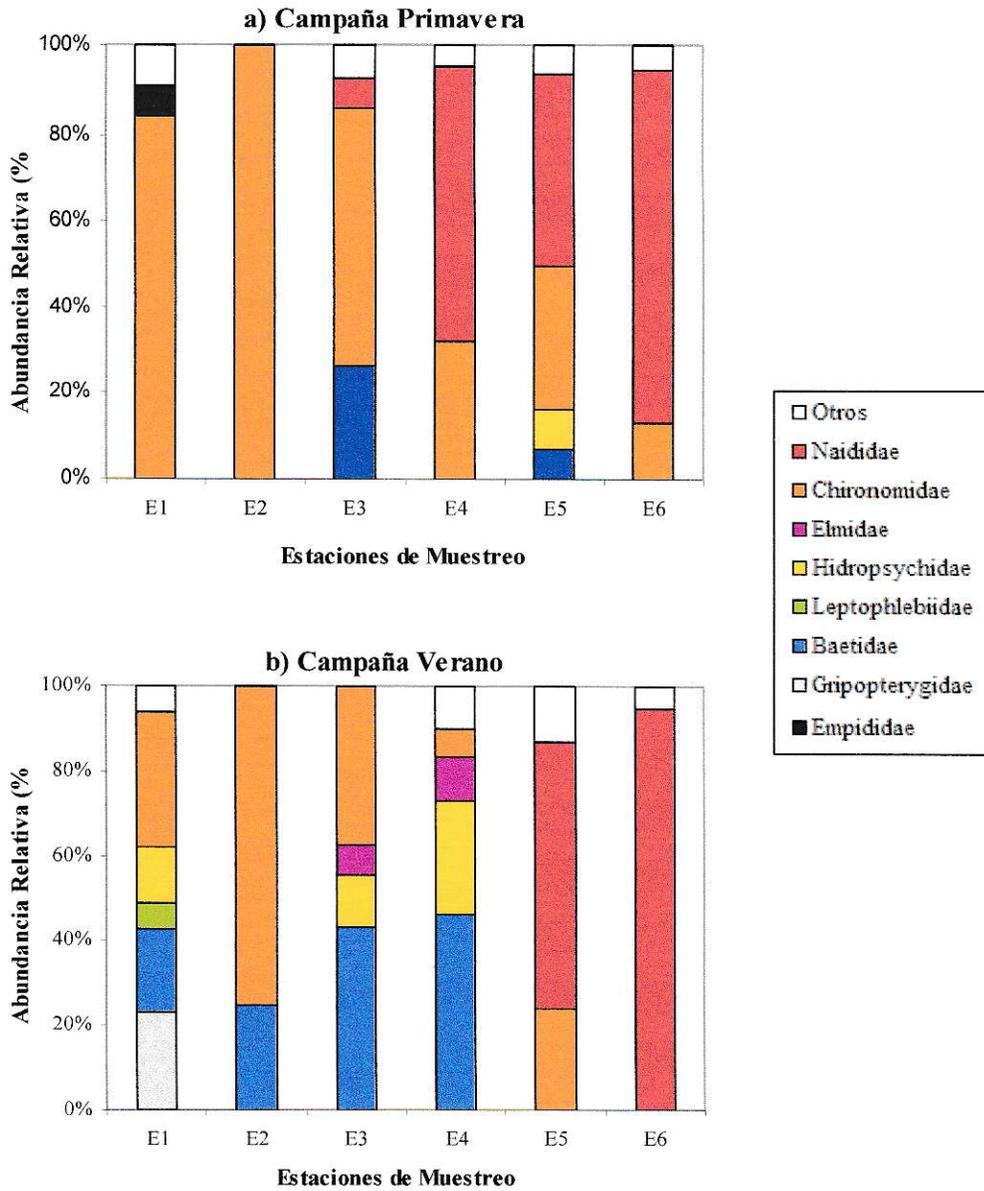
\* El cuadrado rojo (■) denota la campaña de primavera y el triángulo azul (▲) denota la campaña de verano.  
 \*\* Las barras (I) representan el error estándar, (I) barra roja primavera y (I) barra azul verano.

### 3.2.3. Abundancia Relativa de las Familias de Macroinvertebrados Bentónicos.

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentaron diferentes composiciones respecto a sus abundancias relativas. En la Tabla 2, Anexo IV se resume la información de aquellas taxa que fueron más representativas en términos de abundancia relativa (%) para el muestreo cuantitativo, en primavera y verano en el río Cachapoal (Fig. 4). En primavera se puede observar que Chironomidae fue la Familia más abundante en las primeras tres estaciones de muestreo (E1, E2 y E3) con un porcentaje mayor al 59%. En Coinco (E4) observamos que Naididae (63,3 %) aumenta su abundancia, duplicando la registrada por Chironomidae (31,8%), siendo desde esta estación en adelante Naididae el taxón dominante en el curso de agua. En la última estación de muestreo Las Cabras (E6) Naididae alcanza su mayor abundancia (81,1%) y Chironomidae la más baja (13,1%). (Ver Fig. 4a)

En la época de verano las mayores abundancias fueron presentadas por Chironomidae, Gripopterygidae (caracteriza un ambiente de muy buena calidad), Baetidae, Hidropsychidae y Naididae. En la estación Cachapoal bajo Cortaderal (E1), se observó una mayor abundancia de Chironomidae (31,7%), Gripopterygidae (23,1%), Baetidae (19,5), Hidropsychidae (13,4%) y Leptophlebiidae (6,1%). En E2 solo observó la presencia de Chironomidae y Baetidae. En E3 y E4 la mayor abundancia relativa es representada por Baetidae. En E5 y E6 al igual que en la campaña de primavera las mayores abundancias fueron presentadas por Naididae y secundariamente por Chironomidae. Finalmente en E6 Naididae alcanzó su mayor abundancia (94,6%) y Chironomidae la más baja (0,24%), al igual que en la campaña de primavera (Ver Fig. 4b).

**Figura 4.** Abundancias relativas de cada uno de los taxa presente por campaña, en cada estación de muestreo. a) Primavera; b) Verano. Cada color especifica una Familia. \*



\* Otros taxa, representa a las Familias con una abundancia relativa < 5%.

### **3.2.4. Índice Biótico: ChIBF.**

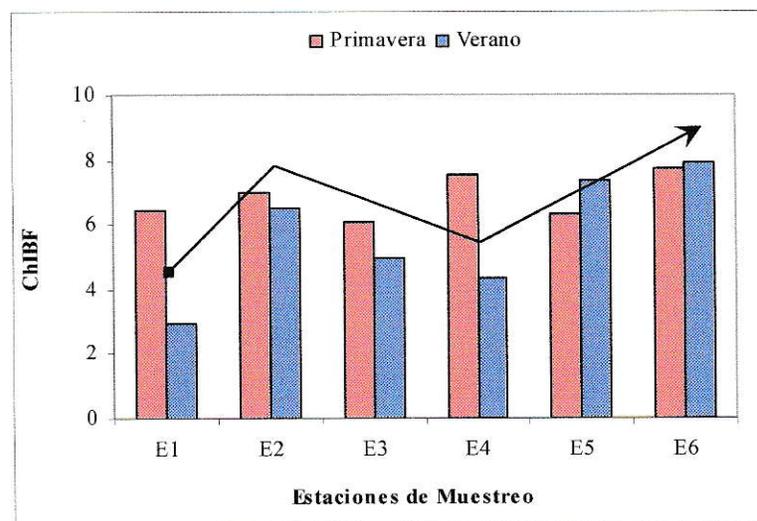
El análisis de la calidad del agua del río Cachapoal empleando el ChIBF, que trabaja a nivel de familias a las cuales se les ha asignado un valor de tolerancia a la contaminación orgánica y considera la abundancia de las familias arrojo diferencias entre los dos períodos de muestreo (Tabla 9 y Fig. 5). En general, los resultados del ChIBF indican que el río Cachapoal presentó en primavera una calidad del agua “Relativamente mala” desde E1 a “Muy Mala” en la desembocadura (E6), siendo aguas muy contaminadas. En verano, en cambio encontramos mayores diferencias entre la calidad del agua entre los seis sitios de muestreo del río. La estación de cabecera E1 fue clasificada en Excelente calidad (Clase I), siendo aguas no contaminadas. Luego en E2 se obtuvo una condición relativamente mala del agua (Clase V). En E3 y E4 una Buena Calidad (Clase III) y una Mala calidad en el tramo final del río en E5 y E6. Una visión espacial y temporal de los resultados obtenidos mediante el índice biótico estudiado ChIBF, es presentada en la Figura 5. En general, se presentó una tendencia que muestra una disminución pronunciada de la calidad del agua de E1 hacia E2 estación fuertemente intervenida por actividad minera. Luego en E3 y E4 se observa una mejora en la calidad de las aguas para finalmente volver a disminuir gradualmente hacia el tramo final del río en E5 y E6, señalando una muy mala calidad del agua, resultado explicado posiblemente por la contaminación de actividades agrícolas e industriales desarrolladas en aquellos sectores del río Cachapoal, lo cual es evidenciado y descrito en la literatura.

**Tabla 9.** Valores y Clases de calidad de agua obtenidas mediante el ChIBF para primavera y verano en el río Cachapoal. Las siglas son E: Excelente; MB: Muy buena; B: Buena R: Regular; RM: Relativamente mala; M: Mala; MM: Muy mala.

ChIBF	Primavera			Verano		
	Clase	Valor	Calidad	Clase	Valor	Calidad
E1	V	6,43	RM	I	2,92	E
E2	VI	7	M	V	6,5	RM
E3	V	6,10	RM	III	4,95	B
E4	VII	7,55	MM	III	4,35	B
E5	V	6,30	RM	VII	7,37	MM
E6	VII	7,74	MM	VII	7,92	MM

En el Anexo V, Fig. 1 se presenta el mapa de calidad de agua construido para cada período de muestreo (primavera y verano) según las clases de calidad de agua de ChIBF, para la hoya hidrográfica del río Cachapoal (basado en Figueroa et al. 2004).

**Figura 5.** Variación espacio temporal del índice biótico ChIBF aplicado en el río Cachapoal.



### **3.3. Análisis multivariado.**

#### **3.3.1. Variables físicas y químicas.**

Los análisis de ordenación realizados a través del índice de Bray-Curtis expresado en dendrogramas de similitud, fueron realizados separadamente para primavera y verano. Analizando las variables físicas y químicas se observó que en primavera existe un mayor porcentaje de similitud entre E3-E4 y E5-E6 y una clara tendencia en separar a las estaciones E1 y E2 de las estaciones anteriormente mencionadas (Anexo VI, Fig. 1). En verano nuevamente se observó una gran similitud entre E5-E6 (90%) junto a ellas se agruparon E3 y E2 con un porcentaje mayor al 60%. Separadamente se agrupó E1-E4. (Anexo VI, Fig. 2)

#### **3.3.2. Estructuras comunitarias de macroinvertebrados.**

Los dendrogramas de similitud de Bray-Curtis considerando la abundancia de las Familias de macroinvertebrados bentónicos registradas en el río Cachapoal por sitios de muestreo en primavera y verano se presentan en las Fig. 3 y 4, Anexo VI. En primavera se observó un solo núcleo con más de un 50% de similitud conformado por E3-E4-E5-E6 y una clara tendencia en separar a las estaciones E1 y E2 de las últimas cuatro estaciones de muestreo (Anexo VI, Fig. 3), resultado también expresado en el dendrograma de las variables físicas y químicas en igual período en estudio.

