

**REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

**ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS CUENCA DEL RÍO
LLUTA.**

REALIZADO POR:

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA
DICTUC**

Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

S.I.T. N° 173

SANTIAGO, MARZO 2009

**Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Sr. Sergio Bitar Ch.**

**Director General de Aguas
Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.**

**Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos
Ingeniero Sra. Mesenia Atenas V.**

**Inspector Fiscal
Ingeniero Sra. Mónica Musalem J.**

DICTUC-PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA:

**Jefe de Proyecto
Ingeniero Sr. Gonzalo Pizarro P.**

**Jefe de Proyecto Alterno
Ingeniero Sr. Pablo Pastén G.**

**Ingeniero de Proyecto
Ingeniero Sra. Katherine Lizama A.**

**Asesor Especialista
Limnóloga Srta. Ginger Martínez Z.**

Tipo Informe Informe técnico folio N° 460620	Cuerpo del Informe 47 hojas (incluye portada)
Título del Proyecto Estudio de Calidad de Aguas Cuenca del río Lluta	Fecha Informe Marzo 2009
Autor (es) Jefe de Proyecto: Gonzalo Pizarro Puccio Jefe de Proyecto Alterno: Pablo Pastén González Asesor Especialista: Ginger Martínez Zaror	Contrato Resolución DGA (Exenta) N° 3233
6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC S.A.; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago	7. Período de Investigación Diciembre 2008- Marzo 2009
8. Antecedentes de la Institución Mandante Nombre : Dirección General de Aguas- MOPTT Dirección: Morandé 59- 8° piso RUT: 61.202.000-0 Teléfono: 4493804 Fax: 4493825	9. Contraparte Técnica Nombre: Mónica Musalem Cargo: Inspector Fiscal
10. Resumen Este documento presenta la caracterización de la flora y fauna acuática del río Lluta en un periodo de primavera y describe los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> • Objetivos del proyecto • Descripción general del área de estudio • Descripción del hábitat acuático, fauna de macroinvertebrados bentónicos y planctónicos, flora de microalgas, y peces de 9 secciones del río Lluta y sus afluentes principales. 	


Sr. Gonzalo Pizarro Puccio
Jefe de Proyecto



Nota: "La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de Dictuc S.A."

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	9
II.	Objetivos.....	9
III.	Antecedentes generales.....	9
IV.	Área de estudio	10
V.	Metodología.....	13
	1. Calidad del agua.....	13
	a. Parámetros físico-químicos medidos in-situ.....	13
	b. Metodología	14
	2. Caracterización del sustrato.....	14
	3. Biota acuática	15
	Peces (Fauna íctica).....	15
	c. Macroinvertebrados bentónicos (Macrozoobentos).....	15
	d. Microalgas bentónicas (Fitobentos).....	16
VI.	Resultados.....	18
	1. Descripción del área de estudio.....	18
	a. Estación de muestreo LI-1: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada 100 m aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Azufre. Figura 2.....	18
	b. Estación de muestreo LI-2: Río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. Figura 3.....	19
	c. Estación de muestreo LI-3: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. Figura 4.	20
	d. Estación de muestreo LI-4: Quebrada Chuquiananta, estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada. Figura 5.....	21
	e. Estación de muestreo LI-5: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. Figura 6.....	22
	f. Estación de muestreo LI-6: Río Colpitas, estación de muestreo ubicada 100 m aproximadamente aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. Figura 7.	23
	g. Estación de muestreo LI-7: Río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas. Figura 8.....	24
	h. Estación de muestreo LI-8: Río Lluta en Tocontasi. Figura 9.	25
	i. Estación de muestreo LI-9: Río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m aguas arriba de la desembocadura. Figura 10.	26
	2. Calidad de agua	27
	a. pH.....	28
	b. Concentración de oxígeno disuelto	29
	c. Conductividad Especifica	29
	3. Biota acuática	30
	a. Peces (fauna íctica).....	30
	b. Macroinvertebrados bentónicos (Macrozoobentos).....	34
	c. Microalgas bentónicas (Fitobentos).....	39
VII.	Conclusiones.....	43

VIII. Referencias	46
-------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0. Diagrama esquemático de la ubicación de las estaciones de monitoreo utilizadas.	
Figura 1. a) Instalación de redes, b) Red en estación LI-6, c) Toma de muestra con red Surber. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	16
Figura 2. a) Vista general de la estación de muestreo LI-1, ubicada en el río Caracarani aguas arriba de la confluencia con el río Azufre. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-1.	18
Figura 3. a) Vista general de la estación de muestreo LI-2, ubicada en el río Azufre aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-2.	19
Figura 4. a) Vista general de la estación de muestreo LI-3 Río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-3.	20
Figura 5. a) Vista general de la estación de muestreo LI-4, Quebrada Chuquiananta. b) Detalle del sustrato del curso principal de la quebrada.	21
Figura 6. a) Estación de muestreo LI-5: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-5.	22
Figura 7. a) Vista general de la estación de muestreo LI-6, ubicada en el río Colpitas, 100 m aproximadamente aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-6.	23
Figura 8. a) Vista general de la estación de muestreo LI-7, ubicada en el río Lluta aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-7.	24
Figura 9. a) Vista general de la estación de muestreo LI-8 Río Lluta en Tocontasi. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-8.	25
Figura 10. a) Vista general de la estación de muestreo LI-9 Río Lluta en desembocadura. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-9.	26
Figura 11. a) <i>Mugil cephalus</i> , b) <i>Trichomycterus rivulatus</i> y c) <i>Gambusia affinis</i>	32
Figura 12. Análisis de conglomerados. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la densidad total y riqueza de taxa de macroinvertebrados bentónicos. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.	36
Figura 13. a) <i>Andesiops peruvianus</i> , b) <i>Andesiops</i> sp., c) <i>Andesiops torrens</i> , d) <i>Cailloma sp.</i> , e) Ceratopogonidae y f) Dolichopodidae.	37
Figura 14. Continuación g) Elmidae, h) Ephidridae, i) Oligochaeta, j) <i>Notoperlopsis femina</i>	38
Figura 15. Análisis de componentes principales. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la composición de taxa de macroinvertebrados bentónicos. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.	39
Figura 16. Análisis de conglomerados. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la densidad total y riqueza de taxa de microalgas bentónicas. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.	42

Figura 17. Análisis de componentes principales. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la composición de taxa de microalgas bentónicas. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.....	43
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de muestreo de calidad de agua y biota acuática. Estudio de limnología en el río Lluta. Diciembre 2008.....	11
Tabla 2. Parámetros de calidad de agua, nivel de precisión y rangos.	13
Tabla 3. Sistema de clasificación del tipo de sustrato de ríos, de acuerdo a Bain et al., 1985.	14
Tabla 4. Descripción morfológica y tipo sustrato de acuerdo a Bain et al. 1985. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008. * Valores estimados.....	27
Tabla 5. Parámetros físico-químicos medidos en el río Lluta (XV Región). Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	28
Tabla 6. Comparación de valores medidos con los valores normados en la Norma Chilena Oficial 1.333, Of. 78 que regula el uso para riego y vida acuática. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	30
Tabla 7. Categoría de conservación de especies ícticas del área de estudio. Estudio de Limnología río Lluta. Diciembre 2008.....	31
Tabla 8. Parámetros morfométricos y factor de condición (K) de los peces capturados en el área de estudio. Río Lluta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	33
Tabla 9. Composición y densidad (ind/m ²) de macroinvertebrados bentónicos (macrozoobentos) del área de estudio. Río Lluta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	34
Tabla 10. Composición y densidad (cel/mm ²) de microalgas bentónicas (fitobentos) del área de estudio. Río Lluta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.	40

Resumen

Los tramos analizados en la cuenca del río Lluta corresponden a tramos de tipo Rithron de acuerdo a la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). Los tramos ritrónicos son someros, de tipo torrente, presentaron un sustrato rocoso y bajo caudal al momento de la prospección. Estos tramos presentaron baja riqueza y abundancia de ensambles bentónicos y de peces.

En la cuenca del río Lluta pudo apreciarse un patrón significativo de distribución de la abundancia de microalgas bentónicas. Los ríos Caracarani y Azufre presentaron la menor densidad de microalgas, lo cual sería explicado por las condiciones de calidad de agua que presentan estas estaciones, principalmente debido a los precipitados de sulfatos y aluminio sobre las rocas, lo que impediría el asentamiento y desarrollo de los individuos con hábito bentónico. La condición depauperada de los ensambles en estos ríos contrastó significativamente con la mayor abundancia de microalgas bentónicas encontradas sobre el sustrato del río Colpitas y de la quebrada Chuquiananta, en las cuales se observó valores de uno o dos ordenes mayor que en el río Caracarani y río Azufre. Una condición de aún mayor abundancia fue encontrada en el sector de desembocadura del río Lluta. Cabe mencionar que la riqueza de algas fue baja y varió entre 10 y 18 taxa, siendo un factor que no diferenció a los cursos de agua prospectados.

La composición del ensamble de microalgas siguió un patrón similar a la abundancia de este ensamble. En base a las diferencias de composición taxonómica, se puede platear que dentro de la cuenca del río Lluta existen significativas diferencias ecológicas entre los cursos de agua de la cuenca. Así por ejemplo, la composición de taxa de los tributarios (río Colpitas y Quebrada Chuquiananta) difiere de la composición de taxa del río Caracarani y Lluta. Particularmente, la composición del ensamble fitobentónico del río Azufre es altamente diferente a los otros ensambles en el cual predominan algas frecuentemente ausentes en los otros cursos de agua. Por otro lado, y como era predecible por las diferencias hidrodinámicas y de calidad de agua, el sector de desembocadura muestra un ensamble de microalgas significativamente diferente al resto de la cuenca tanto en abundancia como en la estructura del ensamble fitobentónico. El ensamble de microalgas bentónicas es un componente clave en la estructura y organización de los ecosistemas fluviales.

En base a los resultados del ensamble zoobentónico también es posible indicar que hay una alta heterogeneidad ambiental dada por diferencias de los ensamble de macroinvertebrados bentónicos entre las áreas prospectadas. Particularmente, la quebrada Chuquiananta muestra altos valores de densidad de macroinvertebrados bentónicos, lo cual contrasta significativamente con los valores medidos en los ríos Caracarani, Azufre y Lluta, e incluso en la desembocadura, en los cuales se registraron bajos valores de densidad. Un aspecto significativo fue la baja riqueza de taxa zoobentónicos, principalmente en el río Azufre y en el río Caracarani aguas abajo del río Azufre, tramos en los que se registraron solamente dos taxa. La condición altamente singular y extrema de la calidad de agua del río Azufre explicaría los bajos valores de riqueza, condición que se mantiene en el río Caracarani, hasta el tramo ubicado aguas abajo del río Azufre, y a partir del cual la riqueza de taxa zoobentónicos aumenta hasta 6 taxa.

El ensamble de peces en el área de estudio estuvo constituido por dos especies nativas: *Mugil cephalus* y *Trichomycterus rivulatus* y por una especie introducida *Gambusia affinis*. La especie *M. cephalus* no se le asignó una categoría de conservación biológica mientras que *T. rivulatus* es clasificada como En Peligro y Rara según CONAMA (MINSEGPRES D.S. 51/08). *G. affinis* no presenta problemas de conservación biológica debido a que es introducida. Una condición característica del ensamble de peces del área de estudio en el río Lluta fue la escasa presencia de especies, estando cada una de las poblaciones de peces restringida a una estación de muestreo.

Los resultados de este estudio permiten plantear que los tramos de altura de la cuenca presentan peces, tal como el río Colpitas en donde se encontró una pequeña población de *T. rivulatus* y la quebrada Chuquiananta en la que hubo peces en otra época, lo cual difiere del sector intermedio de la cuenca, en el cual no se encontraron peces. Estos resultados son apoyados por los antecedentes que se tienen para la cuenca del río Lluta, para la cual se indicó que la mayor diversidad específica de peces, la cual alcanza a cinco taxa (Arratia 1982) se presenta sobre los 4.300 msnm, en contraposición con altitudes intermedias donde no parece haber peces (DGA 2004, Arratia 1982).

La escasa presencia de peces (6 de 9 estaciones muestreadas) permite plantear que el área de estudio sería altamente sensible debido a la condición restringida de las poblaciones de peces nativos, particularmente de *T. rivulatus*, especie que además es considerada En Peligro (MINSEGPRES DS 51/08). Estos antecedentes apoyan los resultados de este estudio e indican que las condiciones geográficas, hidrológicas y ecológicas de los lagos y ríos altiplánicos han favorecido que grupos de trichomictéridos andinos hayan quedado aislados entre ellos y por ello se estarían desarrollándose especies locales con distribución geográfica muy restringida (Arratia 1982).

Estos resultados, junto con los resultados obtenidos de las otras componentes biológicas permiten plantear que el río Lluta presenta alta heterogeneidad ambiental, ello debido a la gran diversidad de hábitats para la biota. Los cursos de agua que presentan hábitats más favorables para el desarrollo de biota son el río Colpitas, La quebrada Chuquiananta y el sector de desembocadura del río Lluta. Cabe mencionar que el sector de desembocadura es considerado como un Área de Conservación de la Biodiversidad (CONAMA 2002) debido a su alta diversidad de especies de plantas y animales particularmente aves, lo cual es corroborado por los resultados de este estudio.

I. Introducción

La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas -en adelante, DGA- encargó a la Pontificia Universidad Católica de Chile -a través de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas DICTUC- la ejecución del estudio “Estudio de Calidad de Aguas Cuenca del Río Lluta”

Este documento presenta la caracterización de la flora y fauna acuática del río Lluta en un periodo de primavera y describe los siguientes puntos:

- Objetivos del proyecto
- Descripción general del área de estudio
- Descripción del hábitat acuático, fauna de macroinvertebrados bentónicos y planctónicos, flora de microalgas, y peces de 9 secciones del río Lluta y sus afluentes principales.

Existe poca información con respecto a la caracterización de la biota en la cuenca del río Lluta, en particular en sus afluentes. Se espera que este estudio sea el punto de partida en la obtención de información relevante en este ámbito.

