



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECOLOGICAS**

---

**EVALUACION PRELIMINAR PARA LA DEFINICION DE INSECTOS  
BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES RIOS DE LA ZONA  
SEMIARIDA DE CHILE.**

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

Mención en Medio Ambiente.

**CAROLINA PAOLA JARA YURAZECK**

**Director de Seminario de Titulo: Irma Vila Pinto**

---

Santiago, Chile  
Octubre, 2002



**FACULTAD DE CIENCIAS**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**INFORME DE APROBACION  
SEMINARIO DE TITULO DE PREGRADO**

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias que el Seminario de Titulo de Pregrado presentada por la candidata:

**CAROLINA PAOLA JARA YURAZECK**

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación del Seminario de Titulo como Requisito para optar al Titulo Profesional de Biólogo Mención en Medio Ambiente, en el examen de Defensa de Seminario de Titulo rendido el día 4 de Septiembre de 2002.

Director de Seminario de Titulo  
Msc. Irma Vila Pinto

.....

**LA COMISION**

Dr. Fernando Novoa Cortéz  
Presidente

.....

Dr. Rodrigo Ramos Jiliberto

.....

Msc. Rodrigo Palma Troncoso

.....

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera empezar por agradecer a mis padres por su infinito esfuerzo y paciencia, que permitió que este trabajo llegué a su fin y que las expectativas generadas en este caminar se hayan cumplido con creces, en especial a ti padre que esperabas este momento, pues sé lo que esto significa, espero que aquí halles todas las repuestas a las preguntas que incansablemente realizaste durante tanto tiempo. A ti madre, gracias por tu pedagogía aplicada a todos tus minutos de apoyo, de aporte y dedicación durante este proceso.

A mi hermano por ser una persona que crece para ser un hombre de bien, que me observo durante todo mi periodo académico y acompañó en la gestación de este trabajo, gracias por tus aportes desde una mirada diferente en formación y crecimiento y por tus innumerables correcciones ortográficas (invaluables), espero este trabajo sea un grano de arena para la playa que será tu futuro.

A mi profesora Irma, que más que una tutora, fue una madre académica que guió mi pensar, lógica y trabajo para lograr la culminación de un largo proceso académico, y que me enseñó lo que algún día aplicare en el campo laboral como una gran profesional.

Al profesor Italo Serey, agradecer todos sus comentarios y correcciones que permitieron fortalecer el trabajo y aportar con el enfoque del cual carecía.

Al Laboratorio de Limnología por haberme acogido y por su constante apoyo y aporte a este trabajo y es especial a ti Rodrigo, por tus sugerencias, comentarios y por sobre todo apoyo, sin duda el segundo de abordo en todo este proceso.

A mi segundo hogar académico, el Laboratorio de Analítica por acogerme en momentos difíciles, su gran apoyo, el aporte diferente y oído prestado en este final del camino.

A mis amigos que fueron un pilar y apoyo fundamental durante todo el tiempo, escuchándome en mis neuras, celebrando mis triunfos y en esencia acompañándome en todo momento, ellos no son muchos pero sin duda los mejores que una persona puede tener y siempre estarán en mí.

A mis correctores por todas sus sugerencias y aportes que permitieron dar termino a este trabajo y a mi formación, en especial a Fernando por toda tu paciencia y tiempo.

Al final dejo a una persona muy especial, que estuvo en mis peores y mejores años de la U, donde los recuerdos que me llevo de esta casa, siempre estarán acompañados de él, a ti Andrés por todo tu cariño, comprensión y apoyo dado durante toda mi formación y en especial en esta última etapa, que al ser la concreción de mis sueños, algún día sea lo que ambos imaginamos.....

-GRACIAS-

## INDICE DE CONTENIDOS

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCION	2
<u>ANTECEDENTES</u>	5
<u>OBJETIVOS</u>	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
<u>Área de Estudio</u>	6
<u>Caracterización Hidrológica de la Zona Estudiada</u>	6
<u>Zona Semiárida</u>	6
<u>Características Hidrológicas de los Ríos Seleccionados</u>	11
<u>Información Utilizada para el Presente Estudio</u>	11
<u>Base de Datos de los valores Físicos y Químicos Utilizados</u>	11
<u>Base de Datos de los Insectos Acuáticos Utilizados en el Estudio</u>	12
<u>Diseño del Estudio</u>	12
<u>Análisis de Datos</u>	13
3. RESULTADOS	13
<u>Físicos y Químicos</u>	13
<u>Biota</u>	14

<u>Abundancia-Dominancia</u>	14
<u>Especies Indicadoras</u>	15
<u>Análisis de Correspondencia Canónica</u>	15
4. DISCUSION	26
<u>Aspectos Físicos y Químicos</u>	26
<u>Aspecto Ambiental</u>	27
<u>Aspecto Biológico</u>	27
<u>Parámetros Comunitarios</u>	27
<u>Insectos Bioindicadores</u>	28
<u>CONCLUSIONES</u>	29
5. BIBLIOGRAFIA	30
<u>ANEXO</u>	33

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hoya del Río Elqui.

Figura 2. Hoya del Río Limarí.

Figura 3. Hoya del Río Aconcagua.

Figuras 4, 5, 6, 7 y 8. ANDEVAS de las Variables Físicas y Químicas Estadísticamente Significativas

Figuras 9, 10 y 11. Distribución de los Valores de pH en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figuras 12, 13 y 14. Distribución de los Valores de Conductividad en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figuras 15, 16 y 17. Distribución de los Valores de Nitrógeno total en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figura 18. Valores de Cu, As y Al, y Correspondiente NCH 1333 para Riego, para las Estaciones Epiritrónicas.

Figuras 19, 20 y 21. Distribución de los Valores de pH en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figuras 22, 23 y 24. Distribución de los Valores de Conductividad en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figuras 25, 26 y 27. Distribución de los Valores de Nitrógeno total en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Figura 28. Valores de Cu, As y Al, y Correspondiente NCh 1333 para Riego, para las Estaciones Hiporitrónicas.

Figura 29. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritrónica del Río Elqui.

- Figura 30. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitrónica del Río Elqui.
- Figura.31. Curva Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritrónica del Río Limarí.
- Figura 32. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitrónica del Río Limarí.
- Figura 33. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritrónica del Río Aconcagua.
- Figura 34. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitrónica del Río Acancagua.
- Figura 35. Regresión de Abundancia *Elmis sp.* v/s pH.
- Figura 36. Regresión de Abundancia *Simulium sp.* v/s pH.
- Figura 37. Regresión de Abundancia *Smicridea chilensis* v/s Conductividad.
- Figura 38. Regresión de Abundancia *Meridialaris sp.* v/s Arsénico.
- Figura 39. Regresión de Abundancia *Meridialaris sp.* v/s Conductividad.
- Figura 40. Regresión de Abundancia *Smicridea chilensis* v/s N total.
- Figura 41. Regresión de Abundancia *Meridialaris sp.* v/s N total.
- Figura 42. Análisis de Correspondencia Canónica de los Insectos v/s las Variables Físicas y Químicas Utilizadas en el Presente Trabajo.

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de Muestreo de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

Tabla 2. Lista de Grupos Taxonómicos Encontrados en los tres Ríos Utilizados en el Presente Trabajo.

Tabla 3. Valores Obtenidos del Análisis de Varianza (ANDEVA) para los Valores Físicos y Químicos.

Tabla 4. Valores Promedios de las Variables Físicas y Químicas por Zonas. Septiembre de 1993.

Tabla 5. Valores Promedios de las Variables Físicas y Químicas por Zonas. Octubre de 1993.

Tabla 6. Valores Promedios de las Variables Físicas y Químicas por Zonas. Enero de 1994.

Tabla 7. Valores Promedios de las Variables Físicas y Químicas por Zonas. Marzo de 1994.

Tabla 8. Composición Taxonómica de la Entomofauna Acuática Encontrada en los Tres Ríos Analizados.

## **INDICE DE ANEXOS**

Figura 1. Aspecto General de la Morfología de un Plecoptera.

Figura 2. Aspecto General de la Morfología de un Ephemeroptera.

Figura 3. Aspecto General de la Morfología de un Trichoptera.

Figura 4. Aspecto General de la Morfología de un Díptera.

Figura 5. Aspecto General de la Morfología de un Coleóptera.

Figura 6. Aspecto General de la Morfología de un Odónata.

Figura 7. Aspecto General de la Morfología de un Megaloptera.

# EVALUACION PRELIMINAR PARA LA DEFINICIÓN DE INSECTOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES RIOS DE LA ZONA SEMIARIDA DE CHILE.

CAROLINA PAOLA JARA YURAZECK\*

\* Departamento de Ciencias Ecológicas, Laboratorio de Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Santiago, Chile

## RESUMEN

*En las últimas décadas los sistemas fluviales han estado sometidos a demandas crecientes de agua y muchas veces a la pérdida de una de sus principales características, su calidad, fundamentalmente por las actividades que se desarrollan en la cuenca, generando la necesidad de complementar los métodos de evaluación de su estado físico y químico, a fin de conocer con precisión su estado de conservación. El cambio en la calidad de ésta podría finalmente afectar a toda la cuenca, y es importante incluir los componentes microbiológicos de los sistemas lóticos como monitores del medio, ya que al ser los principales afectados por los cambios en la calidad pueden ser utilizados como bioindicadores de estos cambios. Los insectos acuáticos son los componentes más abundantes de la comunidad bentónica de los ríos y son adecuados para realizar monitoreos biológicos, debido a que su tolerancia a diferentes calidades ha sido ampliamente estudiada, fundamentalmente por el rol que cumplen en la mantención de la trama trófica de estos ecosistemas. Además se citan como idóneos para evaluar cambios en la calidad del agua, ya que son organismos ubicuos, poseen una alta diversidad de especies, son sedentarios, con largos ciclos de vida y la metodología de análisis está bien desarrollada. La taxonomía de muchos grupos es bien conocida y las respuestas de varias especies a distintos contaminantes ha sido documentada. Este trabajo consideró la utilización de los insectos acuáticos como posibles especies indicadoras de la calidad del agua, para evaluar el efecto final de las variables físicas y químicas en la diversidad y abundancia de la fauna bentónica de las zonas analizadas en este trabajo.*

*Para ello se revisó la bibliográfica nacional y extranjera acerca de bioindicadores y con la base de datos de Vila et al. 1996 y de Cekalovic 1999 se seleccionó las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua como áreas de estudio, con muestreos estacionales de los insectos acuáticos junto con valores del pH, Conductividad, Cobre, Arsénico, Aluminio y Nitrógeno total como las variables físicas y químicas utilizadas en el desarrollo del trabajo.*

*Se caracterizaron física, química y biológicamente las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los tres ríos en estudio, concluyendo que las variables estaban más alteradas en las zonas Hiporitrónicas en comparación con las zonas Epiritrónicas, y que esto último afectaría tanto la abundancia como la diversidad de las especies de insectos de las dos zonas analizadas. Se encontró que uno de los sistemas más alterados es el río Aconcagua. Finalmente se relacionaron las características físicas y químicas y abundancia de los insectos considerados, resultando una especie: *Smicridea chlensis* y tres taxa: *Elmis sp.*, *Meridialaris sp.* y *Simulium sp.* como bioindicadores de una determinada variable física o química*

*Dado el carácter exploratorio de este trabajo, se sugiere considerar una mayor frecuencia de muestreos de las variables físicas y químicas como biológicas, mejor conocimiento de la sistemática y ciclos de vida de los organismos, para futuros estudios.*

**Palabras claves:** Bioindicadores, Insectos Acuáticos, Ríos, Epiritrón, Hiporitrón, Variables Físicas y Químicas.

## ABSTRAC

During the last decades the fluvial systems have been under increasing demands of water losing its main characteristic, physic and chemical water quality, because of activities developed in the river basin. This generates the urgent necessity to develop adequate methods to evaluate the physical and chemical variables to assess its conservation state, since changes in it quality could finally affect the whole basin. It is important to include the macrobiological components of the system as monitors of this environment. Since they are affected by changes of the water quality, they can be used as bioindicators of the changes. In this sense, aquatic insects are the most abundant component of rivers benthic community and could be used in biological monitoring since their tolerance to different water quality has been studied widely and, for the role that these organisms fulfill in maintaining the trophic web of the system. In addition, due to their characteristics, they are suitable to evaluate changes in water quality since they are notorious, they have a high species diversity, are sedentary, with long life-cycles and their analysis sampling methodology is well developed. The taxonomy of many groups is well known and the response of many species to different polluting agents have been documented. Specially, they are susceptible to be affected by human activities. This study considered the use of aquatic insects as possible bioindicators of water quality. The aim has been to evaluate the final effect of the physical and chemical variables in the presence and abundance of the insects that inhabit the Epirithron and the Hyporithron of the rivers Elqui, Limari and Aconcagua, to detect the existence of bioindicators species of physical and chemical characteristics. For this, bibliography about bioindicators was reviewed and data base from Vila et al (1994) and Cakalovic (1999) was used of seasonal samplings of the aquatic insects together with pH, Conductivity, Copper, Arsenic, Aluminum and total Nitrogen and main physical variables of the Epirithron and Hyporithron of these rivers study area.

The physical, chemical and biological characteristics of the Epirithron and Hyporithron were analyzed to conclude that the Hyporithron was the most affected area and that this also affected the abundance and the diversity of the insects species. Physical and chemical characteristics related to abundance showed that one species: *Smicridea chlensis* and three taxa: *Elmis sp.*, *Meridialaris sp.* y *Simulium sp.* Could be used as bioindicators of an specific phisical or chemical variables.

Given the exploratory character of this work, it is necessary to suggest in future studies to consider a higher sampling frequency of physical and chemical variables together with a better knowledge of systematic and life-cycles of organisms.

**Key words:** Bioindicators, Aquatic Insects, Rivers, Epirithron, Hyporithron, Physical and chemical variables.

## 1. Introducción

En la actualidad es una necesidad complementar los métodos con que se evalúan el estado físico y químico del agua, con el fin de conocer con mayor precisión su estado de conservación, ya que la pérdida de la calidad de ésta podría afectar a toda la cuenca hidrográfica que sustenta a un río. Por esto el cuidado y constante monitoreo de este recurso hídrico son sumamente necesarios para toda la población humana, debido a que finalmente se verían afectadas de una u otra forma todas las actividades (económicas, sociales, culturales, etc.) desarrolladas por la comunidad.

Debido a esto último el agua es considerada un bien, y como tal, el sistema jurídico y económico que regula su uso debe ser

capaz de equilibrar las necesidades particulares de la sociedad, integrando de forma correcta los componentes bióticos y abióticos del sistema, con el objetivo fundamental de prevenir los diferentes problemas ambientales en los diversos cuerpos de agua.

En este contexto, es conocido que los ríos se han visto sometidos en los últimos años a un marcado deterioro de la calidad de las aguas, provocado fundamentalmente por las actividades que se desarrollan en la cuenca, como lo son por ejemplo: el ingreso de pesticidas y gran cantidad de material particulado, por actividades agrícolas y deforestación, fragmentación del hábitat, cambios del sustrato por extracción y remoción de materiales, a lo cual se suma el incremento de

materia orgánica por ingresos de aguas no tratadas.

La calidad del agua es un concepto ampliamente utilizado, pero difícil de definir ya que se encuentra directamente relacionado al uso de este vital elemento y lo que deseamos proteger en el ambiente natural que sustenta. En este caso el término mencionado, se encuentra enmarcado dentro de las definiciones y variables consideradas en la Norma de Calidad de Agua para Riego (NCh 1333).

Dentro de esto último, los análisis de las variables físicas y químicas que se utilizan para determinar la calidad del agua muestran ser insuficientes por sí solas, debido a que no consideran como puede ser afectada la variable biológica durante el tiempo que no son muestreados los cauces, dado que estos muestreos son realizados en forma puntual, y en un tiempo y espacio limitado.

En el estudio de los ecosistemas, idealmente se deberían considerar todos los componentes que en él interactúan; al ser esto imposible de realizar por su alta complejidad, una de las formas con que se puede lograr, en el caso de los ecosistemas de aguas continentales, es por medio del manejo integral de la cuenca hidrográfica, ya que se genera un enfoque más amplio, o mejor llamado ecosistémico, lo cual involucra la interrelación entre los diferentes componentes de la cuenca (Margalef 1983; Parra et al. 1993).

En este sentido, para evaluar el deterioro de la calidad del agua, actualmente se intenta integrar características del sistema, como son los valores de ciertas variables físicas y químicas, microbacteriológicas y la estructura de componentes microbiológicos.

La aproximación microbiológica estudia los organismos encontrados en las aguas de un determinado ecosistema fluvial, los cuales desarrollan gran parte de su ciclo de vida allí; cada especie se asocia a características típicas del agua, por lo que se constituyen en potenciales indicadores de la calidad de ella. Esta aproximación ha aumentado su uso mundialmente, dado que entrega un resultado más integral del estado de la calidad del agua. Resultando innegable que la aplicación en el país, facilitaría a las entidades encargadas del control de recursos hídricos a establecer planes de gestión y manejo, redes de vigilancia permanente y mapas de calidad del agua acorde

con la región como es el caso de DGA, DIRECTEMAR, SAG y otras.

Como ya se mencionó, los componentes biológicos, al ser los principales afectados por los cambios en la calidad del agua, ellos son utilizados como indicadores de estos cambios. Aunque el concepto de bioindicador se usa para presencia o ausencia de una especie determinada, en general el **concepto de especie indicadora** ampliamente aceptado, está definida como: **“especie (o ensamble de especies) que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indique que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia”** (Rosemberg & Resh, 1993). Es importante considerar que las alteraciones del agua no modifican de forma inmediata a la fauna, ya que muchos organismos continúan viviendo en ambientes alterados, a cambio de sufrir estrés fisiológico que se evidencia con la disminución de las tasas de crecimiento, capacidad reproductiva y finalmente en las abundancias, lo cual permitiría precisar los cambios en la calidad de su hábitat (Hellawell, 1989).

Además, es importante señalar que los organismos acumulan y biomagnifican (refiriéndose a organismos que por medio de vías metabólicas aumentan en su interior las concentraciones de un determinado elemento, en relación con la concentración que se encuentra en el medio) sustancias tóxicas en sus tejidos, de tal forma que en muchos casos es también posible detectarlas en los organismos muestreados. Debe hacerse la referencia que en el caso de los ambientes acuáticos, el término bioindicador se usa principalmente en este sentido (Hellawell, 1989).

Debido a que los ríos reflejan las actividades de su cuenca en las características que ellos presentan, como caudal, concentraciones de nutrientes, metales, sedimento, pH, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros, a los cuales la fauna se ha adaptado a lo largo de los distintos tramos del curso de agua, es posible observar en ellos la influencia directa de las causas que modifican estas características. De acuerdo con lo anterior se puede asumir que ciertas especies señalarían

cambios en las condiciones bióticas o abióticas de su hábitat (Samways et al. 1995; Noss, 1990).