El patrón de agrupamiento de las estaciones de muestreo indica una diferenciación de las comunidades bentónicas presentes a lo largo del río Cachapoal, hecho que es corroborado con el análisis de similitud (ANOSIM), que muestra

diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo en primavera ( $R = 0,6848$ ;  $p < 0,0001$ ).

A través de la prueba estadística SIMPER, se determinaron los taxa que más contribuyeron a la diferenciación de la estructura comunitaria en el espacio multivariado. En primavera las Familias que contribuyeron mayormente a la diferenciación comunitaria entre estaciones fueron Chironomidae y Naididae, siendo esta última la que mejor explicó las diferencias de estructura comunitaria mediante la comparación entre pares de estaciones de muestreo (Anexo VI, Tabla 1).

En la campaña de verano se observaron dos núcleos con un 50% de similitud, donde uno de ellos incluyó al igual que el agrupamiento de las variables físicas y químicas a los sitios de muestreo E5-E6, y el segundo incorporó a E3-E4-E1. La estación Coya (E2) presentó menos de un 30% de similaridad de Bray-Curtis con el resto de las estaciones de muestreo (Anexo VI, Fig. 4).

El patrón de agrupación de las estaciones de muestreo, en verano al igual que en primavera, indicó una diferenciación de las comunidades bentónicas presentes en el sistema fluvial. El análisis de similitud (ANOSIM), que mostró diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo ( $R = 0,907$ ;  $p < 0,001$ ).

En verano la prueba estadística SIMPER determinó que las Familias que contribuyeron mayormente a la diferenciación comunitaria entre estaciones fueron: Gripopterygidae, Baetidae, Chironomidae y Naididae (Anexo VI, Tabla 2). Al igual que en primavera la Familia Naididae en la época de verano fue la que mejor explicó las diferencias de estructura comunitaria mediante la comparación entre pares de estaciones de muestreo.

### **3.3.3. Análisis de Correspondencia.**

La ordenación de las estaciones de muestreo realizada mediante el análisis de correspondencia en primavera explicó con los 2 primeros ejes de correspondencia el 75% de la varianza, el primer eje con un 51% y el segundo eje con un 24% (Anexo VI, Fig. 5). La utilización de este análisis nos permitió observar la menor asociación entre E1-E2-E6 y una mayor asociación entre E3-E4-E5.

En verano el análisis de correspondencia explicó con los 2 primeros ejes de correspondencia el 81% de la varianza, el primer eje con un 50% y el segundo eje con un 31% (Anexo VI, Fig. 6). La utilización de este análisis nos permitió observar una mayor asociación entre E5-E6 resultado observado anteriormente en la agrupación por similitud de las estaciones de muestreo según las variables físicas y químicas y la biota registrada en el río Cachapoal. También E1-E4-E3 presentaron una alta asociación. Mientras que la menor asociación se encontró entre E2 y las otras 5 estaciones de muestreo.

### **3.4. Relaciones entre las Familias de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros biológicos con las variables físicas y químicas.**

Para las correlaciones no se consideraron las variables: Amonio y Fósforo total, metales totales y disueltos: Cadmio, Cromo y Níquel y el metal disuelto Plomo; puesto que no presentaban una variación significativa a través de las estaciones de muestreo y se encontraron en el límite de detección del método (LDM) definida como la concentración mínima que puede ser medida con una exactitud y una precisión aceptables (Leiva & López 2005). No se consideró además la temperatura, debido a que las mediciones se realizaron a distintas horas del día, por lo que los

datos no fueron comparables entre sí. En el Anexo VIII (Tabla 1) se tabulan los resultados obtenidos mediante la correlación lineal de Spearman.

Las Familias de macroinvertebrados bentónicos que tuvieron una abundancia mayor al 5% se correlacionaron principalmente con la velocidad, pH, CE, DBO<sub>5</sub> y los metales Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Gripopterygidae se correlacionó negativamente con SST, Al y Fe(t). Leptophlebiidae se correlacionó positivamente con la velocidad. Baetidae se correlacionó negativamente con CE, Ca y Mg. Hidropsychidae se correlacionó positivamente con DBO<sub>5</sub> y negativamente con los cationes Ca y Na. Elmidae se correlacionó negativamente con la velocidad, el sulfato, Zn(t) y As(d). Chironomidae se correlacionó positivamente con el pH y negativamente con Cu(t), Mg (t), Mo(d) y Zn(d). Empididae fue aquella Familia que presentó un mayor número de correlaciones con las variables físicas y químicas medidas, se correlacionó negativamente con los sólidos totales disueltos (SDT) y los metales totales: Cu, Fe, Mn, Mo, Al y Pb; y con los metales disueltos: Fe, Mn, Al. Naididae se correlacionó negativamente con los metales Cu (t), Mn y Zn(t).

La Riqueza se correlacionó positivamente con la DBO<sub>5</sub>. La Abundancia se relacionó negativamente con la CE y los SDT. ChIBF se correlacionó positivamente con la CE. Los resultados significativos ( $p < 0,05$ ) de las correlaciones entre las variables físicas y químicas con los parámetros biológicos se muestran en la Tabla 10 y 11.

**Tabla 10.** Correlaciones lineales significativas entre las variables físicas y químicas con los parámetros biológicos. \*

Parámetros Biológicos	Parámetros Físicos y Químicos		
	CE	DBO <sub>5</sub>	SDT
Riqueza		0,64	
Abundancia	-0,64		-0,59
ChIBF	0,69		

\* En AZUL se muestran las correlaciones positivas, y en ROJO las correlaciones negativas.

**Tabla 11.** Correlaciones lineales significativas entre las variables físicas y químicas con las Familias presentes en el río Cachapoal. \*

Familia	Variables Físicas y Químicas								Metales Totales (t)							Metales Disueltos (d)						
	pH	CE	Vel	DBO <sub>5</sub>	SST	SDT	Ca	Na	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Al	Pb	Fe	Mn	Mo	Zn	Al	As	
Gripopterygidae					-0,5									-0,6						-0,6		
Leptophlebiidae			0,5																			
Beatidae		-0,6					-0,5															
Hidropsychidae				0,6			-0,5	-0,6														
Elmidae			-0,7										-0,5									-0,8
Chironomidae	0,7								-0,6		-0,6											
Empididae						-0,5			-0,6	-0,6	-0,6	-0,5		-0,6	-0,6	-0,6	-0,6			-0,6		
Naididae									-0,7		-0,7		-0,5									-0,6

\* En AZUL se muestran las correlaciones positivas, y en ROJO las correlaciones negativas.

#### 4. DISCUSIÓN

Los estudios físicos y químicos complementados con el uso de bioindicadores en sistemas acuáticos han sido de gran utilidad a nivel mundial. En Chile, en las últimas décadas, se han realizado algunos trabajos para validar el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en algunos sistemas lóticos (e.g. Figueroa 1999, Jara 2002, Weisser 2003, Leiva 2003, Figueroa 2004, Donoso 2006, Córdova 2007, Figueroa et al. 2007). En todos ellos las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentaron respuestas a cambios en la calidad de agua.

Las citadas Guía CONAMA (2005) y el Anteproyecto de Norma Secundaria de la cuenca del Cachapoal (2006) sólo permiten una visión univariada, puesto que no establece un método para resumir en una clase global final la calidad del agua del río. Estas dejan muy claro los valores límites de las variables físicas y químicas a considerar, pero no como abordar la integridad del problema. Esta situación y la escasa experiencia que se tiene en Chile en el uso de biocriterios, especialmente en el estudio de indicadores biológicos de sistemas continentales, hace inherente la necesidad de recopilar la información necesaria para avanzar en la protección de nuestros recursos hídricos y la estandarización de métodos de evaluación y monitoreo; situación que ya ha sido abordada en Norteamérica, Australia, Inglaterra, África y en general, por varios países de Europa que hoy se encuentran interactuando métodos dentro de la Normativa Marco del Agua de la Comunidad Europea (Bonada 2002).

En relación a la clasificación de las variables físicas y químicas medidas en el río Cachapoal según CONAMA (2005) y CONAMA (2006) indicaron que el sistema hídrico fue afectado principalmente por altos valores de CE, DBO<sub>5</sub>, SDT, SST y pH en los distintos sitios de muestreo estudiados en el río Cachapoal, además por elevadas concentraciones de los metales pesados Cobre, Aluminio y Manganeso. Estas variables se correlacionaron con los macroinvertebrados presentes en el río y los parámetros biológicos considerados al evaluar la calidad del agua como riqueza, abundancia, equitatividad y ChIBF. Se destacan las correlaciones positivas entre la velocidad de la corriente y Leptophlebiidae, Familia únicamente presente en El (hábitat de aguas caudalosas, zona rítrónica) y entre la conductividad eléctrica (CE) y el índice biótico ChIBF, la cual es consistente, ya que, altos valores de ChIBF como de CE indican una muy mala calidad del agua. Además se ha observado en estudios anteriores (Córdova 2007) que ChIBF se correlaciona con variables ambientales como CE, SDT y OD.

La distribución de Familias de reconocida sensibilidad como Gripopterygidae (Plecóptera), Leptophlebiidae (Ephemeroptera) y Hidrobiosidae (Trichoptera), especialmente en la estación El indica que estas taxa no toleran las condiciones de la parte media y baja del río, y cuando se encuentran es en muy baja abundancia. Esto se expresa no solo para la riqueza faunística, sino también en la equidad (J), donde grupos oportunistas como Chironomidae (Díptera), Naididae (Oligochaeta) y Physidae (Gastropoda), son capaces de tolerar altas concentraciones de carga orgánica y extensos períodos con bajas concentraciones de oxígeno, que les permite alcanzar una alta tasa reproductiva. Cabe destacar que Chironomidae ha sido

utilizada como tolerante a la contaminación por metales pesados en sistemas lóticos chilenos (Figuroa 2004, Jara 2002, Roldán 2003, Domínguez & Fernández 2001). Chironomidae junto a Baetidae fueron las únicas dos taxa colectadas en Coya (E2), estación de muestreo con elevadas concentraciones de metales pesados, por lo cual se proponen como posibles bioindicadores de aguas contaminadas por metales pesados.

Los parámetros comunitarios como riqueza, abundancia y equidad, no entregaron información directa sobre la calidad del agua, por lo tanto el uso de índices de diversidad para la biondicación es cuestionado. Es recomendable identificar a los organismos a un nivel taxonómico inferior (Género o Especie) para fortalecer el método. En este estudio incorporamos la variable temporal para determinar algún cambio en los índices para la evaluación de la calidad del agua en el río Cachapoal. En ambos períodos de estudio las estaciones E2 y E6 presentaron una menor diversidad biológica acompañada de una dominancia de las especies más tolerantes (Chironomidae y Naididae), lo cual indicaría una mayor contaminación orgánica por ende una deficiente calidad del agua.