II. Objetivos

El objetivo principal del estudio es describir la biota acuática en la cuenca del río Lluta para complementar la información de calidad química del agua obtenida para esta cuenca.

Los objetivos específicos del estudio son:

1. Tipificar la condición física y química del río Lluta en el área de estudio, en base a parámetros de calidad de agua medidos in situ para caracterizar el hábitat acuático para organismos bentónicos y peces.
2. Describir la fauna de macroinvertebrados bentónicos y planctónicos presentes en el área de estudio en el río Lluta.
3. Describir la flora de microalgas bentónicas y planctónicas presentes en el área de estudio en el río Lluta.
4. Describir la fauna de peces en el área de estudio.

III. Antecedentes generales

El área de estudio se ubica en el río Lluta, el cual se encuentra en la XV región de Arica y Parinacota y que se extiende entre los paralelos 18° - 18°30' latitud sur y meridianos 70°20' - 69°22' longitud oeste. La cuenca del río Lluta tiene una superficie de 3.400 Km² y una longitud de 147 Km desde su origen hasta el mar (Niemeyer & Cereceda 1984). El río

Lluta se origina a más de 3.900 msnm por la confluencia de los ríos Caracarani y Azufre, siendo el primero el curso de agua principal de la cuenca. El río Lluta presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina (DGA 2004). El caudal medio del río es 2,3 m³/s y el régimen es pluvial, registrándose los caudales mayores en los meses de enero y febrero, producto del fenómeno climático conocido como invierno altiplánico.

La cuenca del río Lluta se caracteriza por la escasez de precipitaciones y por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle, donde el uso del suelo es agrícola. Desde Chironta, a más de 70 km de distancia del mar, se encuentran los primeros cultivos agrícolas de gran importancia para el consumo de los habitantes de la zona.

El río Lluta desemboca en un estuario junto a una extensa playa a escasos kilómetros de Arica y de Villa Frontera. En ese sitio es posible observar diversas especies de la avifauna silvestre del norte de Chile ya que es un lugar de descanso de aves migratorias como gaviotas, chorlos y playeros.

Las principales actividades económicas en la cuenca del río Lluta son el turismo, servicios y comercio (Putre), agricultura en la parte baja de la cuenca y secundariamente existe actividad minera, ésta principalmente debido a la Sociedad Legal Minera Macarena y Química e Industrial del Borax Ltda (DGA 2004).

IV. Área de estudio

El área de estudio se incluye en la cuenca del río Lluta. En la Tabla 1 se indican las estaciones de muestreo y una descripción general de las estaciones. La Figura 0 muestra esquemáticamente la ubicación de estas estaciones en la cuenca.

Tabla 1. Estaciones de muestreo de calidad de agua y biota acuática. Estudio de limnología en el río Lluta. Diciembre 2008.

Estación	Nombre	Descripción	Ubicación Geográfica (UTM)*	Altitud (msnm)	Fotografía
LI-1	Río Caracarani	Estación de muestreo ubicada 100 m, aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Azufre.	425276 E - 80276658 N	3.974	6
LI-2	Río Azufre	Estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani.	425000 E - 8027289 N	3.981	5
LI-3	Río Caracarani	Estación de muestreo ubicada en un tramo ubicado aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el curso de la quebrada. Chuquiananta	432951 E - 8020835 N	3.852	8
LI-4	Quebrada Chuquiananta	Estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada	436650 E - 8018035 N	3.837	7
LI-5	Río Caracarani	Estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas.	433272 E - 8010301 N	3.599	2
LI-6	Río Colpitas	Estación de muestreo ubicada 100 m, aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani.	433586 E - 8010203 N	3.601	3
LI-7	Río Lluta	Estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas.	433323 E - 8009802 N	3.590	4
LI-8	Río Lluta en Tocontasi	Río Lluta en Tocontasi	403191 E - 7968273 N	1.032	9
LI-9	Río Lluta en desembocadura	Estación de muestreo ubicada 100 m aguas arriba de la desembocadura	360121 E - 7963525 N	0	10

* Datum WGS 84.

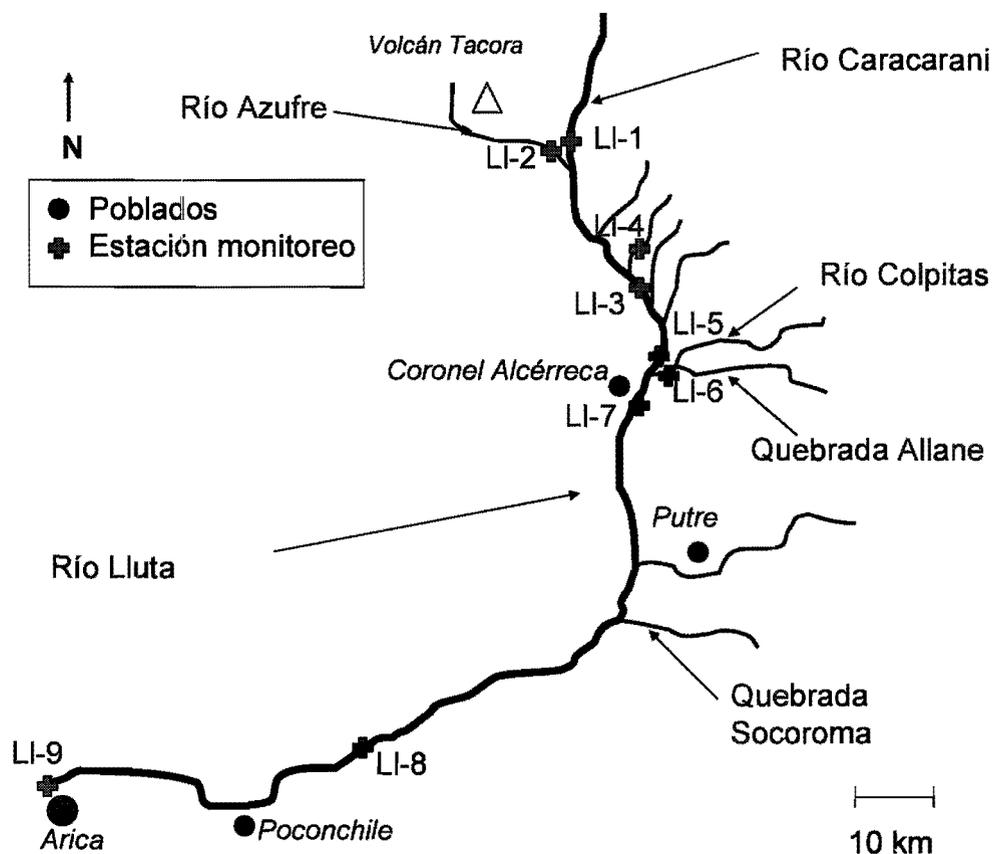


Figura 0. Diagrama esquemático de la ubicación de las estaciones de monitoreo utilizadas.

V. Metodología

La campaña de terreno fue realizada entre los días 8 y 12 de diciembre de 2008, la cual estuvo comprendida en un periodo estacional de primavera y en un periodo hidrológico de bajo caudal. El periodo de muestreo representó uno de los dos escenarios hidrológicos extremos (bajo caudal) para describir la variabilidad estacional de la composición de los ensambles biológicos. El acceso a los puntos de muestreo fue realizado con vehículos. Los puntos de muestreo fueron registrados con GPS. El trabajo de campo estuvo a cargo de un especialista en Limnología (PhD) y dos especialistas en geoquímica (PhD).

Se tomaron muestras de biota acuática en 9 estaciones de muestreo en el río Lluta (Tabla 1) y se midieron parámetros de calidad del agua in-situ.

1. Calidad del agua

a. Parámetros físico-químicos medidos in-situ

Para la caracterización de la calidad de agua de agua se midió in situ parámetros de calidad que complementarán la descripción de la condición físico-química que se tiene del área de estudio. En la Tabla 2 se presentan los parámetros que fueron medidos in situ en el área de estudio, el nivel de precisión y rangos de medición de los instrumentos utilizados para la medición.

Tabla 2. Parámetros de calidad de agua, nivel de precisión y rangos.

ESTUDIO	PARAMETRO	Nivel de precisión	Rango	
CALIDAD DE AGUA	FISICOS Y QUIMICOS	Conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,01	0,01 a 200.000
		Oxígeno disuelto (mg/l)	0,01	0 a 20.0
		pH (unidad)	0,1	2 a 14
		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	0,1	-10 a 110
BIOTA ACUÁTICA	BIOLOGICOS	Fitobentos (cel/mm^2)	-	
		Fitoplancton (cel/l)	-	
		Macrozoobentos (ind/m^2)	-	
		Zooplancton (ind/l)	-	
		Fauna ictica (N° de ejemplares)	-	

b. Metodología

- Concentración del ión hidrógeno (pH): La concentración del ión hidrógeno se midió in situ mediante un medidor HACH HQ40d multi-meter con electrodo para pH HACH modelo PHC101.
- Conductividad específica (a 25 °C, mS/cm): La conductividad del agua se midió in situ mediante un medidor HACH HQ40d multi-meter y electrodo de conductividad HACH modelo CDC401.
- Oxígeno disuelto (mg/l): Se midió con un medidor HACH HQ40d multi-meter y un electrodo marca HACH, modelo LDO101.
- Temperatura (°C): La temperatura se midió in situ mediante un medidor HACH HQ40d multi-meter y un electrodo marca HACH, modelo LDO101.

2. Caracterización del sustrato

Se tipificó el sustrato de los cauces del área de estudio de acuerdo a la metodología descrita por Bain et al. (1985), desarrollada para el análisis de hábitat de organismos bentónicos. La Tabla 3 describe los códigos asignados a las Clases de tamaños de distintos tipos de sustrato.

Tabla 3. Sistema de clasificación del tipo de sustrato de ríos, de acuerdo a Bain et al., 1985.

Tipo de Sustrato	Clase de Tamaño (mm)	Código
SUPERFICIES LISAS		
Roca madre plana	-	1
Arena, Cieno	< 2	1
SUPERFICIES RUGOSAS		
Grava	2-16	2
Guijarros	17-64	3
Piedras	65-256	4
Bolones	> 256	5
Roca madre irregular	-	6

3. *Biota acuática*

A continuación se describe el procedimiento de recolección y de análisis de los parámetros biológicos.

Peces (Fauna íctica)

Las poblaciones de peces constituyen un eslabón clave en los ecosistemas fluviales y lacustres, ya que frecuentemente son depredadores tope que regulan la densidad de otras poblaciones biológicas.

Para la colecta de peces en ríos se instaló una red en el sector de ribera (Fotografía 1a) de cada estación de muestreo. La colocación y mantención de redes se realizó bajo vigilancia continua, de tal modo de minimizar el tiempo entre la captura y la liberación de los ejemplares impidiendo con ello la mortandad de los ejemplares atrapados. Se colocó una red de 15 m de longitud en cada estación de muestreo durante 3 - 4 horas en horario diurno. Los ejemplares recolectados fueron identificados in situ y en el caso de la captura de un ejemplar de una especie nativa se determinó su estado de conservación y fue retornado inmediatamente al medio. La identificación se realizó en función del D.S. N°51/08 del MINSEGPRES. Los ejemplares de especies introducidas fueron fijados con alcohol y llevados al laboratorio para mediciones morfométricas.

A los ejemplares capturados se les midió el peso total y la longitud total. Se determinó el Factor de Condición (K) para estimar la condición de robustez de las poblaciones de acuerdo a:

$$K = (PT/LT^3) * 1000 \quad \text{Lagler (1956)}$$

donde PT es peso total y LT longitud total.

Las actividades en terreno también estuvieron dirigidas a detectar y caracterizar los sectores o hábitats sensibles para la fauna íctica, reconociendo sitios de reproducción tales como sitios de acumulación de material, con baja profundidad, baja pendiente y con desarrollo de vegetación ripariana y los sitios de alimentación. También se identificaron las zonas de rápidos (riffles) y zona de pozones (pools) dentro un tramo, los cuales también son hábitats seleccionados por las poblaciones de peces como lugares estacionarios para alimentación y reproducción.

c. Macroinvertebrados bentónicos (Macrozoobentos)

Para la descripción de la fauna de macroinvertebrados bentónicos se tomaron dos réplicas desde la zona bentónica (N = 2) en cada punto de muestreo con una red Surber de 0.09 m² de área y 250 µm de apertura de malla (Figura 1b).

Las muestras fueron fijadas in situ con alcohol al 15 % y trasladadas al laboratorio en Santiago. La identificación taxonómica de los individuos y su cuantificación estuvo a

cargo de biólogos especializados en la taxonomía de estos ensamblajes y con experiencia en la fauna bentónica de sistemas acuáticos de Chile. Para la identificación y recuento se utilizó una lupa Carl Zeiss con aumento 40×. La clasificación de los organismos se hizo en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Lugo-Ortiz & McCafferty (1995, 1999) y Merrit & Cummins (1996). El ensamblaje fue caracterizado mediante los parámetros densidad total (ind/m^2), riqueza total (número de taxa) y diversidad biológica (bits). Se utilizó el índice de diversidad biológica de Shannon-Wiener (Krebs 1988).



Figura 1. a) Instalación de redes, b) Red en estación LI-6, c) Toma de muestra con red Surber. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

d. Microalgas bentónicas (Fitobentos)

El ensamblaje de microalgas bentónicas representa un componente clave en la estructura y organización de los ecosistemas fluviales, ello debido a que su principal función está asociada a la incorporación autótrofa de energía a los sistemas acuáticos y a la generación de materia orgánica dentro de los sistemas.

Para cuantificar el componente fitobentónico del río del área de estudio se tomaron dos réplicas ($N = 2$) en el sustrato del sector de ribera de cada cauce. Cada muestra fue obtenida al azar con un core de área de $2,01 \text{ cm}^2$. Las muestras fueron almacenadas en

frascos de polietileno de alta densidad de 250 ml y fijadas in situ con lugol para el traslado al laboratorio. La identificación y el recuento de individuos fue realizado con microscopía óptica (Carl Zeiss $\times 1.000$) a cargo de biólogos especializados en taxonomía de microalgas del bentos. El ensamble fue caracterizado en base a los parámetros comunitarios densidad total (cels/mm²), riqueza total (número de taxa) y diversidad biológica (byts) (Krebs 1988). La clasificación de las microalgas siguió los trabajos de Rivera (1983), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).

