

# **CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES DE LIRIMA Y CAYA. REGIÓN DE TARAPACÁ**



**LABORATORIO DE LIMNOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**2009**



**COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES**

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

***PROFESOR COORDINADOR: IRMA VILA PINTO***

***COLABORADORES:*** CRISTINA DORADOR. Universidad de Antofagasta

SERGIO SCOTT. Universidad de Chile  
IGNACIO TOBAR. Universidad de Chile  
FIDEL MAUREIRA. Universidad de Chile

## **CARACTERIZACIÓN DE LOS HUMEDALES DE LIRIMA Y CAYA, REGIÓN DE TARAPACÁ**

### **ANTECEDENTES**

La Unión para la Conservación de la Naturaleza (<http://www.sur.uicn.org>) plantea la aproximación ecosistémica a la conservación de la biodiversidad cuya meta es la conservación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas desde una perspectiva ecológica - económico – social fomentando su uso sustentable. En este contexto es de importancia considerar y contextualizar la evolución y cambios de los sistemas ante el conjunto de variables físicas, químicas y biológicas que sustentan su estructura y funciones.

El amplio concepto de humedal aceptado internacionalmente desde la Convención en Ramsar (1971) incluye los sistemas acuáticos de lagos profundos y lagunas a zonas de inundación someras, ríos, riachuelos e interfases estuariales. En el caso de Chile se ha propuesto la cuenca hidrográfica o la unidad geográfica definida por la divisoria de las aguas en un territorio dado, como la unidad de manejo a la cual se asocian una variedad de subsistemas límnicos o sistemas de aguas interiores, hoy definidos en su concepción más amplia como humedales (Vila et al 2006), y cuya definición ha sido adoptada por el estado de Chile a través del Comité Nacional de Humedales. Lo mismo, en la adopción del sistema de clasificación por ecotipo (CONAMA, 2007). Los humedales han sido clásicamente caracterizados por el contenido salino de sus aguas, referido especialmente al cloruro de sodio. Si hay predominancia de iones cloruros, estos son de origen o tienen influencia marina (marismas, estuarios y salares). Con dominancia de iones carbonatos, bicarbonatos y sulfatos corresponden a sistemas límnicos continentales (lagos, ríos, vegas, bañados entre otros) Molina y Vila (2006), CEA (2006).

Las diversas definiciones del concepto de subsistemas de inundación somera, tradicionalmente denominados humedales, coinciden en priorizar las siguientes características:

1. Presencia de agua.
2. Composición salina alta de los suelos.
3. Presencia permanente de vegetación de hidrófilas (vegetación de plantas enraizadas o flotantes (tolerantes al agua)
4. Zonación de vegetación helófitas (totora y vatro) de borde de inundación a plantas hidrófilas emergentes, natantes (lentejuela) y sumergidas como el pinito de agua (Mitsch & Gosselink 2000).

Conjuntamente con la anegación y presencia de vegetación permanente, los humedales son ecotonos entre tierra y aguas de mayor profundidad que pueden ser límnicos (ríos o lagos) o marinos (estuarios u oceánicos). Su origen, tiempo de permanencia, cambios en la calidad del agua que reciben, van a determinar finalmente la calidad física, química y biológica del agua de estos sistemas.

La calidad física considera especialmente la extensión del área de inundación, la profundidad máxima y el contorno de profundidad o batimetría. Los aspectos hidrológicos de movimiento, y origen del agua, cambios diarios y estacionales de la temperatura del agua y la tasa de renovación de la misma. La hidrología tanto diaria como estacional es un aspecto importante para la mantención de la vegetación de borde, que es generalmente la zona expuesta a problemas más frecuentes de desecación y una de las causas del cambio de “estado” del subsistema.

Los aspectos químicos consideran especialmente el contenido de nutrientes, resumidos fundamentalmente como nitratos y fosfatos, sales minerales diversas (sulfatos, carbonatos, silicatos y otras) y gases disueltos en general. Generalmente se ha considerado que el pH y la conductividad eléctrica del agua medida como  $\mu\text{mhos}$ , son variables indicadoras de la calidad del agua del humedal.

El aspecto más importante para su funcionamiento es la presencia de gas oxígeno tanto disuelto en la columna de agua como en los primeros centímetros de la interfase entre la columna de agua y los sedimentos. La presencia de oxígeno es crucial en esta interfase para la respiración de las raíces de la vegetación de especies enraizadas que caracterizan estos subsistemas; la ausencia de oxígeno en esta zona es una de las causas citadas en la literatura como causante de la mortalidad masiva de la vegetación de macrófitas y el cambio del “estado” de los humedales.

La calidad biológica de los humedales se refiere a las características de la biodiversidad que ellos sustentan, muchas de ellas tales como la vegetación enraizada y la natante conjuntamente con la microfauna asociada suele ser muy abundante.

Los humedales más frecuentes en el país son las vegas, bofedales y salares (de zona altiplánica), bañados, marismas, pantanos y turberas de la zona centro y sur del país (Ramirez, San Martín y Rubilar 2002; Ramirez y San Martín 2006; Schlatter y Sielfeld 2006). CEA (2006).

A pesar de que ellos pueden ser semejantes a los sistemas acuáticos y terrestres en poseer bajos o altos niveles de nutrientes, sus diferencias mayores se relacionan con la acumulación de estos nutrientes en los sedimentos y el rol de la abundante vegetación en el reciclaje de estos mismos. La recepción directa desde tierra y agua de material disuelto y particulado acelera generalmente los procesos de acumulación de nutrientes y por ende del incremento de la productividad de estos sistemas, proceso definido como eutrofización. Esto ocurre preferentemente en vegas y bañados, sistemas que son definidos hoy como los arquetipos de sistemas con cambios rápidos y extremos de eutrofia (alta productividad biológica) o cambios de “estado” de calidad de agua y del sistema en su totalidad pasando de sistemas con predominio de macrófitas y aguas claras a aguas turbias con predominio de microalgas.

El proceso de eutrofización puede ser muy rápido debido al ingreso de nutrientes, cambios climáticos y principalmente cambios hidrológicos en estos sistemas, los cuales han sido

reconocidos como una de las variables forzantes más importantes en los cambios de “estado”. Estos sistemas pasan de su “estado” original de aguas claras o transparentes dominados por vegetación de hidrófilas al “estado” de aguas turbias con presencia de florecimientos masivos de microalgas. La información relativa a estos humedales demuestra que los niveles críticos de nutrientes para pasar a aguas turbias son altos y significativamente afectados por cambios climáticos y especialmente los cambios hidrológicos. (Scheffer 1998; Scheffer & van Nes 2007; CEA 2007).

La hidrología determina las características físicas y químicas de los subsistemas de inundación somera. Por su ubicación intermedia entre tierra y aguas profundas éstos son particularmente sensibles a los cambios hidrológicos, los cuales pueden modificar la disponibilidad de nutrientes, el grado de desoxigenación, la salinidad, las propiedades de los sedimentos y el pH. Breves cambios hidrológicos pueden producir cambios significativos y masivos de la biota (Mitsch & Goselink 2000; Gulati et al 2005).

Los humedales han representado una gran capacidad de retención de nutrientes, pero su rápido proceso de eutrofización conlleva necesariamente a una sucesión de la biota y prácticamente del sistema en su totalidad.