En el río Cachapoal, la estructura comunitaria de los organismos bentónicos presentó diferencias a escala temporal y espacial. En el análisis de cluster (Bray-Curtis) permite agrupar las estaciones con características faunísticas similares identificando grupos de buena calidad, regular y mala calidad. En primavera se conformó un núcleo con las estaciones E3-E4-E5-E6 (porcentaje de similitud >50%), es probable que las comunidades presentes en la zona media y baja del río estén reflejando similitud frente a algunas variables ambientales. Esto, en parte, podría

deberse al alto caudal registrado en el muestreo de primavera (diciembre) que producto de los deshielos homogeniza el sistema y minimiza las diferencias entre estaciones de muestreo (SAG-CENMA 2006). En verano en cambio, se definieron dos núcleos, uno de ellos incluía a E1-E3-E4 y el segundo a E5-E6 (porcentaje de similitud >50%), separadamente se ubicó E2 (al igual que en primavera). Lo cual indica una diferenciación de la zona intermedia (E3-E4) y el tramo final (E5-E6) del río Cachapoal. Hay que considerar que en esta época disminuye el caudal, lo cual repercutiría en diversos factores químicos, y a la mayor diversidad bentónica registrada en esta época del año. Sin embargo en ambos periodos E2 presentó la mayor disimilitud en cuanto a las taxa de macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Cachapoal en comparación a los otros cinco sitios en estudio. La estación E2 ha sido históricamente perturbada por la intensa actividad minera, la cual podría ser en gran parte responsable de la baja diversidad de esta estación de muestreo. Estos resultados se evidenciaron mediante el análisis de correspondencia el cual confirmó que E2 se diferencia por sus variables físicas, químicas y biológicas de las otras cinco estaciones de muestreo del río.

Respecto a la aplicación del índice biótico, este mostró la misma tendencia general y permitió definir áreas en buen estado y otras fuertemente impactadas desde el punto de vista biológico. En primavera se obtuvieron tendencias similares en la calidad del agua a través de las estaciones de muestreo, en general señalaron aguas de regular y mala calidad lo que indica contaminación orgánica de las aguas. En verano, en cambio, las comunidades bentónicas presentes reflejaron una mejor calidad biológica, expresando una comunidad más estructurada en este período. Los

resultados obtenidos mediante el índice biótico ChIBF concuerdan con la información entregada por los parámetros riqueza, abundancia y equidad sobre el estado biológico a escala temporal y espacial del río Cachapoal.

El uso de macroinvertebrados bentónicos para entender el funcionamiento de los sistemas lóticos es insuficiente por si solo, ya que las múltiples relaciones que se establecen a distintos niveles espacio-temporales en el sistema hidrográfico son complejas e impredecibles (Segnini 2003)

Los resultados del presente estudio son validados por estudios anteriores (Donoso 2006, SAG-CENMA 2006), además pueden servir como referencia general, para poder ser corroborados con posteriores muestreos y análisis. Por ende es necesario seguir monitoreando a través del tiempo la calidad del agua de la hoya hidrográfica del río Cachapoal de manera integral y continua, mediante la incorporación de parámetros biológicos complementarios a las variables físicas y químicas, tales como velocidad de la corriente, CE, DBO<sub>5</sub> y pH validando de esta manera los resultados obtenidos en el presente estudio a fin de conocer la dinámica temporal a nivel estacional del sistema estudiado.

## 5. CONCLUSIONES

La comunidad de macroinvertebrados del río Cachapoal está constituida por 11 órdenes, distribuidos en 20 Familias, siendo los macroinvertebrados bentónicos más representativos: Gripopterygidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Hidropsychidae, Elmidae, Empididae, Chironomidae y Naididae.

La calidad del agua entregada por las variables físicas y químicas analizadas en la hoya hidrográfica del río Cachapoal, presentó cambios temporales y espaciales a través de los sitios de muestreo, lo que también se vio reflejado en los macroinvertebrados bentónicos, por ejemplo en la riqueza y abundancia de los organismos, tales como Gripopterygidae, Chironomidae y Naididae los cuales presentaron distintos grados de tolerancia a la contaminación del río, validando su uso como potenciales bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua. Gripopterygidae puede ser considerada como bioindicador de aguas no contaminadas, en cambio Chironomidae y Naididae como indicadores de una deficiente calidad del agua en los sistemas hídricos de Chile.

Las variables ambientales que se relacionaron mejor con los cambios a nivel de estructura comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos fueron velocidad de la corriente, CE, DBO<sub>5</sub>, SDT, SST y pH y los metales Al, Cu y Mn. Destacándose la relación positiva entre CE y ChIBF.

El índice biótico ChIBF en comparación a los parámetros de diversidad utilizados para la evaluación de la calidad del agua de río Cachapoal, resultó ser una metodología más efectiva. Por lo que se propone su utilización para determinar la calidad del agua en los ríos.

En conclusión la evaluación de la calidad del agua en el río Cachapoal mediante la incorporación de bioindicadores complementarios a las variables físicas y químicas resultó una metodología adecuada para determinar la calidad del agua superficial de este sistema lótico.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ALBA-TERCEDOR J (1996) Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía 2: 203-213.
- ARCADIS GEOTÉCNICA (2001) Informe Resumen Diagnostico y Plan de Gestión del río Cachapoal. Primera Evaluación Semestral. CONAMA.
- ARMITAGE PD, D MOSS, JF WRIGHT & MT FURSE (1983) The performance of a new biological a water quality score system based on macroinvertebrate over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17: 333-347.
- BARBOUR MT, J GERRITSEN, BD SNYDER & JB STRIBLING (1999) Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B 99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- BONADA N, et al. (2002) Intercalibración de la metodología GUADALMED. Selección de un protocolo de muestreo para la determinación del estado ecológico de los ríos mediterráneos. *Limnetica* 21(3-4): 13-33.
- CAIRNS J & J PRATT (1993) A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Pp. 10- 27 in D. M. Rosemberg y V. H. Resh (eds.): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman y Hall, New York.
- CALLOW P & G PETTS (1994) *The river handbook: hydrological and ecological principles*. II Blackwell Science, Oxford United Kingdom, 523 pp.
- CENMA (2006<sub>a</sub>) Informe Final: Introducción y Metodología “Desarrollo de un modelo para el uso de bioindicadores y bioensayos como medida de la condición biológica de un cuerpo de agua”. Primera parte.
- CENMA (2006<sub>b</sub>) Informe Final: Río Cachapoal “Desarrollo de un modelo para el uso de bioindicadores y bioensayos como medida de la condición biológica de un cuerpo de agua”. Segunda parte.
- CENMA (2007) Primer Informe Técnico Etapa 1: “Selección de Cuencas y Recopilación de Antecedentes”. Antecedentes de las cuencas seleccionadas.
- CLARKE K & R WARWICK (1994) Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, U.K. 144 pp.
- CONAMA (2005) Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas. Gobierno de Chile. 18 pp. Disponible en línea: <http://www.conama.cl>.
- CONAMA (2006) Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Cachapoal. Disponible en línea: <http://www.conama.cl>.
- CONAMA (2007) Cuencas seleccionadas para la elaboración de Normas de calidad secundaria. Gobierno de Chile. Disponible en línea: <http://www.conama.cl>.

- CÓRDOVA MS (2007) Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua; respuesta al funcionamiento de una planta de tratamiento en el Estero Limache, V Región, Valparaíso. Tesis de Titulación para optar al Título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- DE LA LANZA EG, S HERNÁNDEZ & JL CARVAJAL (2000) Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Plaza y Valdés Editores. Instituto de Biología, UNAM. SEMARNAP. México. 633 pp.
- DGA (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Cachapoal. CADE-IDEPE. MOP. 184 pp.
- DOMÍNGUEZ E & H FERNÁNDEZ (2001) Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lillo. 237 pp.
- DONOSO KS (2006) Macroinvertebrados bentónicos y la evaluación de calidad de agua en los ríos Elqui y Cachapoal. Seminario de Título de Biólogo con mención en medio ambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- EATON L (2001) Development and validation of biocriteria using benthic macroinvertebrates for North Carolina estuarine waters. *Marine Pollution Bulletin* 42: 23-30
- 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 Magíster en Ciencias mención en Zoología. Universidad de Concepción, Chile. 105 pp.
- FIGUEROA R (2003) Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en los ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 275-285.
- 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, VH RUIZ, F ENCINA-MONTOYA & A PALMA (2005) Simplificación en el uso de macroinvertebrados en la evaluación de la calidad de las aguas en sistemas fluviales. *INCI, dez.*, vol.30, no.12, p.770-774. ISSN 0378-1844.
- FIGUEROA R, P ALEJANDRO, V RUIZ & X NIELL (2007) Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillan, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 225-242.
- GUEVARA-CARDONA G, C JARA, M MERCADO & S ELLIOT (2006) Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la Reserva Costera valdiviana, sur de Chile. BENTHOS.
- HABIT E (2003) Calidad del agua del estero Piduco (Talca, VII región): un análisis basado en la data existente. *Theoria* vol. 12, 43-54 pp.

- JARA C (2002) Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas rítrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Seminario de Título de Biólogo con mención en medio ambiente. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- KARR JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- KARR JR, & EW CHU (1999) *Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring*. Island Press Washington, D.C.
- LAFONT M (1984) Oligochaete communities as biological descriptors of pollution in the fine sediments of rivers. *Hydrobiologia* 115: 127-129.
- LAMPERT W & U SOMMER (1997) *Limnoecology. The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. New York.
- LEIVA MJ (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.
- LEIVA M & M LÓPEZ (2005) Monitoreo de la calidad de recursos hídricos y aseguramiento y control de la calidad en laboratorios de ensayos medio ambientales. CENMA.
- MARGALEF R (1951) Diversidad de especies en las comunidades naturales. *P. Inst. Biol. Appl.* 9: 15-27.
- MOLINA X & I VILA (2006) *Manual de Evaluación de la Calidad del Agua*. SAG, CENMA, Universidad de Chile.
- NIEMEYER H & P CERECEDA (1984) *Geografía de Chile. Tomo VII Hidrografía*. Instituto Geográfico Militar. 320 pp.
- NORRIS RH & CP HAWKINS (2000) Monitoring river health. *Hydrobiologia* 435: 5-17.
- RESH VH & JK JACKSON (1993) Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. Pp. 195-223 in D. M. Rosemberg y V. H. Resh (eds.): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman y Hall, New York. N.Y.
- RESH VM, MM MYERS & MJ Hannaford (1996) Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. In: Hauer F.R. & G.A. Lamberty (Eds.) 1996. *Methods in Stream Ecology*. Academic Press. 674 pp.
- RIESTRA FJ (1999) Métodos biológicos en la evaluación de la calidad del agua. Informe final, examen final del curso de postítulo en contaminación ambiental. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- ROLDÁN G (2003) Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 170 pp.
- ROSENBERG D & V RESH (1993) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman. New York, USA. 488 pp.
- SABANDO C & R PEÑALOZA (2006) Guía de identificación de macroinvertebrados bentónicos de la zona central de Chile. *Manual de calidad de aguas*. CENMA.
- SAG-CENMA (2006) Desarrollo de un modelo para el uso de bioindicadores y bioensayos como medida de la condición biológica de un cuerpo de Agua. Ríos Elqui y Cachapoal. 42 pp.

- SEGNINI S (2003) El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. ECOTROPICOS 16(2): 45-63.
- SURBER E W (1973) In: Wetzel R.G. y G.E. Likens. 1990. Limnological Analyses. Second Edition. Springer-Verlag.
- VALDOVINOS C (2007) Invertebrados Dulceacuícolas. Diversidad de especies. 202-223 pp.
- VERA A & A CAMOUSSEIGHT (2006) Estado de Conocimiento de los Plecópteros en Chile. Gayana 70(1): 57-64.
- WANIELISTA M (1997) Hydrology and Water Quality Control. Second Edition Wiley.
- WASHINGTON HG (1984) Diversity, biotic and similarity indices, a review. Wat. Res. 18: 653-94.
- 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, Chile. 109 pp.
- WETZEL RG (2001) Benthic animals and fishes communities. En Limnology, Lake and River Ecosystems. Third Edition. pp 665-730. Academic press, California.