VI. Resultados

1. Descripción del área de estudio

- a. **Estación de muestreo LI-1: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada 100 m aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Azufre. Figura 2.**

El tramo del río Caracarani ubicado aguas arriba de la confluencia con el río Azufre corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). En este tramo se detectó un bajo flujo de agua al momento de la prospección, baja profundidad (10-40 cm), un ancho estimado entre 4 y 5 metros y un sustrato rocoso con rocas de tamaño variable (Figura 2a y b). El tramo de estudio del río Caracarani presentó condiciones de hábitat altamente favorables para el desarrollo de biota acuática, ya que se midió un valor de pH de 8,6 unidades, condición de basicidad que favorece la presencia de biota acuática. Por otro lado, este valor de pH se encuentra dentro del rango establecido en la normativa que define la aptitud del recurso hídrico para protección de biota acuática (Norma Chilena Oficial 1.333, Of. 78; 6,0 9,0 unidades). Estos valores fueron confirmados por la presencia de macrófitas, abundante perifiton y fauna bentónica asociada al sustrato. No se detectaron peces. En este tramo del río Caracarani se observó un sustrato de tipo rocoso y arena. El tamaño predominante de las rocas varió entre 2 y 10 cm. Sobre el sustrato se detectó abundante perifiton y principalmente el alga *Cianoficea Nostoc sp.*, adherida al sustrato y también en deriva. El valor de conductividad específica fue 1,64 mS/cm, significativamente menor al valor encontrado en el río Azufre. La columna de agua presentó alta transparencia y la concentración de oxígeno disuelto fue 7,9 mg/l, valor que representa una alta disponibilidad de oxígeno.

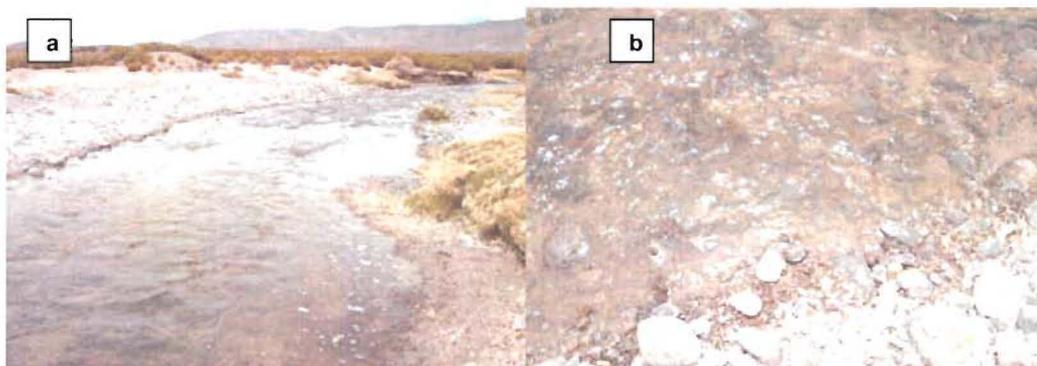


Figura 2. a) Vista general de la estación de muestreo LI-1, ubicada en el río Caracarani aguas arriba de la confluencia con el río Azufre. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-1.

b. Estación de muestreo LI-2: Río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. Figura 3.

El río Azufre corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963), ya que en este tramo se detectaron condiciones de escorrentía, baja profundidad (10-30 cm., un ancho estimado entre 2 y 3 metros y bajo niveles de temperatura al momento de la prospección (14,0 °C) (Figura 3a y b). El río Azufre presentó condiciones de hábitat desfavorables para el desarrollo de biota acuática, ello debido a que se detectó un valor de pH menor a 2,0 unidades, valor significativamente menor al valor mínimo establecido en la normativa que define la aptitud del recurso hídrico para protección de biota acuática (Norma Chilena Oficial 1.333, Of. 78; 6,0 - 9,0 unidades).

La columna de agua del río Azufre presentó alta transparencia y presentó un sustrato de tipo rocoso y el tamaño dominante varió entre 5 y 7 cm. Sobre el sustrato no se detectó perifiton, sino que abundantes precipitados de compuesto sulfatados que otorgaban un aspecto amarilloso al sustrato. Como era predecible, se detectó un alto nivel de conductividad específica que alcanzó a 10,9 mS/cm. A pesar de que esta condición es característica de ambientes extremos, se pudo observar una alta abundancia de vermes bentónicos asociados al sector litoral del tramo. La concentración de oxígeno disuelto fue 10,6 mg/l, valor que representa una condición de saturación de oxígeno en la columna de agua y una alta disponibilidad para la biota acuática. El valor de concentración de oxígeno disuelto fue mayor que el valor mínimo establecido en la normativa que define la actitud para vida acuática (>5,0 mg/l). A pesar de lo anterior, no se detectaron macrófitas ni peces. En base a estos resultados se indica que el río Azufre presenta condiciones tipificadas como ambientes extremos, los que presentan una singular biota acuática.

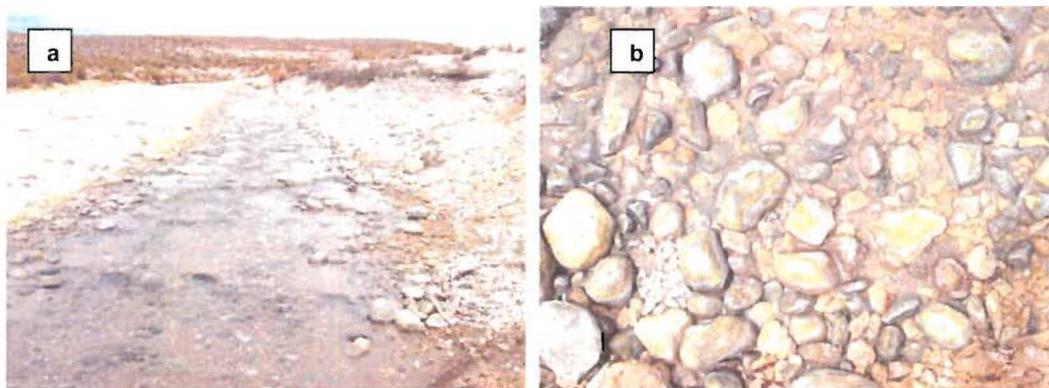


Figura 3. a) Vista general de la estación de muestreo LI-2, ubicada en el río Azufre aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-2.

c. Estación de muestreo LI-3: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. Figura 4.

El tramo de estudio en el río Caracarani corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). En este tramo se detectó un sustrato rocoso cuyas rocas presentaron un tamaño dominante de 6 cm (Figura 4a y b). Se detectó una concentración de oxígeno disuelto de 7,0 mg/l, un sustrato sobre el cual no se encontró perifiton y el cual frecuentemente se encontró cubierto con un precipitado de óxidos de hierro. En este tramo se midieron valores altos de conductividad específica (2,09 mS/cm), ello debido al transporte de iones en el agua. El valor de pH fue bajo y alcanzó a 4,11 unidades. El valor de pH fue menor al valor mínimo establecido en la Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78 (6,0 unidades) que determina la aptitud del recurso hídrico para el desarrollo de biota acuática y por lo tanto no sería un hábitat favorable para la biota acuática en base a este parámetro. Al momento de la prospección se observó una condición de baja transparencia en la columna de agua y ausencia de peces. Se detectó una Briofita (musgo) en el sector litoral del río.



Figura 4. a) Vista general de la estación de muestreo LI-3 Río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-3.

d. Estación de muestreo LI-4: Quebrada Chuquiananta, estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada. Figura 5.

La quebrada Chuquiananta representa un conjunto de pequeños cursos de agua que escurren a través de una ladera y forman un sistema de humedal artificial creado para generar cobertura de pastos para el ganado de camélidos de la zona. El curso de agua principal de la quebrada Chuquiananta corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). Este sistema presentó baja profundidad (10 – 30 cm), un ancho estimado entre 3 y 8 metros y alta temperatura (18,5 °C; Figura 5a y b).

Las condiciones de hábitat que presentó el curso de la quebrada Chuquiananta fueron comparativamente favorables en relación a los otros cursos de agua del área de estudio. En este sistema se midió un valor de conductividad específica de 0,294 mS/cm, el valor del pH fue básico y fue 8,5 unidades y la concentración de oxígeno disuelto fue alta y alcanzó a 7,19 mg/l. Estos valores indican una condición altamente favorable de hábitat para el desarrollo de biota acuática. El valor de concentración de oxígeno fue mayor que el valor mínimo establecido en la normativa que determina aptitud del recurso para el desarrollo de biota acuática (5,0 mg/l; Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78). De igual modo, el valor de pH estuvo dentro del rango establecido por la normativa (6,0 – 9,0 unidades). Se observó un sustrato rocoso y el tamaño dominante de las rocas varió entre 4 y 10 cm. Sobre el sustrato se pudo apreciar un comparativamente alto desarrollo de microflora bentónica y macroinvertebrados bentónicos en relación a los otros tramos del área de estudio. También fueron encontradas tres taxa de macrófitas. En base a estos resultados se indica que el curso de agua de la quebrada Chuquiananta presenta condiciones favorables para el desarrollo de la biota acuática. A pesar de lo anterior, no se detectaron peces en el área de estudio.

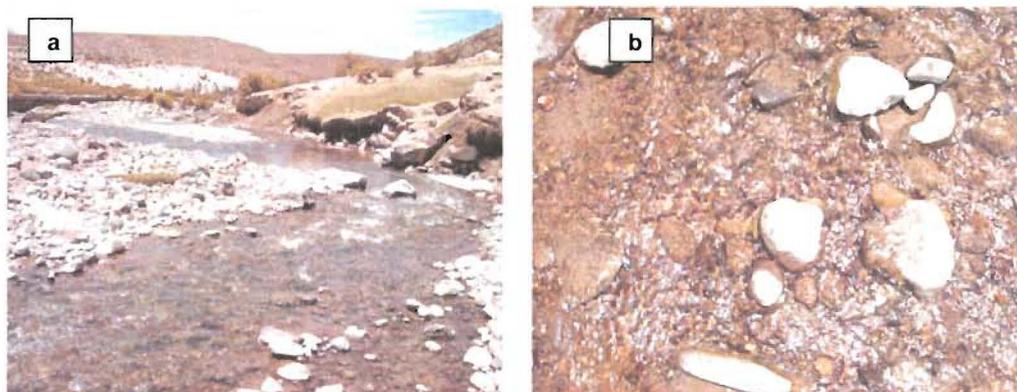


Figura 5. a) Vista general de la estación de muestreo LI-4, Quebrada Chuquiananta. b) Detalle del sustrato del curso principal de la quebrada.

e. Estación de muestreo LI-5: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. Figura 6.

El río Caracarani presentó un sustrato rocoso, baja temperatura del agua y nula cobertura de flora acuática, por lo corresponde a un sistema tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963).

En esta estación de muestreo se detectó una concentración de oxígeno disuelto de 6,86 mg/l, la cual permite el desarrollo de biota acuática. El sustrato dominante fue Guijarros (Bain et al. 1985), los que presentaron tamaño variable, en un rango entre 2 y 4 cm (Tabla 5, Figura 6b) y sobre los cuales se encontró perifiton. También fueron encontrados clastos de mayor tamaño con precipitación de compuestos óxidos de fierro y precipitados de aluminio, hallados principalmente en el sector de la junta con el río Colpitas. El valor de conductividad específica registrado fue alto, de 1,46 mS/cm. Esta estación presentó bajos valores de temperatura (12,9 °C) y de pH (5,49 unidades), lo cual se atribuiría a la descarga del río Azufre, el que presenta niveles ácidos en el agua (< 2,0 unidades). El valor de pH registrado fue menor al valor mínimo establecido en la Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78 que determina aptitud para el desarrollo de biota acuática, lo que indica que en este sector de muestreo no existiría un hábitat favorable para el desarrollo de la fauna y flora acuática. A pesar de ello, se encontraron organismos bentónicos en abundancia no despreciable dentro del área de estudio.

Al momento de la prospección se observó una condición de baja transparencia en la columna de agua y en general, las condiciones de hábitat en este tramo de estudio no son favorables para el desarrollo de poblaciones de peces, lo cual fue confirmado por la ausencia de fauna íctica y de macrófitas.

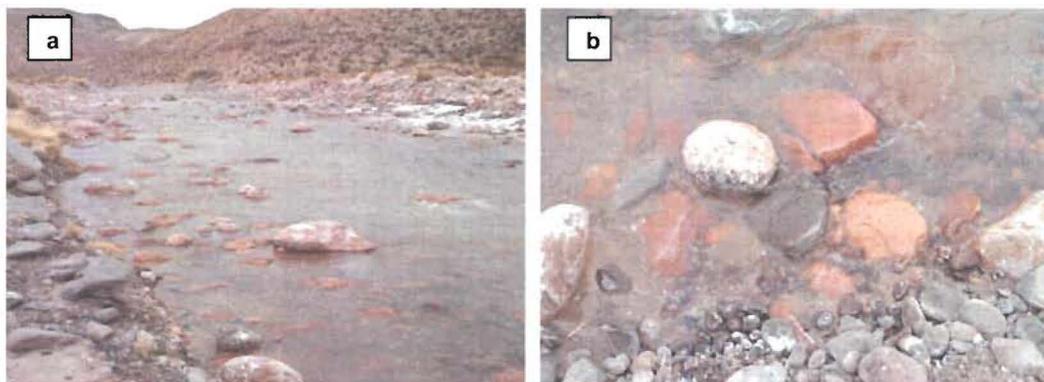


Figura 6. a) Estación de muestreo LI-5: Río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-5.

f. Estación de muestreo LI-6: Río Colpitas, estación de muestreo ubicada 100 m aproximadamente aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. Figura 7.