La idea de usar especies indicadoras para conocer y revisar las condiciones medio ambientales es bastante antigua, por lo que en la actualidad ya es una práctica científicamente establecida y usada en ecología, toxicología medio ambiental, en el diagnóstico de la contaminación, tanto en el agua de riego como en el área forestal y en el manejo de la vida silvestre (Hellawell, 1989). Debido a lo anterior, es que hoy en día diversos países desarrollados han logrado establecer las ventajas y efectividad que tiene el uso de este método para la determinación de la calidad del agua (Rosemberg & Resh, 1993). Sin embargo, es de importancia considerar que dependiendo del ecosistema y de los objetivos del estudio, las especies consideradas como indicadoras varían mucho al igual que sus respuestas, debiéndose preferentemente detectar algunas especies claves en la comunidad de los ríos afectados por diferentes grados de pérdida de la calidad de sus aguas.

La mayoría de los organismos acuáticos son potencialmente posibles de utilizar para estos estudios, pero la literatura publicada en la actualidad, señala que los más indicados estarían siendo los macroinvertebrados bentónicos, entre los cuales a modo de ejemplo, se citan moluscos, crustáceos, anélidos e insectos, entre otros (Hellawell, 1989).

Los insectos acuáticos, al ser uno de los componentes más abundantes de la comunidad bentónica, serían adecuados para realizar monitoreos biológicos, debido a que su tolerancia a diferentes calidades del agua ha sido ampliamente estudiada en el hemisferio norte (Resh et al. 1996). Son organismos por lo general sedentarios, con distribución relativamente similar en zonas altas, medias y bajas de diferentes ríos; son longevos, es decir, con ciclos de vida mayores a los que presentan otros organismos bentónicos, permitiéndoles esta característica acumular los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo, aspectos que los señalan como eventuales y eficientes indicadores biológicos. Resemberg & Resh (1993) además mencionan que estos organismos serían idóneos para evaluar cambios en la calidad del agua de los ambientes acuáticos, ya que agregan otras características a las anteriormente señaladas: son organismos

ubícuos, poseen una alta diversidad de especies, cuentan con muestreos y análisis bien desarrollados, la taxonomía de muchos grupos es bien conocida y las respuestas de varias especies a distintos contaminantes están bien documentadas.

En resumen estos organismos son una muestra continua de su hábitat, pues proporcionan datos no sólo del estado actual sino también del pasado reciente. Además los insectos acuáticos pueden llegar a ser usados como indicadores “crudos” de un problema medio ambiental inesperado, por lo que estarían siendo señales tempranas de alarma que indicaría que se han alcanzado niveles críticos de una sustancia o que el ambiente ha sufrido alteraciones (Furness, 1993).

En el caso de este estudio en particular se considerará el cambio de las variables físicas y químicas en la calidad del agua y el efecto de esta última en la diversidad y abundancia de los insectos bentónicos que habitan las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los ríos. Al respecto Illies y Botosaneanu (1963), clasificaron y describieron los ríos en varias zonas principales, entre las cuales se encuentran el Epiritrón y el Hiporitrón; la primera zona se caracteriza por un bajo caudal, gran pendiente y alta velocidad de la corriente, además el fondo de esta zona se encuentra formado por grandes piedras, bloques y sus aguas son frías, turbulentas y con un alto contenido de oxígeno. La segunda zona caracterizada por Illies y Botosaneanu (1963), presenta mayores caudales, baja pendiente y menor velocidad de la corriente. Sus aguas presentan una mayor temperatura promedio y arrastran gran cantidad de sedimentos finos. Además el sustrato del fondo del río se encuentra constituido por material un poco más fino, conformado especialmente de grava.

De acuerdo con lo planteado, este trabajo intenta definir en forma preliminar la eventual utilización de las diferentes especies de insectos acuáticos chilenos, como bioindicadores de cambios en la calidad del agua, recopilando la información disponible en la literatura acerca de estos organismos, considerando en este caso aquellos que se encuentran distribuidos en los sistemas fluviales de la zona mediterránea semiárida chilena y que se hayan presentes en las áreas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de éstos.

## **Antecedentes**

Durante la década del 70, los organismos ambientales (EPA, entre otros.) de Estados Unidos generan criterios toxicológicos como una manera de determinar el efecto nocivo de los contaminantes sobre eslabones de la cadena trófica acuática, ayudando de esta manera a la mejor comprensión del impacto que éstos tienen sobre este ecosistema y poder dar alguna solución para atenuar los efectos negativos.

Luego, en la década del 90 se incorpora oficialmente el enfoque biológico (bioassessment) basado en la premisa que las especies integrantes de las comunidades biológicas son sensibles a los cambios físicos y químicos del ambiente producidos por la actividad antrópica, haciéndose especialmente un uso intensivo de los insectos acuáticos para lograr este objetivo. En el año 1997 la EPA (Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos) potencia el uso de biocriterios como medida de control de la calidad de los cuerpos de agua, creando en ese momento un Grupo de Trabajo de Bioindicadores, con el objetivo de que éstos elaboren métodos y programas para evaluar la integridad biológica de los sistemas acuáticos.

Como resultado de lo anterior, algunas de las especies que más se citan como útiles y eficaces bioindicadores acuáticos son los insectos, peces, microalgas, crustáceos y anfibios. Al utilizarlos como monitor de su hábitat ha sido posible detectar la presencia de contaminantes, como los metales pesados y algunas sustancias orgánicas, especialmente los organoclorados, ya que se ha observado que causan malformaciones en peces y anfibios (Rosemberg and Resh 1993).

Las especies indicadoras a menudo son elegidas por factibilidad de muestreo, clasificación e identificación y generalmente las utilizadas son casos extremos de tolerancia como de intolerancia a los cambios medio ambientales (Hellowell, 1989; Samways et al., 1995).

Ejemplos clásicos de la literatura, son las moscas de piedra o Ephemeropteras distribuidas en aguas de muy buena calidad; en cambio en el caso de los Dípteros Simulidae la situación cambia, ya que ellos viven en una calidad inferior del agua, sin embargo aun con presencia de oxígeno.

En este sentido la realización del presente trabajo se basa en la revisión de la bibliografía generada a escala nacional y desde el extranjero; esta última actualmente se encuentra disponible en el país a través de bibliotecas o Internet y fue la utilizada para familiarizarse y comprender el concepto de bioindicador biológico y cómo ha sido la utilización de los insectos acuáticos para este fin, además de la teoría que lo sustenta y que le permite operar, las investigaciones y estudios realizados que permitieron llegar a su posterior validación como herramienta; y finalmente su aplicación en distintos países como biocriterio para determinar la calidad de las aguas.

En igual sentido, la bibliografía consultada a escala nacional como producto de las investigaciones de los científicos del país, tuvo como principales fuentes de información los centros académicos nacionales que han integrado las Ciencias Ambientales a su malla curricular, como forma de dar respuesta a la creciente preocupación de la sustentabilidad de los ecosistemas a largo plazo. Como resultado concreto a esto último se puede citar trabajos chilenos que abordan este tema, como son los siguientes: Arenas (1993), Valdovinos et al (1993), Meier (1994), Caldichoury (1995), Vila (1996), Contreras (1998), Habit et al (1998), Araya et al (1998), Cekalovic (1999), Figueroa (1999) y (2001).

## **Objetivos**

- (1) Describir y caracterizar los insectos acuáticos encontrados en las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los ecosistemas lóticos seleccionados, conjuntamente con la calidad física y química de estas aguas.
- (2) Seleccionar las características físicas y químicas que se consideren más relevantes para estas zonas de los ríos, de acuerdo a la literatura existente acerca de los sistemas fluviales y relacionarlos con la abundancia de los insectos acuáticos encontrados en las mismas zonas de los ríos.
- (3) Generar un adecuado análisis del trabajo. Se analizarán estadísticamente los factores biológicos, físicos y químicos en estudio, de manera de obtener la identificación de una o varias especies de insectos bioindicadores.
- (4) Sugerir especies o taxa de insectos bioindicadores de alguna característica física y química del agua, para las zonas en estudio.

## **2. Materiales y Métodos**

### **Área de Estudio**

El área de estudio corresponde a las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua. En estas zonas se seleccionaron sólo las estaciones de muestreo más representativas de cada una de ellas (Figuras 1, 2 y 3). Los sitios de emplazamiento de las estaciones de muestreo fueron ubicadas utilizando como punto de referencia las Estaciones Limnográficas de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA, MOP).

## **Caracterización Hidrológica de la Zona Estudiada**

La zona estudiada se caracterizó de acuerdo con las características hidrológicas realizadas por Fuenzalida (1965), Niemeyer y Cereceda (1984) y Vila (1996).

### **Zona Semiárida**

Esta zona comprende las Cuencas de los Río Copiapó, Elqui, Limarí y Aconcagua, de las cuales solo se analizan los ríos de las 3 cuencas finales (Figuras 1, 2 y 3). Detallándose la ubicación de cada una de las estaciones en la Tabla 1. El límite norte de esta área es coincidente con la provincia de Chañaral y la cuenca del río Salado, por el sur deslinda con el cordón de Chacabuco. Tanto la cuenca del río Salado por el norte como la cuenca del Aconcagua en el sur pueden ser consideradas como de transición.

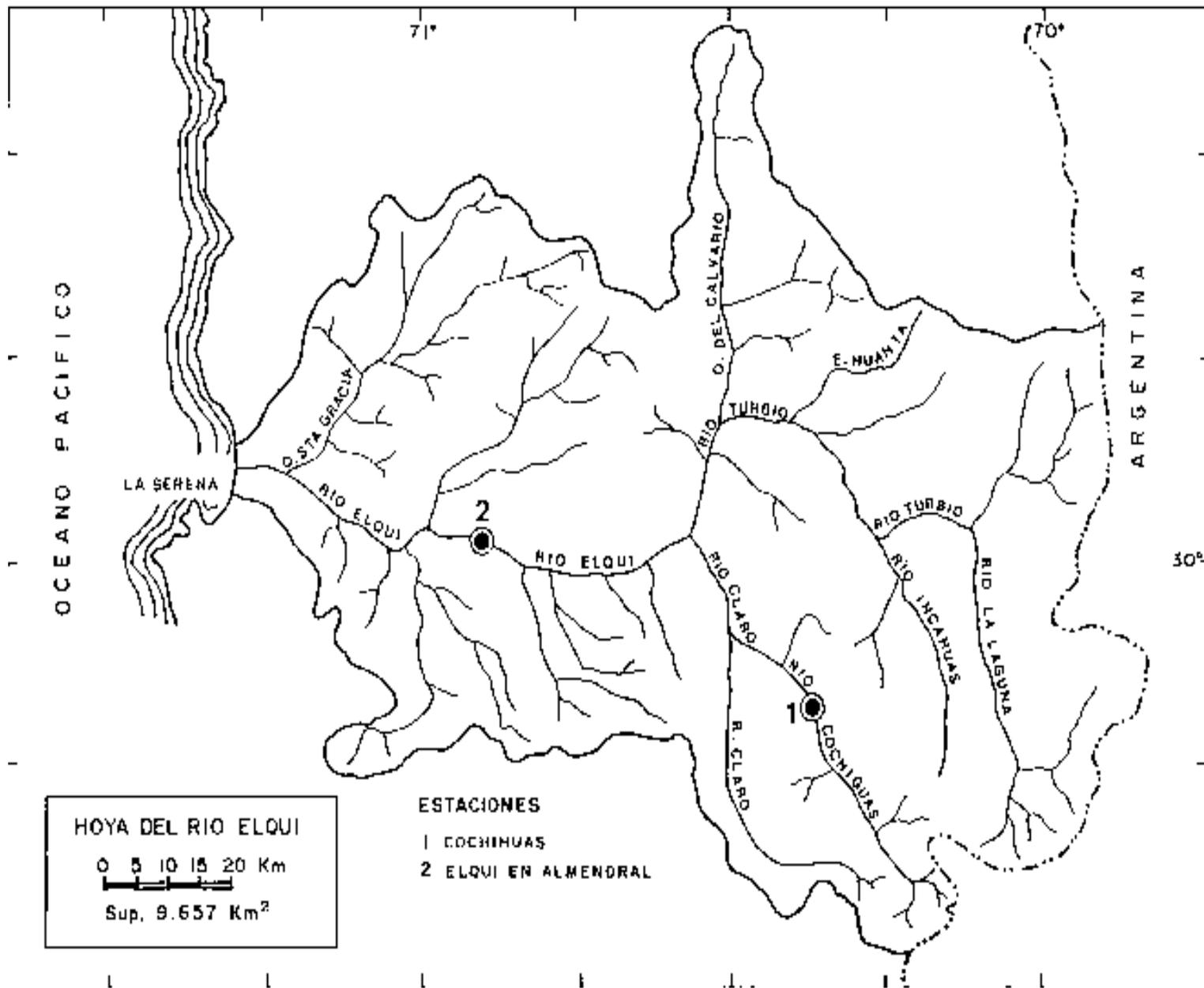
La gran altura que alcanza el macizo andino en esta área, determina dos peculiaridades hidrográficas interesantes. Una es el cambio en el régimen de los ríos de pluvial a régimen mixto, debido a que el aumento de las precipitaciones sólidas hacia el sur en las mayores alturas, han generado glaciares que permiten almacenar estas precipitaciones que se derriten en el verano.

Los ríos del norte semiárido, son de escurrimiento permanente aunque de gran variabilidad anual y cíclica. Las variaciones de caudal en estos ríos están ligadas a las precipitaciones y estas a su vez dependen de la ubicación de un área anticiclónica importante que se sitúa hacia el norte.

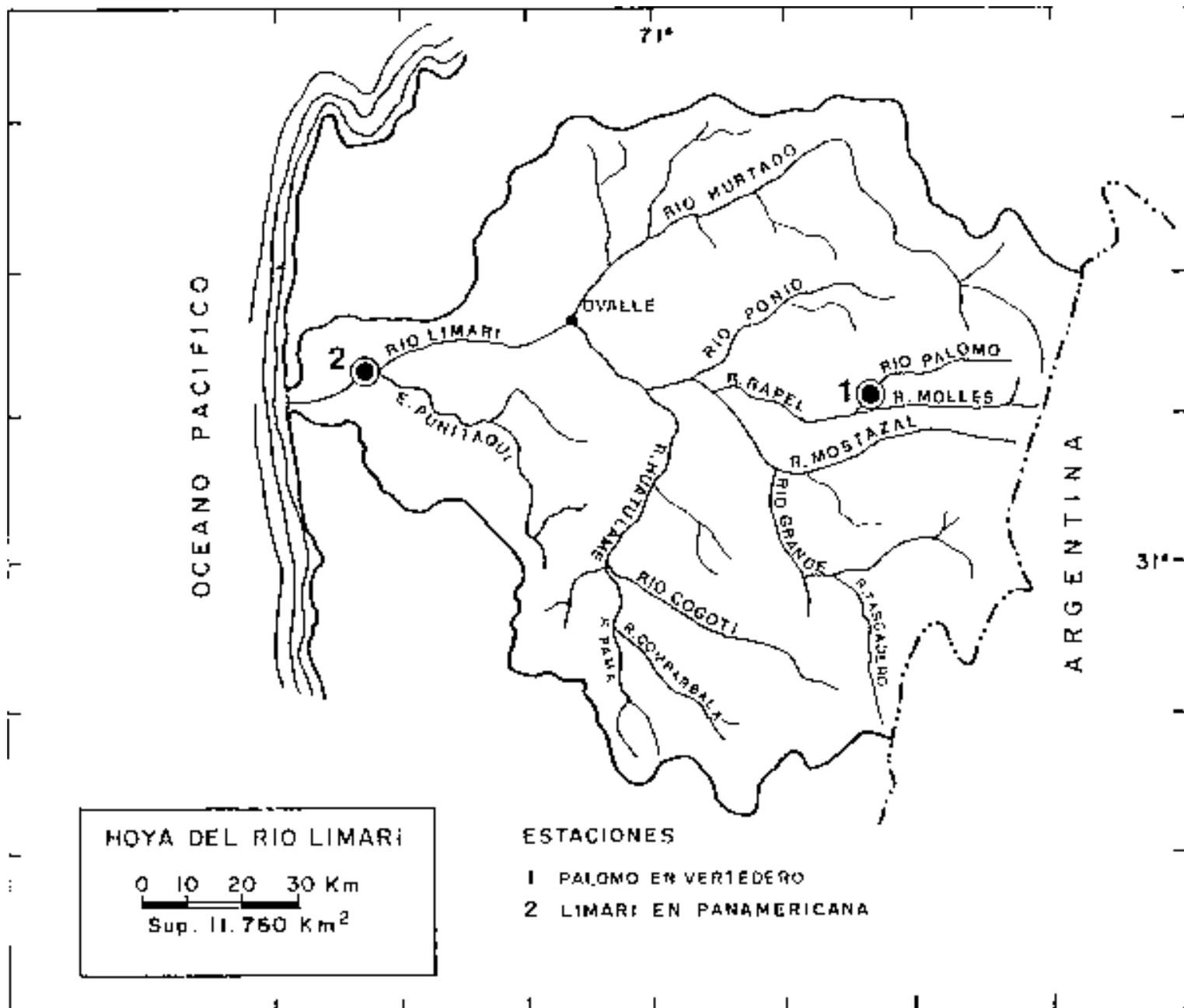
La calidad del agua en esta zona es catalogada como buena por la baja carga de electrolitos, sin embargo la disminución del caudal debido al uso intensivo de las aguas, a la creación de embalses en alguno de ellos y a los procesos de evaporación, incrementa la cantidad de iones disueltos y la concentración de los contaminantes vertidos a lo largo de sus cursos, generándose así una disminución de la calidad del agua en algunos períodos del año.