En consideración a lo anterior es de importancia el conocimiento de los aspectos hidrológicos, especialmente aquellos que tienen relación con la mantención de su área de inundación y la permanencia de la vegetación de borde, en especial de los salares.

La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), mantiene un Comité de humedales y conjuntamente con el Centro de Ecología Aplicada (CEA) han clasificado a los humedales en tres grandes grupos y sus respectivas clases derivadas ([www.conama.cl](http://www.conama.cl)).

## **1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO: LIRIMA y CAYA.**

La quebrada de Tarapacá nace en la alta cordillera con la confluencia de dos quebradas. La cuenca de la Quebrada de Tarapacá, presenta tres tipos climáticos, estos han sido descritos como:

Clima desértico interior, desértico marginal de altura y clima de estepa de altura.

a) Clima Desértico Interior: este se localiza en la pampa, sobre los 1.000 metros de altura y sin influencia oceánica costera; se caracteriza además por su extrema aridez, con precipitaciones anuales de 0 mm, y cuyas temperaturas medias alcanzan alrededor de los 18° C. La humedad relativa en promedio es de 50%.

b) Clima Desértico Marginal de Altura: este tipo climático se localiza por sobre los 2.000 metros de altura, por ello las temperaturas son más atenuadas presentando una media anual de 10° C. Se presentan las primeras lluvias que fluctúan entre 50 y 100 mm anuales, durante los meses de verano producto del invierno altiplánico.

c) Clima de Estepa de Altura: este subtipo climático predomina en el sector altiplánico de la cuenca por sobre los 3.000 metros de altura, la principal característica es el incremento de las precipitaciones que alcanzan a 300 mm anuales.

Los montos de precipitación registrados por la estación pluviométrica de Poroma (próxima a la Quebrada de Tarapacá) localizada a 2.880 metros de altura, son de 54,4 mm/año (MOP-DGA.CADE-IDEPE 2004).

La escorrentía superficial media anual registrada en el sector alto de la cuenca, sobre los 3.000 metros de altura, alcanzan valores no superiores a 1 mm/año.

El régimen de la quebrada de Tarapacá es pluvial, con sus mayores crecidas en verano producto de lluvias altiplánicas estivales. En el caso de la quebrada de Coscaya, ésta

muestra sus mayores crecidas en invierno y verano, debido a lluvias invernales y estivales (MOP-DGA.CADE-IDEPE 2004).

#### Subcuenca del río Coscaya

Corresponde a la hoya hidrográfica del río Coscaya, desde su nacimiento en la cordillera de Los Andes hasta su junta con la quebrada de Tarapacá, dando origen a la Quebrada de Tarapacá.

Se observa un régimen pluvial, producto de aportes de lluvias invernales y estivales. Sus mayores caudales se presentan entre junio y julio, y entre enero y marzo, tanto para años húmedos y secos. En años secos los caudales se presentan bastantes uniformes a lo largo del año, sin mostrar variaciones de importancia.

El período de menores caudales está dado por el trimestre de octubre, noviembre y diciembre.

La cuenca de la Quebrada de Tarapacá no posee Áreas bajo Protección Oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), ni sitios de Conservación de la Biodiversidad (MOP-DGA.CADE-IDEPE 2004).

## **I OBJETIVO GENERAL**

Identificar las características bióticas (biodiversidad) y abióticas (variables físicas y químicas) para elaboración de un **modelo conceptual** con las variables que condicionan la estructura y el funcionamiento de los humedales de Caya y Lirima en la Región de Tarapacá.

## II OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se realizarán mediciones “*in situ*” de las variables físicas, químicas y biológicas de los sistemas detalladas a continuación. Las muestras y observaciones “*in situ*” se realizarán en período de estiaje o caudales mínimos con el objeto de conocer las condiciones extremas de los sistemas para identificar los patrones abióticos que conforman la estructura del sistema y fuerzan su funcionamiento.

## III ACTIVIDADES

**1. Descripción de las características físicas y químicas** de los sistemas de humedales Caya y Lirima.

Las mediciones “*in situ*” considerarán:

- 1.1 Transparencia del agua
- 1.2 Temperatura del agua
- 1.3 Conductividad
- 1.4 Sólidos totales disueltos (STD)
- 1.5 pH
- 1.6 salinidad (NaCl).
- 1.7 Oxígeno disuelto. (Fijación inicial)

Los análisis posteriores en el laboratorio considerarán:

- 1.8 Medición de oxígeno disuelto
- 1.9 Fósforo total (P-PO<sub>4</sub>)
- 1.10 Nitrógeno total (N-NO<sub>3</sub>)
- 1.11 Sulfatos (SO<sub>4</sub>)
- 1.12 Bicarbonato (HCO<sub>3</sub>)
- 1.13 Carbonato (CO<sub>3</sub>)

1.14 Cationes (Na , K, Ca y Mg)

1.15 Cartografía

## **2. Variables biológicas.**

2.1 Tapetes microbianos. Identificación de bacterias.

2.2 Clorofila *a*. Como biomasa de microalgas.

2.3 Fitoplancton. Géneros de microalgas.

2.4 Macrófitas. Géneros de plantas acuáticas.

2.5 Zooplancton. Géneros de microcrustáceos.

2.6 Fauna bentónica.

2.7 Fauna íctica

2.8 Fauna herpetológica

2.9 Aves asociadas

## **IV METODOLOGÍA**

### **1. Variables físicas y químicas:**

1.1 Transparencia del agua. Se utilizará la profundidad de visibilidad de un disco de Secchi.

1.2 Temperatura. Se medirá la temperatura del agua, mediante un termómetro digital Hanna Instruments de 0,1 de precisión en superficie y a profundidades en aquellos sitios de mayor profundidad.

1.3 Conductividad. Esta se controlará con un conductivímetro portátil VWR.

1.4 Sólidos totales disueltos (STD) se controlarán con conductivímetro portátil VWR.

1.5 pH medido mediante un pH-metro portátil WTW.

1.6 Salinidad como cloruro de sodio se medirá con salinómetro portátil VWR.

1.7 Oxígeno disuelto. Las muestras de agua serán fijadas “in situ” para posteriormente ser tituladas en el laboratorio de acuerdo con el método de Winkler (APHA,2001).

1.8 Posteriormente con los valores de oxígeno disuelto, altura y temperatura se estimará el porcentaje de saturación.

- 1.9 Fósforo total (P – Total) se determinará en el laboratorio utilizando el método de Mühlhauser et al. 1986.
- 1.10 Nitrógeno total (N – Total) se medirá en el laboratorio de acuerdo a Muhlhauser et al. 1986.
- 1.11 Sulfatos (SO<sub>4</sub>). Serán medidos de acuerdo con el método turbidimétrico de Gölterman et al. 1978.
- 1.12 Bicarbonato (HCO<sub>3</sub>) se determinará de acuerdo al método propuesto por APHA, 2001.
- 1.13 Carbonato (CO<sub>3</sub>) se determinará de acuerdo al método propuesto por APHA, 19 APHA, 2001.
- 1.14 Cationes (Na , K, Ca y Mg) se medirán por metodología de Cromatografía Iónica y espectroscopía de absorción atómica (APHA, 2001).
- 1.15 Cartografía. Para el trabajo con las imágenes se utilizó el programa ENVI 4.4, IDRISI ANDES 15.01, ARC GIS 9.3 y ARC View 3.3.