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo I.

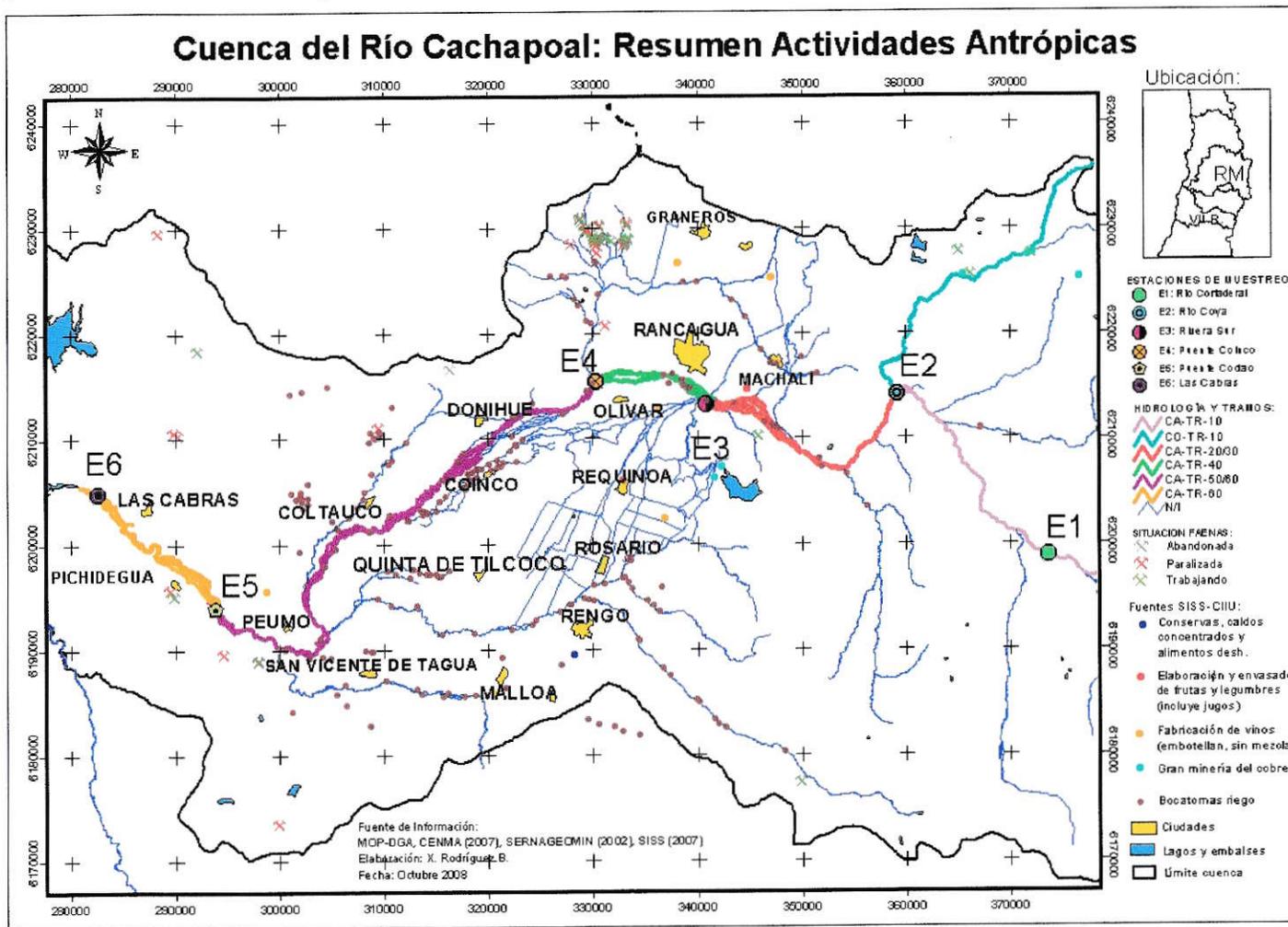
Descripción de las actividades antrópicas de la cuenca del río Cachapoal.

**Tabla 1.** Resumen de actividades antrópicas en los tramos considerados que podrían influir en la Calidad del agua para cada estación de muestreo.

Estación de muestreo	Límites del Tramo	Antecedentes sobre actividades antrópicas y usos de suelo
<b>Estación 1:</b> Río Cachapoal 5 Km. Aguas bajo río Cortaderal	De: Naciente río Cachapoal Hasta: confluencia río Coya	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se registran actividades antrópicas</li> <li>• Predominan praderas, matorrales, bosques y terrenos desprovistos de vegetación.</li> <li>• Final del tramo incluye como afluente al río Pangal (bocatoma central Pangal)</li> </ul>
<b>Estación 2:</b> Río Coya antes confluencia río Cachapoal	De: Naciente río Coya Hasta: confluencia río Cachapoal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad minera: División El Teniente – Relaves Mineros La Junta y Barahona – Fundición de Caletones y Colón</li> <li>• Aguas de proceso de actividades Mineras.</li> <li>• Drenajes difusos de relaves mineros</li> <li>• Lixiviación de botaderos de material de descarte minero</li> <li>• Contaminación difusa por Aguas Servidas (Emisario ESSEL)</li> <li>• Afluente: Quebrada El Teniente</li> <li>• Predominan las praderas, matorrales y suelos desprovistos de vegetación. Existen pocos terrenos agrícolas</li> </ul>
<b>Estación 3:</b> Río Cachapoal bocatoma canales ribera sur	De: confluencia río Coya Hasta: Estación DGA “Río Cachapoal bocatoma canales ribera sur”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación difusa por aplicación de fertilizantes y Plaguicidas</li> <li>• Central Hidroeléctrica Sauzalito</li> <li>• Extracción de áridos</li> <li>• Contaminación difusa por aguas Servidas (poblado Olivar alto), Emisario de ESSEL</li> <li>• Relaves mineros Colihues.</li> <li>• Minibasurales.</li> <li>• Relleno Sanitario Colihues La Yesca.</li> <li>• Descarga de RILES (Agrosuper Lo Miranda, Descarga de Faenadora Súper, COINCA S.A., Molino San Miguel, Viña Santa Mónica, Permanz Ltda.)</li> <li>• Predominan las praderas, matorrales y los suelos desprovistos de vegetación</li> </ul>

<p><b>Estación 4:</b> Río Cachapoal en Puente Coinco (DGA)</p>	<p>De: Estación DGA “Río Cachapoal bocATOMA canales ribera sur”  Hasta: Estación DGA “Río Cachapoal en Puente Coinco”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga de aguas servidas (Poblados de Doñihue, Coinco , Coltauco)</li> <li>• Emisario Estero Taguilla (ESSEL)</li> <li>• Descarga de RILES, Industrias: Viña Concha y Toro, Agrícola Rosario Codao, Agua Mineral Cachantún, Agrícola Súper, productos agrícolas)</li> <li>• Actividad minera abandonada y paralizada (cuarzo y canteras)</li> <li>• Aplicación de fertilizantes y plaguicidas</li> <li>• Predomina el uso agrícola, praderas, matorrales y bosques.</li> </ul>
<p><b>Estación 5:</b> Río Cachapoal en Puente Codao (DGA)</p>	<p>De: Estación DGA “Río Cachapoal en Puente Coinco”  Hasta: Estación DGA “Río Cachapoal en Puente Codao”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afluente Estero Purén, Minería de cuarzo paralizada y abandonada.</li> <li>• Poblados de Coltauco, Doñihue, Peumo. Posible contaminación aguas servidas.</li> <li>• Zona silvoagropecuaria, posible contaminación difusa por aplicación de fertilizantes y plaguicidas</li> <li>• Actividad industrial (viñas)</li> <li>• Actividad Minera (paralizada y trabajando; pasta cobre y oro)</li> <li>• Predominan los terrenos agrícolas, las praderas y los matorrales.</li> </ul>
<p><b>Estación 6:</b> Río Cachapoal en Las Cabras (DGA)</p>	<p>De: Estación DGA “Río Cachapoal en Puente Codao”  Hasta: entrada a embalse Rapel</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poblados de Pichidegua, Las Cabras. Posible contaminación aguas servidas.</li> <li>• Zona silvoagropecuaria, posible contaminación difusa por aplicación de fertilizantes y plaguicidas.</li> <li>• Actividad Minera (paralizada y trabajando; pasta Oro)</li> <li>• Predominan los terrenos agrícolas, las praderas y los matorrales.</li> </ul>

Figura 1. Mapa resumen de actividades Antrópicas, cuenca del río Cachapoal.



## 7.2. Anexo II.

VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS MEDIDAS EN EL RÍO CACHAPOAL.

**Tabla 1.** Variables físicas y químicas medidas, según método de análisis y tipo de medición en el río Cachapoal.

	Variable	Unidad	Método de análisis	Medición		
Físico-Químicos	Oxígeno disuelto	(%)	Oxigenómetro de terreno marca YSI modelo 95/10.	In-Situ		
	Oxígeno disuelto	mg/L				
	Conductividad eléctrica	( $\mu$ S/cm)	Potenciométrico. Conductivímetro marca Hach modelo CO 150			
	Temperatura	° C	Potenciométrico. pHmetro/termómetro/ORP de terreno marca Hanna modelo Combo.			
	pH					
	Potencial Redox	Mv				
	Inorgánicos	SST	mg/L		Método Gravimétrico.	Laboratorio de Química y Referencia Medio Ambiental, CENMA.
		SDT	mg/L			
DBO <sub>5</sub>		mg O <sup>2</sup> /L	5210 B. 5-Day Test			
NH <sub>4</sub>		mg/L	Método Cromatografía Iónica.			
Ca		mg/L				
Na		mg/L				
Mg		mg/L				
Cl		mg/L	Método argentométrico.			
SO <sub>4</sub>	mg/L	NCh 2313/18				
Nitrógeno Total Kjeldhal	mg N/L	Método digestión y electrodo selectivo.				
P total	mg P/L	Espectroscopía UV-VIS, Método de Vanadomolidofosfórico.				
Metales Totales (t) y Disueltos (d)	B	$\mu$ g/L	Método por ICP/OES para barrido de metales totales.			
	Cu	$\mu$ g/L				
	Cr	$\mu$ g/L				
	Fe	$\mu$ g/L				
	Mn	$\mu$ g/L				
	Mo	$\mu$ g/L				
	Ni	$\mu$ g/L				
	Zn	$\mu$ g/L				
	Al	$\mu$ g/L				
	As	$\mu$ g/L				
	Cd	$\mu$ g/L				
Pb	$\mu$ g/L					

### 7.3. Anexo III.

Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Río Cachapoal.

Tabla 1. Áreas de vigilancia de la cuenca del Cachapoal.