**Tabla 1.** Estaciones de muestreo de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua.

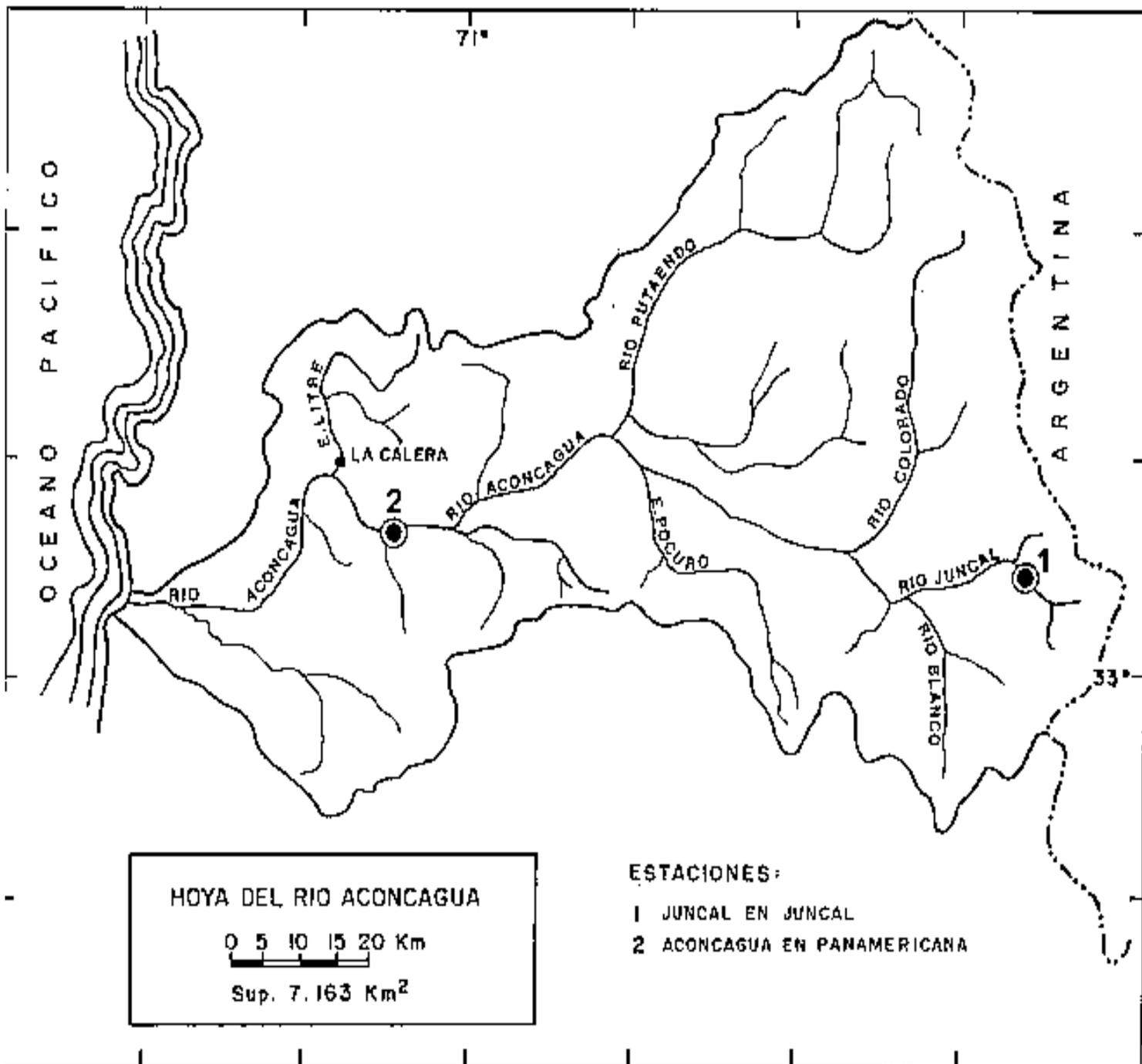
<b>Zona</b>	<b>Hoya</b>	<b>Estación</b>
Semiárida	Elqui	Cochiguas (Epiritrón) Latitud: 30° 06' Longitud: 70° 30'
		Elqui en Almendral (Hiporitrón) Latitud: 29° 58' Longitud: 70° 53'
	Limarí	Palomo en Vertedero (Epiritrón) Latitud: 30° 40' 30'' Longitud: 70° 34' 30''
		Limarí en Panamericana (Hiporitrón) Latitud: 30° 38' Longitud: 71° 31'
	Aconcagua	Juncal en Juncal (Epiritrón) Latitud: 32° 52' Longitud: 70° 09' 30''
		Aconcagua en Panamericana (Hiporitrón) Latitud: 32° 51' Longitud: 71° 07'



**Figura N°1.** Río Elqui. Los números indican la ubicación de las estaciones de muestreo en la Hoya Hidrográfica (1. Epiritrón, 2. Hiporitrón).



**Figura 2.** Río Limarí. Los números indican la ubicación de las estaciones de muestreo en la Hoya Hidrográfica (1. Epiritrón, 2. Hiporitrón).



**Figura 3.** Río Aconcagua. Los números indican la ubicación de las estaciones de muestreo en la Hoya Hidrográfica (1. Epiritrón, 2. Hiporitrón).

## **Características Hidrológicas de los Ríos Seleccionados**

### **Hoya del Río Elqui.**

El río Elqui constituye una hoya hidrográfica que abarca 9.068 Km<sup>2</sup> de superficie. (Figura 1). El volumen máximo registrado para este río es de 29,7 millones de m<sup>3</sup> en el mes de Agosto y un volumen mínimo de 7,60 millones de m<sup>3</sup> en el mes de Marzo

### **Hoya del Río Limarí.**

Nace en la Cordillera de los Andes en sitios con nevazones abundantes (Figura 2), su hoya hidrográfica alcanza los 11.760 km<sup>2</sup>. Para este río el volumen máximo registrado es de 1,3 millones de m<sup>3</sup> en el mes de Mayo y el volumen mínimo de 0,257 millones de m<sup>3</sup> se registra en el mes de Enero.

### **Hoya del Río Aconcagua.**

El río Aconcagua nace en el cordón divisorio (Nevado de los Leones), en un sector de hielos y nieves eternas y abundantes. Su hoya hidrográfica es de 7.575 Km<sup>2</sup>. Este río se presenta con grandes fluctuaciones estacionales, que corresponden al activo derretimiento de las nieves en su hoya. El régimen del río Aconcagua es mixto; presenta crecidas importantes con las lluvias en invierno, en primavera y a principios de verano, éstas se producen con el deshielo. Los ríos tributarios de alta cordillera obedecen a un régimen preponderantemente nival; en cambio, los de la cuenca baja son típicamente pluviales (Figura 3). El volumen máximo registrado para este río es de 34,0 millones de m<sup>3</sup> en el mes de Julio y un volumen mínimo de 6,12, en el mes de Marzo.

## **Información Utilizada para el Presente Estudio**

Se hizo una revisión bibliográfica sobre el tema de bioindicadores biológicos y específicamente el uso de los insectos acuáticos para este fin.

La obtención de los datos para el estudio, tanto para los valores físicos y químicos como biológicos, se realizó a través de la

selección y posterior utilización de trabajos sobre sistemas chilenos (Vila. 1996; Cekalovic 1999), donde la información extraída se analiza a escala cualitativa y cuantitativa para ambos componentes en estudio, ya que esto permite contar con ríos de una área similar en términos climáticos y orográficos, pero diferentes en características hidrológicas, como lo son caudales y regímenes de agua, y por ende con diferencias en la calidad física y química, debido principalmente a las distintas actividades que se desarrollan a lo largo de sus cuencas, lo cual facilita posteriormente hacer una comparación entre las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de cada río en estudio y ver si éstas a su vez presentan diferencias en las características en análisis, dentro y entre los tres ríos considerados.

## **Base de Datos Físicos y Químicos**

Las variables y lugares analizados, fueron obtenidos desde muestreos realizados por el Laboratorio de Limnología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, desde campañas estacionales realizadas en ríos chilenos, entre los meses de Septiembre y Octubre de 1993 y Enero y Marzo de 1994, y que para este trabajo se seleccionaron los que corresponden al Río Elqui, Río Limarí y el Río Aconcagua. Las zonas seleccionadas para el presente trabajo son las regiones superior (Epiritrónicas) y más bajas (Hiporitrónicas) de los sistemas ya mencionados (Vila 1996; Cekalovic 1999). Esto dado, que el objetivo fue lograr relacionar los datos físicos y químicos con el tipo de fauna bentónica encontrada para cada sistema, para ello se analizan las posibles variaciones zonales como estacionales que podrían generarse en estos sistemas. Esta información fue complementada con antecedentes bibliográficos.

Las variables físicas y químicas seleccionadas en el presente estudio para relacionarlas con la abundancia de insectos fueron: pH, Conductividad, Nitrógeno total, Arsénico, Cobre y Aluminio, los tres metales se consideraron formando parte de la fracción particulada de la columna de agua. La elección de estas variables fue basada en la bibliografía

existente sobre Limnología y Ecología de Ríos, (Wetzel, 1983; Margalef, 1983 y Horne and Goldman 1994), que coinciden en señalar que entre las variables físicas y químicas más importantes en la distribución de la biota en los ríos, se encuentran las consideradas en el presente trabajo, ya que tanto la diversidad como la abundancia de los insectos y fauna bentónica en general, se ven afectadas por ellas. Además Bronmark et al. (1984) corroboran que los factores abióticos tales como la química del agua, sustrato, régimen de temperatura y corriente, son también responsables de las diferencias en la distribución y composición de las especies a lo largo de los ríos, si bien estas últimas no son incluidas dentro de este trabajo es necesario señalar su importancia en la ecología de los sistemas lóticos. De igual manera, hay que considerar que las distintas actividades que se desarrollan a lo largo de estos ríos permiten pensar que la actividad minera sería uno de los mayores aportes de metales a estas aguas, infiriéndose que éste sería un agente modificador de importancia a considerar en estos sistemas, sin dejar de mencionar que el origen común de estos ríos provoca una presencia en forma natural de sedimentos y minerales en sus aguas, por acción del arrastre de aguas lluvias desde los suelos de esta zona, a la cual la fauna existente de estos ríos se ha tenido que enfrentar históricamente.

**Tabla 2.** Lista de grupos taxonómicos encontrados en los 3 ríos utilizados en el presente trabajo

ORDEN	FAMILIA	GENERO-ESPECIE
ODONATA	AESHNIDAE	<i>Aeshna sp.</i>
	LESTIDAE	<i>Lestes undulatus</i>
	PETALURIDAE	<i>Phenes sp.</i>
MEGALOPTERA	CORYDALIDAE	<i>Protochauliodes sp.</i>
EPHEMEROPTERA	BAETIDAE	<i>Meridialaris diguillina</i>
		<i>Meridialaris sp.</i>
		<i>Penaphlebia chilensis</i>
		<i>Penaphlebia flabidula</i>
		<i>Penaphlebia sp.</i>
		<i>Massartellopsis irarrazavali</i>
		<i>Andesiops peruvianus</i>
		<i>Deceptiviosa ardua</i> <i>Deceptiviosa torrens</i>
PLECOPTERA	GRIPOPTERYGIDAE	<i>Aubertoperla sp.</i>
	PERLIDAE	<i>Kempnyella genualis</i> <i>Smicridea chilensis</i>
TRICHOPTERA	HYDROPSYCHIDAE	<i>Smicridea sp.</i>
	GLOSSOSOMATIDAE	<i>Mastigoptila brevicornuta</i>
	LIMNEPHILIDAE	<i>Magellomyia sp.</i>
	RHYACOPHILIDAE	<i>Rheochorema sp.</i>
COLEOPTERA	ELMIDAE	<i>Elmis sp.</i>
DIPTERA	ATHERICIDAE	<i>Atherix sp</i>
	BLEPHARICERIDAE	<i>Edwardsina sp.</i>
	EMPIDIDAE	<i>Hemerodromia sp.</i>
	CHIRONOMIDAE	<i>Limaya sp.</i>
		<i>Ortocladius sp.</i>
		<i>Pseudochironomus sp.</i>
		<i>Rheotanytarsus sp.</i>
		<i>Heptagia annulipes</i> <i>Podonomus albinerve</i>
SIMULIDAE	<i>Simulium sp.</i>	

## **Base de Datos de Insectos Acuáticos.**

Estos fueron obtenidos en forma paralela a los datos físicos y químicos, por el laboratorio de Limnología de La Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, en los meses de Septiembre y Octubre de 1993, y Enero y Marzo de 1994, publicados en tesis de Cekalovic (1999). En la Tabla 2 se detallan los géneros y especies encontrados y utilizados para llevar a cabo los análisis en este estudio. Posteriormente, para poder establecer posibles asociaciones entre la calidad física y química del agua y la presencia de insectos en las zonas estudiadas, se utilizó la diversidad y abundancia de cada género y especie, por estación y fecha de muestreo.

## **Diseño del Estudio**

Para la elaboración del presente trabajo, primero se seleccionaron desde las bases de datos señaladas anteriormente las siguientes variables físicas y químicas: pH, Conductividad, Cobre, Aluminio, Arsénico y Nitrógeno total; y en forma paralela los taxa de insectos, buscando correlaciones que permitan obtener especies o taxa de insectos bioindicadores. Los insectos seleccionados para relacionar las regresiones con las variables físicas y químicas, fueron los que presentaron un número muestral mayor a 6 que permitiera el análisis planteado, lo cual finalmente se traduce en la selección de las

regresiones realizadas con ambas variables que sólo hubiesen obtenido un p estadísticamente significativo.

## **Análisis de datos**

Los valores por fecha y lugar de muestreo de las variables físicas y químicas encontradas en las estaciones Epiritrónicas e Hiporitrónicas, se describen inicialmente por medio de curvas y a su vez éstos son comparados con los valores permitidos para ellos en la Norma Chilena para Riego (NCh 1333), vigente actualmente. Esto último para el caso de las variables físicas y químicas que se hallan normadas y sólo como un referente comparativo de valores que en la actualidad se aplican en el país y que en algunas estaciones pudiesen estar sobrepasadas. Posteriormente, a estos mismos datos se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA, Modelo I) de dos vías (fecha y lugar, por río y zona Epiritrónica e Hiporitrónica en cada uno) sin replica, (previa verificación de la normalidad, Test de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de los datos, Test de Bartlett's), para demostrar estadísticamente, si hay diferencias significativas en los datos de la calidad física y química del agua, tanto dentro como entre cada zona y los ríos considerados en el trabajo. En este sentido se debería esperar una mayor variación de los componentes en estudio dentro de un mismo río que entre ellos (Welcomme, 1992).

Consecutivamente, el análisis del componente biológico se efectuó a nivel cuali y cuantitativo. Para llevar a cabo esto, se realizó una caracterización general de los insectos encontrados en el estudio mediante la construcción de curvas de abundancia-dominancia en relación con cada zona y fecha de muestreo por río. Posteriormente, se aplicó un análisis de regresión simple y a su vez se realizó una búsqueda del mejor ajuste de cada curva (STATISTICA, Edition 1997, Copyright 1984-1997 by statsoft, Inc. USA) de cada género de insecto, relacionada con cada variable física y química considerada para este estudio, seleccionando de todos los resultados sólo las regresiones que obtuvieran un valor de p significativo. Después se aplicó logaritmo

natural a los dos ejes de cada curva finalmente seleccionada del punto anterior, ya que en todos los casos el mejor ajuste respondió a la forma ln, esto se realizó con el objetivo de generar nuevas curvas que presentasen regresiones lineales, de manera de tratar de explicar y poder relacionar la presencia y abundancia de insectos con alguna característica física o química del agua y sugerir insectos bioindicadores para estos sistemas.

Finalmente se realizó un análisis multivariado, Análisis de Correspondencia Canónica (A. C. C.), (STATISTICA, Edition 1997, Copyright 1984-1997 by statsoft, Inc. USA), con la idea de incluir todos los insectos encontrados en este trabajo, incluso los que no fueron utilizados en las regresiones por contar con un bajo número muestral (menor a 6) y las variables físicas y químicas, que en este tipo de prueba generan gradientes ambientales donde los insectos se mueven con ciertas variables, dependiendo de que tan fuerte o no se corresponden con ellas y de este modo poder evaluar la posibilidad de existencia de otros insectos bioindicadores que por escaso muestreo quedan fuera de trabajo y que resultarían interesantes como aproximación a futuros estudios.

## **3. Resultados**

### **Físicos y Químicos**

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se encontró que las curvas descriptivas generadas por valores físicos y químicos de las zonas de estudio (Tabla 4 a 7 y Figuras 9 a 28), muestran que estos valores en general son más elevados en las zonas Hiporitrónicas de los ríos en comparación a sus zonas Epiritrónicas.

En relación con los metales, sólo los valores de Aluminio se encuentran sobrepasados tanto en las zonas Epiritrónicas como Hiporitrónicas del río Aconcagua (Figuras 18 y 28), donde sólo algunas estaciones de las zonas Epiritrónicas ven sobrepasados los valores de este metal en relación con lo señalado en la norma chilena de riego (NCh 1333) para este elemento. Por el contrario, en las estaciones Hiporitrónicas de este mismo río, en la mayoría de ellas se supera los valores de Aluminio

permitidos. En esta misma zona es posible observar que para el mes de octubre (APO) se sobrepasa la norma chilena para el Cobre, igualmente para el mes de marzo para las estaciones Hiporitrónicas de este mismo río como para las del río Elqui (EPM y APM), los valores de este mineral se encuentran al límite de la norma (Figura 28). De igual manera, se puede observar que en la estación Hiporitrónica del río Elqui para el mes de octubre (EPO) se sobrepasa la norma chilena para Arsénico (Figura 28). Por lo que los resultados señalados anteriormente, permiten observar diferencias en la calidad física y química de las aguas en las zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas de los ríos estudiados.

El posterior análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías (fecha y lugar) aplicado a los valores físicos y químicos ya mencionados (Tabla 3 y Figuras 4 a 8), mostró que todos los valores de pH en los lugares de muestreo fueron diferentes significativamente, no así en las fechas. Los valores de Conductividad por el contrario mostraron ser diferentes tanto para los lugares como para las fechas de muestreo. En el caso de los valores de N total, se pudo encontrar que estos eran distintos para los lugares analizados, pero las fechas de muestreo no señalaron diferencias estadísticamente significativas. Lo mismo ocurre con los valores de Aluminio. Para el Arsénico en cambio, no se constató diferencias significativas ni en lugares y ni fechas de muestreo. Finalmente en el caso del Cobre, se vuelve a dar el patrón de presentar diferencias significativas en los lugares de muestreo, pero no en las fechas.

## **Biota**

La composición taxonómica de los insectos acuáticos, se describió a través de una tabla con los géneros encontrados por estaciones de muestreo (Tabla 8). De aquí se desprende que las estaciones que presentaron mayores abundancias fueron las siguientes: Elqui Epiritrón Octubre (ERO), Elqui Epiritrón Enero (ERE), Elqui Epiritrón Marzo (ERM), Limarí Epiritrón Octubre (LRO), Limarí Hiporitrón Octubre (LPO), Limarí Epiritrón Enero (LRE). En este mismo sentido, las estaciones que presentaron una mayor diversidad de insectos fueron las siguientes: Elqui Epiritrón Septiembre (ERS), Elqui Epiritrón Marzo (ERM), Limarí Epiritrón Septiembre (LRS), Limarí Epiritrón

Enero (LRE), Limarí Hiporitrón Marzo (LPM) y Aconcagua Hiporitrón Marzo (APM), siendo sólo estas 3 últimas estaciones las únicas coincidentes con una alta abundancia de insectos. Consecutivamente, también se obtuvo que las estaciones que presentaron una menor abundancia de insectos fueron las siguientes: Elqui Hiporitrón Octubre (EPO), Elqui Hiporitrón Enero (EPE), Limarí Hiporitrón Enero (LPE) y Aconcagua Hiporitrón Enero (APE). En este mismo orden las estaciones que presentaron una baja en la diversidad de insectos fueron: Elqui Hiporitrón Octubre (EPO), Elqui Hiporitrón Enero (EPE), Limarí Hiporitrón Septiembre (LPS), Limarí Hiporitrón Enero (LPE), Aconcagua Epiritrón Septiembre (ARS), Aconcagua Epiritrón Enero (ARE), Aconcagua Epiritrón Marzo (ARM), Aconcagua Hiporitrón Septiembre (APS) y Aconcagua Hiporitrón Enero (APE).