Las imágenes fueron adquiridas desde el servidor Earth Science Data Interface (ESDI) de la Global Land Cover Facility de la Universidad de Maryland, obteniendo dos escenas del año 1999 y 2003 del Satélite Landsat 7, sensor ETM+ de resolución espacial 30 metros, Con estas imágenes se generó una clasificación supervisada de los ecosistemas. Adicionalmente se realizó fotointerpretación de las imágenes disponibles de Google Earth, por la resolución espacial y las escenas de fechas recientes.

## **2. Variables biológicas:**

2.1 Las bacterias se analizarán en muestras de agua, sedimento y tapetes microbianos de los humedales de Lirima y Caya para determinar la abundancia y composición de las comunidades microbianas (*Bacteria* y *Archaea*) utilizando técnicas de cultivo e independiente de cultivo. En todos los muestreos se tomarán muestras para realizar recuentos de bacterias heterótrofas totales y bacterias totales por DAPI. Además se realizarán análisis de fingerprinting para comparar el cambio de las comunidades en el tiempo y espacialmente.

#### Técnicas de cultivo

- Determinación de la concentración de bacterias heterótrofas totales aeróbicas y anaeróbicas, bacterias reductoras de sulfato a través de unidades formadoras de colonias (CFU) por g ó ml desde las muestras de agua y sedimento.

#### Independientes de cultivo

- Determinación de la concentración de bacterias totales mediante tinción DAPI.
- Extracción de ADN desde muestras de agua, sedimento y tapetes microbianos, amplificación de ADN por PCR usando el gen ribosomal 16S de *Bacteria* y *Archaea*.
- Análisis de fingerprinting (DGGE) para determinar la composición estacional y espacial de las comunidades microbianas.
- Establecimiento de genotecas del gen 16S rRNA de *Bacteria* y *Archaea* desde las muestras con mayor riqueza (determinada mediante el número de bandas de DGGE).
- Análisis filogenético de las secuencias.

2.2 Clorofila *a*. La cantidad de clorofila *a* se medirá de acuerdo a Montecino y Cabrera (1982).

2.3 Fitoplancton. Se obtendrá una muestra de agua de 1 litro a la cual para su conservación se le añadirá una solución de lugol. Para realizar el recuento e identificación de la comunidad fitoplanctónica las muestras se analizarán de acuerdo al método de Utermöhl (1958), en un microscopio invertido modelo Olympus CK2. De acuerdo a Villafañe y Reid (1995) concentradas por sedimentación en cámaras de recuento de 10 ml y 25 ml durante 24 hrs y 48 hrs respectivamente.

Para la identificación taxonómica de los géneros, se utilizará las descripciones de Parra y Bicudo (1995), Rivera et al 1982 y Diaz 2005.

2.4 Las macrófitas serán recolectadas e identificadas de acuerdo con Ramírez C. & C. San Martín, 2006. Para ello se utilizará el método de Point Quadrat realizando un muestreo cada 2 mts (10 puntos) utilizando una distancia interpuntos de 10 cms.

2.5 Zooplancton. Las muestras se obtendrán con una red de 120  $\mu\text{m}$  de apertura de malla. A las muestras se les añadirá una solución de formalina azucarada al 5% para su conservación, luego se analizarán en el laboratorio en una cámara Bogorov con una Lupa Wild M3 Heerbrugg. Horne y Goldman 1994.

Para la identificación taxonómica, se utilizará las descripciones de Araya & Zuñiga (1985).

2.6 Fauna bentónica. Las muestras serán obtenidas con una red Surber y para su conservación se les añadirá una solución de alcohol al 70%. Para realizar el recuento e identificación de la fauna bentónica se utilizará una Lupa Wild M3 Heerbrugg.

Para la identificación taxonómica, se utilizará las descripciones de Fernández & Domínguez 2001 y Figueroa et al. 2003.

2.7 Fauna íctica. Los peces serán obtenidos con un equipo de pesca eléctrica modelo Samus y luego identificados en el laboratorio.

2.8 Los anfibios serán obtenidos con un equipo de pesca eléctrica modelo Samus y luego identificados en el laboratorio

## **V RESULTADOS**

Con el propósito de cumplir los objetivos propuestos se organizó una prospección intensiva a los humedales de Lirima y Caya durante los días 20 a 23 de Noviembre del año en curso. Para ello se trabajó en los aspectos físicos, químicos y biológicos de ambos humedales con la metodología explicitada y los resultados que se describen a continuación.

### **1 VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS.**

1.1 Transparencia del agua. Como en la mayoría de los sistemas someros, la transparencia del agua es baja en ambos sistemas.

1.2 Temperatura. La Tabla 1 detalla aspectos de temperatura. Esta variable se encuentra entre los rangos típicos de sistemas altiplánicos, con valores altos durante el día, debido al calentamiento diurno de los sistemas someros altiplánicos.

1.3 Conductividad. Esta variable señala el contenido total de iones disueltos. La conductividad es normal en Lirima. Sin embargo lo somero del sistema en Caya y la consecuente concentración de sales minerales determinan que el valor de la conductividad sea muy alto. Ver Tabla 1.

1.4 Sólidos totales disueltos. Los sólidos totales disueltos son significativamente más altos en Caya que en Lirima, lo cual se refleja en los valores de conductividad de la Tabla 1. Esto posiblemente debido a la menor profundidad del sistema.

1.5 pH. El pH es básico debido a la concentración de iones acumulados en estos sistemas.

**Tabla 1. Variables de temperatura, conductividad y pH.**

---

	Lirima	Caya
	°C	°C
Temperatura	22.1	24.1
Conductividad	778,0	2100, 0
pH	8.71	8.3

---

1.6 Salinidad. La salinidad por cloruro es baja en ambos sistemas, siendo esta muy baja en Lirima. Caracterizando a sistemas de agua dulce.

1.7 Oxígeno disuelto. Los valores de oxígeno son altos para corresponder a sistemas de altura, especialmente en Caya. Ver Tabla 3. A esto contribuye la abundancia de macrófitas en estos sistemas someros.

1.8 Porcentaje de saturación de oxígeno. En Lirima el porcentaje de saturación de oxígeno alcanza al 100 % y en Caya este asciende al 130%.

1.9 Fósforo total. Los valores de P total son altos especialmente en Lirima (169,91(µg/l) lo cual corresponde a sistemas de productividad alta o eutróficos. Caya presenta valores menores (67,80 µg/l), valor de sistemas mesotrófico. Ver Tabla 2.

1.10 Nitrógeno total. Los valores de N-total son medianamente altos y corresponden a sistemas entre meso a eutrófico para Lirima y Caya alcanzando 1631,58 y 2421,66 µg/l respectivamente. Ver Tabla 2.

1.11 Sulfatos (SO<sub>4</sub>). Los valores de sulfatos son relativamente altos para ambos sistemas, lo cual es frecuente en ambientes altiplánicos. Estos valores fluctúan entre 82,54 mg/l y 172,01 mg/l respectivamente. Caya es un sistema sulfatado. mg/l. Ver Tabla 2.

1.12 Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ). Los valores de bicarbonatos son bajos y fluctúan entre 26,53 mg/l y 79,30 mg/l para Lirima y Caya respectivamente. Ver Tabla 2.

1.13 Carbonato ( $\text{CO}_3$ ). Los valores de  $\text{CO}_3$  son muy bajos en Lirima y ausente en Caya. Correspondiendo a 15,00 mg/l y 0,00 respectivamente. Ver Tabla 2.