El río Colpitas corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963), ya que en este sector se detectó condiciones de escorrentía, baja profundidad (30 – 40 cm.) y bajos niveles de temperatura (Figura 7a y b). Las condiciones de hábitat que presentó el río Colpitas fueron significativamente mejores a las condiciones presentadas por el río Caracarani. En el río Colpitas se observó un sustrato rocoso (Tabla 5) y el tamaño predominante de las rocas varió entre 5 y 10 cm. (Figura 7b). Sobre el sustrato se pudo apreciar mayor desarrollo de microflora bentónica que en otros tramos del área de estudio y en particular se observó un abundante ensamble de microalgas filamentosas adheridas al sustrato. El valor de temperatura registrado fue 15,8 °C. Esta estación también presentó un alto valor de conductividad específica 3,17 mS/cm. El valor de pH registrado fue básico (8,04 unidades), el que representa una condición favorable de hábitat ya que los valores están dentro del rango de valores establecido en la normativa que determina la aptitud del recurso para el desarrollo de biota acuática (Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78; 6,0-9,0 unidades). El valor de concentración de oxígeno disuelto fue mayor que el valor mínimo establecido en la NCh. 1.333 Of. 78, la que define la actitud para vida acuática (> 5,0 mg/l). En base a estos resultados se indica que el río Colpitas presenta condiciones favorables para el desarrollo de biota acuática, lo cual fue confirmado por la presencia de peces, macrófitas y fitobentos sobre el sustrato rocoso.

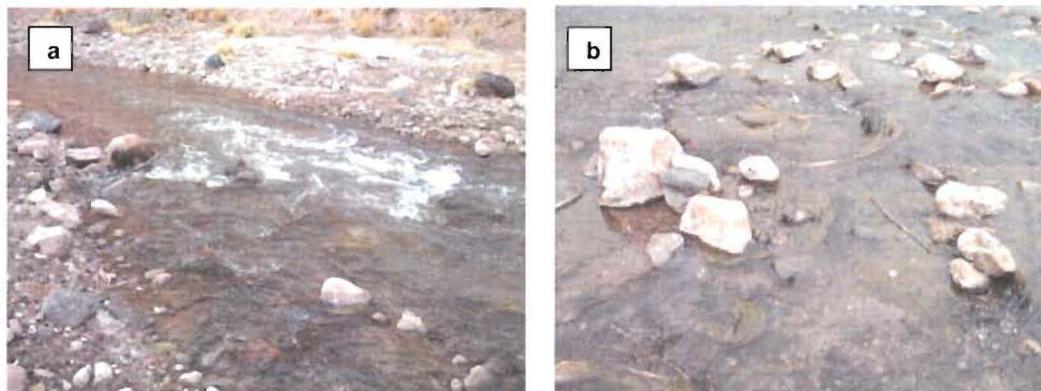


Figura 7. a) Vista general de la estación de muestreo LI-6, ubicada en el río Colpitas, 100 m aproximadamente aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-6.

g. Estación de muestreo LI-7: Río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas. Figura 8.

El río Lluta corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). Al momento de la prospección se observó alta turbidez en la columna de agua, baja temperatura y una nula cobertura de vegetación acuática (Fotografía 8a y b). Se detectó una concentración de oxígeno disuelto que permite el desarrollo de biota (6,77 mg/l), un sustrato constituido por guijarros de tamaño variable sobre los cuales no se encontró perfiton y hubo una baja abundancia de macroinvertebrados. También fueron encontrados clastos de mayor tamaño con precipitación de compuestos férricos similarmente a lo observado aguas arriba de la junta con el río Colpitas.

En el tramo se registró un valor de temperatura de 15,1 °C y valores altos de conductividad específica (2,24 mS/cm). El valor de pH alcanzó a 6,24 unidades, valor que aumentó debido a la dilución con la descarga del río Colpitas. Sin embargo, el valor de pH se mantuvo en el valor mínimo establecido en la Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78 que determina aptitud para el desarrollo de biota acuática (6,0 unidades) por lo cual habría un hábitat marginalmente favorable para la biota en base a este parámetro. Al momento de la prospección se observó una condición de baja transparencia en la columna de agua y un bajo desarrollo de flora epilítica sobre el sustrato. Las condiciones de hábitat en este tramo de estudio no son favorables para el desarrollo de poblaciones de peces, lo cual fue confirmado por la ausencia de peces y flora de macrófitas.



Figura 8. a) Vista general de la estación de muestreo LI-7, ubicada en el río Lluta aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-7.

h. Estación de muestreo LI-8: Río Lluta en Tocontasi. Figura 9.

El tramo de estudio del río Lluta corresponde a un sistema de tipo Rithron según la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). Al momento de la prospección se observó alta turbidez en la columna de agua, alta temperatura (19,3 °C) y nula cobertura de vegetación acuática (Figura 9a y b). Se observó un sustrato constituido por bolones cuyo tamaño predominante varió entre 20 y 25 cm. Sobre el sustrato no se encontró perifiton y se encontró precipitados de óxidos de fierro, similarmente a lo encontrado en todos los tramos anteriores del río Caracarani y Lluta ubicados aguas arriba de esta estación. En el tramo se registraron altos valores de conductividad específica (2,18 mS/cm). El valor de pH medido fue 8,0 unidades, lo cual revela una condición de basicidad en el agua. El valor de pH está en el rango de valores establecido en la Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78 (6,0-9,0 unidades) que determina la aptitud del recurso hídrico para el desarrollo de biota acuática. Esta estación presenta alta disponibilidad de oxígeno para la biota, ya que la concentración de oxígeno disuelto registrada fue 8,35 mg/l. En base a los resultados de los parámetros de calidad de agua medidos in situ, se plantea que las condiciones de hábitat en este tramo de estudio son favorables para el desarrollo de la biota acuática, lo cual fue confirmado por la presencia de peces, anfibios y de crustáceos y de un abundante desarrollo de microalgas clorofíceas filamentosas.

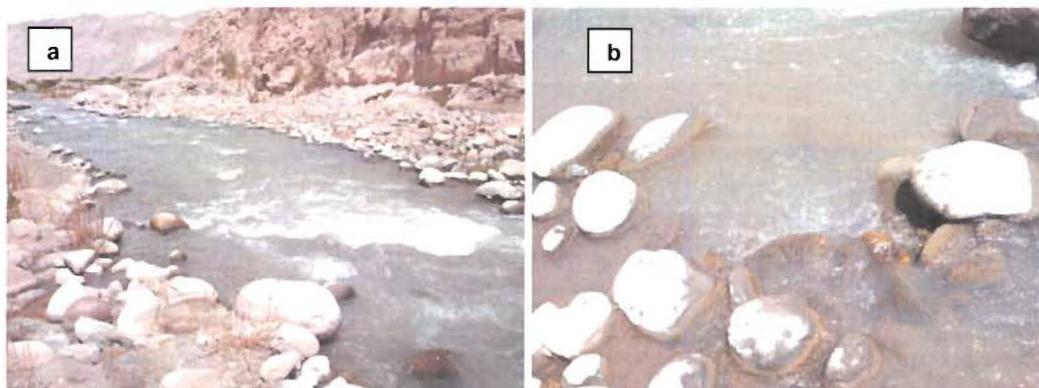


Figura 9. a) Vista general de la estación de muestreo LI-8 Río Lluta en Tocontasi. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-8.

i. Estación de muestreo LI-9: Río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m aguas arriba de la desembocadura. Figura 10.

El tramo de desembocadura del río Lluta corresponde a una zona de transición (ecotono) adyacente al sistema acuático continental (río Lluta) y al sistema marino (Figura 10a y b). Debido a esta condición de transición, el tramo de desembocadura presenta alta heterogeneidad de hábitat debido a la mezcla de condiciones de calidad de agua, lo cual genera mayor riqueza de especies. Por otro lado, la composición de los ensambles biológicos es significativamente diferente al ensamble de peces observado en el río Lluta, ya que fueron detectadas en este sector al menos dos especies ícticas eurihalinas que toleran un amplio rango de condiciones de salinidad. Esta zona de alta riqueza, baja pendiente y suelos saturados se considera un humedal marino, el cual al momento de la prospección presentaba una significativa influencia del sistema marino, ya que era baja la descarga del río Lluta y el viento estaba direccionado desde poniente hacia oriente generándose un flujo en esa dirección. Es posible que en otro momento del día y dependiendo del régimen de mareas, el flujo y la influencia marina sea menor. En este sector se detectó un valor de conductividad de aproximadamente 5,0 mS/cm, lo cual es un valor intermedio entre el sistema acuático continental y el sistema marino (58 mS/cm). En esta zona de humedal se observó un sustrato arenoso y un tapete litoral de microalgas filamentosas que cubrían un franja entre 4 y 6 m en el sector de ribera del humedal. Una importante superficie de este sector se encontraba con sedimento anóxicos, lo cual generaba mal olor (ácido sulfídrico) cuando se resuspendía el sedimento. El valor de temperatura fue 21,1 °C, y se midió valores altos valores de pH (8,2 unidades), ello asociado posiblemente al proceso de fotosíntesis debido a las abundantes algas filamentosas. A pesar del sustrato reducido, se registró una alta concentración de oxígeno en la columna de agua, 9,7 mg/l, lo cual es mayor al valor mínimo establecido en la normativa que determina aptitud del recurso para el desarrollo de biota acuática (5,0 mg/l, Norma Chilena Oficial 1.333 Of. 78) y por ello representa una condición favorable de hábitat. Consecuentemente, se observó un abundante ensamble de peces en diferentes estados de desarrollo, principalmente de alevines que se encontraban en los sectores más someros lo cual indica que las condiciones de hábitat de este lugar favorecen la reproducción de peces.

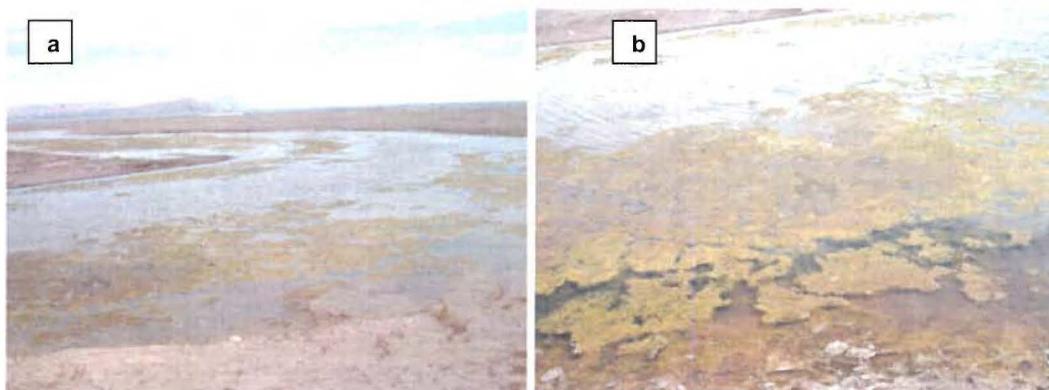


Figura 10. a) Vista general de la estación de muestreo LI-9 Río Lluta en desembocadura. b) Detalle del sustrato en el sector de ribera en la estación de muestreo LI-9.

Tabla 4. Descripción morfológica y tipo sustrato de acuerdo a Bain et al. 1985. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008. * Valores estimados.

Estación	Ancho* (m)	Profundidad* media (m)	Tipo de sustrato (En base al índice de Bain)
LI-1	4-5	0,1 – 0,4	Guijarros
LI-2	2-3	0,1 – 0,3	Guijarros
LI-3	3-4	0,2 – 0,4	Guijarros
LI-4	3-8	0,1 – 0,3	Guijarros
LI-5	10	0,1 - 0,4	Guijarros
LI-6	6-8	0,3 – 0,4	Guijarros
LI-7	5-7	0,2 – 0,5	Guijarros
LI-8	8-12	0,5 – 1,0	Bolones
LI-9	20 - 30	0,4 – 0,5	Arena

Bain M.B., Finn J.T. & H.E. Booke. 1985. Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. North American Journal of Fisheries Management. 5: 499-506.

2. Calidad de agua

A continuación se describen los resultados de los parámetros de calidad de agua obtenidos in situ en el área de estudio, los que se presentan en la Tabla 5. En la Tabla 6 se indican los valores de los parámetros que contempla la norma técnica que establece los requisitos de calidad de agua para riego y vida acuática (Norma Chilena Oficial 1.333, Of. 78). En el texto se indica si los valores medidos están dentro del rango de los límites establecidos por esta norma.

Tabla 5. Parámetros físico-químicos medidos en el río Lluta (XV Región). Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

Estaciones	Parámetros de calidad de agua			
	Temperatura (°C)	pH (unidad)	Conductividad específica (mS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)
LI -1	12,5	8,56	1,64	7,90
LI -2	14,0	< 2,0	10,86	10,56
LI -3	15,0	4,11	2,09	6,98
LI -4	18,5	8,53	0,29	7,19
LI -5	12,9	5,49	1,46	6,86
LI -6	15,8	8,04	3,17	7,06
LI -7	15,1	6,24	2,24	6,77
LI -8	19,3	8,00	2,18	8,35
LI -9	21,1	8,20	5,01	9,70

a. pH

El valor de pH en el área de estudio fluctuó entre < 2,0 y 8,56 unidades. El menor valor de pH fue registrado en la estación LI-2 (río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani, Tabla 5). Este bajo valor de pH ha sido recurrentemente medido en el río Azufre y es explicable debido a que el río Azufre es alimentado por afloramientos subterráneos asociados a depósitos de sulfuros debidos a la actividad volcánica que existe en la región. El valor máximo de pH fue medido en la estación LI-1 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada 100 m., aproximadamente aguas arriba de la confluencia con el río Azufre, Tabla 5) y alcanzó a 8,56 unidades, valor considerado altamente básico pero que representa una condición favorable para la biota acuática.

En función de la Norma Chilena 1.333, Of. 78, que establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos, el valor de pH registrado en el área de estudio se encuentran dentro de los valores límites que establece esta norma que determina la aptitud de riego del recurso (entre 5,5 y 9,0 unidades). Estos valores de pH también se encuentran dentro del rango que permite el desarrollo de vida acuática (valores de pH entre 6,0 y 9,0 unidades, Tabla 6).

b. Concentración de oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en el área de estudio fue variable entre las estaciones de muestreo (Tabla 5). El valor promedio fue 7,93 mg/l, el cual varió entre 6,77 mg/l valor que fue medido en la estación LI-7 (río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas) y 10,56 mg/l, valor medido en la estación LI-2 (río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani, Tabla 5).