CAUCE	ÁREA DE VIGILANCIA	LÍMITES ÁREA DE VIGILANCIA	COORDENADAS UTM		CÓDIGO SUBCUENCA (SUB-SUBCUENCA)
			N	E	
Río Cachapoal	CA-10	Del: Naciente Río Cachapoal	8195927	387603	06000 06003
		Hasta: Confluencia con Río Pangal	8210777	383627	
	CA-20	Del: Confluencia Río Pangal	8210777	383627	06008
		Hasta: Confluencia Río Coya	8213768	359018	
	CA-30	Del: Confluencia Río Coya	8213768	359012	06008 06010
		Hasta: Confluencia Estero Los Leones	8210199	342223	
Río Cachapoal	CA-40	Del: Confluencia Estero Los Leones	8210199	342223	06010
		Hasta: Confluencia Estero La Cadena	8215095	330172	
	CA-50	Del: Confluencia Estero La Cadena	8215095	330172	06012
		Hasta: Confluencia Estero Iñahue	8198137	302685	
	CA-60	Del: Confluencia Estero Iñahue	8198137	302685	06012
		Hasta: Confluencia Río Claro de Rengo	8191304	304404	
CA-70	Del: Confluencia Río Claro de Rengo	8191304	304404	06018 06019	
	Hasta: Entrada Embalse Rapel	8204649	281871		
Río Pangal	PA-10	Del: Naciente Río Pangal	8211943	382958	06004 06006
		Hasta: Confluencia Río Cachapoal	8210777	383627	
Río Coya	CO-10	Del: Naciente Río Coya	8224931	376128	06007
		Hasta: Confluencia Río Cachapoal	8213768	359012	
Estero La Cadena	LC-10	Del: Naciente Estero y Confluencia Esteros Machali y Las Delicias	8224229	342181	06011
		Hasta: Confluencia Río Cachapoal	8215095	330172	
Río Claro de Rengo	CL-10	Del: Naciente Río Claro	8175775	357023	06013
		Hasta: Puente Chanqueshue Rengo	8191126	333683	
	CL-10	Del: Puente Chanqueshue Rengo	8191126	333683	06015
Estero Zamorano	ZA-10	Del: Naciente Fuente Las Truchas Malda	8195192	319196	06016
		Hasta: Confluencia Río Cachapoal	8193674	299676	
Estero Rigolemu	RI-10	Del: Naciente Estero	8173237	340837	06017
		Hasta: Confluencia Estero Zamorano	8195192	319196	
Estero Antivero	AV-10	Del: Naciente Estero	8173557	348658	06018
		Hasta: Puente Antivero, Ruta 5 Sur	8170377	319183	
	AV-20	Del: Puente Antivero, Ruta 5 Sur	8170377	319183	06018
AV-30	Del: Puente Ruta 1H, después de San Fernando	8179158	319133	06018	
		Hasta: Confluencia Estero Zamorano	8179158	319133	06018

**7.4. Anexo IV.**

Composición taxonómica de macroinvertebrados bentónicos en el río Cachapoal.

**Tabla 1.** Identificación taxonómica y localización de los macroinvertebrados bentónicos colectados en el muestreo Cualitativo y Cuantitativo en la campaña de primavera y verano para cada estación de muestreo. x = Taxa obtenida en el muestreo cualitativo; X = Taxa obtenidas en el muestreo cuantitativo.

Clasificación Taxonómica			Campaña 1												Campaña 2												
Clase	Orden	Familia	E1	E1	E2	E2	E3	E3	E4	E4	E5	E5	E6	E6	E1	E1	E2	E2	E3	E3	E4	E4	E5	E5	E6	E6	
Insecta	Plecoptera	Gripopterygidae													x	X											
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	x	X											x	X											
		Baetidae	x	X	x		x	X	x		x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x		
	Trichoptera	Hidrobiosidae	x	X			x	X							x	X			x								
		Hidropsychidae	x				x	X	x	X	x	X	x	X	x	X			x	X	x	X	x	X			
		Hidroptilidae					x	X	x	X	x		x	X							x	X	x	X	x	X	X
	Coleoptera	Elmidae					x	X	x	X	x	X	x						x	X	x	X	x	X	x	X	X
		Hidrophilidae											x	X							x	X	x	X	x	X	X
	Diptera	Athericidae													x	X											
		Blephariceridae													x	X											
		Chironomidae	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X	x	X			X
		Empididae	x	X								x	X														
		Simuliidae										x			x				x								
		Tipulidae										x	X												x	X	
	Hemiptera	Corixidae																						x			
Collembola																								x	X		
Arachnida	Acari	Acari (1)									x																
		Acari (2)					x	X			x																
		Hygrobatidae					x	X	x	X														x	X		
		Hidrophantidae					x				x																
Gastropoda	Basommatophora	Physidae										x	X							x		x	X	x	X		
Turbellaria	Tricladida	Planariidae							x	X														x	X		
Crustacea	Ostracoda						x																x	X	X		
Oligochaeta	Haptotaxida	Naididae					x	X	x	X	x	X	x	X							x	X	x	X	X		

**Tabla 2.** Abundancia Relativa (%) de Familias de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Cachapoal, por campaña y estación de muestreo.

Época	Estación 1	(%)	Estación 2	(%)	Estación 3	(%)	Estación 4	(%)	Estación 5	(%)	Estación 6	(%)
Primavera 2007 (Campaña 1)	Chironomidae	84,12	Chironomidae	100	Chironomidae	59,70	Naidae	63,31	Naidae	43,72	Naidae	81,16
	Empididae	6,87		Beatidae	26,11	Chironomidae	31,87	Chironomidae	33,48	Chironomidae	13,17	
	Beatidae	3,70		Naidae	6,71	Elmidae	1,74	Hidropsychidae	9,30	Hidropsychidae	2,29	
	Leptophlebiidae	2,11		Elmidae	1,49	Hidropsychidae	0,87	Beatidae	6,97	Hidrottilidae	1,37	
	Hidrobiosidae	1,58		Hidrobiosidae	1,49	Planariidae	0,87	Elmidae	3,72	Hidrophilidae	1,22	
	Naidae	1,58		Higrobotidae	1,49	Higrobotidae	0,43	Acari	1,86	Physidae	0,45	
				Acari	1,49	Hidrottilidae	0,43	Empididae	0,46	Beatidae	0,30	
				Hidropsychidae	0,74			Tipulidae	0,46			
			Hidrottilidae	0,74								
Verano 2008 (Campaña 2)	Chironomidae	31,70	Chironomidae	75	Beatidae	43,35	Beatidae	46,15	Naididae	62,82	Naididae	94,68
	Gripopterygidae	23,17	Beatidae	25	Chironomidae	37,76	Hidropsychidae	26,92	Chironomidae	23,91	Physidae	1,69
	Beatidae	19,51		Hidropsychidae	11,88	Elmidae	10,25	Physidae	4,21	Hidrottilidae	0,96	
	Hidropsychidae	13,41		Elmidae	6,99	Chironomidae	6,41	Hidrottilidae	3,71	Hidrophilidae	0,72	
	Leptophlebiidae	6,09				Hidrottilidae	3,84	Elmidae	2,60	Elmidae	0,48	
	Hidrobiosidae	2,43				Hidrophilidae	2,56	Hidropsychidae	1,48	Ostracoda	0,48	
	Blephacerridae	2,43				Gripopterygiidae	1,28	Hidrophilidae	0,49	Planariidae	0,48	
	Athericidae	1,22				Planariidae	1,28	Beatidae	0,37	Chironomidae	0,24	
						Naididae	1,28	Tipulidae	0,12	Collembola	0,24	
								Acari	0,12			
							Ostracoda	0,12				

**7.5. Anexo V.**  
Índice Biótico: ChIBF

**Tabla 1.** Ficha de registro de macroinvertebrados utilizada para el cálculo de ChIBF (Resh y col, 1996; Molina y Vila, 2006).

<b>Fecha:</b>			
<b>Localidad:</b>			
<b>Estación:</b>			
<b>Responsable:</b>			
Familias A	Nº de organismos B	Puntaje de tolerancia C	Col. B*Col. C D

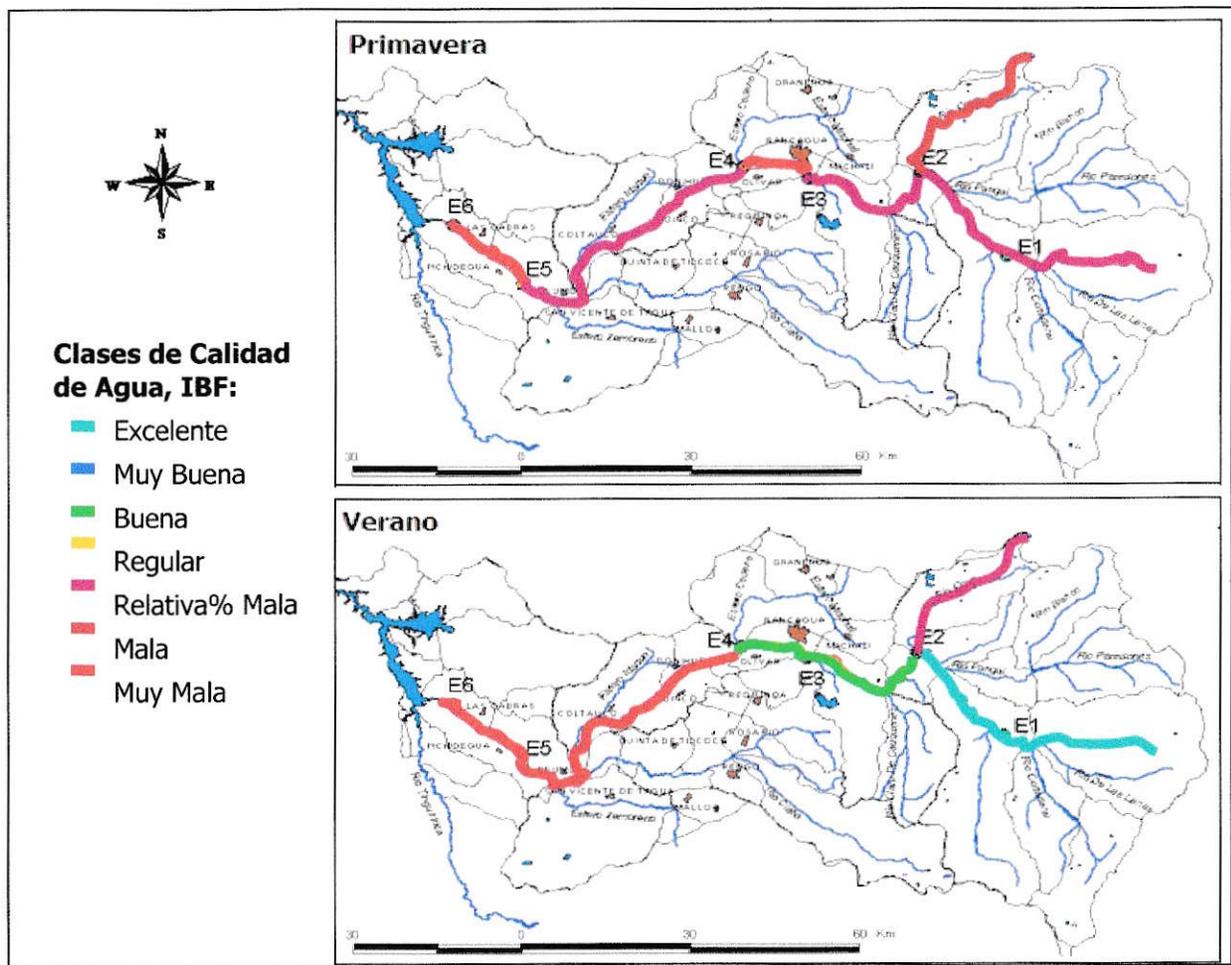
IBF:  $(\sum D / \sum B)$

**Tabla 2.** Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos para ríos de Chile, ChIBF (Chutter, 1972; Hilsenhoff, 1988. Modificado por: Resh y col (1996) y por Figueroa y col, 2007).

