



**GOBIERNO DE CHILE**  
**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**  
**DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

## **Diagnóstico y caracterización del estado trófico del lago Neltume y Pirehueico**

**INFORME FINAL**

**REALIZADO POR:**  
**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

**S.I.T. N° 303**  
**SANTIAGO, DICIEMBRE 2012**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

**Ministro de Obras Públicas**  
**Abogada Sra.Loreto Silva Rojas**

**Director General de Aguas**  
**Abogado Sr.Francisco Echeverría E.**

**Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos**  
**Ingeniero Sra. Monica Musalem.**

**Inspector Fiscal**  
**Biólogo Marysol Azocar Gutiérrez**

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

**Jefe de Proyecto**  
**Doctor Sr. Stefan Woelfl**

**Profesionales:**  
**Doctor Sr. Jorge Nimptsch**  
**Doctor Sr. Luciano Caputo**

## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe final da conocimiento sobre el proyecto “**DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL LAGO NELTUME Y PIREHUEICO**”. El objetivo principal de este proyecto fue evaluar el estado trófico y los componentes biológicos de los lagos Neltume y Pirehueico durante primavera 2012 en comparación con datos históricos.

### LAGO NELTUME

El lago Neltume mostró en primavera el proceso de una leve estratificación térmica con la formación de un epilimnion y metalimnion en los primeros 5 a 20 m de profundidad. El oxígeno mostró en ambas estaciones una tendencia similar, con valores alrededor de 100% de saturación en el epilimnion y una subsaturación progresiva en el hipolimnion ya durante la primavera 2012, alcanzando valores mínimos de 75% sobre el fondo en la estación Centro y Cua-Cua. El pH y conductividad eléctrica no mostraron marcadas variaciones en los perfiles verticales. Las fracciones de los nutrientes solubles (nitrato, amonio, fósforo soluble) varían levemente entre estaciones. La distribución vertical de PT y NT total fue bastante homogénea, mientras las diferentes fracciones de los nutrientes, especialmente nitrato mostraron un perfil vertical bastante heterogéneo con valores muy bajos de nitrato en el epilimnion y valores más altos en el hipolimnion durante noviembre 2012. Los valores encontrados en este estudio en general fueron muy similares a los valores de estudios anteriores. Respecto a los parámetros DQO y sílice se observaron valores de DQO similares para ambas estaciones. Los valores de clorofila a en ambas estaciones del lago Neltume fueron en general es característico para lagos oligotróficos. La estructura comunitaria de fitoplancton de ambas estaciones fue una marcada co-dominancia de Criptofíceas y Clorofíceas. En particular las Criptofíceas estuvieron esencialmente representadas por la especie *Rhodomonas* af. *lacustris* con valores de densidad mayores al 43%. En cuanto al zooplancton dominaron solamente un cladóceros pequeño (*Ceriodaphnia dubia*) y los ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Otros microcrustáceos como copépodos calanoideos y ciclopoideos fueron escasos. La estructura zooplanctónica fue similar a estudios anteriores en cuanto a la importancia de los ciliados mixotróficos.

De acuerdo a los parámetros trófico (secchi, P total y clorofila) el lago Neltume mantuvo su estado oligotrófico durante los últimos 35 años. No hay evidencia de un aumento significativo de la trofía aunque los datos de P total están ya cerca de la transición a un estado oligo-mesotrófico (7-9  $\mu\text{gP/L}$ ).

La temperatura del agua de los 5 ríos estudiados (ríos Cua-Cua, Chan-Chan, N1, N2 y Huechulafquen) fluctuó entre 9,65 y 14,58 °C en noviembre 2012. El río Cua-Cua mostró temperaturas acorde con la temperatura sub-superficial del lago Neltume. La oxigenación en los ríos fue siempre sub-saturada (96-91%).