## **Abundancia-Dominancia**

Las curvas de abundancia-dominancia de los insectos utilizados en este trabajo (Figuras 29 a 34) se realizaron sólo con el objetivo de caracterizar las comunidades de ellos y los resultados muestran que los géneros que se encontraron mayoritariamente presentes en las estaciones de muestreo fueron los siguientes: del Orden Ephemeroptera los taxa *Deceptiviosa ardua* y *Meridialaris sp.*, del Orden Díptera el taxon *Simulium sp.*, de los Trichópteros la especie *Smicridea chilensis*, del Orden Coleoptera el taxon *Elmis sp.* y finalmente del Orden Megaloptera el taxon *Protochauliodes sp.* Por otro lado, los taxa con mayores abundancias observadas por medio de estas curvas fueron los siguientes: del Orden Ephemeroptera los taxa *Deceptiviosa ardua*, *Deceptiviosa torrens*, *Meridialaris sp.* y *Penaphlebia sp.*; del Orden Trichoptera los taxa *Mastigoptila brevicornuta*, *Smicridea chilensis* y *Smicridea sp.* y finalmente del Orden Coleoptera el taxon *Elmis sp.*

También, se pudo observar que la mayoría de los taxa que se utilizaron para este trabajo presentaban una muy baja representatividad en las estaciones de muestreo, llegando la mayoría de ellas a estar 1 a 2 veces en el total de las zonas analizadas. De la misma forma los taxa con menores abundancias encontradas son las siguientes: del Orden Díptera los taxa *Atherix sp.*, *Edwardsina sp.*,

*Heptagia annulipes*. y *Podonomus albinerve*; del Orden Odonata los taxa *Lestes undulatus* y *Phenes sp.*; del Orden Plecoptera los taxa *Aubertoperla sp* y *Kempnyella genualis* y del Orden Ephemeroptera la especie *Penaphlebia chilensis*.

### **Especies Indicadoras**

De acuerdo con los resultados anteriores fue posible llegar a la selección de algunos géneros para relacionar sus abundancias con las características físicas y químicas mencionadas. Los resultados obtenidos determinaron que tanto las abundancias de los taxa *Elmis sp.* y *Simulium sp* presentaron una correlación marginalmente significativa con el pH (Figura 35 y 36), ya que el valor de p según el ajuste a la mejor curva encontrados para cada una de los taxa anteriores, corresponden al valor de 0,077 y 0,067 respectivamente, lo que permite inferir que estas especies indicarían cierta calidad del agua en términos del pH, siendo posible observarlas presentes sólo en aguas que tengan valores de pH no superiores a 8,2, ya que sobre este valor tienden a disminuir su abundancia. En el caso de la Conductividad la abundancia del taxon *Meridialaris sp.* y de la especie *Smicridea chilensis* presentaron una correlación marginalmente significativa de  $p=0,063$  y  $p=0,062$ , respectivamente, donde se observa que en ambos casos su abundancia empieza a decaer alrededor de los  $600 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  a  $25^\circ$  (Figura 37 y 39). El Arsénico se correlacionó con un p significativo de 0,023 sólo con la abundancia de la especie *Meridialaris sp.*, en que la abundancia de esta especie se mantiene relativamente constante, hasta llegar a un valor cercano de

0,040 mg/L (Figura 38). Finalmente, fue posible encontrar una correlación marginalmente significativa de la abundancia de la especie *Smicridea chilensis* y la del taxón *Meridialaris sp* con el N total, con valores de  $p=0,077$  y  $p=0,05$ , respectivamente (Figura 40 y 41); en el caso de esta variable, la abundancia de estos insectos empieza a decaer paulatinamente a partir de valores que se encuentran alrededor 270 mg/L.

### **Análisis de Correspondencia Canónica**

El A.C.C. (Figura 42), muestra claramente cómo algunos géneros de insectos se mueven con las gradientes ambientales generados con las variables físicas y químicas utilizadas en este trabajo y explicando en total un 55% de la varianza. En este caso, el taxón *Ortocladius sp.* se corresponde de manera bastante fuerte con el arsénico y los taxa *Hemerodromia sp.* y *Rheotanytarsus sp.* y la especie *Mastigoptila brevicornuta* lo hacen con el pH y Conductividad. Otra variable que también causa una fuerte correspondencia de insectos con ella, es el Aluminio, en que dos taxa (*Aeshna sp.* y *Hemerodromia sp.*) y tres especies (*Andesiops peruvianus*, *Lestes undulatus* y *Penaphlebia flavidula*) se encuentran respondiendo al aumento de la concentración de aluminio.

**Tabla 3.** Valores obtenidos del Análisis de Varianza (ANDEVA), para los valores Físicos y Químicos, de los tres ríos.

PH	Lugar	F = 20,4447	p < 0.001
	Fecha	F = 0,69405	p > 0.1
Conductividad	Lugar	F = 92,776	p < 0.001
	Fecha	F = 4,06889	p < 0.01
N total	Lugar	F = 4,936420	p < 0.01
	Fecha	F = 2,685461	p > 0.1
Aluminio	Lugar	F = 4,533630	p < 0.01
	Fecha	F = 0,029646	p > 0.1
Arsénico	Lugar	F = 2,2998	p > 0.1
	Fecha	F = 0,649454	p > 0.1
Cobre	Lugar	F = 10,93204	p < 0.001
	Fecha	F = 2,02260	p > 0.1

**Tabla 4.** Valores promedios de las variables físicas y químicas por zonas. Septiembre de 1993.

<i>Estaciones</i>	<i>PH</i>	<i>Conduct.</i> <i>μS/cm<sup>2</sup></i> <i>25°C</i>	<i>Cu</i> <i>mg/L</i>	<i>Al</i> <i>mg/L</i>	<i>As</i> <i>mg/L</i>	<i>N. total</i> <i>μg/L</i>
<i>Tamaño Muestreal</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>
<i>Cochiguas</i> <i>(1152 m.s.n.m)</i>	7.3	185.0	0.002	1.28	0.032	327.1
<i>Elqui en Almendral</i> <i>(430 m.s.n.m)</i>	8.0	501.0	0.158	6.58	0.03	401.6
<i>Palomo en Vertedero</i> <i>(2100 m.s.n.m)</i>	7.6	175.0	0	0.53	0.001	303.3
<i>Limarí en Panamericana</i> <i>(120 m.s.n.m)</i>	8.2	1334.0	0.003	0.06	0	388.1
<i>Juncal en Juncal</i> <i>(1800 m.s.n.m)</i>	8.1	563.0	0.039	47.72	0.041	293.2
<i>Aconcagua en</i> <i>Panamericana</i> <i>(180 m.s.n.m)</i>	8.8	513.0	0.011	5.34	0.004	298.3

**Tabla 5.** Valores promedios de las variables físicas y químicas por zonas. Octubre de 1993.

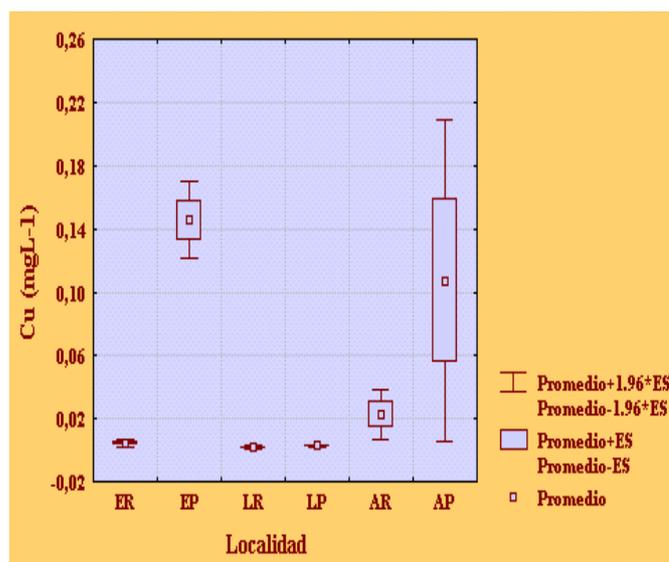
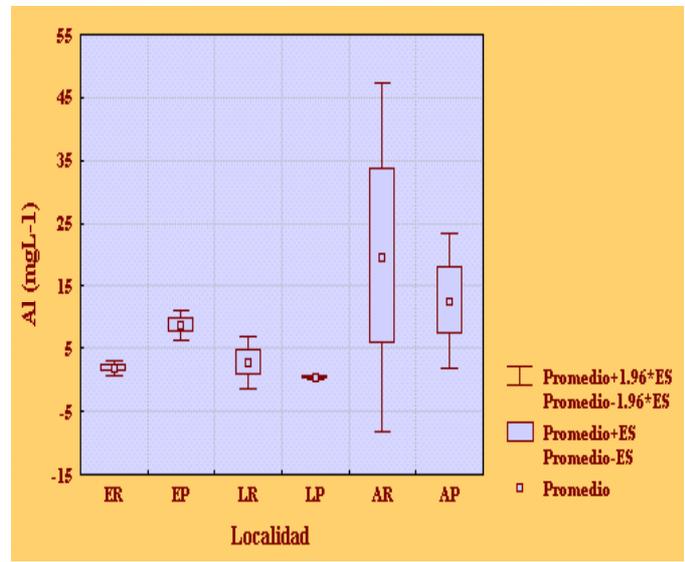
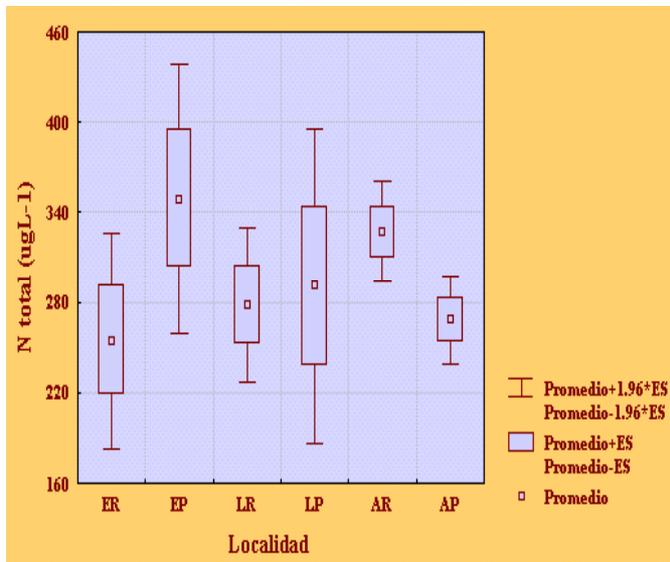
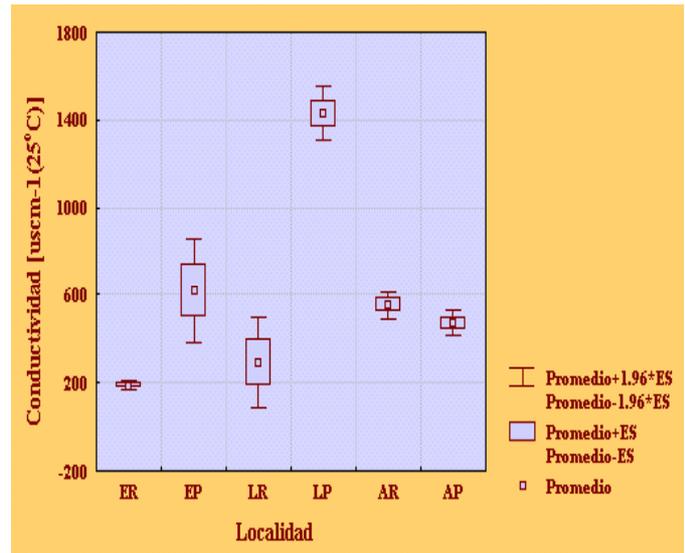
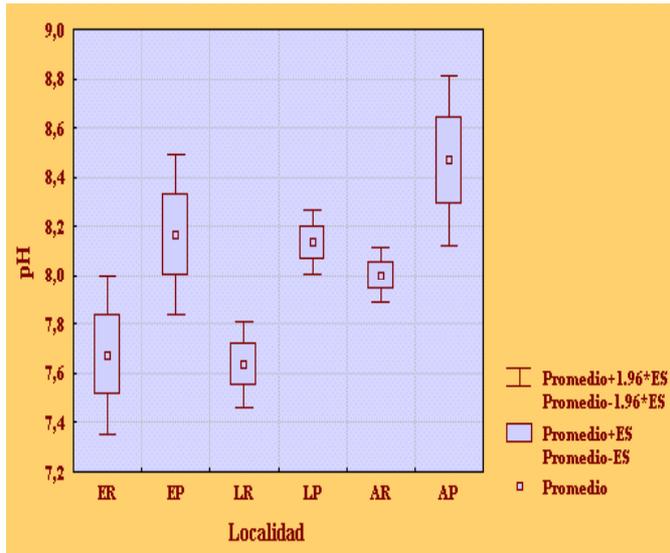
<i>Estaciones</i>	<i>PH</i>	<i>Conduct.</i> <i>μS/cm<sup>2</sup></i> <i>25°C</i>	<i>Cu</i> <i>mg/L</i>	<i>Al</i> <i>mg/L</i>	<i>As</i> <i>Mg/L</i>	<i>N. total</i> <i>μg/L</i>
<i>Tamaño Muestreal</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>
<i>Cochiguas</i> <i>(1152 m.s.n.m)</i>	8.1	161.0	0.005	2.46	0.056	155.0
<i>Elqui en Almendral</i> <i>(430 m.s.n.m)</i>	8.5	496.0	0.158	8.90	0.32	257.0
<i>Palomo en Vertedero</i> <i>(2100 m.s.n.m)</i>	7.8	198.0	0.002	7.08	0.02	225.4
<i>Limarí en Panamericana</i> <i>(120 m.s.n.m)</i>	8.2	1406.0	0.002	0.74	0.001	205.0
<i>Juncal en Juncal</i> <i>(1800 m.s.n.m)</i>	7.9	382.0	0.127	144.80	0.10	315.1
<i>Aconcagua en</i> <i>Panamericana</i> <i>(180 m.s.n.m)</i>	8.1	380.0	1.043	118.00	0.09	250.1

**Tabla 6.** Valores promedios de las variables físicas y químicas por zonas. Enero de 1994.

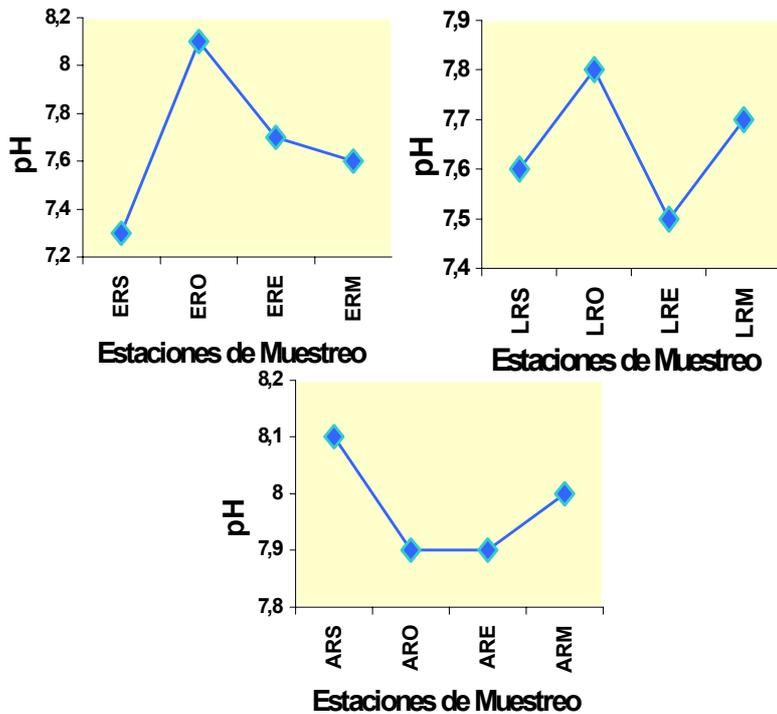
<i>Estaciones</i>	<i>pH</i>	<i>Conduct.</i> <i>μS/cm<sup>2</sup></i> <i>25°C</i>	<i>Cu</i> <i>mg/L</i>	<i>Al</i> <i>mg/L</i>	<i>As</i> <i>mg/L</i>	<i>N. total</i> <i>μg/L</i> <i>n= 3</i>
<i>Tamaño Muestreal</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	
<i>Cochiguas</i> <i>(1152 m.s.n.m)</i>	7.6	196.0	0.002	0.71	0.010	254.8
<i>Elqui en Almendral</i> <i>(430 m.s.n.m)</i>	8.2	719.3	0.197	11.36	0.040	319.1
<i>Palomo en Vertedero</i> <i>(2100 m.s.n.m)</i>	7.7	392.3	0.06	1.20	0.009	278
<i>Limarí en Panamericana</i> <i>(120 m.s.n.m)</i>	8.1	1419.6	0.011	4.67	0.03	291
<i>Juncal en Juncal</i> <i>(1800 m.s.n.m)</i>	8.0	494.9	0.016	2.03	0.008	349.1
<i>Aconcagua en Panamericana</i> <i>(180 m.s.n.m)</i>	8.4	418.2	0.19	23.33	0.022	256.4