Taxa	Familia	Valor de Tolerancia
Plecoptera	Gripopterygidae	1
	Notonemouridae	0
	Perlidae	1
	Diamphipnoidae	0
	Eustheniidae	0
	Austroperlidae	1
	Limnephilidae	2
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Caenidae	7
	Leptophlebiidae	2
	Nesameletidae	7
	Oligoneuridae	2
	Ameletopsidae	2
	Oniscigastridae	3
Odonata	Aeshnidae	3
	Calopterygidae	5
	Gomphidae	1
	Lestidae	9
	Libellulidae	9
	Coenagrionidae	9
	Cordulidae	5
Petaluridae	5	
Trichoptera	Calamoceratidae	3
	Glossosomatidae	0
	Helicopsychidae	3
	Hidropsychidae	4
	Hidroptilidae	4
	Ecnomidae	3
	Helicophidae	6
	Polycentropodidae	3
	Philopotamidae	2
	Hidrobiosidae	0
	Sericostomatidae	3
Leptoceridae	4	

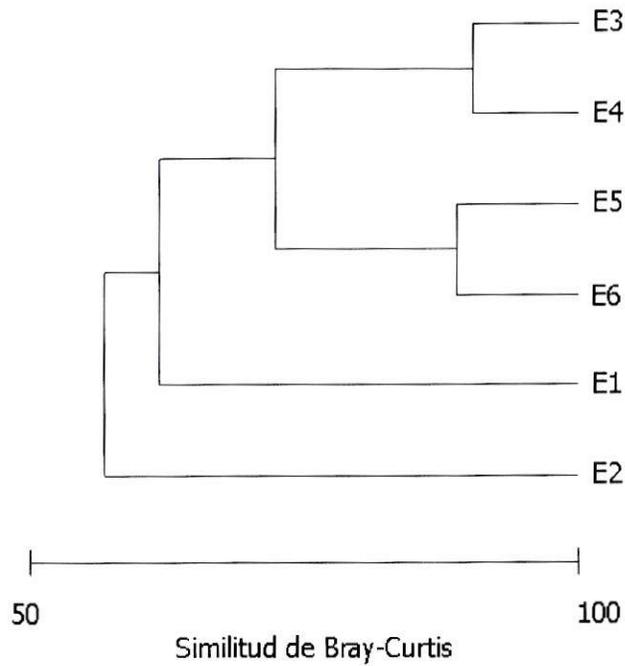
Diptera	Athericidae	2
	Blephariceridae	0
	Ceratopogonidae	6
	Chironomidae	7
	Empididae	6
	Ephydriidae	6
	Psychodidae	10
	Simuliidae	6
	Syrphidae	10
	Tabanidae	6
	Tipulidae	3
Megaloptera	Corydalidae	0
	Sialidae	4
Coleoptera	Elmidae	4
	Psephenidae	4
Lepidoptera	Pyrilidae	5
Mollusca	Amnicolidae	6
	Lymnaeidae	6
	Physidae	8
	Sphaeridae	8
	Chilinidae	6
Decapoda	Aeglidae	3
	Parastacidae	6
Isopoda	Janiriidae	4
Amphipoda	Hyalellidae	8
Platyhelminthes	Planariidae	4
Hirudinea		10
Oligochaeta		8
Acari		4

**Figura 1.** Mapa de calidad de agua construido para cada período de muestreo (primavera y verano) según las clases de calidad de agua de ChIBF, para la hoya hidrográfica del río Cachapoal (basado en Figueroa et al. 2004).

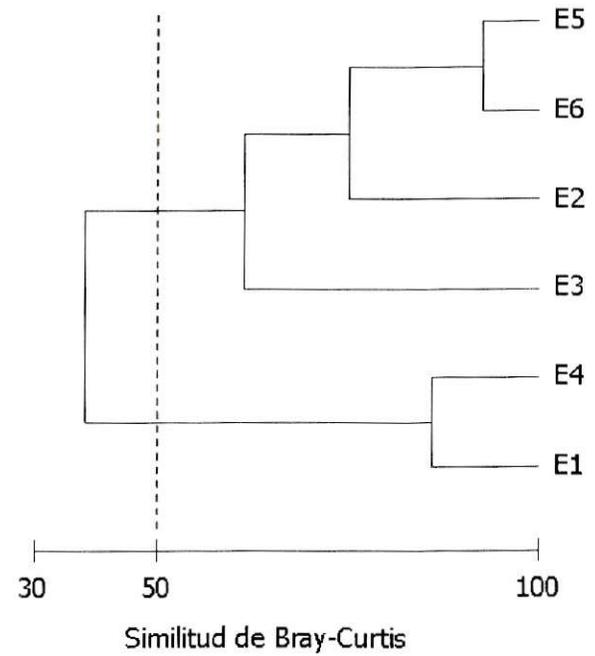


**7.6. Anexo VI.**  
Análisis Multivariado.

**Figura 1.** Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo (E) del río Cachapoal, de acuerdo a las variables físicas y químicas registradas en la campaña de primavera.

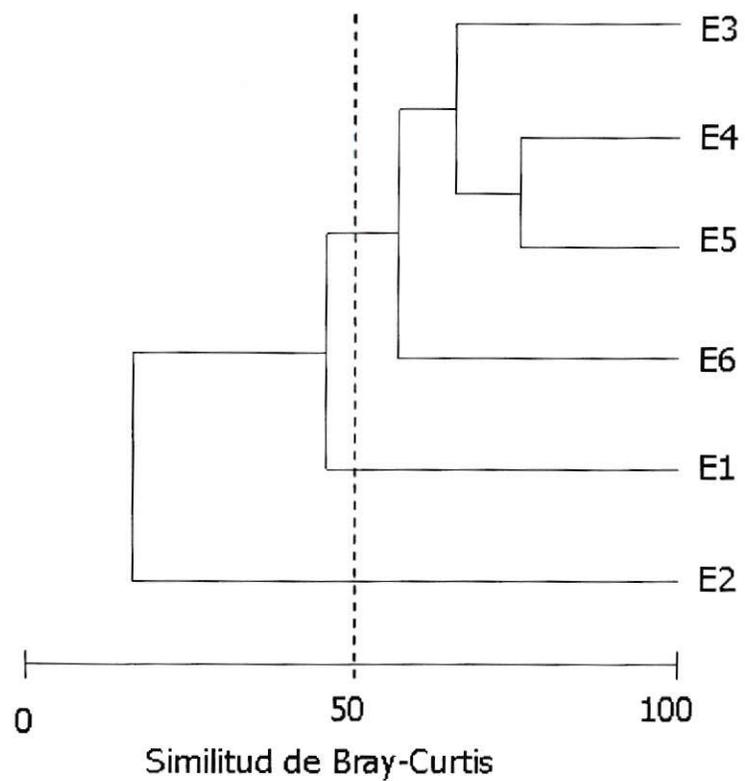


**Figura 2.** Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo (E) del río Cachapoal, de acuerdo a las variables físicas y químicas registradas en la campaña de verano. \*

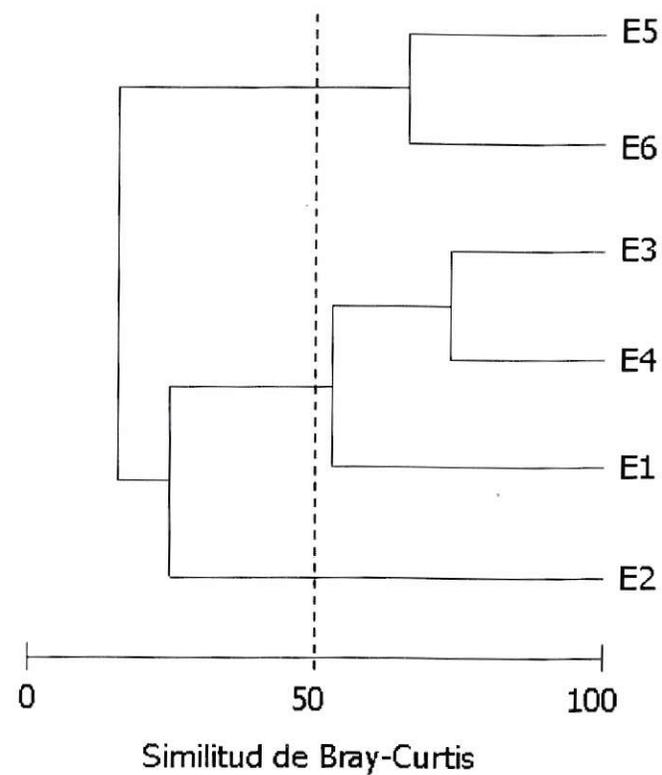


\* - - - La línea punteada corresponde a las estaciones de muestreo agrupadas con un 50% de similitud en el análisis.

**Figura 3.** Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo de acuerdo a la abundancia de Familias de macroinvertebrados presentes en el río Cachapoal en la campaña de primavera.



**Figura 4.** Dendrograma de similitud de Bray-Curtis de las estaciones de muestreo de acuerdo a la abundancia de Familias de macroinvertebrados presentes en el río Cachapoal en la campaña de verano.



\* - - - La línea punteada corresponde a las estaciones de muestreo agrupadas con un 50% de similitud en el análisis.

**Tabla 1.** Resumen de porcentajes y taxa que contribuyen mayormente a la disimilitud entre estaciones de muestreo (E) en la campaña de primavera, mediante análisis SIMPER.\*

SIMPER	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1		Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Naididae
E2	79,97%		Chironomidae	Naididae	Chironomidae	Naididae
E3	59,38%	65,21%		Naididae	Naididae	Naididae
E4	45,28%	72,77%	49,57%		Naididae	Naididae
E5	37,09%	42,59%	32,97%	50,09%		Naididae
E6	71,39%	83,49	76,87%	76,42%	76,93%	

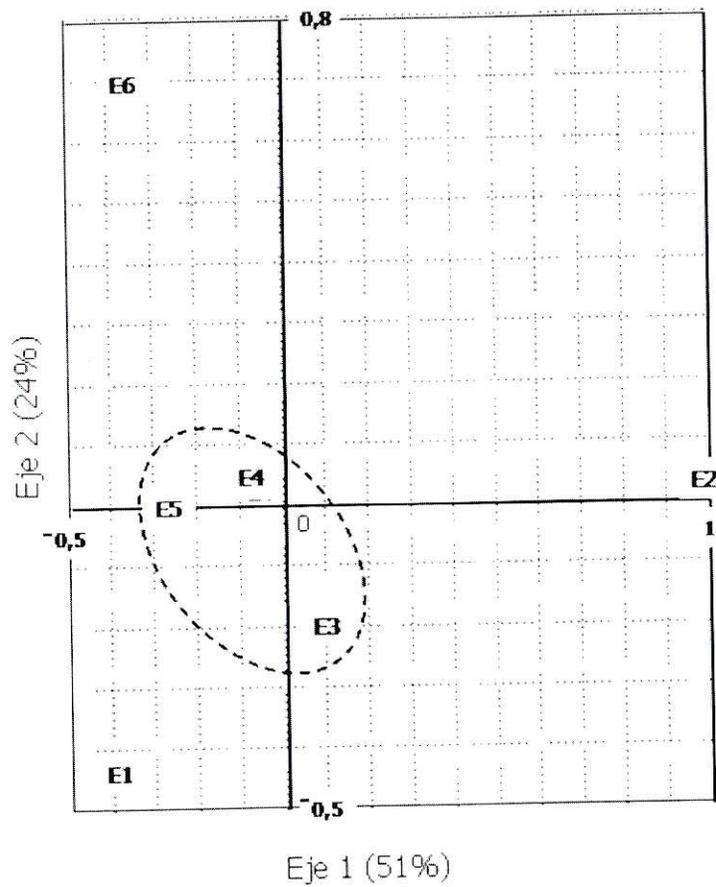
\* Sobre la diagonal negra se encuentran las diferentes taxa. Bajo la diagonal se encuentran los porcentajes de disimilitud correspondiente a cada taxón.