**Tabla 2. Nutrientes y Aniones.**

Ubicación	Profundidad (m)	N - Total ( $\mu\text{g/l}$ )	P - Total ( $\mu\text{g/l}$ )	CLORUROS (mg/l)	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	$\text{CO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)
Caya	Superficial	2421,66	67,80	449,98	79,30	0,00	172,01
Lirima	Superficial	1631,58	169,91	66,99	26,53	15,00	82,54

1.14 (Na, K, Ca y Mg). Lirima representa un sistema con predominancia del catión sodio seguido de calcio, potasio y magnesio ( $\text{Na} < \text{Ca} < \text{K} < \text{Mg}$ ). Caya en cambio tiene dominancia de calcio seguido de sodio, magnesio y potasio ( $\text{Ca} < \text{Na} < \text{Mg} < \text{K}$ ).

**Tabla 3. Cationes, Clorofila *a* y Oxígeno disuelto.**

Ubicación	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Clorofila "a" ( $\mu\text{g/l}$ )	O.D (mg/l)
Caya	188,32	18,56	261,08	40,06	5,43	10,14-14,82
Lirima	91,08	16,30	60,18	9,18	2,88	8,52-9,12

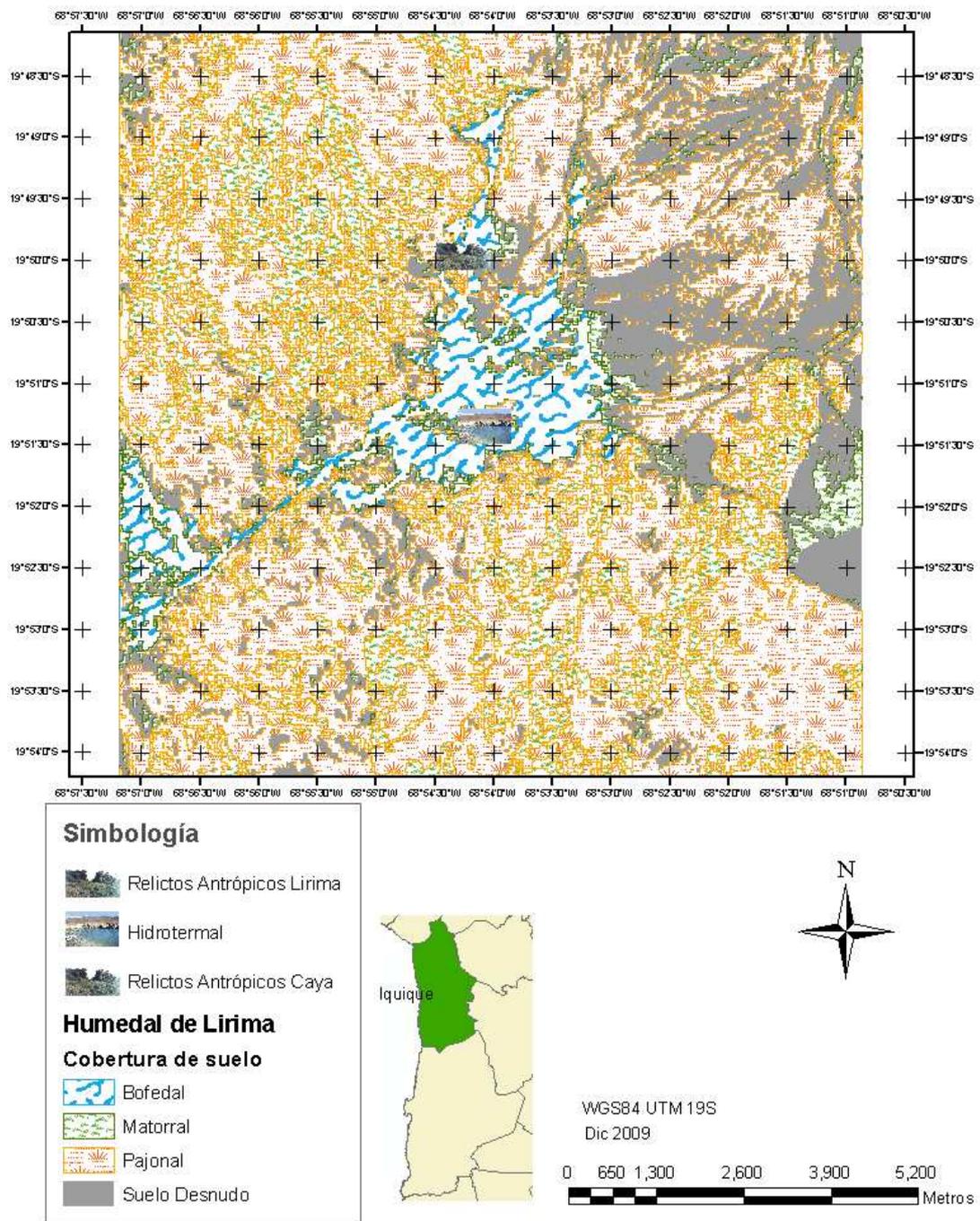
## **CARTOGRAFÍA**

Los ecosistemas altioplánicos o de puna se caracterizan por las condiciones extremas, de precipitaciones intensas, concentrándose en la estación de verano baja presión de oxígeno y de dióxido de carbono, baja humedad relativa y alta irradiación solar, alta amplitud térmica entre el día y la noche y entre estaciones (Marquet *et al.*, 1998). La zona de estudio se encuentra en el humedal de Lirima y la Quebrada de Caya. Ubicados en las Latitud 19°51 S y 20°44 S respectivamente y una altitud en torno los 4000 msnm. La fecha de muestreo se realizó del 21 al 22 de Noviembre.

Análisis preliminar se encuentra en la Figura N° 1.