**Tabla 7.** Valores promedios de las variables físicas y químicas por zonas. Marzo de 1994.

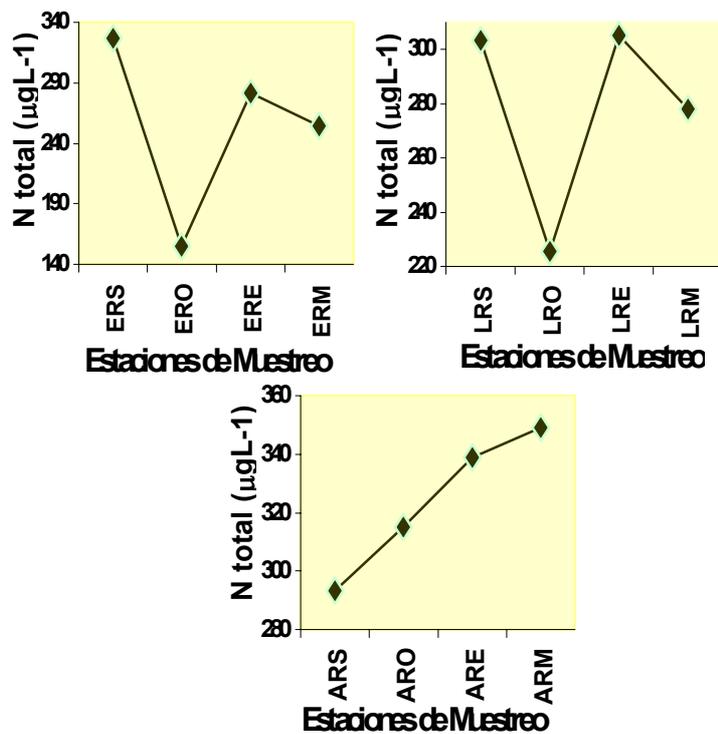
<i>Estaciones</i>	<i>pH</i>	<i>Conduct.</i> <i>μS/cm<sup>2</sup></i> <i>25°C</i>	<i>Cu</i> <i>mg/L</i>	<i>Al</i> <i>mg/L</i>	<i>As</i> <i>mg/L</i>	<i>N. total</i> <i>μg/L</i> <i>n= 3</i>
<i>Tamaño Muestreal</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3<sup>o</sup></i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>	<i>n= 3</i>
<i>Cochiguas</i> <i>(1152 m.s.n.m)</i>	7.7	211.0	0.007	3.44	0.041	281.3
<i>Elqui en Almendral</i> <i>(430 m.s.n.m)</i>	8.0	861.0	0.121	10.60	0.18	388.1
<i>Palomo en Vertedero</i> <i>(2100 m.s.n.m)</i>	7.5	500.0	0.002	0.65	0.002	305.3
<i>Limarí en Panamericana</i> <i>(120 m.s.n.m)</i>	8.0	1549.0	0.003	0.43	0.001	279.6
<i>Juncal en Juncal</i> <i>(1800 m.s.n.m)</i>	7.9	599.7	0.013	9.37	0.009	338.9
<i>Aconcagua en Panamericana</i> <i>(180 m.s.n.m)</i>	8.2	482.4	0.12	9.00	0.012	250.8



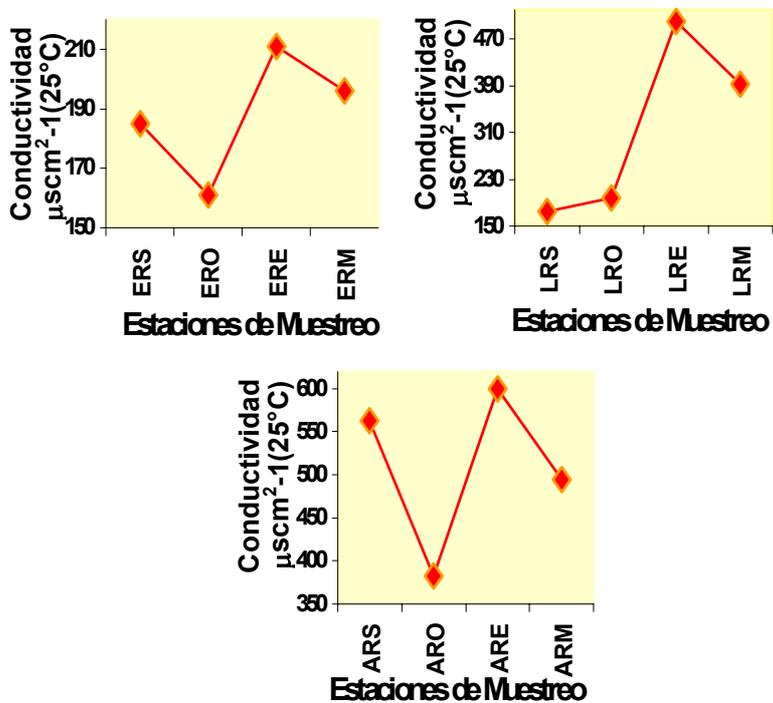
Figuras 4, 5, 6, 7 y 8. ANDEVAS de las Variables Físicas y Químicas Estadísticamente Significativas, según resultados de Tabla 7.



Figuras 9, 10 y 11. Distribución de los valores de pH en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.



Figuras 15, 16 y 17. Distribución de los Valores de Nitrógeno total en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.



Figuras 12, 13 y 14. Distribución de los valores de Conductividad en las Estaciones Epiritrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.

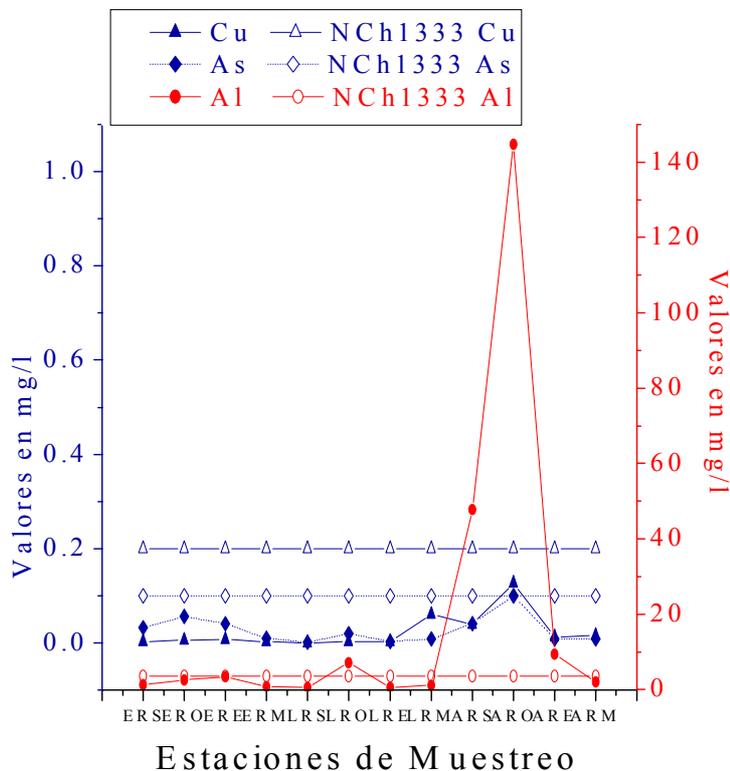
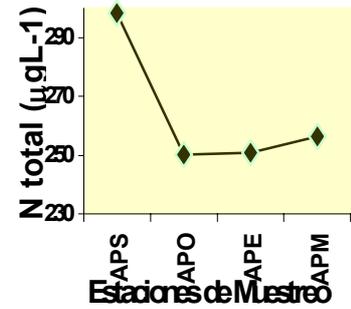
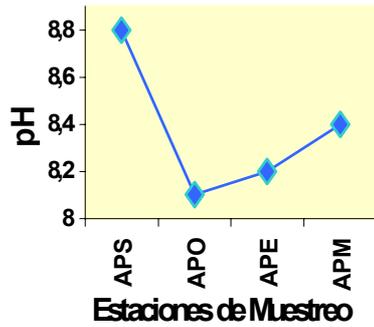
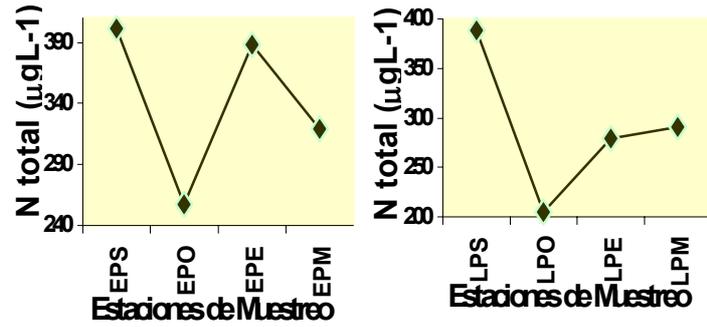
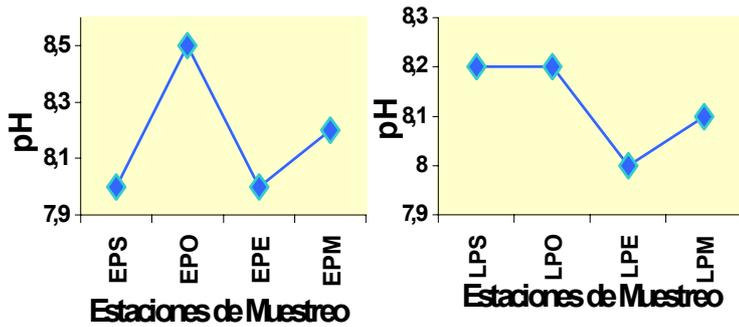
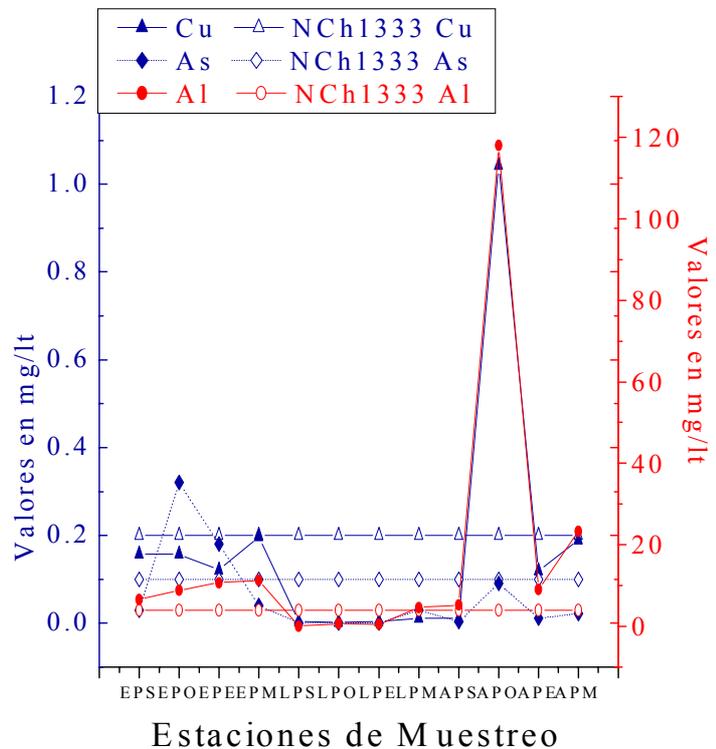
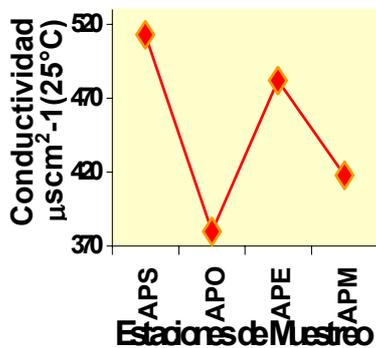
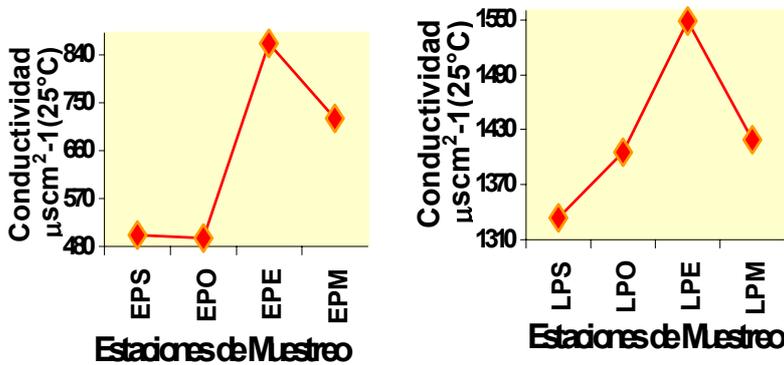


Figura 18. Valores de Cu, As y Al, y correspondiente NCH 1333, para las Estaciones Epiritrónicas.



Figuras 19, 20 y 21. Distribución de los valores de pH en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.

Figuras 25, 26 y 27. Distribución de los valores de Nitrógeno total en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.



Figuras 22, 23 y 24. Distribución de los valores de Conductividad en las Estaciones Hiporitrónicas de los Ríos Elqui, Limarí y Aconcagua, respectivamente.

Figura 28. Valores de Cu, As y Al, y correspondiente NCh 1333, para las Estaciones Hiporitrónicas.

**Tabla 8.** Composición Taxonómica de la Entomofauna Acuática encontrada en los 3 ríos analizados, por zona y fecha de muestreo.

INSECTOS/RÍOS	RIO ELQUI				RIO LIMARI				RIO ACONCAGUA							
	Epiritrón Septiembre	Epiritrón Octubre	Epiritrón Enero	Epiritrón Marzo	Hiporitrón Septiembre	Hiporitrón Octubre	Hiporitrón Enero	Hiporitrón Marzo	Epiritrón Septiembre	Epiritrón Octubre	Epiritrón Enero	Epiritrón Marzo	Hiporitrón Septiembre	Hiporitrón Octubre	Hiporitrón Enero	Hiporitrón Marzo
<i>Aeshna sp.</i>	X							X								
<i>Lestes undulatus</i>	X							X								
<i>Phenes sp.</i>	X							X								
<i>Protochauliodes sp.</i>	X	X	X					X	X							
<i>Meridialaris diguillina</i>	X	X	X					X								
<i>Meridialaris sp.</i>	X		X	X				X	X			X	X	X		X
<i>Penaphlebia chilensis</i>	X															
<i>Penaphlebia flabidula</i>	X							X								
<i>Penaphlebia sp.</i>			X					X								X
<i>Massartellopsis irarrazavali</i>				X									X			
<i>Andesiops peruvianus</i>	X							X								
<i>Deceptiviosa ardua</i>				X				X	X				X	X		X
<i>Deceptiviosa torrens</i>	X			X												
<i>Aubertoperla sp.</i>																X
<i>Kempnyella genualis</i>								X								
<i>Smicridea chilensis</i>	X	X	X		X	X		X	X	X		X	X			X
<i>Smicridea sp.</i>				X												X
<i>Mastigoptila brevicornuta</i>		X								X	X		X			
<i>Magellomyia sp.</i>								X				X				
<i>Rheochorema sp.</i>	X							X								
<i>Elmis sp.</i>		X	X	X				X	X	X	X				X	X
<i>Atherix sp.</i>								X								X
<i>Edwarsina sp.</i>								X				X	X			
<i>Hemerodromia sp.</i>										X	X				X	
<i>Limaya sp.</i>		X				X		X	X							
<i>Ortocladius sp.</i>					X	X										
<i>Pseudochironomus sp.</i>															X	
<i>Rheotanytarsus sp.</i>									X	X						
<i>Heptagia annulipes</i>								X								
<i>Podonomus albinerve</i>											X					
<i>Simulium sp.</i>				X				X	X	X	X	X				

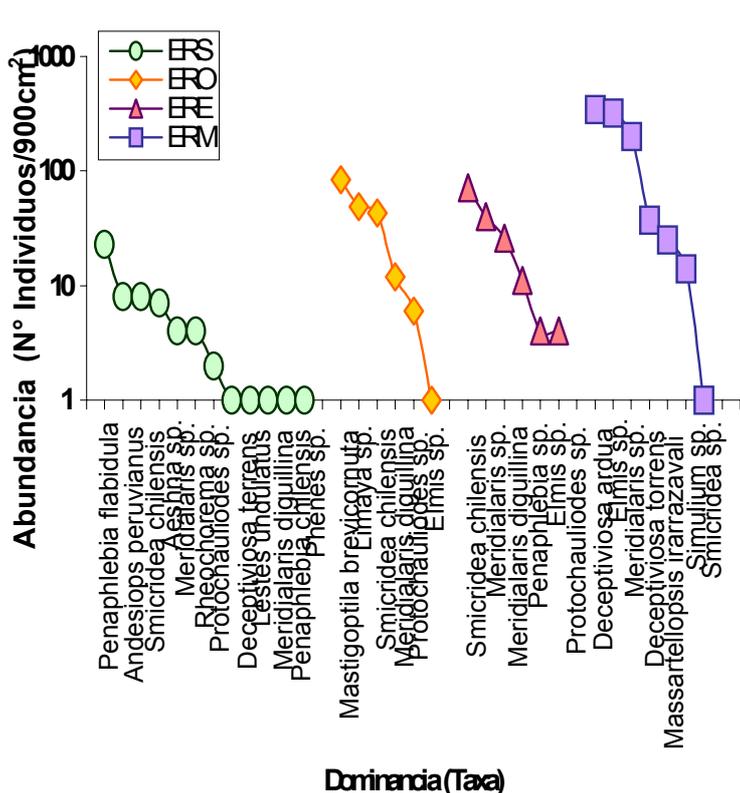


Figura 29. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritronica del Río Elqui.

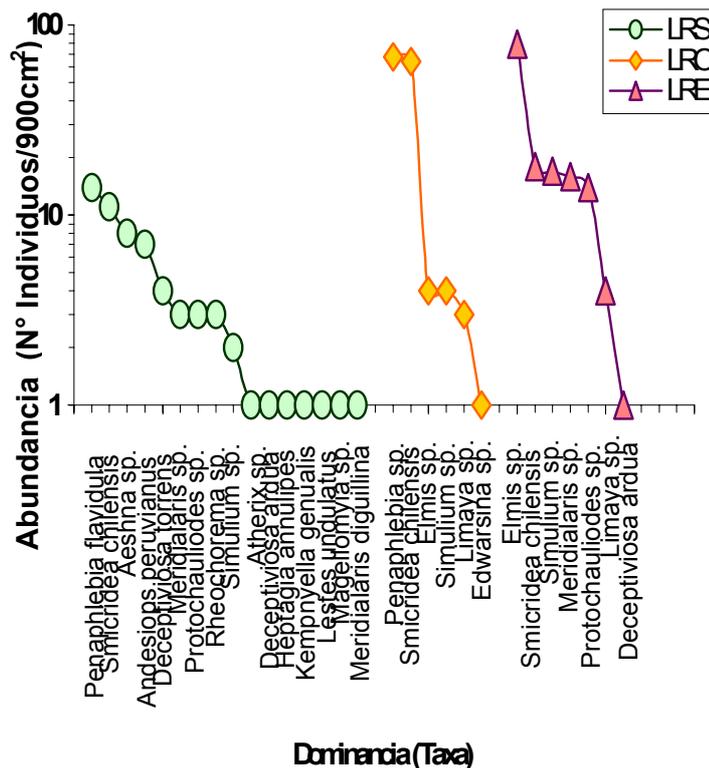


Figura.31. Curva Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritronica del Río Limari.