Respecto a los factores químicos, en general los valores de N y P en los afluentes estuvieron típicos para cuencas naturales sin intervenciones humanas significativas (N total 0,04 - 0,07 mg/L; P < 0,030 mg/L), con excepción del río N1 que mostró valores de 0,10 mg N/L, sin embargo habría que verificar este valor. Las fluctuaciones de las concentraciones de NT y PT fueron muy bajas. En cuanto a la importancia de las diferentes fracciones de nitrógeno, dominó el nitrato en todos los ríos. Amonio y nitrito se encontraron muchas veces muy cerca y bajo el límite de detección.

En el caso de fósforo el río Chan-Chan mostró valores superiores a 0,03 mg P/L mientras en los otros ríos el P total nunca superó los 0,025 mg P/L lo que corresponde a aportes de cuencas de bosque nativo. En general, las concentraciones menores a 0,01 mg P/L son típicas para cuencas no intervenidas, por lo cual se puede deducir que las cuencas de los tributarios al lago Neltume muestran alguna intervención (antrópica).

## LAGO PIREHUEICO

El lago Pirehueico mostró en primavera el proceso de una leve estratificación térmica con la formación de un epilimnion y metalimnion en los primeros 5 a 30 m de profundidad con temperaturas superficiales máximas alrededor de 13-14° C y temperaturas hipolimnéticas de 7,2-6,2° C. El oxígeno mostró en ambas estaciones una tendencia similar, con valores alrededor de 97-100% de saturación en el epilimnion y una subsaturación progresiva en el hipolimnion ya durante la primavera 2012, alcanzando valores mínimos de 90% sobre el fondo en la estación Fuy lo que es típico para lagos araucanos oligotróficos. El pH y conductividad eléctrica no mostraron marcadas variaciones en los perfiles verticales. La

transparencia fue con 10 m similar en ambas estaciones siendo típico para lagos oligotróficos. Respecto a los parámetros químicos se puede observar, que en ambas estaciones del lago Pirehueico los valores de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) estuvieron muy similares. Las fracciones de los nutrientes solubles (nitrato, amonio, fósforo soluble) varían levemente entre estaciones. La distribución vertical de PT y NT total fue bastante homogénea con una excepción (30m est. FUY), mientras las diferentes fracciones de los nutrientes, especialmente nitrato mostraron un perfil vertical bastante heterogéneo con valores muy bajos de nitrato en el epilimnion-metalimnion y valores más altos en el hipolimnion sobre el fondo durante noviembre 2012. Los valores encontrados en este estudio en general fueron muy similares a los valores de estudios anteriores, siendo característicos para lagos oligotróficos. Respecto a los parámetros DQO y sílice se observaron valores de DQO similares para ambas estaciones con valores. Respecto al sílice no se observaron diferencias significativas entre las dos estaciones registrándose valores levemente mayores en la estación Fuy. Los valores de clorofila a en ambas estaciones del lago Pirehueico fueron  $<1,3 \mu\text{g/L}$  en los primeros 30 m de profundidad (epilimnion) que en general es característico para lagos oligotróficos y específicamente para los lagos araucanos. En total se registraron 37 especies de fitoplancton, de las cuales 15 corresponden a Diatomeas, 11 a Clorofíceas, 2 a Criptofíceas, 3 a Crisofíceas, 4 Dinofíceas y 2 a Cianofíceas. La estructura comunitaria de fitoplancton fue distinta entre las estaciones muestreadas. Los valores de densidad celular de las diatomeas son similares en ambas estaciones del lago, siendo éste grupo de algas principalmente representadas por especies pennadas de gran tamaño. En cuanto al zooplancton dominaron en ambas estaciones monitoreadas *Daphnia pulex* y ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Otros microcrustáceos como copépodos calanoideos y ciclopoideos fueron escasos. En comparación con estudios anteriores en los años noventa (1991/92 y 1998) es muy notable observar un cambio muy importante de la estructura zooplanctónica en este lago, con la invasión de *Daphnia pulex*, que hasta entonces estuvo ausente.

De acuerdo a los parámetros trófico (secchi, P total y clorofila) el lago Pirehueico mantuvo su estado ultra-oligotrófico durante los últimos 35 años. No hay evidencia de un aumento significativo de la trofia.