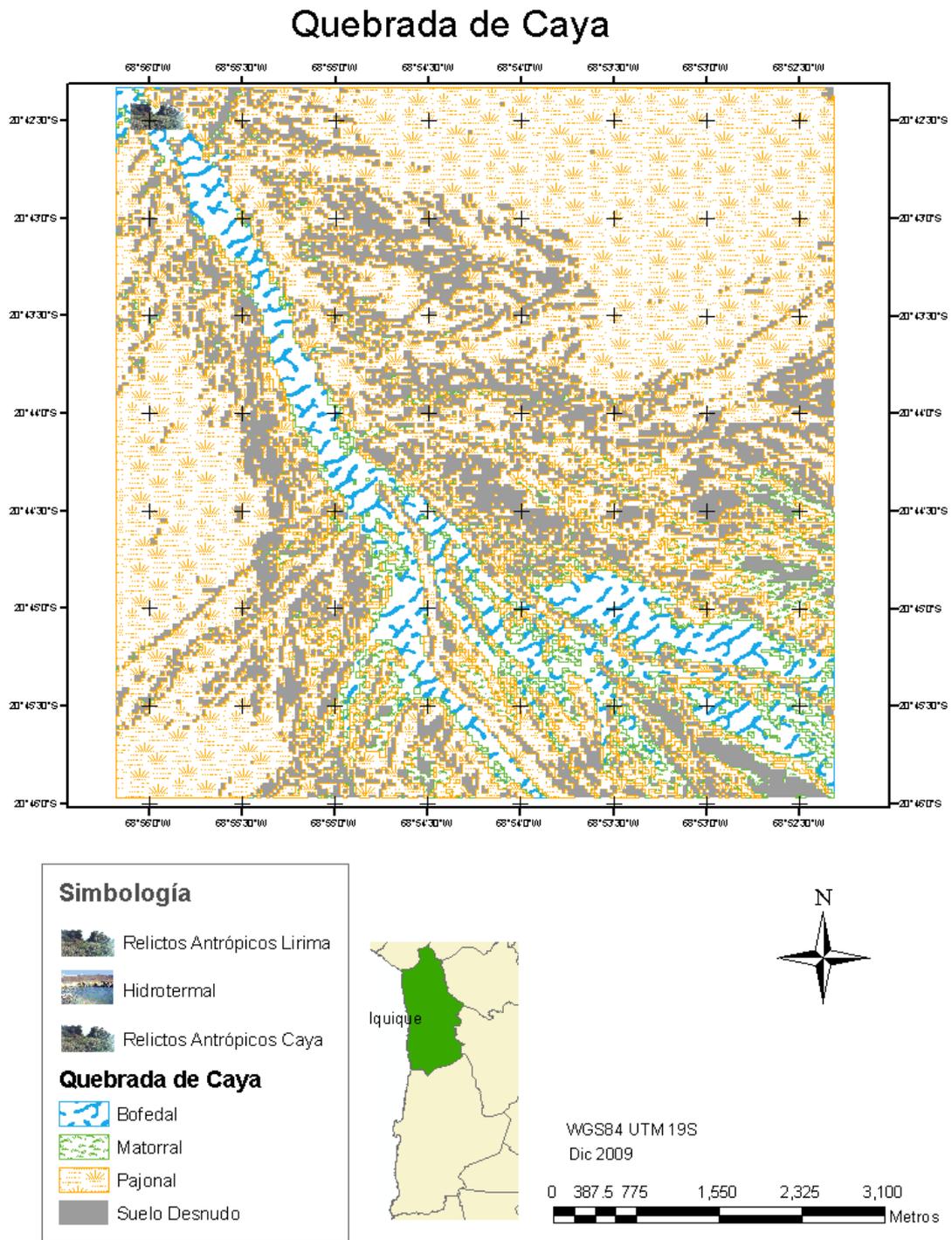
La clasificación de los tipos de cubierta de suelo se obtuvo por clasificación supervisada de mínimos obteniendo 7 clases correspondientes a Pajonal, Bofedal, Arrollo (cauce superficial), Matorral, Suelo Desnudo, Relictos antrópicos, Aguas hidrotermales (Ahumada y Faundez, 2009)

# Humedal de Lirima



**Figura 1.**

**Clasificación de Cobertura de suelo del Humedal de Lirima a partir de imágenes Landsat ETM+, adquiridas en 1999**



**Figura 2.**

**Clasificación de Cobertura de suelo de la Quebrada de Caya a partir de imágenes Landsat ETM+ , adquiridas en 1999**

Para interpretar la clasificación definiremos cada clase según:  
**Pajonal** dominado mayormente por gramíneas xerófitas, de tamaño de 10 a 100 cm, de forma de vida “champa”.

**Bofedal** en terreno se observó que es el ecosistema de mayor diversidad con vegetación de escasa altura en formación de “cojines”.

**Arroyo** son cursos de agua más angostos y someros y con menor caudal; por esta especial conformación, se eutrofizan más fácilmente, especialmente donde se forman remansos que aquietan las aguas. Se estima que su anchura debería fluctuar entre uno y cinco metros. Sus aguas pueden ser dulces o salobres.

**Matorral** corresponde a formación vegetal desde los 50 a 150 cm puede ser abundante a escaso.

**Aguas hidrotermales** son vertientes de agua caliente, generalmente con alto contenido en minerales.

**Suelo Desnudo** suelo que no presenta ningún tipo de vegetación en su superficie.

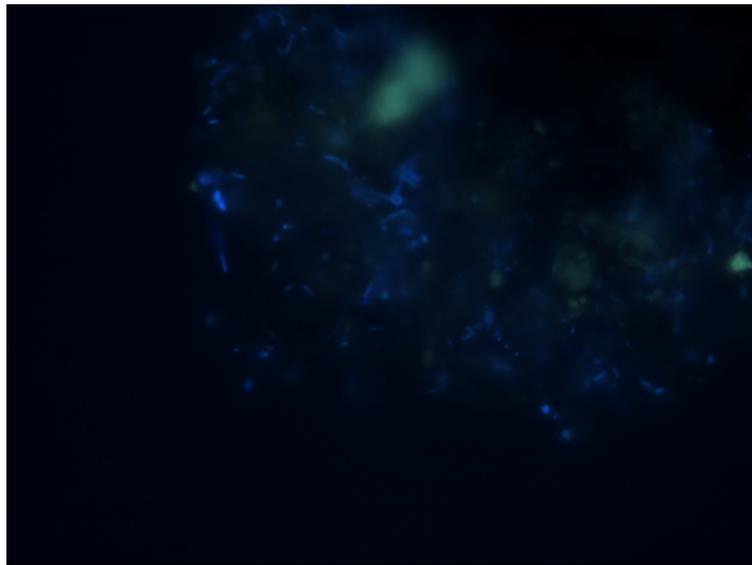
**Relictos antrópicos** son vestigios de civilizaciones principalmente de carácter indígena que establecieron estructuras generalmente de piedra.

## 2. VARIABLES BIOLÓGICAS.

### 2.1 Microbiología.

#### Microorganismos en muestra de agua Lirima-1

Se observaron los microorganismos presentes en la muestra de agua Lirima-1 mediante DAPI observándose una concentración de  $3 \times 10^4$  células/ml. Las células microbianas se encuentran mayormente agrupadas en una matriz filamentosa (Fig. 3).



**Figura 3.**

**Observación al microscopio (1000X) de microorganismos presentes en muestra Lirima-1.**

### 2.2 Clorofila *a*.

Los valores de clorofila *a* obtenidos están en directa concordancia con la cantidad de nutrientes presentes en estos humedales, especialmente el N-total en Caya. Estos valores fluctuaron entre 5,43 para Lirima y 2,88  $\mu\text{l}$  para Caya, lo cual corresponde a sistemas mesotróficos.

### 2.3 Fitoplancton.

Las microalgas como en la mayoría de los sistemas altiplánicos de humedales está representado casi en su totalidad por algas amarillas silíceas o Diatomeas. En Caya hay mayor abundancia de algas azules o cianobacterias en correspondencia con los mayores valores de nitrógeno. Su abundancia suma un total de 135,6 y 108,9 en Caya y Lirima respectivamente.

Ver Tablas 4 y 5.