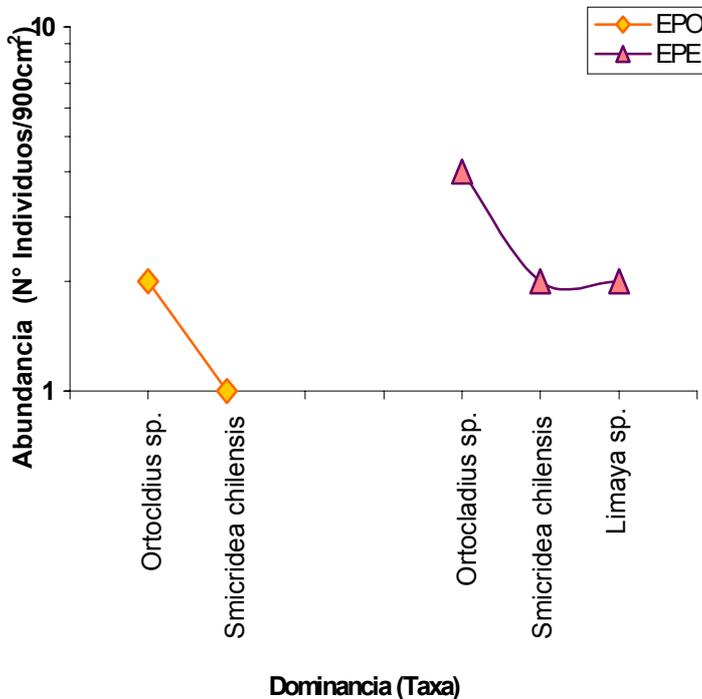


Figura 30. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitronica del Río Elqui.

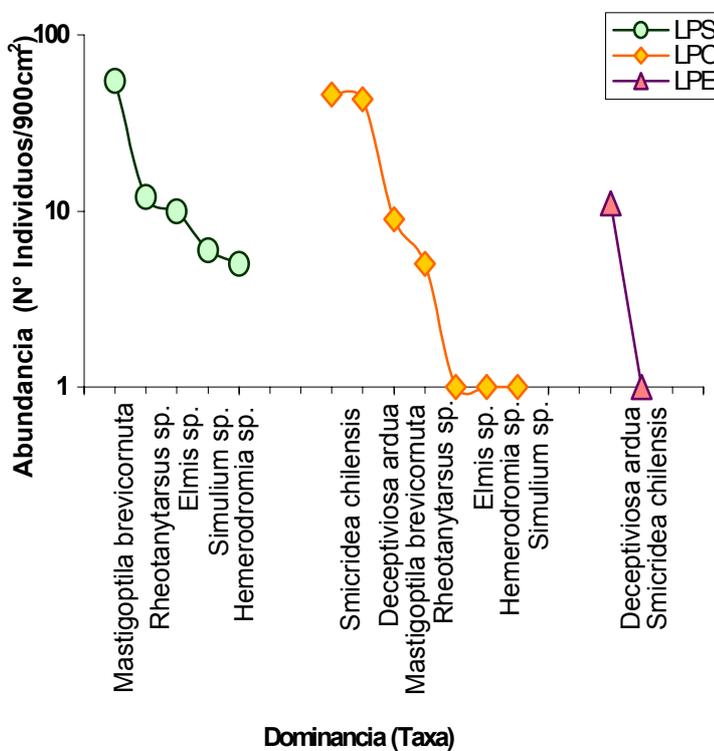


Figura 32. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitronica del Río Limari.

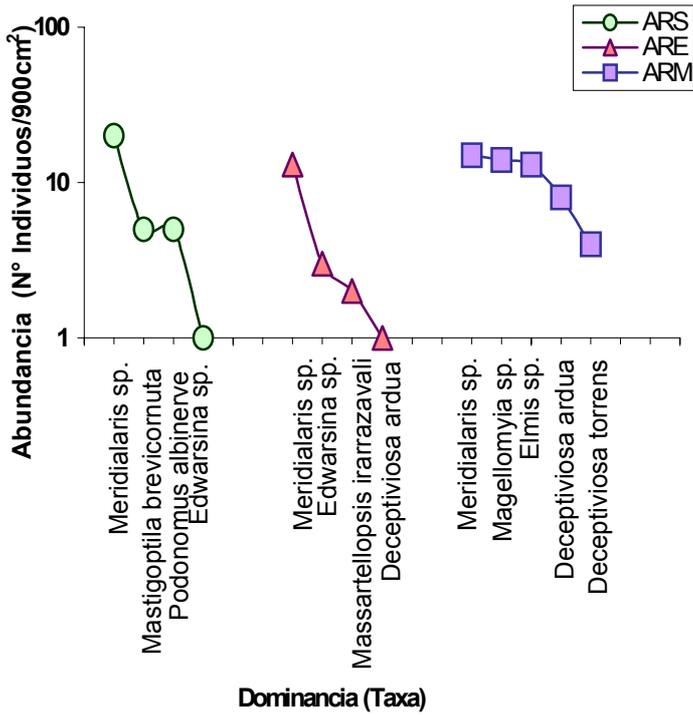


Figura 33. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Epiritrónica del Río Aconcagua.

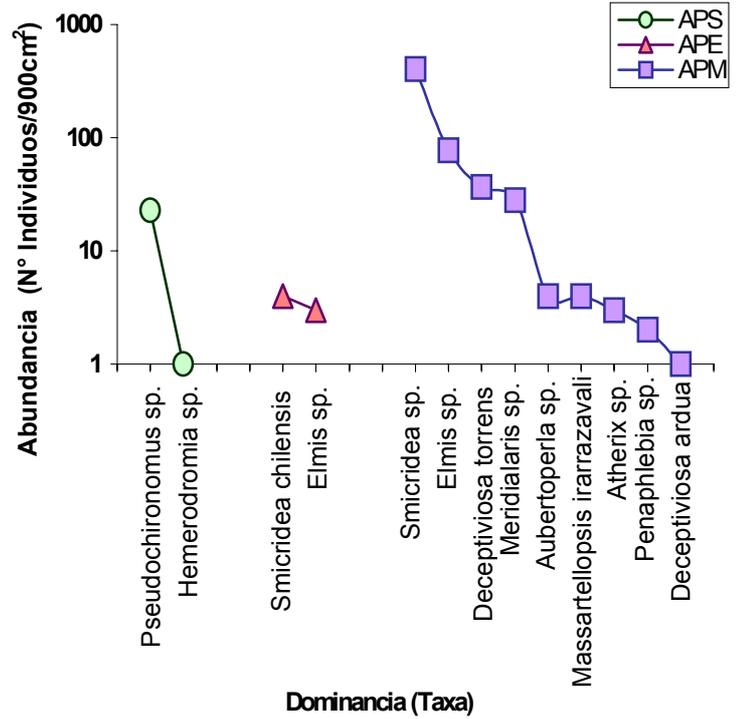


Figura 34. Curva de Abundancia-Dominancia para la Zona Hiporitrónica del Río Aconcagua.

### BIOINDICADORES

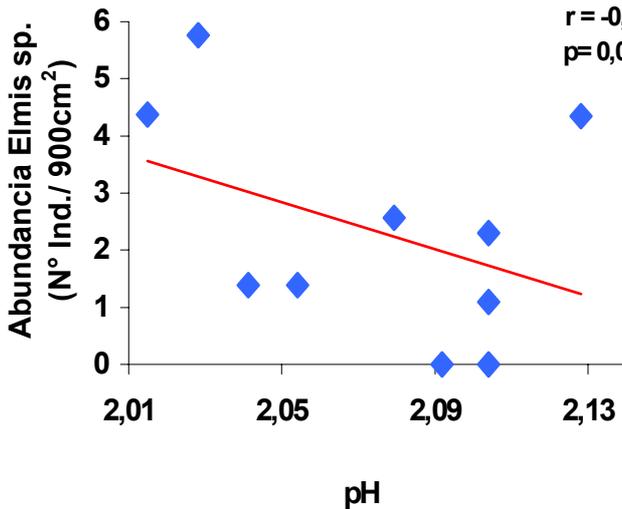


Figura 35. Regresión de Abundancia *Elmis sp.* v/s pH.  
Modelo Regresión; Forma Lineal:  $y = a+bx$ .

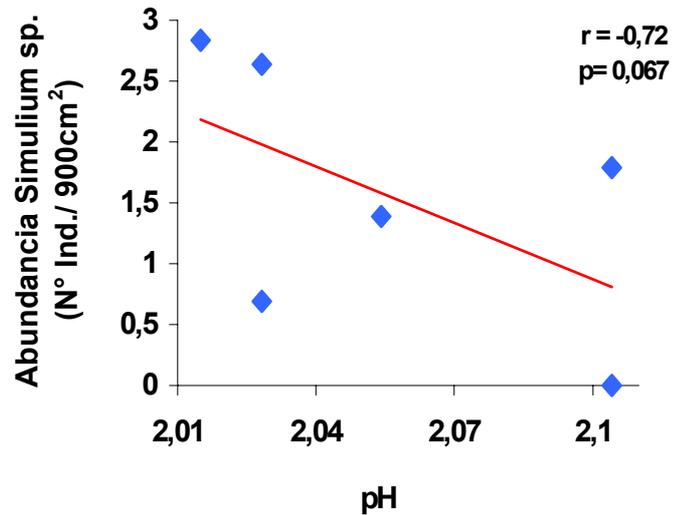


Figura 36. Regresión de Abundancia *Simulium sp.* v/s pH.  
Modelo Regresión; Forma Lineal:  $y = a+bx$ .

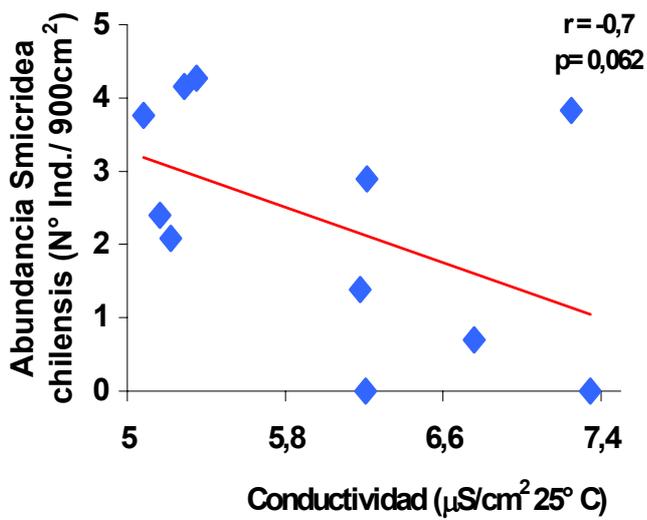


Figura 37. Regresión de Abundancia *Smicridea chilensis* v/s Conductividad.  
Modelo Regresión; Forma Lineal:  $y = a+bx$ .

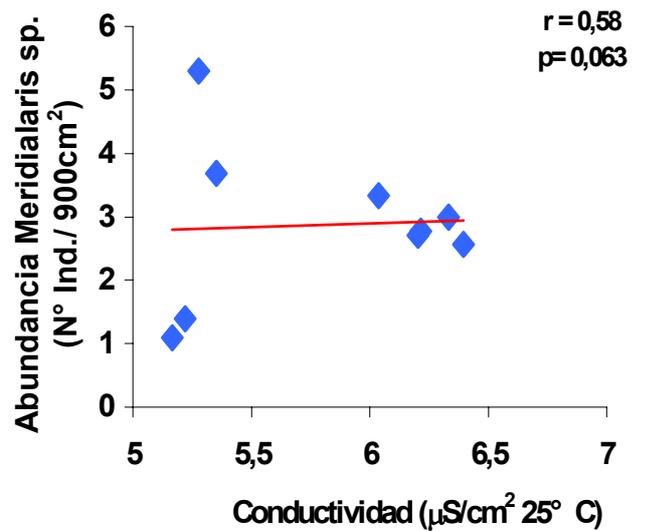


Figura 39. Regresión de Abundancia *Meridialaris sp.* v/s Conductividad.  
Modelo Regresión; Forma Lineal:  $y = a+bx$ .

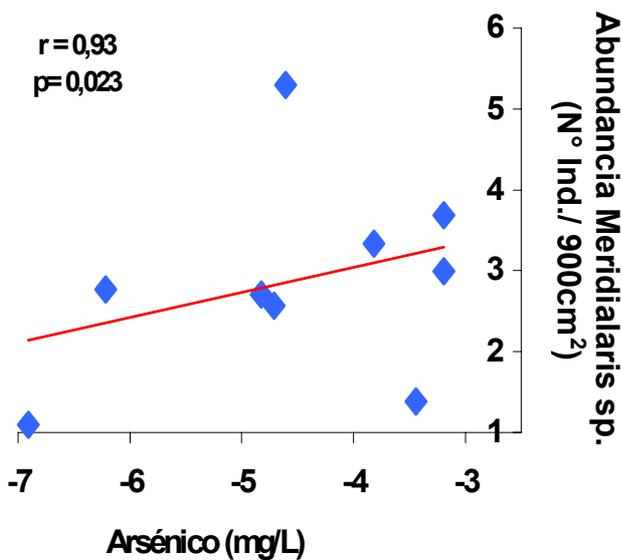


Figura 38. Regresión de Abundancia *Meridialaris sp.* v/s Arsénico.  
Modelo Regresión; Forma Lineal:  $y = a+bx$ .

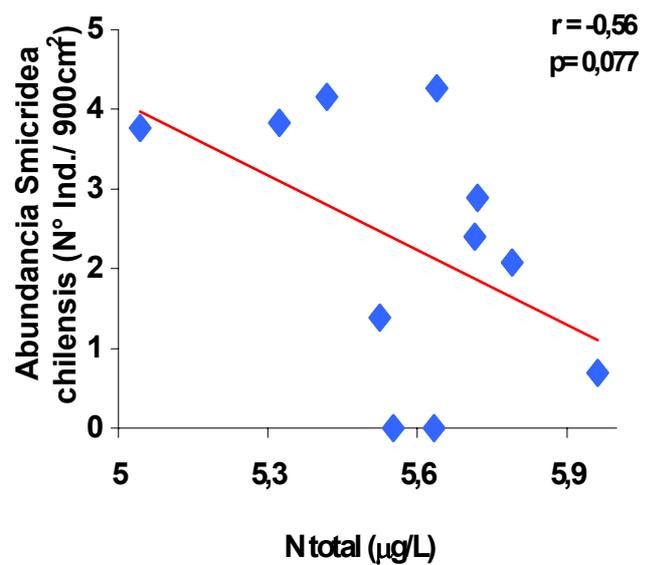


Figura 40. Regresión de Abundancia *Smicridea chilensis.* v/s N total.  
Modelo Regresión; Forma lineal:  $y = a+bx$

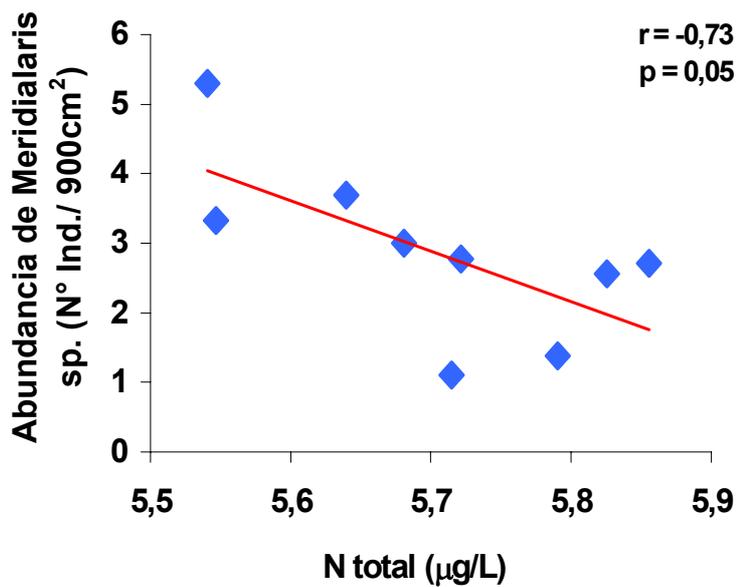


Figura 41. Regresión Abundancia *Meridialris* sp. v/s N total.  
Modelo Regresión: Forma lineal  $y = a + bx$ .

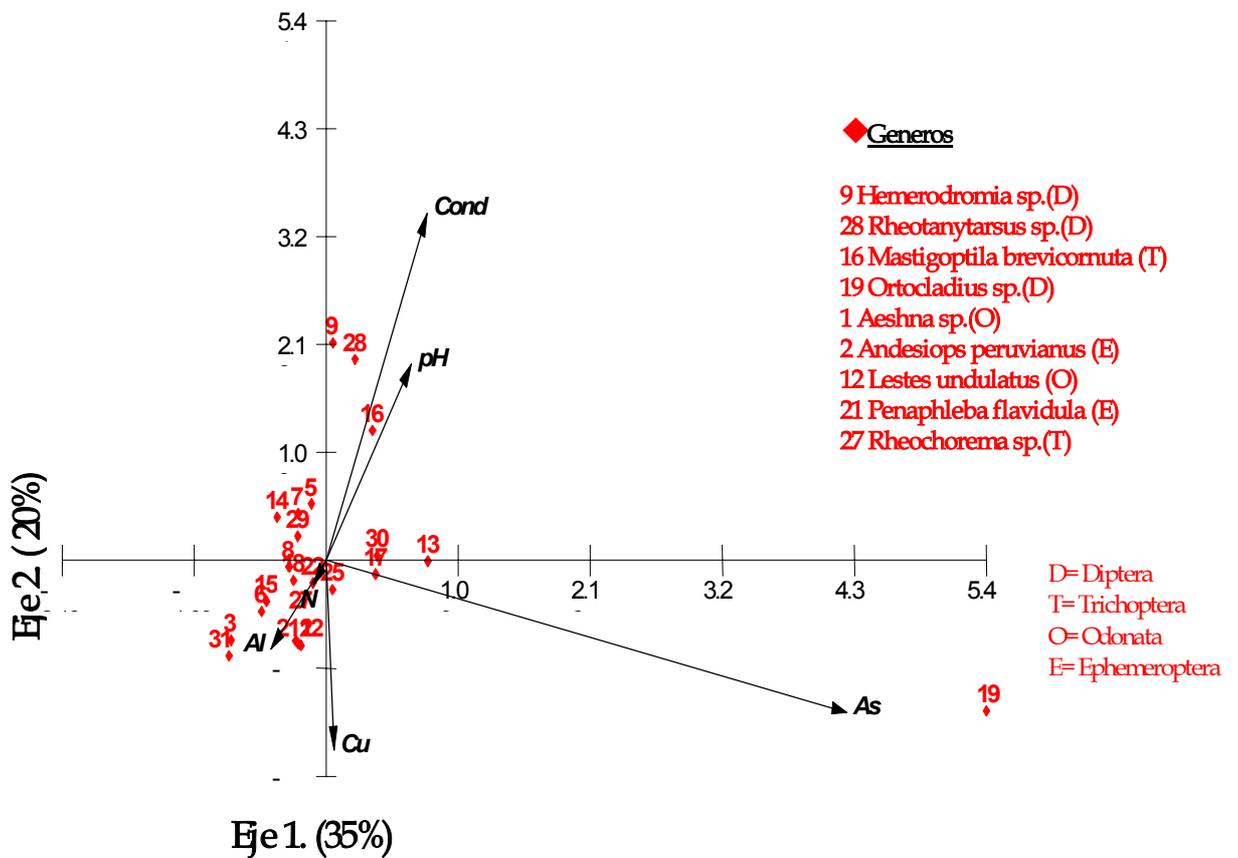


Figura 42. Análisis de Correspondencia Canónica de los Insectos v/s las Variables Físicas y Químicas utilizadas en el presente trabajo.