La temperatura del agua de los 6 ríos estudiados (ríos Hua-Hum, Fuy, Upinza, Los Baños, Las Estacas y El Manzano) fluctuó entre 10,88 y 12,73 °C en noviembre 2012. El río Hua-Hum mostró temperaturas acorde con la temperatura sub-superficial del lago Pirehueico. La oxigenación en los ríos fue sub-saturada (95-90%) con la excepción del río Hua-Hum que alcanzó su saturación (99,8%).

Respecto a los factores químicos, en general los valores de N y P en los afluentes estuvieron típicos para cuencas naturales sin intervenciones humanas significativas (N total 0,028 - 0,045 mg/L; P < 0,013 mg/L). Las fluctuaciones de las concentraciones de NT y PT fueron muy bajas. En cuanto a la importancia de las diferentes fracciones de nitrógeno, dominó el nitrato en todos los ríos. Amonio y nitrito se encontraron muchas veces muy cerca y bajo el límite de detección.

En el caso de fósforo los ríos el P total nunca superó los 0,0125 mg P/L lo que corresponde a aportes de cuencas de bosque nativo. En general, las concentraciones menores a 0,01 mg P/L son típicas para cuencas no intervenidas, por lo cual se puede deducir que las cuencas de los tributarios al lago Pirehueico casi ninguna intervención (antrópica).

## INDICE

<b>1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LOS LAGOS Y RÍOS (OBJETIVO 1,2 Y 3) .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 ESTACIONES Y FRECUENCIA DE MUESTREO DE LA COLUMNA DE AGUA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 TOMA DE MUESTRAS QUÍMICAS DE AGUA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3 ANALISIS DE FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.4 MUESTREO Y ANALISIS DE FITOPLANCTON .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.5 MUESTREO Y ANALISIS DE ZOOPLANCTON.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 EVALUACIÓN DE LOS DATOS EN COMPARACIÓN CON DATOS HISTÓRICOS EN OTROS ESTUDIOS (OBJETIVO 4).....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 PROPUESTA DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS LAGOS A ESTUDIAR (OBJETIVO 5) .....</b>	<b>23</b>
<b>3 RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 MONITOREO DEL LAGO NELTUME.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.1 PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2 TRANSPARENCIA Y CLIMA LUMÍNICO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.3 FITOPLANCTON.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.4 ZOOPLANCTON .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.4.1 MICROCRUSTÁCEOS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.4.2 ROTÍFEROS.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.4.3 CILIADOS MIXOTRÓFICOS .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 MONITOREO DE LOS AFLUENTES DEL LAGO NELTUME .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 MONITOREO DEL LAGO PIREHUEICO.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.1 PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.2 TRANSPARENCIA Y CLIMA LUMÍNICO .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.3 FITOPLANCTON.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.4 ZOOPLANCTON .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.4.1 MICROCRUSTÁCEOS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.4.2 ROTÍFEROS.....</b>	<b>63</b>
<b>3.3.4.3 CILIADOS MIXOTRÓFICOS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.4 MONITOREO DE LOS AFLUENTES DEL LAGO PIREHUEICO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.5 ESTADO TRÓFICO DE LOS LAGOS NELTUME Y PIREHUEICO.....</b>	<b>67</b>
<b>3.5.1 ESTADO TRÓFICO DEL LAGO NELTUME.....</b>	<b>68</b>
<b>3.5.2 ESTADO TRÓFICO DEL LAGO PIREHUEICO .....</b>	<b>70</b>
<b>3.6 PROPUESTA DE ESTUDIOS DE MONITOREO .....</b>	<b>72</b>
<b>4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>5 COMPOSICIÓN DEL EQUIPO TÉCNICO .....</b>	<b>81</b>

**ANEXO 1 DATOS HISTORICOS SOBRE PARAMETROS TRÓFICOS EN EL LAGO  
NELTUME .....82**

**ANEXO 2 DATOS HISTÓRICOS SOBRE PARAMETROS TRÓFICOS EN EL LAGO  
PIREHUEICO .....85**

**ANEXO 3 DATOS SOBRE FITOPLANCTON .....87**

## 1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Las Bases técnicas de esta licitación son las siguientes:

### **Objetivo general**

Evaluar el estado trófico y los componentes biológicos de los lagos Neltume y Pirehueico durante primavera 2012 en comparación con datos históricos.