Los valores de oxígeno disuelto indican una condición de alta concentración de oxígeno disuelto, lo cual es explicable debido a que los cuerpos de agua del área de estudio son sistemas torrenciales que presentan baja profundidad y tienen alta turbulencia, condiciones que mantienen oxigenada la columna de agua. Consecuentemente, existe una alta disponibilidad de oxígeno en el agua para la biota acuática, ello considerando las condiciones de altitud y temperatura en el área de estudio.

Los valores de oxígeno disuelto registrados en las estaciones de muestreo fueron mayores que el valor mínimo establecido en la NCh. 1.333, Of. 78 para aguas destinadas a vida acuática (5,0 mg/l), lo cual indica que el recurso presenta una condición favorable para el desarrollo de vida acuática en función de este parámetro (Tabla 6).

c. Conductividad Específica

En el área de estudio se registró un valor promedio de conductividad específica de 3,22 mS/cm, el cual varió desde un mínimo de 0,29 mS/cm medido en la estación LI-4 (quebrada Chuquiananta, estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada, Tabla 5) hasta un valor máximo de 10,86 mS/cm medido en la estación LI-2 (río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani, Tabla 5).

El rango de valores de conductividad específica representa una condición de alta concentración de iones disueltos, lo cual es frecuente en sistemas fluviales con suelos de alta salinidad. Esgurrimientos superficiales de pH bajo, como el río Azufre, además favorecen la disolución de metales que contribuyen a aumentar la concentración de iones en el agua.

A continuación se tipifica la aptitud del recurso hídrico en función de la NCh. 1.333, Of. 78 que determina aptitud para el desarrollo de vida acuática. La mayoría de las estaciones presentaron una condición de alta conductividad específica con excepción de la estación de muestreo LI-4 (Quebrada Chuquiananta), que fue la única que presentó condiciones para riego ya que mostró un valor de conductividad menor a 750 μ S/cm (Tabla 6), siendo un recurso adecuado para el riego y con el cual no se observarán efectos perjudiciales sobre cultivos. Por el contrario, el valor de conductividad específica registrado en la estación LI-5, se encuentra entre 750 y 1.500 μ S/cm, lo que indica que el agua de este sector de muestreo puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles si es utilizada para riego. El agua de las estaciones de muestreo LI-1, LI-3, LI-7 y LI-8 puede ser clasificada como agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y para su uso necesita de

métodos de manejo cuidadoso, ya que estas estaciones presentaron valores de conductividad específica que se encuentran entre 1.500 y 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La estación LI-9 presentó un valor de conductividad específica que se encuentra en un rango de 3.000 a 7.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que de acuerdo a esta norma el agua de este sector de muestreo puede ser usada para el riego de plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadoso. Por último, el valor de conductividad registrado en la estación LI-2 (10.860 $\mu\text{S}/\text{cm}$) fue significativamente mayor al valor límite máximo establecido en esta norma para agua destinada a riego (7.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de valores medidos con los valores normados en la Norma Chilena Oficial 1.333, Of. 78 que regula el uso para riego y vida acuática. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

Parámetro	Unidad	Límites NCh 1.333	Estaciones de muestreo								
			LI-5	LI-4	LI-7	LI-6	LI-1	LI-2	LI-3	LI-8	LI-9
pH	unidad	5,5 - 9,0	8,56	< 2,0	4,11	8,53	5,49	8,04	6,24	8	8,2
Oxígeno disuelto	mg/l	≥ 5	7,9	10,56	6,98	7,19	6,86	7,06	6,77	8,35	9,7
Conductividad específica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	≤ 750	1.640	10.860	2.088	294	1.460	3.170	2.240	2.180	5.010

El valor resaltado indica que sobrepasa al valor de la normativa

3. *Biota acuática*

a. Peces (fauna íctica)

El ensamble de peces en el área de estudio estuvo constituido por tres especies, dos especies nativas: *Mugil cephalus* (Lisa) y *Trichomycterus rivulatus* (Bagrecito) y una especie introducida: *Gambusia affinis* (Gambusia). La especie *M. cephalus* no tiene propuesta de clasificación mientras que *T. rivulatus* está clasificada como En Peligro y Rara (CONAMA 2008). Por el contrario, *G. affinis* es introducida y no presenta problemas de conservación. La Tabla 7 muestra las categorías de conservación biológica de la fauna íctica encontrada en el área de estudio.

Tabla 7. Categoría de conservación de especies ícticas del área de estudio. Estudio de Limnología río Lluta. Diciembre 2008.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Origen	Categorías de conservación
				D.S. N° 51/2008 del MINSEGPRES.
Trichomycteridae	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	Bagrecito	Nativo	P y R
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	Lisa	Nativo	SP
Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	Gambusia	Introducido	-

V= Vulnerable, SP = Sin propuesta de clasificación, IC = Insuficientemente conocida, P = En Peligro de extinción, R = Rara.

Una condición característica del área de estudio fue la baja abundancia de peces, incluso hubo ausencia de peces en la mayoría de las estaciones de muestreo. Hubo ausencia de peces en 6 estaciones de muestreo del total de 9 estaciones prospectadas. Es probable que las condiciones de calidad de agua en estos ambientes extremos esté explicando la ausencia de peces en numerosos cuerpos de agua del área de estudio. Cabe destacar que lugareños que viven permanentemente en la quebrada Chuquiananta indican que hubo peces en esta quebrada en épocas anteriores y es probable que debido a la extracción y manejo que se hace del agua en esta quebrada para el desarrollo de vegas artificiales habría afectado negativamente las poblaciones de peces del sector.

Las estaciones en que se encontró peces fueron la estación Ll-6 que corresponde al río Colpitas, en donde se capturaron ejemplares de *T. rivulatus*, la estación Ll-8 que corresponde a un tramo del río Lluta ubicado en Tocontasi en el que solamente hubo un avistamiento de un juvenil de *M. cephalus* y en la estación Ll-9 que corresponde al sector de desembocadura, en donde hubo un abundante ensamble de las especies *M. cephalus* y *G. affinis*.

El análisis morfométrico de los peces capturados se detalla en la Tabla 8. En la misma tabla se presenta el valor del factor de condición (K) de cada ejemplar capturado en cada estación de muestreo.

Los individuos de *T. rivulatus* que fueron encontrados en una estación de muestreo presentaron una longitud total que varió entre 4,5 y 7,6 cm y un peso que varió entre 0,9 y 3,6 g (Tabla 8). Estos resultados indican un predominio de individuos juveniles durante el periodo de estudio. El factor de condición de *T. mykiss* varió entre 8,2 y 9,9 (Tabla 8). En ausencia de ejemplares de *T. rivulatus* en otras estaciones no se puede realizar el análisis comparativo del factor de condición y estimar la robustez de la población. Los únicos ejemplares de *T. rivulatus* fueron encontrados en la estación LL-6 (río Colpitas), lo cual indica que la población se encuentra altamente restringida dentro de la cuenca del río Lluta siendo una condición altamente sensible para la población.

Los individuos de *M. cephalus* y *G. affinis* que fueron encontrados prácticamente también en una estación de muestreo (L1-9, sector de desembocadura). Los ejemplares de *M. cephalus* presentaron una longitud total que varió entre 10,2 y 11,0 cm y un peso que varió entre 11,7 y 14,9 g (Tabla 8). *G. affinis* mostró una longitud que varió entre 1,1 y 5,0 cm y un peso que varió entre 0,1 y 1,0 g. Estos resultados indican la presencia de individuos juveniles durante el periodo de estudio. El factor de condición de *M. cephalus* varió entre 11,0 y 11,4 y el factor de *G. affinis* entre 6,1 y 9,1 (Tabla 8). Similarmente a lo observado APRA la especie *T. rivulatus*, las poblaciones de *M. cephalus* y *G. affinis* se encuentran altamente restringidas dentro de la cuenca del río Lluta siendo encontradas solamente en el sector de desembocadura del río Lluta. Los ejemplares de las tres especies no se encontraban en condiciones de gravidez.

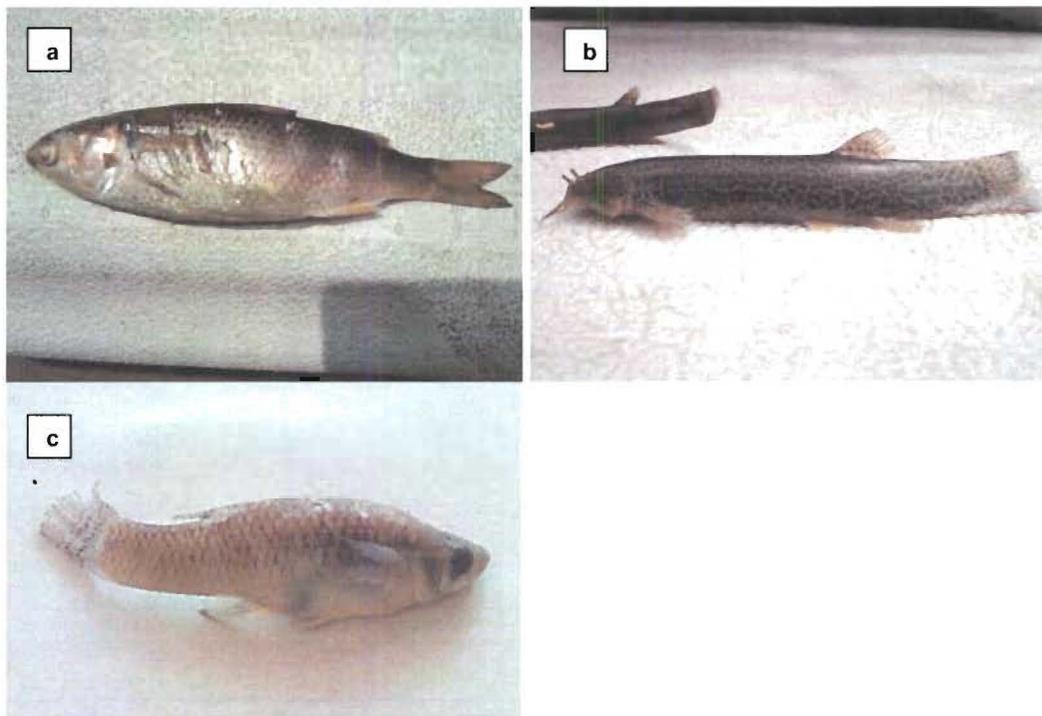


Figura 11. a) *Mugil cephalus*, b) *Trichomycterus rivulatus* y c) *Gambusia affinis*

Tabla 8. Parámetros morfométricos y factor de condición (K) de los peces capturados en el área de estudio. Río Lluta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

Estación	Especie	Longitud total (cm)	Peso total (g)	Factor de condición (K)
LI-6	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	4,7	0,9	8,67
LI-6	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	4,5	0,9	9,88
LI-6	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	5,8	1,6	8,20
LI-6	<i>Trichomycterus rivulatus</i>	7,6	3,6	8,20
LI-8	<i>Mugil cephalus</i>	2,2	<0,1	-
LI-9	<i>Mugil cephalus</i>	10,9	14,8	11,43
LI-9	<i>Mugil cephalus</i>	10,4	12,7	11,29
LI-9	<i>Mugil cephalus</i>	11,0	14,9	11,19
LI-9	<i>Mugil cephalus</i>	10,2	11,7	11,03
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	5,0	1,1	9,12
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,1	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,2	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,4	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,9	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,2	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,2	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,5	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,5	0,1	6,40
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,5	0,1	6,40
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,9	0,2	8,20
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,4	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,1	0,2	6,71
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,0	0,2	7,41
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,4	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,2	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	2,5	0,1	6,40
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	1,8	<0,1	-
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,0	0,2	7,41
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,3	0,3	8,35
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,3	0,3	8,35
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	3,2	0,2	6,10
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	4,4	0,7	8,22
LI-9	<i>Gambusia affinis</i>	4,6	0,8	8,22

b. Macroinvertebrados bentónicos (Macrozoobentos)

La fauna de macroinvertebrados bentónicos del área de estudio estuvo compuesta por 16 taxa (Tabla 9). En la fotografía 12 se entrega un registro fotográfico de los principales taxa de macroinvertebrados bentónicos del área de estudio.

El Orden con mayor número de taxa fue Diptera, el cual presentó 7 taxa. Los Órdenes con menor número de taxa fueron Coleoptera, Plecoptera, Amphipoda y Annelida los cuales presentaron un taxa (Tabla 9).

Tabla 9. Composición y densidad (ind/m²) de macroinvertebrados bentónicos (macrozoobentos) del área de estudio. Río Lluta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

ORDEN	FAMILIA	TAXA	Estaciones de Muestreo									
			LI-1	LI-2	LI-3	LI-4	LI-5	LI-6	LI-7	LI-8	LI-9	
Coleoptera	Elmidae	Elmidae	511	44					278	56	89	
Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae								6		
	Chironomidae	Chironomidae		56				67	39	28		22
		Orthocladinae		350		44	572		128	83		
	Dolychopodidae	Dolychopodidae							11			
	Empididae	Empididae	194								28	
	Ephydriidae	Ephydriidae						44			33	139
	Tabanidae	Tabanidae	6									
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Andesiops peruvianus</i>			6							
		<i>Andesiops torrens</i>	39			633	50	61	33			
		<i>Andesiops</i> sp.									17	
Plecoptera	Gryoptergidae	<i>Notoperlopsis femina</i>							6			
Trichoptera	Hydrobiosidae	<i>Cailloma</i> sp.	28			6				94		
	Hydroptilidae	<i>Metrichia</i> sp.	211			378	83	56	106			
Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.					6				11	
Annelida		Oligochaeta				56	67					
Densidad Total (ind/m²)			1.339	100	60	1.644	317	578	406	167	172	
Riqueza de Taxa			7	2	2	5	6	7	7	4	3	
Diversidad biológica (H', Shannon, bits)			0,66	0,298	0,152	0,524	0,715	0,63	0,754	0,515	0,267	
Equitabilidad (adm.)			0,83	0,22	0,26	0,54	0,71	0,94	1	0,59	0,39	

El valor promedio de riqueza de taxa de macrozoobentos de cada estación de muestreo fue 5 taxa y el rango varió entre 2 y 7 taxa (Tabla 9). El mayor valor de riqueza de taxa fue

registrado en las estaciones Ll-6 (río Colpitas, estación de muestreo ubicada 100 m, aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani), Ll-7 (río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas) y Ll-1 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada 100 m, aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Azufre), en las cuales se detectaron 7 taxa (Tabla 9). Las estaciones de muestreo Ll-2 (río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani) y Ll-3 (Río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas) presentaron el menor valor de riqueza taxa de macrozoobentos (2 taxa, Tabla 9).