## 4. Discusión

### Aspectos Físicos y Químicos

Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas dentro y entre los tres ríos seleccionados, esto ocurre en forma independiente a las fechas de muestreo, que para la mayoría de los casos, excepto para la Conductividad, la cual presentó diferencias significativas en lugar y fecha de muestreo, no se encontró diferencia estadísticamente significativa en los ríos, que apoyasen la posibilidad de que las fechas estuviesen influyendo en la variabilidad de la calidad de las aguas.

De esto se puede esperar que las especies de insectos que habitan estas zonas deben estar respondiendo a las variaciones en la calidad del agua, ya sea en diversidad o abundancia. Puesto que se logró determinar a través del análisis de varianza que las diferencias significativas de los datos físicos y químicos considerados para este estudio se encuentran dados por los lugares de muestreo, no así por las fechas, esperándose que las respuestas de los insectos se deban a que detectan las diferencias en la calidad del agua y no por la estación en que son muestreados. Esto resulta importante ya que la calidad física y química podría eventualmente estar modificando la presencia y abundancia de los insectos en los diversos lugares de muestreo, los cuales corroborarían la zonación descrita para los ríos indistintamente de las fechas de muestreos, zonas a las cuales distintos insectos estarían adaptados. Si bien en este estudio las fechas no presentaron diferencias estadísticamente significativas, es importante recordar que este trabajo considera datos bibliográficos de un año, resultando innegable considerar que los ciclos hidrológicos deberían provocar una variación en la calidad de las aguas debido al aumento o disminución de sus caudales por efectos de lluvias o sequías que alteran principalmente los valores de las variables físicas y químicas. Además debemos sumar a lo anterior, los estadios del ciclo de vida de estos organismos, que dependiendo de la temporada o mejor dicho, la fecha de muestreo de las especies es posible encontrarlos formando parte del sustrato, en el agua o en el aire como adultos alados,

generándose una presencia diferencial de ellos en los muestreos, provocando inevitablemente un efecto en los resultados de este estudio.

En este estudio anual se logró demostrar que las variaciones que se dan en un mismo río debido a la división en zonas Epiritrónicas e Hiporitrónicas, que inherentemente presentan distintas características como caudal, temperatura, concentración de oxígeno, etc., generan una mayor diferencia en los parámetros físicos y químicos que componen en su totalidad la calidad de las aguas y que finalmente son percibidos por los organismos. Otra característica encontrada, es que en general las zonas Epiritrónicas en comparación a las zonas Hiporitrónicas de un mismo río, presentan una mejor calidad física y química de sus aguas, puesto que estas áreas son naturalmente diferentes y de alguna manera aquí se observa que la estructura de los ríos chilenos acentúa este efecto por medio del uso de las zonas Hiporitrónicas como vertederos de las actividades humanas. Esta área donde se desarrolla el establecimiento de centros poblados que extraen aguas de estos cauces para diferentes actividades, como las agrícolas, ganaderas e industriales, y acostumbran verter aguas no tratadas y aumentar de esta forma los contaminantes de diferente naturaleza, la materia orgánica y en general los electrolitos contenidos en las aguas, resultando finalmente que con el aumento de la temperatura y la disminución de las concentraciones de oxígeno, se genera un patrón con una mayor pérdida de la calidad de las aguas en las zonas bajas de estos ríos. En este contexto fue posible observar que el río Aconcagua en general presentó mayores valores en casi todas sus variables físicas y químicas en comparación a los otros ríos del estudio, atribuyéndose esto a la mayor intervención antrópica que presenta este río a lo largo de su cauce, pudiéndose encontrar modificaciones en la composición y abundancia de las especies de insectos tanto en su zona Epiritrónica como Hiporitrónica, debido al estrés que significa para ellos, el incremento o en algún caso la disminución de los valores de las variables físicas y químicas ya señaladas.

## **Aspecto Ambiental**

En este punto es importante discutir lo hallado en relación con los metales considerados en este estudio, en el cual se encontró que sólo el Aluminio sobrepasó la NCh 1333 para riego, en la zona Epiritrónica e Hiporitrónica del río Aconcagua y el Cobre sobrepasó sólo una vez esta norma y que en general este metal estuvo en valores límites de la misma norma en las estaciones Hiporitrónicas de este río. El Cobre si bien es un micronutriente y generalmente no resulta tóxico ya que empieza a bioacumularse en los tejidos, en experimentos de laboratorio se ha informado que para los vegetales concentraciones superiores a 0.1 mg/L (Vila, 1996) resulta tóxico, por otro lado el Aluminio se ha señalado como interferente del sistema nervioso de los organismos (Richard et al., 1997), generándose de esta forma la posibilidad de respuesta de los insectos frente a estos metales y que pueden ser uno de las causantes de la menor diversidad de insectos halladas en el río Aconcagua. Es importante mencionar que los niveles encontrados de estos metales en este río, puede estar generando a causa de la actividad minera (Minera Andina) que se desarrolla en la parte alta de esta zona y además de la mayor actividad antrópica que presenta este río y que en suma provoca el aumento de los niveles de estos metales en sus aguas y modifica en forma notoria la presencia de insectos encontrada en él.

## **Aspecto Biológico**

La mayor abundancia y diversidad de especies, fueron encontradas en las estaciones Epiritrónicas de todos los ríos, en especial del Elqui y Limarí, esto era posible de esperar, ya que el agua de las zonas de estos ríos presenta una mejor calidad, al compararlas con sus símiles Hiporitrónicas y con el río Aconcagua en general, debido a que las actividades antrópicas en estas últimas áreas son más intensas y sumado a la variación natural que presentan estas zonas de los ríos, las que afectarían la composición y abundancia de las especies que se encontró en este estudio. Al respecto Pinel-Alloul (1996) y Kemp & Spotila (1997), mencionan que aquellos sitios a lo largo de los ríos no alterados por la actividad antropo-cultural, presentarían una

abundante riqueza y diversidad taxonómica, principalmente de insectos de los Ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, sin embargo, en aquellos lugares que se ven afectados por la actividad antrópica presentarían una menor riqueza y diversidad taxonómica y generalmente la comunidad quedaría representada por algunos dípteros, coleópteros, gusanos oligoquetos y moluscos entre otros.

Por otro lado, en las caracterizaciones de las zonas Epiritrónicas se menciona que los insectos habitantes en su mayoría son estenotérmico-fríos, encontrándose constituidos especialmente por larvas de insectos acuáticos como Plecópteros, Ephemeropteros, Trichópteros y Dípteros (Anexo 1). Por el contrario en el Hiporitrón la fauna es euritérmica y es posible encontrar en especial especies de Dípteros de la familia de los Chironomidae, lo cual de alguna manera resulta coincidente con lo encontrado en este estudio, donde las más altas diversidades y abundancias en las zonas Epiritrónicas correspondían a las familias anteriormente mencionadas, y que a su vez las especies que presentaron menor abundancia en las zonas Hiporitrónicas correspondían a las Ordenes de Ephemeropteros, Plécopteros y Trichópteros debido a los requerimientos ambientales que ellas poseen, como lo son aguas frías, oxigenadas y turbulentas, lo cual se presenta en las zona Epiritrónicas de los ríos .

## **Parámetros Comunitarios**

Las curvas de Abundancia-Dominancia sólo se utilizaron para caracterizar la comunidad de insectos halladas en este trabajo, lo que muestran a través de sus gráficos resulta interesante en términos de la zonación ambiental de un río, donde es visiblemente notoria la mayor abundancia y diversidad de insectos en la zona Epiritrónica con relación a la zona Hiporitrónica de un mismo río, lo cual indica que la parte superior de los ríos cuenta con una mejor calidad del agua para el desarrollo de la biota en general y que las Ordenes de insectos halladas responden a lo publicado para aguas limpias o de mejor calidad física y química como lo son Ephemeras, Plecopteras y Trichopteras en general, dándonos la posibilidad de identificar insectos bioindicadores para ambas zonas de un

rió en función de esta variabilidad ambiental que presentan estas zonas y que generalmente se acentúan con la actividad antrópica, si bien estas son dos zonas diferentes propias de un río, lo destacable en este punto es cómo la fauna de insectos se ve modificada por efecto de la contaminación generada por las diferentes labores humanas y cómo esto puede ser utilizado para observar el reemplazo de la fauna acuática, cuando un sistema empieza a ser alterado en su calidad ambiental.

### **Insectos Bioindicadores**

Como todas las actividades desarrolladas en una cuenca al final se ven reflejadas a lo largo del cauce de los ríos, inevitablemente se altera y modifica de alguna forma la fauna existente en sus aguas, reflejándose esto claramente en este estudio, donde la presencia y abundancia de sólo tres taxa y una especie se pudieron correlacionar en forma marginalmente significativa o significativa con las variables medidas, si bien los rangos de las variables físicas y químicas obtenidas y a los cuales respondieron estos insectos son una medida aproximada, dan una idea de la calidad del agua del sistema y cómo responden de esta forma como bioindicadores.

En este sentido, se debe considerar que los organismos como entes biológicos integran las respuestas generadas frente a muchos cambios ambientales. Aunque este estudio es de carácter preliminar, y sólo considera muestreos estacionales de los insectos y evalúa sólo una parte de los cambios a los que se ven enfrentados, coincide con lo descrito por Rosenberg y Resh (1993) respecto a que la distribución de los insectos se presenta en forma de parches y que su permanencia en el sustrato depende del ciclo de vida de la especie o taxon que observemos y que se ve modificado por las actividades antrópicas. Resulta importante continuar este tipo de estudios, pero estos deberían de considerar un número mayor de estaciones y frecuencias de muestreos. Además de lo anterior, Williams (1981), también menciona como un factor importante en la distribución de las especies de insectos, a las habilidades de dispersión de los individuos y a las características de profundidad, ancho, turbidez, luz, detritos, turbulencia e inestabilidad

del sustrato, coincidiendo plenamente con Hellowell (1989), en los factores que controlan la distribución de los organismos en el agua dulce, aunque éstos no fueron considerados para llevar a cabo este estudio, pueden estar eventualmente afectando no sólo la distribución de los insectos sino que también su abundancia y diversidad, y que en estudios futuros deberían ser considerados. Al respecto Malqvist & Bronmark (1985), consideran que también la diversidad de alimento disponible para el macrozoobentos es de importancia y la cual es variable a lo largo del curso de agua y dependiente de factores físicos como la velocidad de la corriente. En este sentido, los ríos influidos notoriamente por actividades antrópicas, como es el caso del río Aconcagua podrían verse afectados en la calidad de los alimentos requeridos por los insectos. Además, el depósito de materia orgánica provoca cambios en la composición de las especies y en las abundancias de las mismas, favoreciendo el incremento de ciertos organismos (Meier 1994; Saiz et al 1999) y que corrobora lo encontrado en el río Aconcagua donde sus zonas Epiritrónica e Hiporitrónica se ven dominadas por grupos poco diversos pero abundantes de algunas taxa y especies de insectos resistentes o adaptados a estas condiciones.

Por otro lado, es también importante lo que señalan Bronmark *et al.* (1984), que consideran que el tipo de hábitat es de importancia para las comunidades bentónicas y describen que alternancias de áreas de rápidos y pozones, ofrecen diferentes espacios (microhábitats), donde los organismos pueden vivir, pudiendo modificarse de esta forma la presencia de los insectos en las zonas de los ríos. Independientemente de los factores ya mencionados y que afectan la distribución de los insectos bentónicos de agua dulce, Cummins & Klug (1979) mencionan que la estructura y composición comunitaria del macrozoobentos se encuentra estrechamente relacionada con las zonas ribereñas del río, en términos de ingreso de energía que determina cambios en el balance entre la heterotrofia y autotrofia en el continuo longitudinal del río y lo cual genera dominancia de grupos de macroinvertebrados con relación a las fuentes de energía disponible y con las respectivas adaptaciones morfo-conductuales de esta fauna en la adquisición del alimento. En

función de estas adaptaciones relacionadas con las fuentes de energía, es posible diferenciarlos taxonómicamente y de acuerdo con su distribución en el río.

Vannote *et al.* (1980), en su propuesta del concepto del "Río Continuo" mencionan que las comunidades macrozoobentónicas presentan patrones definidos de composición y organización a lo largo del continuo longitudinal del río, y que las zonas propuestas por Illies y Botosaneanu (1963) se encuentran estrechamente ligadas a la dinámica de transformación y transferencia de materia y energía enmarcada dentro de la hoya hidrográfica. Por lo tanto, las especies presentarían un reemplazo gradual desde la cabecera de los ríos hacia los tramos inferiores. Sin embargo, los sistemas fluviales presentan diferentes tipos de usos (antropo-culturales), generando diversos cambios en las condiciones físicas y químicas en las secciones perturbadas del río, modificando la secuencia de distribución de la comunidad de macroinvertebrados, que fue en resumen de alguna manera lo observado en los resultados del presente estudio.

Si bien en este estudio de carácter exploratorio y preliminar, se encontraron sólo tres taxa y una especie que se correlacionaron en forma marginalmente significativa o significativa con alguna variable física o química de todas las utilizadas en este trabajo, esto resulta un paso inicial para considerar estos insectos como bioindicadores. En estos organismos sus abundancias respondieron a rangos de valores determinados para cada una de las variables a que lograron correlacionarse, observándose que las variaciones en su abundancia se mueven dentro de los rangos tolerados para el desarrollo de cada especie y que fuera de ellos tienden a afectar su población. Posterior a esto, un paso esencial a seguir es el someter a estos insectos a pruebas de bioensayos que provean curvas de tolerancia a las variables que se lograron correlacionar en este estudio y determinar en forma concreta si realmente son bioindicadores para esa variable. Es importante mencionar que queda fuera de las posibilidades de este estudio el determinar con mayor exactitud si los insectos correspondidos con algunas variables en el A.C.C. son o no bioindicadores de ellas, ya que ellos al tener un

bajo número muestral lleva a inferir dos cosas, una: que un posterior análisis de validación (regresiones) en este trabajo resulta imposible por la información disponible, y dos: puede pensarse que al tener estos insectos abundancias tan bajas, pueden estar respondiendo como indicadores de alguna variable, ya que los valores de estas al encontrarse alterados pueden influir en la abundancia de los insectos e indicar que la calidad del agua ha empeorado; en todo caso ajeno a cualquiera de los dos puntos mencionados, es una tarea prioritaria llegar a determinar con mejores muestreos y calidad de información que tan efectivos bioindicadores pueden ser estos insectos que quedan fuera del análisis de este estudio. En todo caso, no se debe olvidar que este trabajo intenta evaluar la existencia de insectos bioindicadores en los sistemas analizados, y lo importante es que por medio de ellos finalmente se pueda describir una condición ambiental en términos de las variables físicas y químicas existente en los ríos estudiados y lograr extrapolar el grado de intervención en que se puede encontrar cada una de las zonas de un río por medio del estado en que se encuentra su fauna de insectos, donde la intensidad de la intervención a que pueden ser sometidos los sistemas, modifica la distribución natural de los insectos y los organismos en general dentro del cauce de un río y que es lo que señala el concepto del Río Continuo. Sin embargo independiente de lo que postula este concepto, este trabajo demostró que es posible en forma exploratoria, determinar especies indicadoras y que éstas deberían ser utilizadas como una herramienta más en la evaluación ambiental de los cuerpos lacustres, para generar un mejor uso y gestión de las aguas por parte de los organismos encargados de esta tarea, lo cual a corto plazo resultará esencial de incluir para realizar una evaluación más integral de este recurso cada vez más intervenido y escaso.

## Conclusiones

- (1) El análisis de las variables físicas y químicas de los ríos seleccionados para el presente trabajo, presentan diferencias significativas en los valores de estas variables en los lugares de muestreo.
- (2) La calidad física y química de las zonas estudiadas mostraron estar notoriamente más alteradas en las zonas Hiporitrónicas de los ríos, que en las zonas Epiritrónicas, siendo importante recalcar en este punto el grado de influencia que ejercen las actividades antrópicas en la primera zona mencionada y cómo esto puede modificar a la biota que en ella vive.
- (3) El río Aconcagua presentó en general una mayor pérdida de la calidad física y química del agua en comparación a los otros dos ríos analizados.
- (4) Coincidente con lo señalado en la literatura, los insectos acuáticos presentaron una mayor diversidad y abundancia en las zonas Epiritrónicas de los ríos en comparación a las zonas Hiporitrónicas de los mismos.
- (5) Los Ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera fueron más frecuentes en las zonas Epiritrónicas y coincide con lo señalado en la literatura. En cambio el Orden Diptera fue más abundante en las zonas Hiporitrónicas.
- (6) Se logró correlacionar en forma marginalmente significativa el taxon *Elmis sp.* con pH, el taxon *Simulium sp.* también con pH, la especie *Smicridea chilensis* con Conductividad y N total; y el taxon *Meridialaris sp.* con la Conductividad; y en forma significativa el taxon *Meridialaris sp.* con Arsénico y N total.
- (7) Finalmente se sugiere que los géneros señalados en el punto anterior podrían considerarse como bioindicadores de la calidad del agua, pero sólo de aquellos

parámetros físicos y químicos con los cuales se correlacionaron. En este caso estos insectos, más que ser considerados como indicadores de buena o mala calidad del agua, mostraron responder a valores más bien altos, que en algunos casos se encontraban por sobre lo permitido en la NCh 1333 para riego o en otras cercano a este limite, pudiendo ser utilizadas inicialmente para determinar aguas que se encuentran con concentraciones por sobre lo normal.

- (8) Se sugiere el uso de bioindicadores en relación con la calidad de las aguas fluviales en la medida que la información utilizada considere un mejor conocimiento de la sistemática de los organismos e incremente la frecuencia de la obtención de muestreos de la abundancia y diversidad de los insectos y de las variables físicas y químicas del agua.