### **Objetivos Específicos**

Objetivo 1: Ejecutar una campaña de monitoreo en la cual se realizará una caracterización limnológica y una evaluación de la condición trófica actual de los lagos, a través de parámetros físicos, químicos y biológicos

Objetivo 2: Monitoreo de factores físicos, químicos de los principales afluentes y efluentes de los lagos.

Objetivo 3: Descripción de la distribución y composición de las comunidades que conforman el fito- y zooplancton, en cada lago

Objetivo 4: Evaluar los datos obtenidos en comparación con datos históricos en otros estudios.

Objetivo 5: Propuesta de seguimiento de la calidad de agua de los lagos a estudiar.

## 2 METODOLOGÍA

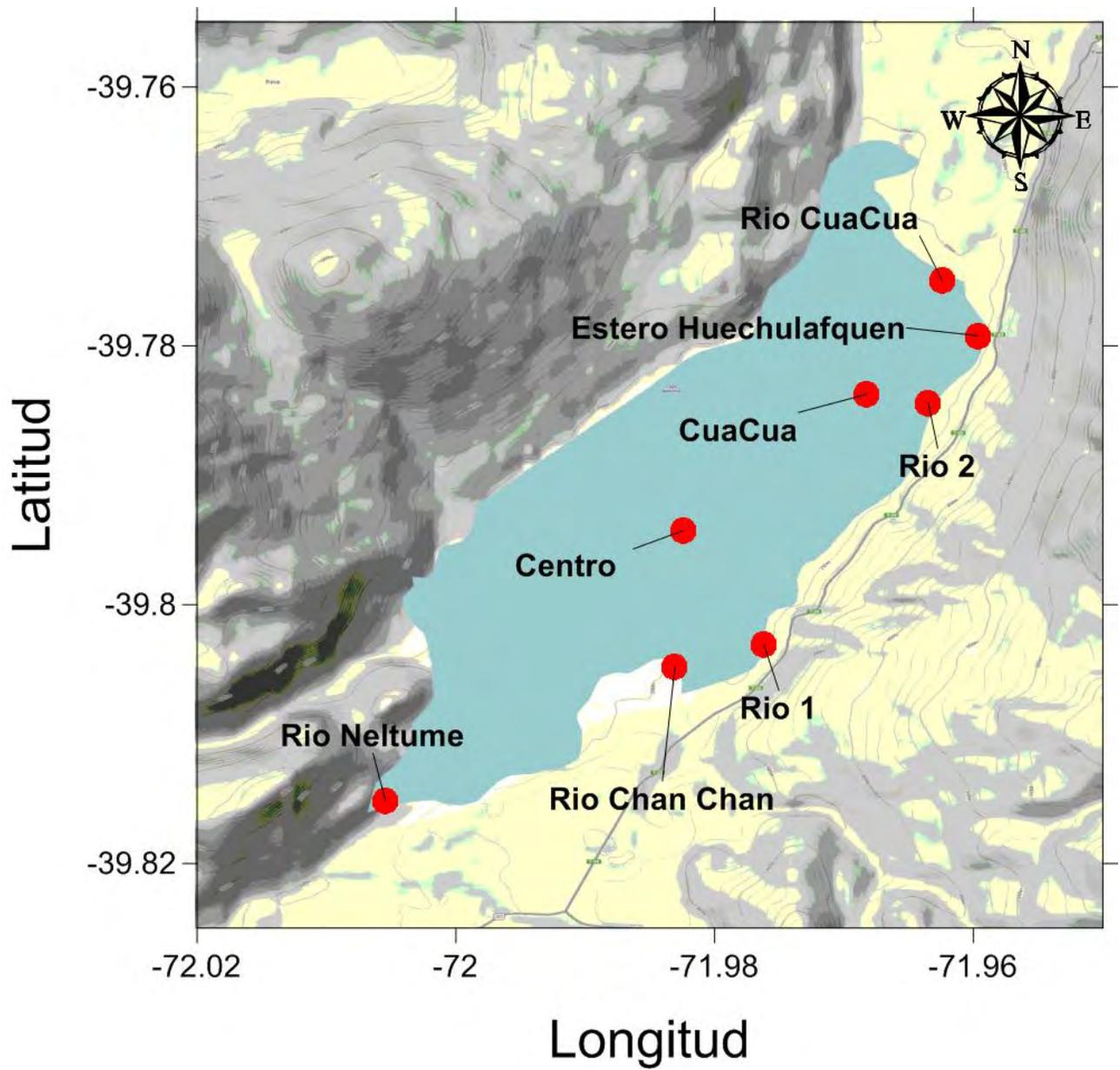
Esta propuesta técnica usará en principio la misma metodología utilizada en anteriores estudios de este consultor como por ejemplo **ANTECEDENTES PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE UNA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUAS EN EL LAGO MAIHUE, CUENCA DEL RÍO BUENO** (Informe DGA S.I.T. N° 262, año 2011), **ANTECEDENTES PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE UNA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUAS EN EL LAGO MAIHUE, CUENCA DEL RÍO BUENO** (Informe DGA S.I.T. N° 239, año 2011).