Los taxa que presentaron mayor rango de distribución fueron Elmidae, Chironomidae, Orthoclaadiinae, Andesiops torrens y Metrichia sp., los que fueron detectados en cinco estaciones de muestreo. En cambio, los taxa detectados sólo en una estación de muestreo fueron Ceratopogonidae, Dolychopodidae, Tabanidae, Andesiops peruvianus, Andesiops sp. y Notoperlopsis femina (Tabla 9).

El promedio de densidad total de macroinvertebrados bentónicos en el área de estudio fue 530 ind/m², valor que varió desde un mínimo de 50 ind/m², medido en la estación Ll-3 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas) hasta 1.644 ind/m², medido en la estación Ll-4 (quebrada Chuquiananta, estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada, Tabla 9).

El taxa con mayor densidad en el área de estudio fue Andesiops torrens, el cual presentó una densidad de 633 ind/m², valor registrado en la estación Ll-4 (quebrada Chuquiananta, estación de muestreo ubicada en el curso principal de la quebrada, Tabla 9). Por el contrario, la menor densidad, 6 ind/m², fue presentada por los taxa Ceratopogonidae (estación Ll-7), Tabanidae (estación Ll-1), Andesiops peruvianus (estación Ll-3), Notoperlopsis femina (estación Ll-6), Cailloma sp. (Estación Ll-4) y Hyaella sp. (Estación Ll-5) (Tabla 9).

El valor promedio de diversidad biológica en el área de estudio fue 0,501 bits, el cual varió entre 0,152 bits medido en la estación Ll-3 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas) y 0,754 bits medido en la estación Ll-7 (río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 9).

El análisis de agrupamientos muestra que existe una diferenciación de las estaciones de muestreo en función de la abundancia total y riqueza de taxa del zoobentos (Figura 13). El análisis indica que hubo tres agrupaciones estadísticas en función de la densidad total y riqueza de taxa de macroinvertebrados bentónicos. La primera agrupación fue generada por las estaciones Ll-2, Ll-3, Ll-8 y Ll-9, que corresponden a estaciones en los ríos Azufre (Ll-2), Caracarani (Ll-3), Lluta (Ll-8) y la desembocadura del río Lluta (Ll-9), las que presentaron los menores valores de densidad y riqueza de taxa zoobentónicos dentro del área de estudio (50 – 172 ind/m², Tabla 9). La segunda agrupación estuvo compuesta por las estaciones Ll-1, Ll-4 correspondientes al tramo del río Caracarani aguas arriba del río Azufre (Ll-1) y a la quebrada Chuquiananta (Ll-4), los que mostraron los valores más altos de densidad de microalgas (1.339 – 1.644 ind/m²). Los valores de riqueza de taxa fueron comparativamente altos dentro del área de estudio (Tabla 9). La tercera agrupación fue

constituida por las estaciones Ll-5, Ll-6 y Ll-7, que corresponden al río Caracarani, Río Colpitas y río Lluta, sistemas que mostraron valores intermedios de densidad es el sector de desembocadura y valores comparativamente altos de riqueza de taxa (Tabla 9).

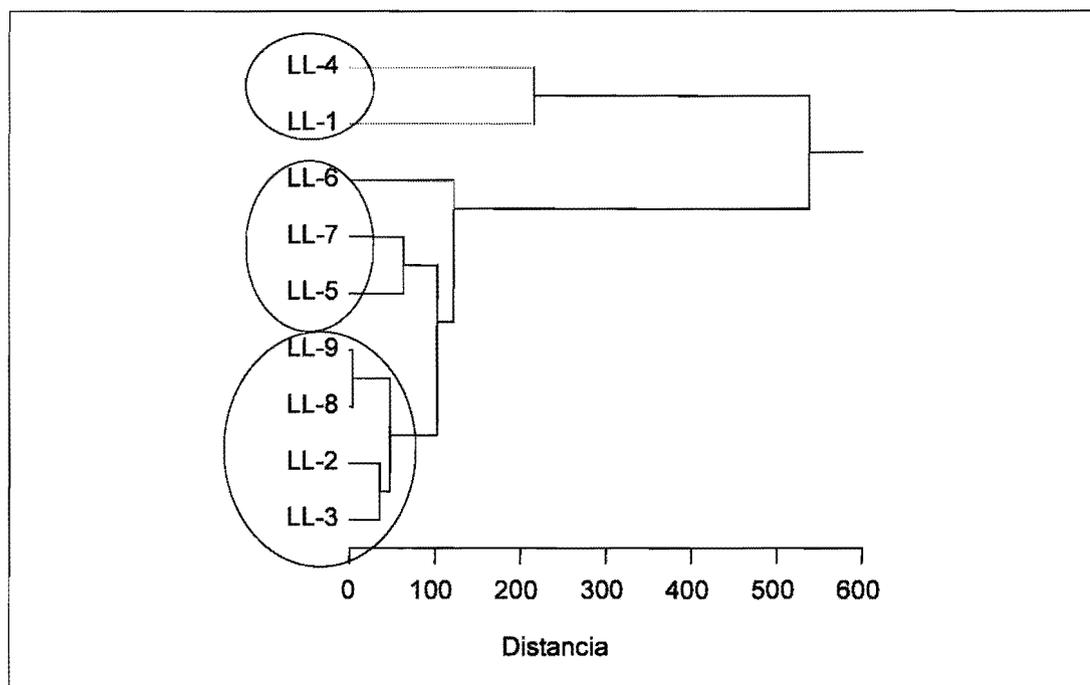


Figura 12. Análisis de conglomerados. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la densidad total y riqueza de taxa de macroinvertebrados bentónicos. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.

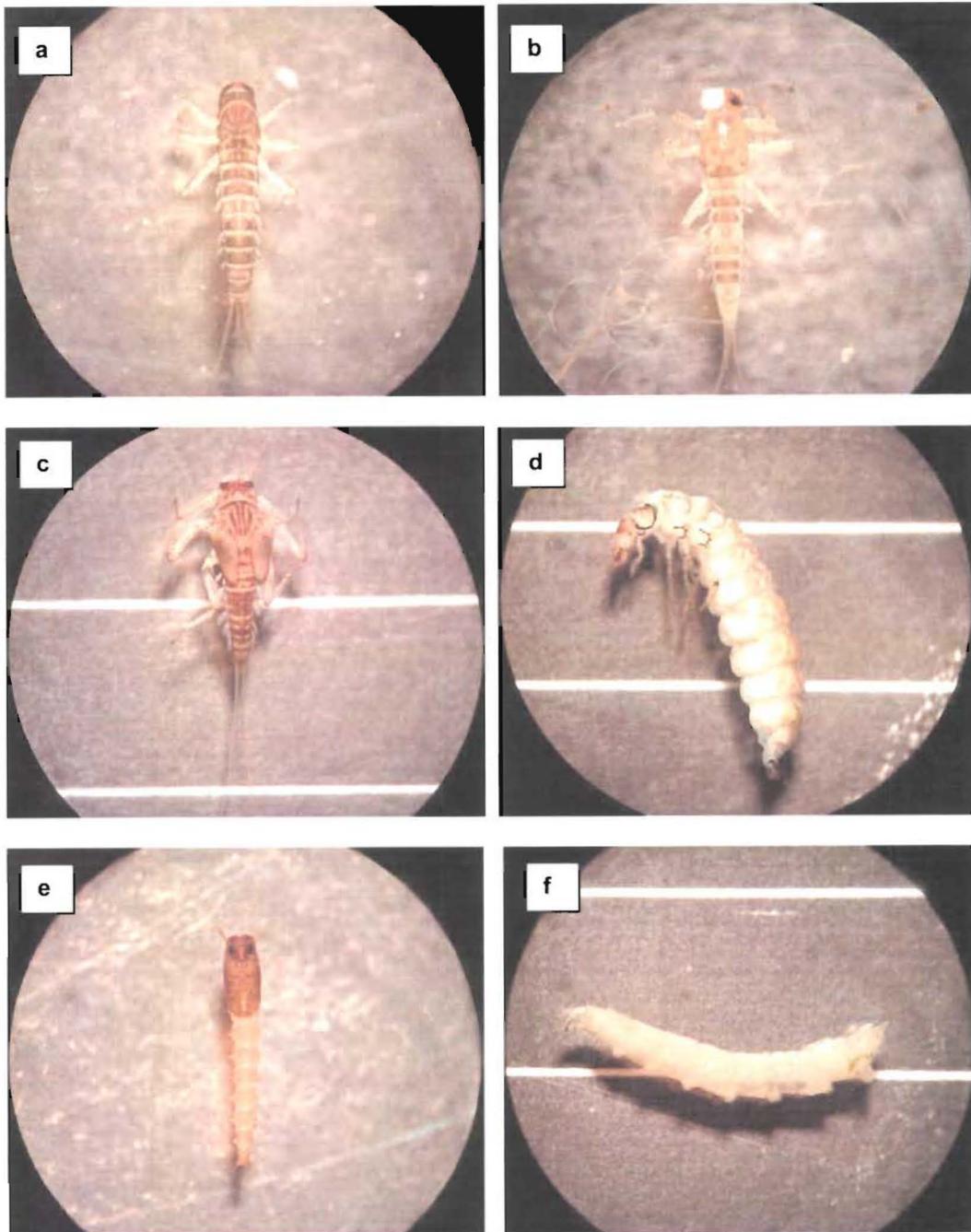


Figura 13. a) *Andesiops peruvianus*, b) *Andesiops* sp., c) *Andesiops torrens*, d) *Cailloma* sp., e) Ceratopogonidae y f) Dolichopodidae.

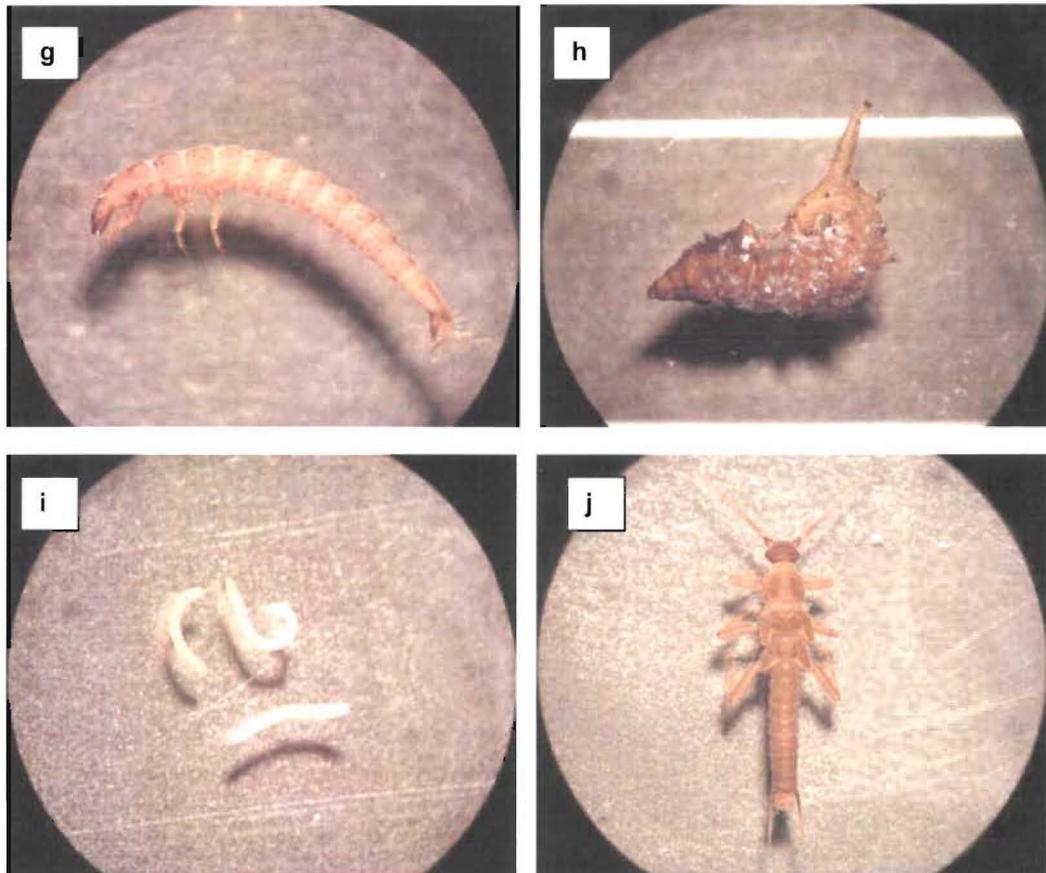


Figura 14. Continuación g) Elmidae, h) Ephidridae, i) Oligochaeta, j) *Notoperlopsis femina*.

Cabe señalar que se detectó la presencia del camarón del Norte *Cryphiops caementarius*, el cual fue capturado con la red para pesca en la estación LI-8 (Río Lluta en Tocontasi).

El análisis de componentes principales muestra que también existe una significativa diferenciación entre las estaciones de muestreo en la cuenca del río Lluta en función de la composición de macroinvertebrados bentónicos (Figura 13,60 % de varianza explicada). El análisis indica que hubo seis agrupaciones estadísticas. La primera agrupación fue generada por las estaciones LI-1, LI-4, LI-6 y LI-7, que corresponden a estaciones en el río Caracarani, Quebrada Chuquiananta, río Colpitas y río Lluta, cuya composición de taxa zoobentónicos fue diferente de la observada en la estación LL-2 (Río Azufre), de las estaciones LI-3 y LI-5 (Río Caracarani, aguas arriba y aguas debajo de la confluencia con la quebrada Chuquiananta), de la estación LI-8 (Río Lluta) y de la estación LI-9 (Sector de desembocadura) (Tabla 9).