**Tabla 4.**  
**MICROALGAS Caya.**

<b>Diatomeas</b>	<b>unidades/l</b>
<i>Cocconeis</i>	25,6
<i>Navicula</i>	71,6
<i>Synedra</i>	24,0
<i>Cimatopleura</i>	1,6
<i>Nitzchia</i>	2,0
<i>Fragilaria</i>	3,6
<i>Surirella</i>	1,6
<i>Gomphonema</i>	2,0
<b>Cianobacteria</b>	
<i>Anabaena</i>	2,8
<b>Desmido</b>	<b>0,8</b>
Total	135,6

**Tabla 5.**  
**MICROALGAS Lirima.**

<b>Diatomeas</b>	<b>unidades/l</b>
<i>Cocconeis</i>	14,7
<i>Navicula</i>	65,4
<i>Synedra</i>	18,2
<i>Cimatopleura</i>	2,1
<i>Nitzchia</i>	2,0
<i>Fragilaria</i>	2,4
<i>Surirella</i>	1,2
<i>Gomphonema</i>	2,0
<b>Cianobacteria</b>	
<i>Anabaena</i>	0,9
Total	108,9

#### 2.4 Macrófitas

La vegetación de macrófitas de Lirima presenta baja riqueza de especies con dominancia del “pinito de agua” *Myriophyllum* sp. seguido de *Lilaeopsis* en porcentaje. Ver Tablas 6 y 7.

**Tabla 6.**  
**Vegetación de macrófitas acuáticas de Lirima.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
2	Mir	Mir	Mir	Eleoch	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
3	0	0	0	Oxy	Oxy	Oxy	Oxy	Oxy	Mir	Mir
4	Eleoch	Eleoch	Eleoch	Eleoch	Mir	Mir Lila	Mir	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila
5	Mir Lila	Mir Lila	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
6	Eleoch	Mir Eleoch Lila	Mir Eleoch Lila	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir Lila	Mir Lila
7	Eleoch	Mir Eleoch	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
8	Mir Lila	Mir Lila	Mir	Mir Lila	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
9	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir
10	Mir Lila	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Oxy	Oxy Mir	Mir
11	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila
12	Lila	Lila	Lila	Mir	Lila	Lila	Lila	Lila	Lila	Mir Lila
13	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	0	Oxy
14	0	Lila	Mir	Mir Lila	0	0				
15	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila	Mir Lila

Planta	% Cobertura de la planta
Mir= Myriophyllum	80
Lila= Lilaeopsis	30,7
Eleoch	6,7
Oxy=Oxychloe	5,3

**Tabla 7.**  
**Vegetación de macrófitas acuáticas de Caya.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pat	Pat Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran
2	Lila	Lila Ran								
3	Pat	Pat	Pat	Pat Lila	Pat Lila	Lila	Lila	Lila	Lila	
4	Pat Ran	Pat Ran	Lila	Lila	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila	Pat
5	Lila	Lila	Lila Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
6	Pat	Pat	Lila Ran	Lila Ran	Lila Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
7	Pat Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Lila Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
8	Lila Ran	Lila Pat	Pat	Pat	Pat	Pat				
9	Pat	Lila Ran	Lila Ran	Lila Ran	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
10	Lila Ran									
11	Pat Ran	Pat Ran	Ran Lila	Ran Lila	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
12	Pat									
13	Ran	Ran	Ran Lila	Ran Lila	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat	Pat
14			Lila		Ran Lila	Ran Lila	Ran Lila	Lila		
15						Pat	Pat	Pat	Pat	Pat

Planta	% Cobertura de la planta
Pat =Patosia	49,3
Lila= Lilaeopsis	46,0
Ran = Ranunculus	39,3

## 2.5 Zooplancton.

Las especies de zooplancton fueron más bien bajas con predominancia de Cladocera en ambos humedales. Siguieron en abundancia el grupo Ostracoda los cuales suelen ser abundantes en humedales por la altura baja de la columna de agua. Ver Tabla 8.

**Tabla 8.**  
**Componentes del zooplancton (Ind/L).**

	Lirima	Caya
<b>Copepoda</b>		
Ciclopoida		
<i>Eucyclops serrulatus</i>	0,1	*
Harpacticoida	*	0,4
<b>Cladocera</b>		
<i>Alonella exisa</i>	*	0,3
<i>Chydorus sphaericus</i>	0,4	*
<b>Rotifera</b>		
<i>Keratella cochlearis</i>	0,1	*
Rotifero 1	0,1	*
<b>Ostracoda</b>	0,2	0,8

(Ind/L) del zooplancton en los dos sitios de estudio. \* no se encontró

## 2.6 Fauna bentónica.

Esta fauna en ambos humedales está mayoritariamente compuesta por Crustacea del género *Hyalella*, el cual es generalmente muy abundante en los humedales y asociado a las macrófitas.

**Tabla 9.**  
**Fauna bentónica**

Clase	Orden	Familia	Genero	Lirima			Caya			
				I	II	Prom	I	II	III	Prom
Arachnoidea	Acari	Hydrozetidae	Hydrozetes				133	695	346	391
		Hygrobatidae	Atractidella				11	21	24	19
		-	especie indeterminada				2	3	2	2
Crustacea	Amphipoda	Hyaellidae	Hyaella	52	113	83	203	88	182	158
Hirudinea	-	-	-				9	10	15	11
Insecta	Coleoptera	Elmidae	Austrelmis				3	11	8	7
	Diptera	Chironomidae	Chironomus				41	53	62	52
	Hemiptera	Corixidae	-				2	0	1	1
	Odonata	Coenagrionidae	-				4	3	5	4
<b>Total individuos</b>				<b>52</b>	<b>113</b>	<b>83</b>	<b>408</b>	<b>884</b>	<b>645</b>	<b>646</b>

## 2.7 Aves.

La riqueza de aves acuáticas y/o asociadas a los humedales es de importancia ya que se encontró un número significativo de ellas en consideración al tamaño de ellos, contabilizándose un total de 15 especies en ambos humedales y típicas de estos sistemas altoandinos.

**Tabla 10.**  
**Aves acuáticas y/o asociadas al humedal de Lirima.**

Listado de aves LIRIMA	Nombre científico	Estado de conservación
Cometocino de dorso castaño	<i>Phrygilus dorsalis</i>	
Golondrina Dorso negro	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	
Gaviota andina	<i>Larus serranus</i>	R
Flamenco	<i>No identificado</i>	
jergón chico	<i>Anas flavirostris oxyptera</i>	
Suri	<i>Pterocnemia pennata tarapacensis</i>	
Carancho cordillerano	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>	V
Perdiz de la puna	<i>Tinamotis pentlandii</i>	V
Piuquen	<i>Chloephaga melanoptera</i>	V
Cuervo pantano de la Puna	<i>Plegadis ridgwayi</i>	V
Juarjual	<i>Lophonetta specularioides alticola</i>	

V= Vulnerable

R= Rara

P= En Peligro

Fuente: "Libro rojo de los vertebrados Terrestres de Chile", Segunda edición 1993, Corporación Nacional forestal CONAF.