### 2.1 MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LOS LAGOS Y RÍOS (Objetivo 1,2 y 3)

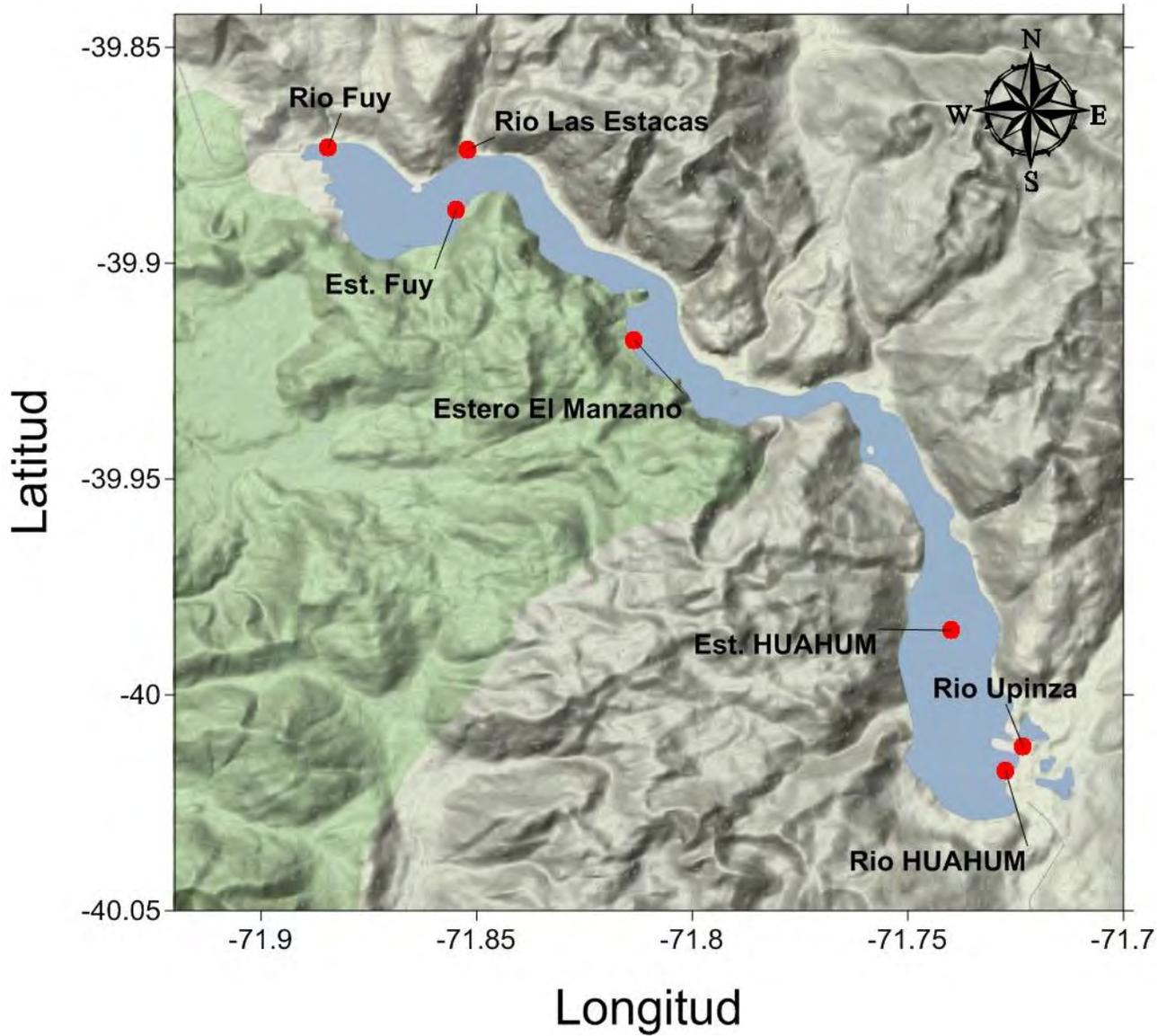
#### 2.1.1 ESTACIONES Y FRECUENCIA DE MUESTREO DE LA COLUMNA DE AGUA

Se realizó una única campaña de muestreo de la columna de agua de los lagos Neltume y Pirehueico durante 15 y 16 de noviembre 2012. La ubicación de las estaciones de muestreo se eligió de acuerdo al estudio de Universidad Austral de Chile (S.I.T. 61) de 2000 y considerando la evaluación de los resultados obtenidos en este estudio. De acuerdo a estas consideraciones se muestreó en el lago Neltume la estación Centro y Cua-Cua, mientras en el lago Pirehueico se muestreó en las dos estaciones Fuy y Hua-Hum.

En las figuras 1 y 2 se detalla la ubicación de las estaciones de muestreo en los mapas tomados del estudio la UACH 2000.



**Fig.1** Ubicación de las estaciones pelágicas y de los ríos en el lago Neltume



**Fig.2** Ubicación de las estaciones pelágicas y de los ríos en el lago Pirehueico

Paralelamente se monitoreó también los efluentes y afluentes de los lagos Neltume y Pirehueico (nomenclatura según estudio UACH 2000, S.I.T. 61) (tabla 1):