**Tabla 2.** Resumen de porcentajes y taxa que contribuyen mayormente a la disimilitud entre estaciones de muestreo (E), en la campaña de verano mediante análisis SIMPER.\*

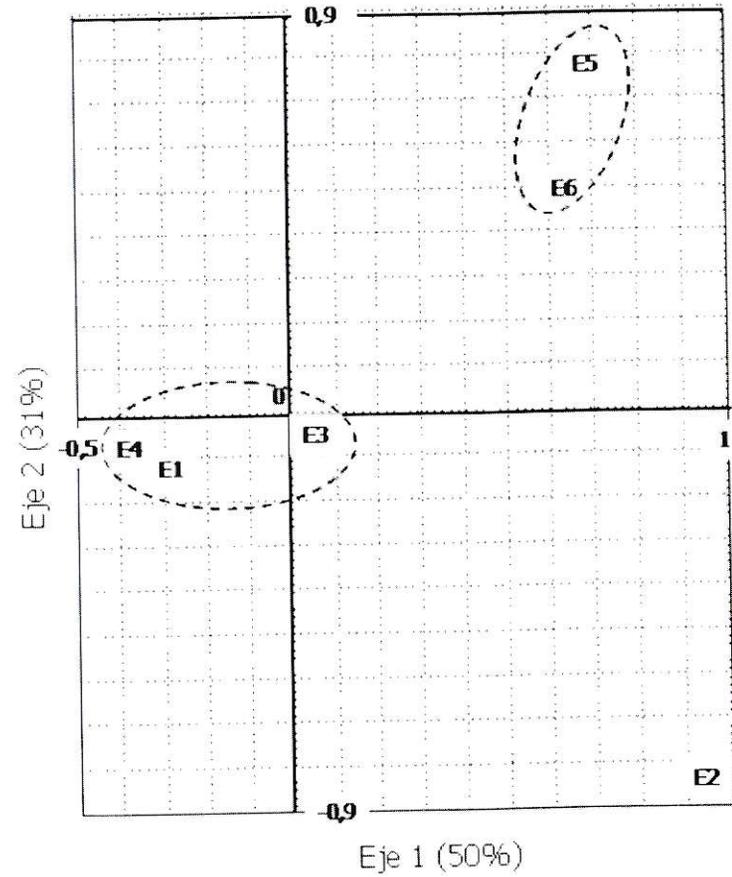
SIMPER	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1		Gripopterygidae	Baetidae	Baetidae	Naididae	Naididae
E2	29,31%		Baetidae	Baetidae	Naididae	Naididae
E3	35,74%	48,58%		Chironomidae	Naididae	Naididae
E4	20,99%	42,89%	42,68%		Naididae	Naididae
E5	50,42%	60,51%	60,70%	59,00%		Chironomidae
E6	79,03%	94,24%	70,78%	80,82%	40,99%	

\* Sobre la diagonal negra se encuentran las diferentes taxa. Bajo la diagonal se encuentran los porcentajes de disimilitud correspondiente a cada taxón.

**Figura 5.** Análisis de correspondencia, para la campaña de primavera en el río Cachapoal. Ordenación de las estaciones de muestreo (E) en los dos primeros ejes de correspondencia. \*



**Figura 6.** Análisis de correspondencia, para la campaña de verano en el río Cachapoal. Ordenación de las estaciones de muestreo (E) en los dos primeros ejes de correspondencia. \*



\* - - - La línea punteada corresponde a las estaciones de muestreo agrupadas con un 50% de similitud en el análisis de Cluster.

### 7.7. Anexo VII.

Variables físicas y químicas por campaña y estación de muestreo en el río Cachapoal.

**Tabla 1.** Variables físicas y químicas por estación de muestreo (E), obtenidas en la hoya hidrográfica del Río Cachapoal, campaña primavera (Diciembre, 2007) y campaña verano (enero, 2008)<sup>1,2</sup>.

Variable	Unidad	LD	Campaña Primavera						Campaña Verano					
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
<b>Mediciones Físico-Químicas In-Situ</b>														
O.D	%	/	85,8	124,7	132,07	141,5	141,8	180,13	89,033	93,4	93,47	110,43	113,13	70,7
O.D.	mg/l	/	9,06	13,22	13,66	12,56	12,83	16,92	9,533	9,24	9,81	9,61	9,56	6,91
pH		/	8,1	7,27	7,95	8,04	8,29	8,66	8,033	7,60	7,64	7,84	7,94	7,5
CE	uS/cm	/	465	433,33	419,33	458	520,3	526,33	408,667	544,67	325,67	366	551,67	628
T	°C	/	12,8	13,33	14,17	21,37	20,47	22,13	12,733	15,83	12,93	22,43	21,83	20,9
P.Redox	mV	/	131	257,67	176,33	162,33	163,67	132,67	237,333	250,67	171	202	181,67	41
Vel.	m/s	/	1,5	1,25	1,517	1,21	1,25	1,42	1,66	1,42	0,747	1,25	1,11	1,11
SDT	mg/L	/	195	235	227	244	278,667	280,667	195	260,667	155	159,333	262,333	300
<b>Análisis Físico-Químicos en el laboratorio</b>														
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	/	2,80	< LD	< LD	< LD	6,63	< LD	3,03	1	2,74	5,97	5,57	0,75
SST	mg/L	0,34	4	62	20	80	42	16	1132	8	400	214	62	62
SDT	mg/L	0,28	448	308	244	276	372	340	240	380	188	216	332	332
<b>Análisis de variables Inorgánicas en el laboratorio de Química y Referencia Medio Ambiental, CENMA.</b>														
NH <sub>4</sub>	mg/L	0,056	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Ca	mg/L	0,034	78,9	53,9	50,7	53,2	33,2	68,2	60,1	62,2	44,8	45,6	78,1	68,7
Cl	mg/L	0,079	43,1	23,9	28,7	33,5	14,4	28,7	44,5	19,8	19,8	29,7	34,6	44,5
Na	mg/L	0,034	46	18,4	21,1	23,5	11,7	6,51	17,4	17,5	11,9	12,1	18,4	17
Mg	mg/L	0,024	6,25	9,15	4,63	5,97	4,72	9,61	5,61	9,92	4,25	4,77	9,4	9,26
SO <sub>4</sub>	mg/L	0,132	137	138	69	65	101	75	76	110	62	< LD	52	64
NTK	mg N/L	0,78	5,26	2,26	2,1	3,97	4,89	2,18	2,26	2,96	4,37	2,18	11,5	2,22
P tot	mg P/L	0,315	< LD	0,617	0,175	1,3	0,638	0,315	1,7	< LD	0,75	0,72	< LD	< LD

Análisis de Metales Totales														
<b>B(t)</b>	ug/L	5	756	86	284	264	192	187	246	155	148	172	194	200
<b>Cu(t)</b>	ug/L	3,91	< LD	199	48	26,5	< LD	9,87	72,6	751	47,7	66,3	24,3	33,6
<b>Cr(t)</b>	ug/L	8,2	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Fe(t)</b>	ug/L	5,41	24	66,3	173	208	< LD	47,8	2970	647	173	3600	613	651
<b>Mn(t)</b>	ug/L	2	6,02	278	52,1	15,9	< LD	12,1	358	315	162	134	59	73,2
<b>Mo(t)</b>	ug/L	8	< LD	17,5	< LD	10,4	< LD	8,80	13,2	35,4	11	9,80	14,3	13,9
<b>Ni(t)</b>	ug/L	5,24	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Zn(t)</b>	ug/L	4,57	32	387	65,9	46,6	32,5	45,5	79,4	113,00	36,8	39,5	27,1	29,9
<b>Al(t)</b>	ug/L	19	74,50	182	203	274	23,6	86,80	6620	661	1830	6090	689	734
<b>As(t)</b>	ug/L	8,13	51,1	49,70	22	46,00	35,5	75,4	46,20	49,60	26,3	60,1	33	27,2
<b>Cd(t)</b>	ug/L	2,1	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	1,31	2,01	1,27	0,84	1,86	1,55
<b>Pb(t)</b>	ug/L	2,1-8,1	< LD	58,4	5,02	23,4	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Análisis de Metales Disueltos														
<b>B(d)</b>	ug/L	5	656	79	282	258	186	179	216	140	144	156	182	188
<b>Cu(d)</b>	ug/L	3,91	< LD	166	38,8	22,9	< LD	7,60	6,99	144	3,04	9,23	3,47	11,3
<b>Cr(d)</b>	ug/L	2,1-8,2	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Fe(d)</b>	ug/L	5,41	5	66,8	176	211	< LD	43,9	102	41,4	44,1	679	99	28,7
<b>Mn(d)</b>	ug/L	2	5,62	286	51,7	11,1	< LD	12	46,30	276	40,80	29,1	20,1	13,2
<b>Mo(d)</b>	ug/L	8	< LD	19,4	< LD	< LD	< LD	8,03	13,1	34,8	11,6	10,5	12,7	14,2
<b>Ni(d)</b>	ug/L	5,24	< LD	5,99	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	3,64	< LD	< LD	< LD	< LD
<b>Zn(d)</b>	ug/L	4,57	28,9	102,00	18,2	16,1	22,2	18,1	39,4	73,1	20,4	23,1	27,5	29,6
<b>Al(d)</b>	ug/L	19	36,1	74,10	145	188	< LD	43,4	276	52,8	80,40	933	161	53,6
<b>As(d)</b>	ug/L	8,13	37,8	31,4	< LD	< LD	22,4	36,9	36,3	47,00	13,2	13,2	< LD	21,9
<b>Cd(d)</b>	ug/L	2,1	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,96	2,01	0,96	0,69	1,4	0,94
<b>Pb(d)</b>	ug/L	2,1-8,1	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

<sup>1</sup> LD = Límite de detección. Los valores que se encuentran coloreados están clasificados según la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales, según el siguiente criterio: CELESTE = Clase de excepción (C0); VERDE = Clase 1, Muy buena calidad (C1); AMARILLO = Clase 2, Buena calidad (C2); NARANJO = Clase 3, Regular calidad (C3) y ROJO = Clase 4, Mala calidad (C4).

<sup>2</sup> Para los metales: (t) indica metales totales y (d) indica metales disueltos.

## 7.8. Anexo VIII.

### Correlaciones lineales de Spearman.

**Tabla 1.** Correlaciones entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.

\*En Azul se destacan las correlaciones positivas y en rojo las correlaciones negativas.