**Tabla 11.**  
**Aves acuáticas y/o asociadas al humedal de Caya.**

<b>Listado de Aves CAYA</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Estado de Conservación</b>
Cometocino Dorso castaño	<i>Phrygilus dorsalis</i>	
Chirigue verdoso	<i>Sicalis olivascens</i>	
Piuquén	<i>Chloephaga melanoptera</i>	V
Juarjual	<i>Lophonetta specularioides alticola</i>	
Dormilona nuca rojiza del norte	<i>Muscisaxicola rufivertex pallidiceps</i>	
Carancho cordillerano (nidificando)	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	
Golondrina Dorso negro	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	
Suri	<i>Pterocnemia pennata tarapacensis</i>	P
Churrete alas blancas	<i>Cinclodes atacamensis</i>	
Jilguero negro	<i>Carduelis atrata</i>	

V= Vulnerable

R= Rara

P= En Peligro

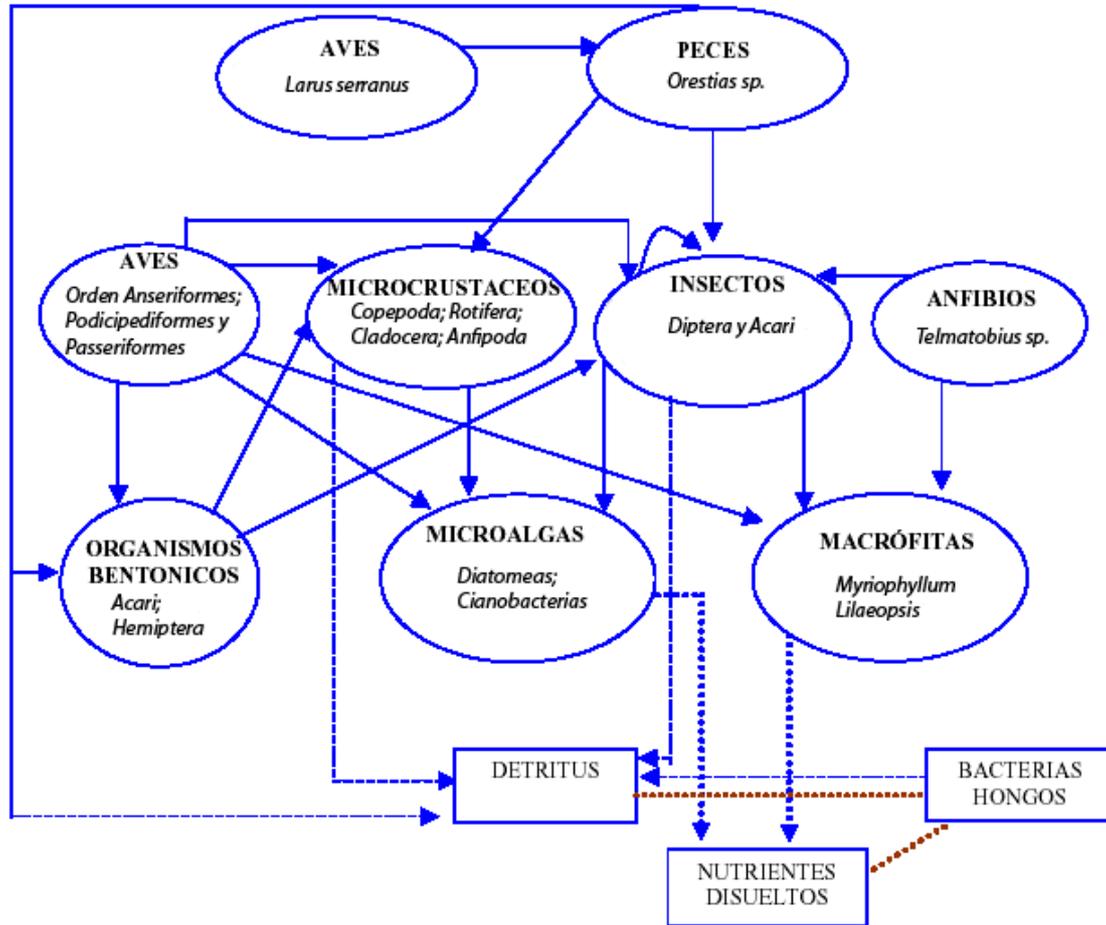
Fuente: “Libro rojo de los vertebrados Terrestres de Chile”, Segunda edición 1993, Corporación Nacional forestal CONAF

## 2.8 Peces.

Solamente en el humedal de Lirima se constató la presencia de ejemplares de peces “Karachi” del género *Orestias*, cuyas especies altiplánicas se encuentran todas en “Peligro de extinción” especialmente por su bajo número poblacional y restringido de su distribución de acuerdo con el actual reglamento de Clasificación de especies de CONAMA.

2.9. La Fig.4 detalla las relaciones tróficas de los componentes del sistema en un modelo conceptual.

El Anexo incluye un archivo fotográfico de los sitios de estudio.



**Figura 4.**  
**Modelo conceptual de la trama trófica de los sistemas Caya y Lirima.**

## CONCLUSIONES

Los humedales de Lirima y Caya corresponderían a zonas de baja inundación conocidos más bien como bofedales. Los sistemas se mantienen con inundación somera por la hidrología de la zona con escasa cantidad de lluvias que se cita en apenas 54,4 mm/año. A esto se aúna la evaporación alta, factores que determinan las características físicas y químicas de estos humedales de inundación somera. La generalidad de los humedales de esta región contiene salinidad alta debido a los factores antes mencionados. Por su ubicación intermedia entre tierra y aguas más bien someras, son particularmente sensibles a los cambios hidrológicos, los cuales pueden modificar la disponibilidad de nutrientes, el grado de desoxigenación, la salinidad, las propiedades de los sedimentos y el pH. La disminución del volumen del agua implica necesariamente concentración de los nutrientes y salinidad significativamente alta. Así, breves cambios hidrológicos pueden producir disminución masiva de la biota por la baja tolerancia que la mayoría de las especies tanto de invertebrados como de vertebrados presenta a la salinidad alta.

En este sentido es de mucha importancia la presencia y mantención de la vegetación tanto acuática como de borde por el control que ella puede hacer de los nutrientes y la retención de los sedimentos especialmente con las lluvias altiplánicas..

La conservación de volúmenes mínimos de agua para la mantención de su calidad química implica la conservación de estos humedales. Cabe considerar que la formación de los grandes salares de la región se han generado naturalmente en miles de años debido a los cambios del clima naturales ocurridos en ella, sin embargo, durante los últimos cien años, este proceso ha sido acelerado significativamente debido al incremento de la extracción del agua para usos domésticos por el incremento poblacional. Algo similar ocurre con el uso agrícola, pero la gran extracción de volúmenes mayores de agua corresponde a las actividades mineras.

Los humedales de Lirima y Caya no son la excepción a lo señalado anteriormente. Así, Lirima con mayor volumen de agua presenta una conductividad moderada, sin embargo el

agua de Caya contiene una cantidad alta de iones disueltos. La caracterización química de Lirima señala que este es un humedal sulfatado sódico y Caya es un sistema clorurado cálcico.

La cartografía señala que Caya es un arroyuelo somero y Lirima es más bien un sistema lagunar, ambos con interesantes relictos antrópicos de antiguas culturas indígenas.

Lirima mantiene una pequeña población de peces *Orestias* de enorme importancia ecológica y evolutiva por ser estos ejemplares únicos representantes de estos peces altiplánicos en esta zona y ser “Unidades Evolutivas Significativas” o Evolutionary Significant Units (ESU), esto quiere decir, que son poblaciones que están reproductivamente separadas de otras poblaciones, tienen adaptaciones distintivas o diferentes y representan un legado evolutivo importante de la especie (Waples, 1991), en este mismo sistema se constató, además, la presencia del anfibio *Telmatobius*.

Doce especies de aves en Lirima y diez en Caya incluídos suris y flamencos señalan la importancia de los humedales para la conservación de la avifauna con especies en peligro y varias de ellas vulnerables.