**Tabla 1** Coordenadas de las estaciones monitoreadas en al lago Neltume y Pirehueico (UTM: Datum WG84, (Huso 19, hemisfério sur))

<b>Lago Neltume</b>				
<b>Estación</b>	<b>Longitud W</b>	<b>Latitud S</b>	<b>UTM: Longitud</b>	<b>UTM: Latitud</b>
Centro	71,9824297	39,7942786	244637	5590819
Cua-Cua	71,9682291	39,7837357	245814	5592030
Rio Neltume	72,005452	39,8151492	242743	5588436
Rio Chan-Chan	71,9830752	39,8048215	244621	5589647
Rio 1	71,9761901	39,8031002	245204	5589858
Rio 2	71,9634955	39,7843812	246222	5591972
Estero Huechulafquen	71,9596226	39,7792173	246535	5592556
Rio Cua-Cua	71,9624197	39,7749141	246279	5593026
<b>Lago Pirehueico</b>				
<b>Estación</b>	<b>Longitud W</b>	<b>Latitud S</b>	<b>UTM: Longitud</b>	<b>UTM: Latitud</b>
Est. HUA-HUM	71,740008	39,985049	266047	5570306
Est. Fuy	71,854691	39,887534	255907	5580823
Rio Fuy	71,884383	39,873089	253315	5582345
Rio Las Estacas	71,852139	39,873652	256076	5582372
Estero El Manzano	71,813458	39,917764	259538	5577580
Rio Upinza	71,723259	40,012054	267568	5567351
Rio HUA-HUM	71,727393	40,017605	267234	5566724