## 5. Referencias

- Araya, E., R. Figueroa y C. Valdovinos (1998). Macroinvertebrados bentónicos de la Región del Biobío, VIII región, Chile. Resumen: XX Congreso Nacional de Entomología, Sociedad Chilena de Entomología. Universidad de Concepción. 42 pp.
- Arenas, J. (1993). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del Agua del Río Biobío, Chile. Tesis de Doctorado de la Facultad de Ciencias, Universidad de Concepción. 116 pp.
- Arenas, J. (1995). Composición y Distribución del Macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. Medio Ambiente, 12 (2): 39-50.
- Arenas, J. (1999). Indicadores Biológicos. Apuntes curso ZOOLOGÍA 331 Limnología Práctica, Macrozoobentos. Universidad de Concepción. 30 pp.
- Brenes, O.M. (1993). Problemas Ambientales, Guía de Organización Comunal. Editorial de la Universidad de Costa Rica, 52 pp.
- Bronmark, C.J., Herrmann, B. Malmqvist, C. Otto & P. Sjöström (1984). Animal community structure as a function of stream size. Hydrobiologia 112: 73-79.
- Caldichoury, R. (1995). Variables hidrológicas, oferta de alimento y estructura de cuerpos funcionales bentónicos en ríos de régimen nival (río Maipo superior). Tesis de Magister de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 73pp.
- Castillo, G., Vila, I., y E. Neild. (2000). Ecotoxicity Assessment of Metals and Wastewater Using

- Multitrophic Assays. *Environmental Toxicology*. 15: 370-375.
- Cekalovic, P. (1999). Descripción de la Composición Taxonómica de la Entomofauna Acuática de Ríos Chilenos entre los 18° y 39° Latitud Sur. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Ciencias, Universidad Austral. 75pp.
- Comite Limnológico de Chile (1998). Libro resumen del Décimo taller de Limnología. Facultad de Pesquerías y Oceanografía, Laboratorio de Ecología Acuática. Universidad Austral de Chile, Puerto Varas, abril 1998. 25 pp.
- Contreras, M. (1998). Flujo de Carbono en el Ecosistema del Río Clarillo, autotrófia v/s heterotrófia. Tesis de Doctorado de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- Cummins K & J Klug (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematic*. 10: 147-172.
- Figueroa, D. (2001). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de calidad del agua: Río DAMAS Osorno (X Región, Chile). Tesis de Magíster de la Facultad de Ciencias Biológicas y Químicas, Universidad de Concepción. 105pp.
- Figueroa, R., Araya, E., Parra, O. y C. Valdovinos (1999). Macroinvertebrados Bentónicos como Indicadores de Calidad del Agua. Sextas Jornadas del CONAPHI-CHILE, Santiago, Chile, Mayo 1999. pág.1-7.
- Fuenzalida, H. (1965). Hidrografía. Capítulo V, pag. 153-199. En: *Geografía Económica de Chile*. Corporación de Fomento de la Producción. 885 pp.
- Furness, R W; Greenwood, J.J.D; P.J. Jarvis (1993). Birds as monitors of pollutants. In: *Birds as Monitors of Environmental Change*. Ed: R. W. Furness and J. J. D. Greenwood. London: Chapman & Hall. 356 pp.
- Habit, E., Bertran, C., Arevalo, S. y P. Victoriano (1998). Benthonic Fauna of the Itata River and Irrigation Canals (Chile). *Irrigation Science*. 18: 91-99.
- Hawkes, H. (1979). Invertebrates as Indicators of Rivers Quality. Cap.2: 1-41. In: A. James y L. Evison (eds.). *Biological indicators of water quality*. John Wiley & Sons. 397 pp.
- Hellawell, J. (1989). Biological indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier Applied Science. New York. 546 pp.
- Horne, A.J. and C.R Goldman (1994). *LIMNOLOGY*. Second Edition. by McGraw-Hill, Inc. New York. 520 pp.
- Illies, J. y L. Botosaneanu, (1963). Problemes et methodes de la classification de la zonation écologique des eaux courantes, considerees surtout du point de vue faunistique. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und Angewandte Limnologie*. 12: 1-57.
- Jeffrey, D.M. and B. Madden (1991). -Bioindicators and Environmental Management. Academic Press Inc. San Diego. 445 pp.
- Kemp J & J Spotila (1997). Effects of urbanization on brown trout *Salmo trutta*, others fishes and macroinvertebrates in valley creek, valley forge, Pennsylvania. *American Midland Naturalist*. 138: 55-68.
- Malqvist B & C Bronmark (1985). Reversed trends in the benthic community structure in two confluent stream; one spring fed, the other lake-fed. *Hydrobiologia* 124: 65-71.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona. 954 pp.
- Martínez, O. (1999). Revisión de la Normativa de Calidad de Agua en Función de la Inclusión del Material Particulado en las Normas: Efectos de los Metales Pesados en los Ecosistemas. Programa de Postítulo en Contaminación Ambiental. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. 21 pp.
- Meier, C. (1994). Modificación de las condiciones ambientales aguas abajo de represas y sus impactos sobre invertebrados acuáticos. Tercera Jornadas de Hidráulica, Edit. Francisco Javier Domínguez. 349-361.
- Ministerio de Fomento y Ministerio del Medio Ambiente Español (2000). Curso sobre Eutrofización e Indicadores Biológicos de la Calidad de las Aguas en Ríos. Madrid 2000. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. 438 pp.
- Mühlhauser, H. (1990). Operación Parcial de la Red Nacional Mínima de Control de Lagos. S.I.T. N° 4. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios. Convenio Universidad de Chile. Departamento de Ciencias Ecológicas.
- Murgel, S. (1984). *Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de las Aguas Continentales*. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, DC. 115 pp.
- Niemeyer, H. y P. Cereceda (1984). *Hidrografía de Chile*. En: *Geografía de Chile*. Tomo VIII. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 320 pp.
- Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4): 355-364.
- Parra, O; L. Chuecas; H. Campos; M. Vighi & R. Vismara (1993). Caracterización físico-química y evaluación de la calidad para uso múltiple del agua del río Biobío (Chile central). En: *Evaluación y Ecología del Sistema Limnético y Fluvial del río Biobío*. Monografías Científicas EULA. 12:15-159.
- Pinel-Alloul B, G Méthot, L Lapierre & A Willsie (1996). Macroinvertebrate community as biological indicator of ecological and toxicological factors in lake Saint-Francois (Quebec). *Environmental Pollution*, 91 (1): 65-87 pp.
- Resh, V.H. and D.M. Rosenberg (1984). *The Ecology of Aquatic Insects*. Praeger Publishers. New York. 587 pp.
- Resh, V.H., Myers, M.M., and M.J. Hannaford (1996). Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality. In: Hauer, F.R. & G.A. Lamberty. Eds. *Methods in stream ecology*. Academic Press. San Diego. 674 pp.
- Richard, ST., J. Thorne and W. P. Williams (1997). The Response of Benthic Macroinvertebrates to Pollution in Developing Countries: a Multimetric System of Bioassessment. *Freshwater Biology* 37, 671-686.
- Riestra, F. (1999) Métodos Biológicos en la Evaluación de Calidad de Agua. Informe final del Postítulo en

- Contaminación Ambiental. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 42 pp.
- Rosenberg, D.M. and RESH V.H. (1993). Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, N.Y 488 pp.
- Rubio, R.E. (2000). Macroinvertebrados Bioindicadores de la Calidad de las Aguas Lóticas en el Salvador. Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, Brasil. pág. 1-6.
- Saiz, J.M., Zubillaga, G.F y X.I. Eizaguirre (1999). Uso de Bioindicadores en la Evaluación de la Contaminación de la Ría de Bilbao. Servicio editorial de la universidad del país vasco. 129 pp.
- Samways, N.E.; N.E Stork; J. Cracraft; H.A. Eeley; M. Foster; G. Lund; C. Hilton; C. Taylor. (1995). Inventorying and monitoring. In: Global biodiversity assessment Ed: V.H. Heywood and R.T. Watson. UNEP, Cambridge University Press.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf (1979). BIOMETRIA. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume Ediciones; Primera edición española. Madrid, España. 810 pp.
- Townsend, C.R., Scarsbrook M. R. and S. Dolédec (1997). The Intermediate Disturbance Hypothesis, Refugia, and Biodiversity in Streams. *Limnology and Oceanography*. 42(5): 938-949.
- Usinger, R.L. (1963). Aquatic Insect of California. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. 482 pp.
- Valdovinos, C., Stuardo, J. y J. Arenas (1993). Estructura comunitaria del macrozoobentos de la zona de transición Epiritrón-HipoEpiritrón del río BioBío. Monografías Científicas EULA. 12:217-247.
- Valdovinos, C., Figueroa, Cid H., Parra, O., Araya, E., Privitera, S. y V. Olmos (1998). Transplante de Organismos Bentónicos entre Sistemas Lénticos: ¿Refleja la Biodisponibilidad de Metales traza en el Ambiente?. *Boletín Sociedad Chilena de Química*. 43: 467-475.
- Vannote R, G Minshall, K Cummins, R Sedall & C Cushing (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37: 130-137.
- Vila, I., Contreras, M. y J. Pizarro (1996). Análisis del Efecto del Material Particulado en Aguas de Riego I-IX región. S.I.T. N° 35. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Departamento de Conservación y Protección de Recursos hídricos. Convenio Universidad de Chile. Departamento de Ciencias Ecológicas. Laboratorio de Limnología. 90pp.
- Wais, I. (1983). Importancia del Bentos en los Estudios de Calidad de las Aguas. Museo Nacional Argentino "Bernardino Rivadavia", Buenos Aires. En: *Boletín Informativo Limnológico*. Comité de Limnología de Chile. Boletín N° 7. Ed. Instituto de Zoología, Facultad de Ciencias y Dirección de Extensión de la Universidad Austral de Chile.
- Ward, J. V. and J.A. Stanford (1983). Insects species diversity as a function of environmental variability and disturbance in stream systems. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und Angewandte Limnologie* 24: 3087-3094.
- Wetzel, R.G. (1983). LIMNOLOGY, Second Edition. CBS College Publishing. San Diego. 743 pp.
- Welcomme, R.L. (1992). Pesca Fluvial. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Documento Técnico de pesca. Roma. 189 pp.
- Williams D. (1981). Migrations and distribution of streams benthos. In M.A Lock & D.D. Williams (eds), *Perspectives in running water ecology*. pág. 155-207. Plenum Press, N.Y.
- Zamora-Muñoz, C. and J. Alba-Torcedor (1996) Bioassessment of Organically Polluted Spanish Rivers, Using a Biotic Index and Multivariate Methods

## **ANEXO**

## ANEXO 1

### Aspectos Generales de las Principales Ordenes de Insectos Acuáticos Utilizados en este Estudio.

#### Plecoptera.

En su mayoría, las larvas son carnívoras o detritívoras, pero algunas especies se alimentan principalmente de perifiton. Generalmente las Plecópteras no son nadadoras activas, pero están adaptados para desplazarse entre las piedras, grava y detritus, además muchos son capaces de mantenerse en zonas rápidas del río. En estado larval son todos habitantes de aguas dulces, y a menudo se restringen a aguas altamente oxigenadas y ocasionalmente es posible encontrarlas en lagos de aguas frías con considerable acción de las olas. Es así como muchos están relativamente restringidos a ciertos tipos de hábitats, ya que el enriquecimiento orgánico u otras formas de polución reducirán la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua lo que puede impedir su existencia en ciertos sitios. Debido a esto las Plecópteras son conocidas como insectos de aguas limpias.

Trabajos publicados respecto a cómo responden frente al aumento de la materia orgánica, los catalogan como muy poco tolerantes a intolerantes, siendo los primeros en verse afectados en términos de reducción de especies en las aguas que tienen este tipo de enriquecimiento, indicando que el sistema se está deteriorando. En otro sentido este orden esta catalogado como semitolerante a la disminución del pH en las aguas, pero a medida que pasa el tiempo y esto se mantiene, se refleja una disminución paulatina de su población (Hellowell, 1986).

Figura 24. Aspecto general de la morfología de una Plecoptera.



#### Ephemeroptera.

Todas las especies del orden Ephemeroptera son acuáticas en su estado larval, en cambio los adultos son terrestres y éstos generalmente son de vida corta; de aquí la alusión de su estado alar efímero en su nombre científico. La mayoría de las especies son detritívoras y/o herbívoras y son además el alimento preferido de muchos carnívoros de agua dulce, que incluyen otros insectos y peces; ellos forman una unión fundamental en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos, y en general se afirma que presentan un amplio espectro dietario.

Este orden habita el bentos de aguas corrientes, pozas y áreas estrechas de lagos, encontrándose en ambientes muy predecibles o específicos dentro de ellos. Sus requerimientos de oxígeno disuelto son moderados y muchas especies 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.

Como ya se menciono, las especies de este orden 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.

Sin embargo existen especies que toleran bajo contenido de oxígeno en el agua, debido a que presentarían mecanismos adaptativos, como recurrir a un metabolismo anaerobio o cambiar la frecuencia respiratoria de sus branquias. También se menciona que la descarga de sedimentos en su hábitat genera en ellos respuestas adaptativas como el excavar madrigueras o colonizar otros hábitat como las zonas con arena en los ríos, pero esto reporta para ellas un costo en términos de reducción de la reproducción (Wiederholm T. 1984).

Por otro lado las diferentes especies de Ephemeras, presentan diferentes rangos de tolerancia a la materia orgánica, y se ha encontrado un gradiente de especies que indicarían la calidad del agua que habitan. En otro sentido hay publicaciones que las citan como tolerantes a los cambios térmicos en el agua (Hellowell, 1986).

**Figura 25. Aspecto general de la morfología de una Ephemeroptera.**



## **Trichoptera.**

Las larvas son un gran e importante componente de las comunidades bentónicas. Contribuyen significativamente a la cadena trófica de los ecosistemas de agua dulce y así, directa o indirectamente, proveen alimento a los peces.

Trichoptera es común en fauna de profundidad, la mayoría se ubica en ambientes lóticos y lénticos de agua dulce y se encuentran en muy variados hábitats. Algunos se dan en asociación con vegetación acuática, ubicada bajo el agua.

Muchas han logrado como mecanismo adaptativo construir vainas o “casitas”, cuya forma y función de las Trichoptera que las construyen son muy particulares, pero en general es permitirles vivir en los ríos, a especies más frágiles fisiológicamente. Las casitas portables son en cuanto a su arquitectura bien adaptadas para hábitats específicos, por ejemplo para corrientes rápidas, ya que es frecuente encontrar casitas que son delineadas con la forma del río, relativamente resistentes a los choques y equipados con piedras *ballast* (lastre) o con ramas que actúan como timón.

Las especies de este orden son catalogadas desde tolerantes a muy intolerantes a la materia orgánica, pudiendo formar con ellas un gradiente de respuesta frente a este tipo de perturbación; en cambio todas las especies de Trichoptera en general no toleran los niveles bajos de pH (entre 1 y 6) en las aguas donde viven, siendo las primeras en desaparecer en los sistemas que empiezan a acidificarse. Por otro lado no se ven afectadas al aumentar la temperatura en las aguas en que ellas habitan y tienden a preferir ambientes con aguas corrientes, lo cual indica que sus requerimientos de oxígeno en el agua no son bajos (Hellowell, 1986).

**Figura 26. Aspecto general de la morfología de una Trichoptera.**



Trabajos publicados sobre ellas la citan como semitolerantes a los pH básicos, ya que tienden a reducirse las poblaciones de este orden en las aguas que empiezan a alcalinizarse (Hellowell, 1986). Por otro lado hay publicaciones que las citan como tolerantes a las bajas concentraciones de oxígeno en el agua, esto debido a que igual que las Coleópteras, pueden subir a la superficie y obtener desde allí el oxígeno que necesitan (Wiederholm T. 1984).

**Figura 27. Aspecto general de la morfología de una Díptera.**



## **Díptera.**

Su fuente de alimento es bastante variada, la que incluye desde detritus fino y microorganismos, a partes de plantas, madera en descomposición y otros insectos y vertebrados, además las preferencias y hábitos dietarios de algunas larvas cambian con la edad y la estación del año. Se encuentran en cada tipo de hábitat y como grupo, los adultos voladores son los mas ampliamente adaptados, de todos los ordenes acuáticos existentes.

## **Coleoptera.**

Este orden presenta familias donde el estado larval y adulto son de vida acuática principalmente, sin embargo también cuenta con familias semiacuáticas, donde solamente uno de los estados de desarrollo posee vida acuática.

Las larvas exhiben una amplia variedad de hábitos dietarios, como lo son ser fragmentadores, colectores (filtradores y de fondo), pastoreadores, pero un gran

número de especies son altamente predatoras. Para muchas especies, sus larvas y adultos acuáticos la calidad del agua no es limitante para vivir, ya que ellos usan el oxígeno atmosférico, más que el oxígeno disuelto en el agua, para respirar. Se encuentran en aguas salobres, manantiales cálidos, zonas intermareales y todos los hábitats acuáticos comunes, dependiendo de las especies, se pueden encontrar en ó sobre sustratos o plantas acuáticas.

La bibliografía las cita como bastante tolerantes al enriquecimiento de materia orgánica, logrando sobrevivir en aguas que presentan este tipo de perturbación (Hellawell, 1986). Frente a la baja del contenido de oxígeno presentan mecanismos adaptativos para tolerar esto, como salir a respirar a la superficie, lo cual les permite sobrevivir en ambientes más anóxicos, ya sea producto del enriquecimiento orgánico u otro factor (Wiederholm T. 1984).

**Figura 28. Aspecto general de la morfología de una Coleoptera.**



## **Odonata.**

Sus larvas son carnívoras mordedoras y muchas además son caníbales, comiendo organismos enteros o parte de ellos, habitan una variedad de ambientes, pero son comunes en pozas, pantanos, márgenes de lagos, ríos y arroyos de poca corriente. Algunas especies se ubican en sitios estuarinos y muchas viven bajo la superficie del sustrato o en madrigueras a varios centímetros de profundidad, esencialmente se ubican sobre el sustrato o trepan en la vegetación y sobre escombros.

La literatura los cita como tolerantes a las bajas concentraciones del contenido de oxígeno en las aguas, debido a que tienen mecanismos adaptativos para esto, como el poseer varias estructuras respiratorias (Allan 1984). Por otro lado, se citan como muy poco tolerantes a bajos niveles de pH (entre 1 y 6), ya que estudios de campo revelan que efluentes ácidos mineros eliminaron completamente las especies existentes en el lugar (Hellawell, 1986). Igualmente la literatura los cita como poco tolerantes al alto contenido de materia orgánica (op.cit).

**Figura 29. Aspecto general de la morfología de una Odonata.**



## **Megaloptera.**

Las larvas son acuáticas, carnívoras mordedoras y predan principalmente sobre otros insectos, la mayoría se encuentra en el bentos, en arroyos, pozas, márgenes de lagos y ríos, a la vez se asocian con una variedad de °sustratos y tipos de corrientes. Las pupas y los adultos son terrestres. Aunque el número de especies es reducido, las larvas de este orden son de gran tamaño y altamente activas en cuanto a su voracidad, destacándose como importantes predadores sobre otros insectos acuáticos.

Trabajos publicados, los citan con un número considerable de especies capaces de tolerar una alta cantidad de materia orgánica, y aparentemente no presentan cambios en sus parámetros poblacionales al verse enfrentadas al aumento de la temperatura en el agua en que ellas viven. Por otro lado también se citan como tolerantes a la disminución de los niveles de pH (entre 1 y 6) y a los valores bajos de oxígeno disuelto, ya que durante un largo periodo de su vida se desarrollan enterrados en los sedimentos o lugares que tienden a estar en estado anóxico (Hellawell, 1986).

**Figura 30. Aspecto general de la morfología de una Megaloptera.**