La base de la cadena trófica como lo señala el modelo conceptual (Ver Fig. 4), se inicia en estos sistemas con las bacterias seguidas de las microalgas del fitoplancton dominadas por algas diatomeas, a semejanza de la generalidad de los sistemas andinos. Bacterias y fitoplancton sustentan a los organismos zooplanctónicos, parcialmente a insectos acuáticos y aves. Los insectos son el alimento de peces, anfibios y aves. Las plantas macrófitas cumplen un rol importante como habitat de insectos y alimento parcial de ellos y aves acuáticas y terrestres. Además representan refugio y sitios de reproducción de peces y anfibios y aves.

Solamente con la mantención de los volúmenes de agua, del área de inundación y la permanencia de la vegetación de borde, de estos humedales altoandinos será factible sustentar:

- Mantención de la vida humana andina
- Mantención de la vida acuática y terrestre asociada a los humedales.
- Conservación de especies únicas como es el caso de “Karachi” *Orestias*, actualmente en peligro de extinción en toda la región altiplánica. -Reproducción y alimentación de anfibios.
- Nidificación y alimentación de aves.
- La mantención de la conectividad. Pasadizos de migración de aves, anfibios, insectos
- La mantención de Relictos antrópicos en el área.
- Mantención de diversos servicios ecosistémicos tales como:
  - Regulación y control de erosión.
  - Recarga de aguas subterráneas
  - Retención y exportación de sedimentos y nutrientes.
  - Depuración de aguas.
  - Reservorios de biodiversidad.
  - Valores culturales.
  - Recreación y turismo.

La cuenca de la Quebrada de Tarapacá no posee Áreas bajo Protección Oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), ni sitios de Conservación de la Biodiversidad (MOP-DGA.KADE-IDEPE 2004).

Por los antecedentes recabados en esta investigación se recomienda fuertemente la solicitud de sitio Ramsar para los humedales Lirima y Caya o ser incorporados como sitio de área prioritaria de la Estrategia de Humedales Altoandinos, dentro de los humedales priorizados y su plan de conservación.

## ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Ahumada, M. & L. Faundez. 2009. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la región Altiplánica. SVAHT. SAG 118 pp. Santiago.

American Public Health Association (APHA). 2001. Standard Methods for the examination of water. 20th Edition. American Public Health Association. Washington. D.C.

Araya, J.M. & L. Zuñiga. 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Informativo Limnológico, Chile 8:1-110.

CEA-CONAMA. 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Santiago. Chile 116 p.

Daget, Ph., & J. Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. Ann. Agron. 22:5-41.

Diaz, C. & N. Maidana. 2005. Diatomeas de los salares Atacama y Punta Negra. II Región Chile. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida. Servicios de Impresión laser S.A. Santiago. Chile.

Fernández, H. & E. Domínguez. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Tucumán. Imprenta central Universidad Nacional de Tucumán, 281 pp.

Figuerola, R., Valdovinos C., Araya E. & O. Parra. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 76: 275-285.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago.

Golterman, H.L., Clymo R.S. & M.A. Ohnstad. 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. 2ed, Blackwell, Oxford.

Gulati, R., Lammens, E., De Pauw, N. & E. Van Donk. 2005. Shallow Lakes in a changing world. Developments in Hydrobiology 196. Hydrobiologia 584.

Horne, A. J. & CH. R. 1994. Goldman. Limnology. Second edition. McGraw-Hill, Inc. 575 pp.

Marín, V., Delgado L. & I. Vila. 2006. "Sistemas acuáticos, ecosistemas y cuencas hidrográficas". Ed. I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter, C. Ramírez. En "Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile". Editorial Universitaria. Santiago. Chile 13-19 pp.

Marquet, P., Bozinovic, F., Bradshaw, G.A., Cornelius, C., González, H., Gutierrez, J.R., Hajek, E.R., Lagos, J.A., López-Cortez, F., Núñez, L., Rosello, E.F., Santoro, C., Samaniego, H., Standen, V.G., Torres-Mura, J.C. & F.M. Jaksic. 1998. Los ecosistemas del desierto de Atacama y área andina adyacente en el norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 593-617.

Mitsch W.J. & J.G Gosselink. 2000. Wetlands. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Montecino, V. & S. Cabrera. 1982. Phytoplankton activity and standing crop in an impoundment of Central Chile. Journal of Plankton Research 4(4):943-950.

Molina, X. & I. Vila. 2006. "Manual de Evaluación de la calidad del agua". Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) y Universidad de Chile. Proyecto S.A.G. N° C3-73-14-42. Rio Cachapoal Santiago Chile. 1-93 pp.

MOP-DGA.KADE-IDEPE 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá.

Mühlhauser, H., Soto, L. & P. Zahradnik. 1986. Improvement of the Kjeldahl Method for Total Nitrogen including Acid-Hidrolizable Phosphorous determinations in Freshwater Ecosystems. *International Journal of Environmental and Analytical. Chemistry*. 28 (3): 1-12.

Parra, O. & C. Bicudo. 1995. Introducción a la biología y sistemática de las algas continentales. Gráfica Andes Ltda. Santiago. Chile.

Ramírez, G, C., San Martín, P, C. & R.H. Rubilar. 2002. Una propuesta de clasificación de los humedales chilenos. *Revista geográfica de Valparaíso* 32-33:265-273.

Ramírez, C. & C. San Martín. 2006. Diversidad de macrófitos chilenos. Ed. I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter, C. Ramírez. En “Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile”. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 21-69

Rivera, P., Parra, O., González, M., Dellarossa, V. & M. Orellana. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae. Editorial Universidad de Concepción, 97 pp. 15 Láms.

Ryding, S.O. & W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO Ediciones Pirámide. Madrid. 375 pp.

Sallaberry, M. & E. Tabilo. 1990. Importantes áreas de descanso para las aves Migratorias en Chile y su conservación. *Revista Creces* 2 (7): 14-19.

Scheffer, M. 1998. Ecology of shallow lakes. Chapman and Hall, London. 357 pp.

Scheffer, M. & E. van Nes. 2007. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584:455-466.

Schlatter, R. & W. Sielfeld. 2006. Avifauna y mamíferos acuáticos de humedales en Chile. En "Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile". Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 141-186.

Verhoeven, J., Arheimer, B., Yin, Ch. & M. Hefting. 2006. Regional and Global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution*. 21(2): 96-103.

Villafañe, V. & F. Reid. 1995. Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton. En E.C. Oliveira y E. Sar. (eds), *Manual de métodos ficológicos*, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Utermöhl. 1958. Zur Vervoll Kommung der quantitativez Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9:1-3.

Vila, I., Veloso, A., Schlatter, R & C. Ramirez. 2006. Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile". Editorial Universitaria. Santiago. Chile 13-19 pp.

Waples, R. S. 1991. Pacific salmon, *Oncorhynchus* spp., and the definition of "species" under the Endangered Species Act. *Mar. Fish. Rev.* 53(3):11-22.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*. Third edition. Academic press. New York. 1006 pp.

[www.sur.uicn.org](http://www.sur.uicn.org).

[www.DGA.cl](http://www.DGA.cl). Información hidrológica. Ministerio de Obras Públicas.

## ANEXO FOTOGRÁFICO

Lirima



B)



C)





A), B), C) Vista del bofedal de Lirima desde los cerros circundantes;  
D) Curso de agua presente en Lirima, de una zona representativa del sistema.

## Caya







A) Vista del bofedal de caya desde los cerros circundantes;

B) Patos Juarjual presentes en el bofedal de Caya;

C) y D) Cursos de agua presente en Caya.