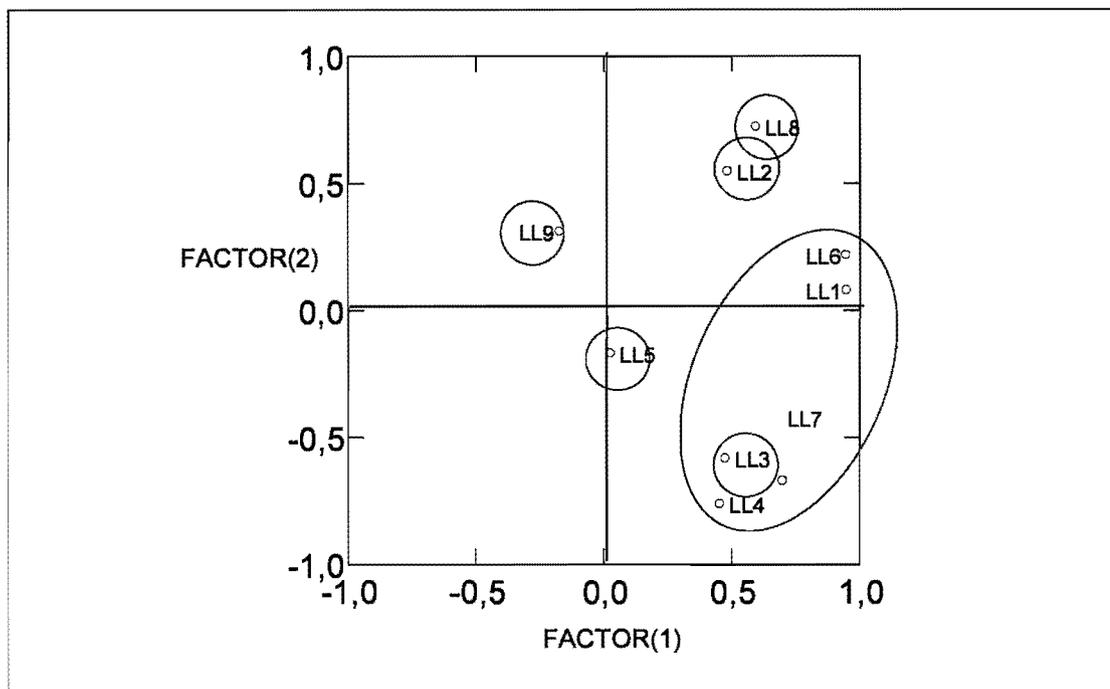


Figura 15. Análisis de componentes principales. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la composición de taxa de macroinvertebrados bentónicos. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.

c. Microalgas bentónicas (Fitobentos)

El ensamble de microalgas bentónicas del río Lluta y tributarios del área de estudio se presenta en la Tabla 10.

La flora de microalgas bentónicas del área de estudio estuvo compuesta por 44 taxa. El valor promedio de la riqueza de taxa fue 14 taxa. El mayor valor de riqueza de microalgas bentónicas fue 18 taxa, el cual fue medido en la estación LI-7 (río Lluta, estación de muestreo ubicada aguas abajo de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 10). Por el contrario, la menor riqueza de taxa fue 10 taxa, lo cual fue encontrado en la estación LI-2 (río Azufre, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Caracarani, Tabla 10).

Tabla 10. Composición y densidad (cel/mm²) de microalgas bentónicas (fitobentos) del área de estudio. Río Luta. Estudio de limnología. Diciembre de 2008.

Taxa	Estaciones de muestreo								
	LI-1	LI-2	LI-3	LI-4	LI-5	LI-6	LI-7	LI-8	LI-9
<i>Achnanthes submarina</i>			11						
<i>Achnantheidium minutissimum</i>							22		
<i>Adlafia minuscula</i>	162	32							
<i>Amphora coffeaeformis</i>									3.220
<i>Amphora</i> spp									20.927
<i>Amphora veneta</i>					2		11		
<i>Caloneis</i> sp							22		
<i>Cocconeis placentula</i> v <i>euglypta</i>	36		11	1.604	11				
<i>Encyonema minutum</i>		22						54	
<i>Encyonema</i> sp				1.069					
<i>Eolimna minima</i>							11		
<i>Eunotia</i> sp			21						
<i>Fragilaria capucina</i> v <i>vaucheriae</i>			53	535	2	26.180	260	269	28.829
<i>Fragilaria construens</i> f <i>exigua</i>				1.069	4		22		
<i>Fragilaria construens</i> f <i>subsalina</i>	109		64	25.572	42		152	1.623	
<i>Fragilaria fasciculata</i>									3.220
<i>Gomphonema angustatum</i>							22		
<i>Gomphonema angustum</i>		140							
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>			21						
<i>Gomphonema</i> sp									9.610
<i>Mayamaea atomus</i>					2		22		
<i>Navicula cincta</i>								108	
<i>Navicula gregaria</i>	217		75	430	4	2.801			9.610
<i>Navicula lauca</i>				2.034					
<i>Navicula radiosa</i>	198								
<i>Nitzschia aff fonticola</i>	3.531	32	117	20.392	26	2.585	163	325	40.245
<i>Nitzschia halloyii</i>	36	11	21	965		432	22		9.610
<i>Nitzschia inconspicua</i>	360		43			11.528		1.948	362.188
<i>Nitzschia ovalis</i>					23				
<i>Nitzschia palea</i>	486			3.011		216	76		19.219
<i>Nitzschia perminuta</i>									9.659
<i>Nitzschia</i> spp	1.585	22	53	5.685	7	432	87	1.299	
<i>Nitzschia valdecostata</i>			11						
<i>Pennada</i>	324	4				216		54	
<i>Pinnularia aff saprophila</i>	36	234	150						
<i>Planothidium delicatulum</i>					4	1.293	43		9.610
<i>Planothidium lanceolatum</i>		11		2.360	25	1.402	141		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>			43		23				
<i>Staurosira aventralis</i>								269	
<i>Staurosira brevistriata</i>	290		96	12.531	13	4.958	22	325	
<i>Staurosira pinnata</i>	3.569	11	226	6.545	46	7.866	65	324	19.219
<i>Surirella ovalis</i>								162	

Taxa	Estaciones de muestreo								
	LI-1	LI-2	LI-3	LI-4	LI-5	LI-6	LI-7	LI-8	LI-9
<i>Synedra goulardii</i>					11				
<i>Synedra ulna</i>	270		64	4.499	42		11		
Densidad Total (cel/mm²)	11.209	517	1.080	88.302	286	59.909	1.170	6.760	545.162
Riqueza de Taxa	15	10	17	15	17	12	18	12	13
Diversidad biológica (H', Shannon, bits)	2,665	2,31	3,607	3,001	3,529	2,471	3,503	2,805	2,016
Equitabilidad (adim.)	0,68	0,7	0,88	0,77	0,86	0,69	0,84	0,78	0,54

Una característica del ensamble fitobentónico fue la baja frecuencia de taxa entre las estaciones de muestreo, ya que recurrentemente los taxa estuvieron presentes en sólo una estación de muestreo (Tabla 10). Por el contrario, hubo algunos taxa dominantes en el área de estudio que fueron detectados en las 9 estaciones y fueron *Nitzschia aff fonticola* y *Staurosira pinnata*. Similarmente, el taxa *Nitzschia* spp. fue encontrado en 8 estaciones de muestreo (Tabla 10).

La densidad promedio de microalgas bentónicas en el río Lluta durante el periodo de estudio fue 79.377 cel/mm², valor que varió desde un mínimo de 286 cel/mm² medido en la estación LI-5 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 10) hasta 545.162 cel/mm², valor máximo medido en la estación LI-9 (río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m aguas arriba de la desembocadura, Tabla 10).

El taxa de mayor densidad en el área de estudio fue *Nitzschia inconspicua*, con una densidad de 362.188 cel/mm², registrado en la estación LI-9 (río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m aguas arriba de la desembocadura, Tabla 10). En cambio, el menor valor de densidad fue 2 cel/mm², valor presentado por los taxa *Amphora veneta*, *Fragilaria capucina v vaucheriae* y *Mayamaea atomus*, taxa que fueron registrados en la estación LI-5 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 10).

El valor promedio de diversidad biológica de fitobentos en el área de estudio fue 2,879 bits, el cual varió entre 2,016 bits medido en la estación LI-9 (río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m. aguas arriba de la desembocadura) y 3,607 bits medido en la estación LI-3 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 10). Los valores de equitabilidad variaron desde 0,54 adim., valor detectado en la estación LI-9 (río Lluta en desembocadura, estación de muestreo ubicada 100 m. aguas arriba de la desembocadura, Tabla 10) hasta 0,88 adim., medido en la estación LI-3 (río Caracarani, estación de muestreo ubicada en un tramo aguas abajo de la confluencia con el río Azufre y aguas arriba de la confluencia con el río Colpitas, Tabla 10).

El análisis de agrupamientos muestra que existe una diferenciación de las estaciones de muestreo en función de la abundancia total y riqueza de taxa de microalgas bentónicas (Figura 3). El análisis indica que hubo tres agrupaciones estadísticas en función de la densidad total y riqueza de taxa de microalgas bentónicas. La primera agrupación fue generada por las estaciones Ll-1, Ll-2, Ll-3, Ll-5, Ll-7 y Ll-8, que corresponden a estaciones en el río Caracarani y en el río Azufre, las cuales presentaron la menor densidad de microalgas (286 – 11.209 cel/mm², Tabla 10). La segunda agrupación estuvo compuesta por las estaciones Ll-4, Ll-6 correspondientes a los tributarios del cauce principal: río Colpitas y Quebrada Chuquiananta, las que mostraron valores altos de densidad de microalgas (59.909 – 88.302 cel/mm²). La tercera agrupación fue constituida por la estación Ll-9, que es el sector de desembocadura y el cual mostró la mayor densidad total de microalgas bentónicas dentro del área de estudio (545.162 cel/mm², Tabla 10). La riqueza de taxa no fue una variable que segregó estadísticamente a las estaciones de muestreo del área de estudio (Tabla 10).

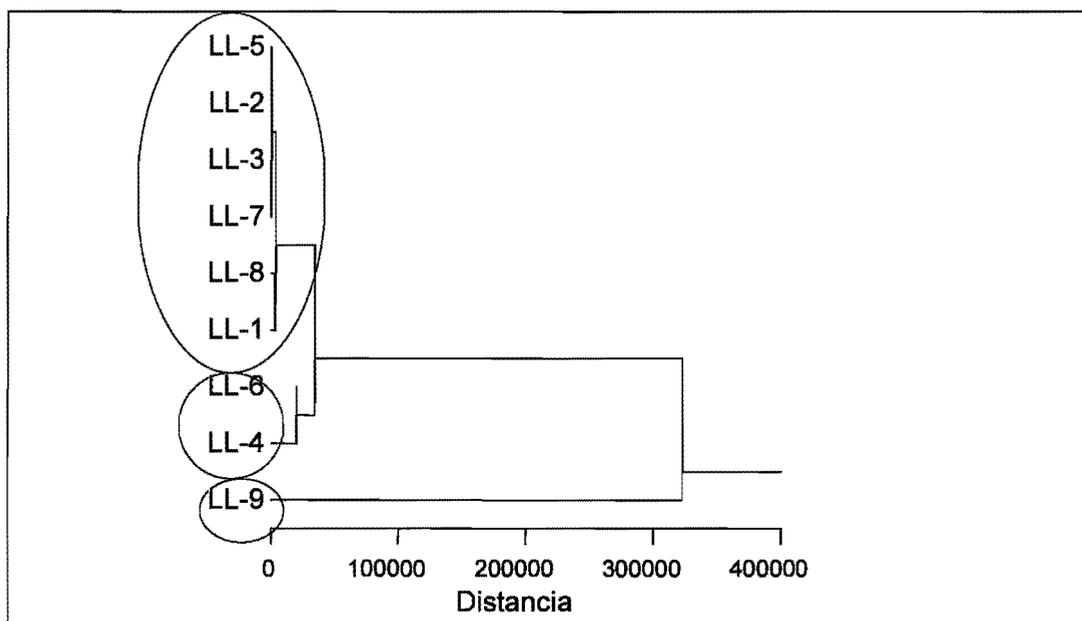


Figura 16. Análisis de conglomerados. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la densidad total y riqueza de taxa de microalgas bentónicas. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.

El análisis de componentes principales muestra que también existe una significativa diferenciación entre las estaciones de muestreo en la cuenca del río Lluta en función de la composición de microalgas bentónicas (Figura 17,64 % de varianza explicada). El análisis indica que hubo cinco agrupaciones estadísticas. La primera agrupación fue generada por las estaciones Ll-1, Ll-3, Ll-5, Ll-7 y Ll-8, que corresponden a estaciones en el río Caracarani y Lluta, cuyas composiciones de taxa fitobentónicas fue diferente de la observada en la estación Ll-2 (Río Azufre), de la estación Ll-4 (Quebrada Chuquiananta), de la estación Ll-6 (Río Colpitas) y de la estación Ll-9 (Sector de desembocadura) (Tabla 10).