Variables Físicas y Químicas	Parámetros Biológicos											
	Riqueza		Abundancia		Equitatividad		Gripopterygidae		Leptophlebiidae		Beatidae	
	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level
O.D.	0,1064	0,7421	0,0559	0,8629	-0,4408	0,1515	0,1404	0,6635	-0,4408	0,1515	0,1404	0,6635
pH	0,5532	0,0621	0,3287	0,2969	0,3118	0,3239	0,2702	0,3957	0,3118	0,3239	0,2702	0,3957
CE	0,0497	0,8782	-0,6434	0,0240	0,0806	0,8033	-0,6281	0,0287	0,0806	0,8033	-0,6281	0,0287
T	0,5036	0,0951	-0,0979	0,7621	-0,6504	0,0220	-0,1719	0,5931	-0,6504	0,0220	-0,1719	0,5931
P.Redox	-0,1844	0,5661	0,1538	0,6331	-0,0215	0,9471	0,0912	0,7780	-0,0215	0,9471	0,0912	0,7780
Vel.	-0,0108	0,9735	0,1201	0,7099	0,5976	0,0402	0,1489	0,6441	0,5976	0,0402	0,1489	0,6441
DBO <sub>5</sub>	0,6426	0,0242	0,3737	0,2314	-0,2572	0,4197	0,2679	0,3999	-0,2572	0,4197	0,2679	0,3999
SST	0,1786	0,5787	0,5704	0,0528	0,0595	0,8541	0,3286	0,2970	0,0595	0,8541	0,3286	0,2970
SDT	-0,0213	0,9476	-0,5919	0,0426	0,0808	0,8029	-0,5325	0,0747	0,0808	0,8029	-0,5325	0,0747
Ca	-0,0213	0,9477	-0,5315	0,0754	0,3602	0,2501	-0,5228	0,0812	0,3602	0,2501	-0,5228	0,0812
CL	0,2460	0,4409	0,0246	0,9395	0,5593	0,0587	-0,1552	0,6301	0,5593	0,0587	-0,1552	0,6301
Na	-0,3446	0,2727	-0,2382	0,4560	0,2908	0,3592	-0,2373	0,4578	0,2908	0,3592	-0,2373	0,4578
Mg	-0,0638	0,8438	-0,7203	0,0082	-0,0753	0,8162	-0,7684	0,0035	-0,0753	0,8162	-0,7684	0,0035
SO <sub>4</sub>	-0,4610	0,1314	-0,4476	0,1446	0,3709	0,2352	-0,3895	0,2108	0,3709	0,2352	-0,3895	0,2108
NTK	0,0712	0,8260	0,0421	0,8966	0,1969	0,5396	-0,0264	0,9351	0,1969	0,5396	-0,0264	0,9351
B(t)	0,2837	0,3715	0,1538	0,6331	0,4999	0,0979	0,0702	0,8284	0,4999	0,0979	0,0702	0,8284
Cu(t)	-0,4867	0,1086	-0,0280	0,9311	-0,0512	0,8745	-0,0527	0,8707	-0,0512	0,8745	-0,0527	0,8707
Fe(t)	0,1101	0,7333	0,2522	0,4291	0,0485	0,8811	0,0492	0,8793	0,0485	0,8811	0,0492	0,8793
Mn(t)	-0,3830	0,2191	0,0629	0,8459	0,1183	0,7143	-0,0140	0,9655	0,1183	0,7143	-0,0140	0,9655
Mo(t)	-0,3286	0,2970	-0,3873	0,2135	-0,1624	0,6141	-0,5159	0,0860	-0,1624	0,6141	-0,5159	0,0860
Zn(t)	-0,4894	0,1063	-0,1119	0,7292	0,0376	0,9076	-0,1368	0,6715	0,0376	0,9076	-0,1368	0,6715
Al(t)	0,0709	0,8266	0,4476	0,1446	0,1183	0,7143	0,2947	0,3524	0,1183	0,7143	0,2947	0,3524
As(t)	-0,0213	0,9477	-0,1958	0,5419	0,2419	0,4488	-0,1965	0,5405	0,2419	0,4488	-0,1965	0,5405
Pb(t)	-0,3778	0,2260	-0,1768	0,5825	-0,2111	0,5101	-0,3625	0,2469	-0,2111	0,5101	-0,3625	0,2469
B(d)	0,2837	0,3715	0,2168	0,4986	0,4999	0,0979	0,1439	0,6556	0,4999	0,0979	0,1439	0,6556
Cu(d)	-0,4938	0,1027	-0,5464	0,0660	-0,2827	0,3733	-0,5518	0,0629	-0,2827	0,3733	-0,5518	0,0629
Fe(d)	0,1844	0,5661	0,4406	0,1517	-0,1505	0,6406	0,2912	0,3584	-0,1505	0,6406	0,2912	0,3584
Mn(d)	-0,4965	0,1006	-0,0839	0,7954	-0,0914	0,7776	-0,0035	0,9914	-0,0914	0,7776	-0,0035	0,9914
Mo(d)	-0,3430	0,2751	-0,3559	0,2562	-0,0629	0,8460	-0,4161	0,1785	-0,0629	0,8460	-0,4161	0,1785
Zn(d)	-0,3546	0,2580	-0,3217	0,3079	0,3333	0,2898	-0,3614	0,2484	0,3333	0,2898	-0,3614	0,2484
Al(d)	0,1915	0,5510	0,5105	0,0899	0,0484	0,8813	0,3123	0,3230	0,0484	0,8813	0,3123	0,3230
As(d)	-0,3630	0,2461	-0,3404	0,2790	0,4423	0,1499	-0,2588	0,4167	0,4423	0,1499	-0,2588	0,4167

Continuación Tabla 1. Correlaciones entre los parámetros biológicos y las variables físicas y químicas.

\*En Azul se destacan las correlaciones positivas y en rojo las correlaciones negativas.

Variables Físicas y Químicas	Parámetros Biológicos											
	Hidropsychidae		Elmidae		Chironomidae		Empididae		Naididae		ChIBF	
	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level	Spearman R	p-level
O.D.	0,3773	0,2267	0,0546	0,8662	0,2277	0,4767	-0,1666	0,6047	0,1780	0,5800	0,0070	0,9828
pH	0,3915	0,2082	-0,0473	0,8839	<b>0,7321</b>	<b>0,0068</b>	0,5107	0,0898	0,4698	0,1233	-0,0350	0,9141
CE	-0,5303	0,0761	-0,2475	0,4381	0,2662	0,4030	0,4139	0,1810	0,5268	0,0785	<b>0,6923</b>	<b>0,0126</b>
T	0,4200	0,1740	0,4003	0,1972	0,1261	0,6962	-0,2849	0,3694	<b>0,6691</b>	<b>0,0173</b>	0,4545	0,1377
P.Redox	0,0071	0,9825	-0,1019	0,7527	-0,3818	0,2207	-0,4032	0,1938	<b>-0,6656</b>	<b>0,0182</b>	-0,4615	0,1309
Vel.	-0,2302	0,4716	<b>-0,7154</b>	<b>0,0089</b>	0,1363	0,6728	0,2173	0,4975	-0,2356	0,4610	-0,3710	0,2351
DBO <sub>5</sub>	<b>0,6395</b>	<b>0,0251</b>	0,4279	0,1653	0,3512	0,2630	0,1532	0,6345	0,3025	0,3392	-0,1673	0,6033
SST	0,4409	0,1514	0,4325	0,1603	-0,3245	0,3034	-0,4764	0,1174	-0,2796	0,3788	-0,3873	0,2135
SDT	-0,4261	0,1672	-0,3956	0,2031	0,2333	0,4655	<b>-0,5923</b>	<b>0,0424</b>	0,3280	0,2979	0,5079	0,0918
Ca	<b>-0,5837</b>	<b>0,0463</b>	-0,4222	0,1716	0,2592	0,4159	0,0591	0,8552	0,3381	0,2824	0,5385	0,0709
CL	-0,2827	0,3733	-0,1500	0,6417	0,1250	0,6987	-0,0811	0,8023	0,2701	0,3958	0,1547	0,6313
Na	<b>-0,6471</b>	<b>0,0229</b>	-0,1896	0,5551	0,2404	0,4518	0,1185	0,7138	-0,0945	0,7702	0,0876	0,7867
Mg	-0,4698	0,1233	-0,4440	0,1482	-0,0315	0,9225	-0,1720	0,5929	0,3132	0,3215	0,7063	0,1102
SO <sub>4</sub>	-0,5588	0,0589	<b>-0,7715</b>	<b>0,0033</b>	-0,1331	0,6801	0,4623	0,1302	-0,3453	0,2717	0,0420	0,8970
NTK	0,0125	0,9692	0,3342	0,2884	0,3708	0,2354	0,5233	0,0808	0,0000	1,0000	0,0491	0,8795
B(t)	-0,2420	0,4485	-0,0910	0,7786	0,5289	0,0771	0,3548	0,2578	0,3880	0,2127	0,0350	0,9141
Cu(t)	-0,2656	0,4040	-0,2825	0,3736	<b>-0,7053</b>	<b>0,0104</b>	<b>-0,6462</b>	<b>0,0232</b>	<b>-0,7131</b>	<b>0,0092</b>	-0,3257	0,3015
Fe(t)	0,0214	0,9474	0,1221	0,7053	-0,4386	0,1538	<b>-0,6408</b>	<b>0,0247</b>	-0,1979	0,5376	-0,1856	0,5635
Mn(t)	-0,1922	0,5495	-0,1929	0,5481	<b>-0,6620</b>	<b>0,0190</b>	<b>-0,6397</b>	<b>0,0251</b>	<b>-0,7047</b>	<b>0,0105</b>	-0,3287	0,2969
Mo(t)	-0,3728	0,2327	-0,0953	0,7683	-0,5432	0,0680	<b>-0,5847</b>	<b>0,0459</b>	-0,3083	0,3296	0,2535	0,4266
Zn(t)	-0,2634	0,4082	<b>-0,5859</b>	<b>0,0453</b>	-0,4273	0,1659	-0,3924	0,2070	<b>-0,5837</b>	<b>0,0463</b>	-0,2308	0,4705
Al(t)	0,1922	0,5495	0,2620	0,4107	-0,3818	0,2207	<b>-0,6397</b>	<b>0,0251</b>	-0,3310	0,2933	-0,3636	0,2453
As(t)	0,0356	0,9126	-0,5313	0,0754	-0,0280	0,9311	0,1559	0,6285	-0,0569	0,8605	0,0629	0,8459
Pb(t)	-0,2375	0,4574	0,0901	0,7807	-0,5484	0,0649	<b>-0,6247</b>	<b>0,0299</b>	-0,3581	0,2531	0,1053	0,7445
B(d)	-0,1673	0,6033	-0,0509	0,8750	0,5149	0,0867	0,4139	0,1810	0,3666	0,2411	-0,0210	0,9484
Cu(d)	-0,5651	0,0555	-0,5159	0,0860	-0,5333	0,0742	-0,3877	0,2130	-0,1818	0,5717	0,2557	0,4225
Fe(d)	0,3168	0,3158	0,2802	0,3777	-0,0140	0,9655	<b>-0,6504</b>	<b>0,0220</b>	-0,0925	0,7748	-0,3007	0,3423
Mn(d)	-0,2990	0,3452	-0,2584	0,4174	-0,5079	0,0918	<b>-0,6397</b>	<b>0,0251</b>	<b>-0,6478</b>	<b>0,0227</b>	-0,2937	0,3541
Mo(d)	-0,3569	0,2548	-0,2482	0,4366	<b>-0,6774</b>	<b>0,0155</b>	-0,5253	0,0794	-0,4094	0,1863	0,1175	0,7162
Zn(d)	-0,5339	0,0738	-0,4331	0,1596	<b>-0,5779</b>	<b>0,0490</b>	0,0161	0,9603	-0,5375	0,0715	-0,0839	0,7954
Al(d)	0,2598	0,4148	0,3203	0,3102	-0,1016	0,7534	<b>-0,6397</b>	<b>0,0251</b>	-0,1851	0,5647	-0,3636	0,2453
As(d)	-0,3572	0,2544	<b>-0,8108</b>	<b>0,0014</b>	-0,2496	0,4341	0,3452	0,2717	-0,3411	0,2779	-0,0035	0,9914