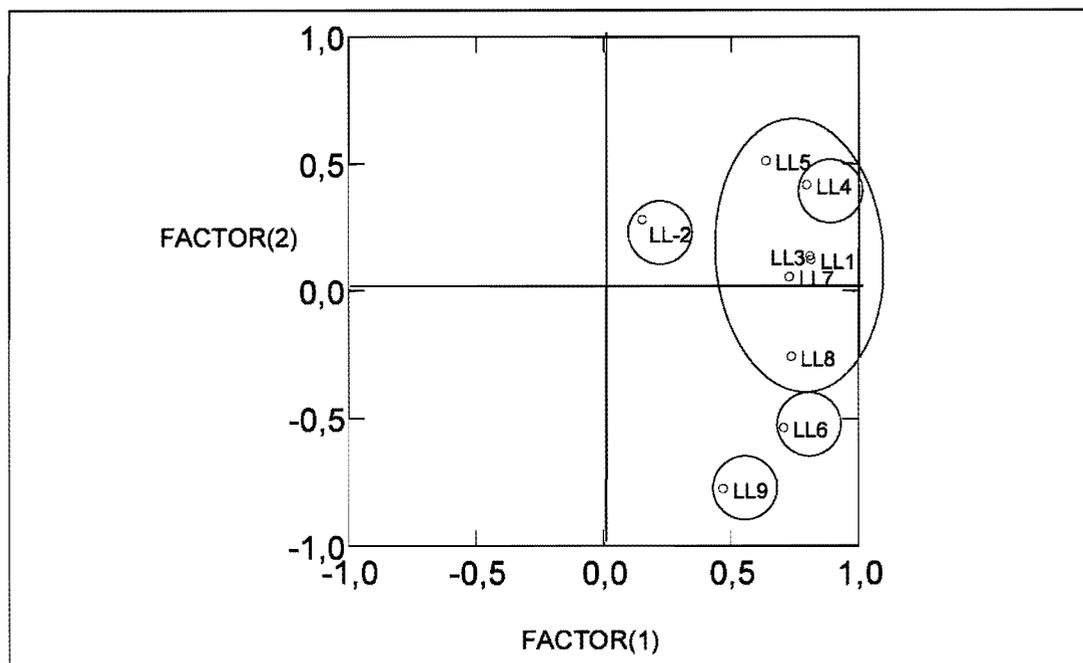


Figura 17. Análisis de componentes principales. Segregación espacial de las estaciones de muestreo en función de la composición de taxa de microalgas bentónicas. Estudio de limnología. Río Lluta. Diciembre de 2008.

VII. Conclusiones

En función de los resultados obtenidos durante la prospección realizada en un periodo estival (diciembre de 2008), se plantean las siguientes conclusiones:

Los tramos prospectados en la cuenca del río Lluta corresponden a tramos de tipo Rithron de acuerdo a la clasificación de Illies & Botosaneanu (1963). Los tramos rithrónicos son someros, de tipo torrente, presentaron un sustrato rocoso y bajo caudal al momento de la prospección. Estos tramos presentaron baja riqueza y abundancia de ensambles bentónicos y de peces.

En la cuenca del río Lluta pudo apreciarse un patrón significativo de distribución de la abundancia de microalgas bentónicas. Los ríos Caracarani y Azufre presentaron la menor densidad de microalgas, lo cual sería explicado por las condiciones de calidad de agua que presentan estas estaciones, principalmente debido a los precipitados de sulfatos y aluminio sobre las rocas, lo que impediría el asentamiento y desarrollo de los individuos con hábito bentónico. La condición depauperada de los ensambles en estos ríos contrastó significativamente con la mayor abundancia de microalgas bentónicas encontradas sobre el

sustrato del río Colpitas y de la quebrada Chuquiananta, en las cuales se observó valores de uno o dos ordenes mayor que en el río Caracarani y río Azufre. Una condición de aún mayor abundancia fue encontrada en el sector de desembocadura del río Lluta. Cabe mencionar que la riqueza de algas fue baja y varió entre 10 y 18 taxa, siendo un factor que no diferenció a los cursos de agua prospectados.

La composición del ensamble de microalgas siguió un patrón similar a la abundancia de este ensamble. En base a las diferencias de composición taxonómica, se puede plantear que dentro de la cuenca del río Lluta existen significativas diferencias ecológicas entre los cursos de agua de la cuenca. Así por ejemplo, la composición de taxa de los tributarios (río Colpitas y Quebrada Chuquiananta) difiere de la composición de taxa del río Caracarani y Lluta. Particularmente, la composición del ensamble fitobentónico del río Azufre es altamente diferente a los otros ensambles en el cual predominan algas frecuentemente ausentes en los otros cursos de agua. Por otro lado, y como era predecible por las diferencias hidrodinámicas y de calidad de agua, el sector de desembocadura muestra un ensamble de microalgas significativamente diferente al resto de la cuenca tanto en abundancia como en la estructura del ensamble fitobentónico. El ensamble de microalgas bentónicas es un componente clave en la estructura y organización de los ecosistemas fluviales, ello debido a que su principal función está asociada a la incorporación de materia orgánica y por ello variaciones en la calidad del agua, del sustrato y del régimen y frecuencia del caudal afectan su abundancia y composición, particularmente en esta cuenca, la cual se inserta dentro de condiciones climáticas y topográficas extremas que hacen de esta cuenca un área de alta diversidad biológica tanto en especies como en hábitats.

En base a los resultados del ensamble zoobentónico también es posible indicar que hay una alta heterogeneidad ambiental dada por diferencias de los ensamble de macroinvertebrados bentónicos entre las áreas prospectadas. Particularmente, la quebrada Chuquiananta muestra altos valores de densidad de macroinvertebrados bentónicos, lo cual contrasta significativamente con los valores medidos en los ríos Caracarani, Azufre y Lluta, e incluso en la desembocadura, en los cuales se registraron bajos valores de densidad. Un aspecto significativo fue la baja riqueza de taxa zoobentónicos, principalmente en el río Azufre y en el río Caracarani aguas abajo del río Azufre, tramos en los que se registraron solamente dos taxa. La condición altamente singular y extrema de la calidad de agua del río Azufre explicaría los bajos valores de riqueza, condición que se mantiene en el río Caracarani, hasta el tramo ubicado aguas abajo del río Azufre, y a partir del cual la riqueza de taxa zoobentónicos aumenta hasta 6 taxa.

El ensamble de peces en el área de estudio estuvo constituido por dos especies nativas: *Mugil cephalus* y *Trichomycterus rivulatus* y por una especie introducida *Gambusia affinis*. La especie *M. cephalus* no se le asignado una categoría de conservación biológica mientras que *T. rivulatus* es clasificada como En Peligro y Rara según CONAMA (MINSEGPRES D.S. 51/08). *G. affinis* no presenta problemas de conservación biológica debido a que es introducida.

Una condición característica del ensamble de peces del área de estudio en el río Lluta fue la escasa presencia de especies, estando cada una de las poblaciones de peces restringida a una estación de muestreo. Solamente en el río Colpitas fue encontrado *T. rivulatus*, siendo esta población compuesta de escasos ejemplares al momento de la prospección. Sin

embargo y a diferencia de toda la cuenca de estudio, el sector de desembocadura presentó un abundante ensamble de dos especies de peces, constituido por *G. affinis* y *M. cephalus*, las que toleran amplios rango de salinidad. Antecedentes de distribución de *M. cephalus* indican que *M. cephalus* habita las aguas hídricas y estuarios del río Lluta que se encuentran a pocos metros de altitud sobre el nivel del mar y hasta los 4.200 m aproximadamente (DGA 2004, Arratia 1982).

Los resultados de este estudio permiten plantear que los tramos de altura de la cuenca presentan peces, tal como el río Colpitas en donde se encontró una pequeña población de *T. rivulatus* y la quebrada Chuquiananta en la que hubo peces en otra época, lo cual difiere del sector intermedio de la cuenca, en el cual no se encontraron peces. Estos resultados son apoyados por los antecedentes que se tienen para la cuenca del río Lluta, para la cual se indicado que la mayor diversidad específica de peces, la cual alcanza a cinco taxa (Arratia 1982) se presenta sobre los 4.300 msnm, en contraposición con altitudes intermedias donde no parece haber peces (DGA 2004, Arratia 1982).

El Altiplano se caracteriza por la presencia de tres géneros de peces: *Trichomycterus*, *Astroblepus* y *Orestias* (Ringuelet 1975, Arratia 1981). Los géneros *Astroblepus* y *Orestias* son endémicos del dominio Andino mientras que *Trichomycterus* se distribuye a través de América del Sur y América Central (Gosline 1945). El género *Trichomycterus* está representado en el Altiplano por tres especies endémicas: *T. rivulatus*, *T. laucaensis* y *T. parinacotensis* (Arratia 1982). La diversidad específica de *Trichomycterus* en el Altiplano corresponde a un 3% aproximadamente de la representación del género. A una altitud mayor a 4.200 msnm se encuentran las especies de *Orestias* y *Trichomycterus* (Arratia 1982). Particularmente, las especies de *Trichomycterus* habitan entre los 4.000 msnm hasta 4.500 aproximadamente.

Mann (1954) y De Buen (1957) determinan la presencia de *T. rivulatus* en la Puna de Chile. Antecedentes para *T. rivulatus* indican que la distribución geográfica de *T. rivulatus* incluye a lagos, lagunas y esteros del Altiplano (Perú, Bolivia y Chile) ubicados a una altura mayor a 4000 msnm (Arratia 1982). *T. rivulatus* ocupa hábitat diversos. En lagos puede alcanzar grandes dimensiones mientras que los especímenes que habitan en los ríos y esteros altiplánicos alcanzan longitudes menores. El hábitat de *T. rivulatus* en el Altiplano chileno se encuentra a 4.300 msnm aproximadamente (Arratia 1982) y la distribución de estas poblaciones es discontinua. El hábitat preferido por *T. rivulatus* varía desde el sector de ribera asociado a las rocas y vegetación donde el flujo es menor hasta en el sector pelágico bajo rocas y piedras. Prefiere fondos irregulares con sustrato heterogéneo y con limo de coloración oscuro.

La escasa presencia de peces (6 de 9 estaciones muestreadas) permite plantear que el área de estudio sería altamente sensible debido a la condición restringida de las poblaciones de peces nativos, particularmente de *T. rivulatus*, especie que además es considerada En Peligro (MINSEGPRES DS 51/08). Estos antecedentes apoyan los resultados de este estudio e indican que las condiciones geográficas, hidrológicas y ecológicas de los lagos y ríos altiplánicos han favorecido que grupos de trichomictéridos andinos hayan quedado aislados entre ellos y por ello se estarían desarrollándose especies locales con distribución geográfica muy restringida (Arratia 1982).

Estos resultados, junto con los resultados obtenidos de las otras componentes biológicas permiten plantear que el río Lluta presenta alta heterogeneidad ambiental, ello debido a la gran diversidad de hábitats para la biota. Los cursos de agua que presentan hábitats más favorables para el desarrollo de biota son el río Colpitas, La quebrada Chuquiananta y el sector de desembocadura del río Lluta. Cabe mencionar que el sector de desembocadura es considerado como un Área de Conservación de la Biodiversidad (CONAMA 2002) debido a su alta diversidad de especies de plantas y animales particularmente aves, lo cual es corroborado por los resultados de este estudio.

VIII. Referencias

- APHA (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Arratia G (1981) Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Mus. Nac. Hist. Natur. Chile. Publ. Ocasional. 34: 3-108.
- Arratia G (1982) Peces del altiplano de Chile, en El Hombre y los Ecosistemas de Montaña. 1: 93-133. Ed. A. Veloso y E. Bustos. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe. Montevideo Uruguay.
- Bain MB, Finn JT & H E Booke (1985) Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. North American Journal of Fisheries Management. 5: 499-506.
- Bertrand H (1995). Les insectes aquatiques d'Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 p.
- CONAMA (2002) Comisión Nacional del Medio Ambiente. Estrategia y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad en la Región de Tarapacá.
- De Buen F (1958) Ictiología. La Familia Ictaluridae nueva para la fauna aclimatada de Chile y algunas consideraciones sobre los Siluroidei indígenas. INv. Zool. Chilenas. 146-158.
- Decreto Supremo N° 51/2008. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Tercera Clasificación de Especies Silvestres Según Estado de Conservación.
- DGA (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Lluta. Cade-Idepe, Consultores en ingeniería.
- Gosline W (1948) Catálogo dos Nematognatos de Agua-Doce de America do Soul o Central. Bol. Mus. Nac. Zool. 33: 1-138.
- Illies J & L Botosaneanu (1963) Problems et méthodes de classification et de la zonation des eaux courantes, considerees surtout du point de vue faunistique. Mitt. Int. Verein. Their. Angew. Limnol. 12: 1-57.

- Instituto de Normalización INN-Chile (1987) Norma Chilena Oficial 1.333. Of 78. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
- Krebs CJ (1989) *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers, New York, New York, USA. 654 pp.
- Lagler KF (1956) *Freshwater Fishery Biology*. 2nd Edition, Wm. C. Brown Co. Publishers, Dubuque, Iowa.
- Lange-Bertalot H (2001) *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato* Frustulia. In: H Lange-Bertalot (ed.) *Diatoms of Europe* (Vol. 2) ARG Gantner Verlag, Ruggell. 526 p.
- Lopretto E y G Tell (1995) *Ecosistemas de Aguas Continentales*. Tomo III. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 1401 p.
- Lugo-Ortiz CR & WP McCafferty (1995) Three distinctive new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from South America. *Annals Limnologie* 31: 233-243.
- Lugo-Ortiz CR & McCafferty (1999) Revision of South American species of Baetidae (Ephemeroptera) previously placed in *Baetis* Leach and *Pseudocloeon* Klapálek. *Ann Limnol* 35:257-262.
- Mann G (1954) *La vida de los peces en aguas chilenas*. Inst. Inv. Veterinarias y Ministerio de Agricultura, Chile: 1-43.
- Merritt RW & KW Cummins (1996) *An introduction to the Aquatic Insect of North America*. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.
- Niemeyer H & P Cereceda (1984) *Hidrografía*. Colección Geográfica de Chile. Tomo VIII. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 320 pp.
- Ringuelet R (1975) *Zoogeografía y ecología de los peces de aguas continentales de la Argentina y consideraciones sobre áreas ictiológicas de América del Sur*. *Ecosur*; 2: 1-122.
- Rivera P. (1983) A guide for references and distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28' S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica*, Band 3. J. Kramer, Vaduz. 386 p.
- Round FE, Crawford RM & Mann DG (1996) *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 p.
- Rumrich U, H. Lange-Bertalot & M Rumrich (2000) *Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland*. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica* Vol. 9, 673 p., A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Simonsen R (1987) *Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt*. J. Cramer, Berlin & Stuttgart, 1: 525 pp, 2: 597, 3: 619.