## 2.1.2 TOMA DE MUESTRAS QUÍMICAS DE AGUA

Las muestras de agua para las mediciones de los parámetros químicos, físicos y biológicos se tomaron en las estaciones pelágicas en diferentes profundidades desde la superficie hasta el fondo usando una botella de Friedinger (volumen 2 L) en las siguientes profundidades:

## Lago Neltume

Estación Centro 0-5-10-20-30-40-50-60-80 m

Estación Cua-Cua 0-5-10-20-30-40-50-60 m

## Lago Pirehueico

Estación Fuy 0-5-10-20-30-40-50-60-80-110 m

Estación Hua-Hum 0-5-10-20-30-40-50-60-80-100-140 m

Las muestras fluviales se tomaron desde la orilla y/o directamente en el centro del río desde el bote.

Las muestras de agua para el análisis químico se guardaron en botellas plásticas de 0,5 L (nutrientes, P total y N total) y se trasladaron a temperatura de 4° C al laboratorio LIMNOLAB en Valdivia para su posterior análisis.

### 2.1.3 ANALISIS DE FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS

Se realizaron mediciones de los siguientes parámetros físicos, químicos y clorofila a:

Temperatura: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,01 °C

pH: Medición in situ con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) y corroboración de mediciones de pH de muestras de agua estratificadas de la zona pelagial de los lagos utilizando una sonda WTW. Precisión 0,01

Conductividad: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) Precisión: 0,1  $\mu\text{S/cm}$ .

Transparencia: Medición con un disco Secchi (30 cm de diámetro). Precisión: 0,5 m.

Luz: Se realizará con un medidor LI-COR mediciones de luz visible (400-700 nm) desde la superficie hasta máximo 50 m de profundidad en la estación centro. Precisión: 0,1  $\mu\text{Mol Foton/s *m}^2$ .

Oxígeno disuelto: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) Precisión: 0,1 mg/L

Nitrato: Método de Reducción con Columna de cadmio y medición como nitrito según 4500-NO<sub>3</sub> – E Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 0,002 mg N-NO<sub>3</sub>/L.

Nitrito: Método colorimétrico diazonio según 4500-NO<sub>2</sub> - B. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 0,002 mg N-NO<sub>2</sub>/L.

Amonio: Método Indofenol, 4500-NH<sub>3</sub> F Standard Methods Edición 2005. Límite de detección: 0,002 mg N-NH<sub>4</sub>/L.

Fósforo soluble: Método azul del ácido ascórbico según 4500-P – E. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 0,001 mg P-PO<sub>4</sub>/L.

Demanda química de oxígeno: Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 5 mg/L.

Silice: Standard Methods Edición 2005. Límite de detección: 0,2 mg SiO<sub>2</sub>/L.

Fósforo Total (PT): Método de digestión ácida y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-P B/5 Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 0,003 mg P-PO<sub>4</sub>/L.

Nitrógeno Total: Método de digestión básica con Hidróxido de Sodio y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-N/C y 4500-NO<sub>3</sub> – E. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección: 0,015 mg N/L.

Nitrógeno orgánico: Norg. = NT – (N-NO<sub>3</sub> + N-NO<sub>2</sub> + N-NH<sub>4</sub>). Límite de detección: 0,015 mg N/L

Clorofila a: laboratorio según método 10200 H D Standard Methods” APHA (2005). Límite de detección: 0,1 µg/L.

Adicionalmente se tomaron perfiles verticales in situ de la distribución de clorofila-a y pigmentos accesorios utilizando la sonda FluoroProbe BBE (Moldaenke, Alemania), que permitió discriminar la biomasa de clorofilas proporcional perteneciente a las Cianobacterias, Clorófitas, Criptófitas y el grupo de las algas marrones (Diatomeas, Dinofíceas y Crisofíceas).

Con los datos registrados en terreno (perfiles fluorimétricos de chl-a para cada uno de los sitios de muestreo) se calcularon el valor medio integrado para las capas 0-40m usando el método trapezoidal.

#### **2.1.4 MUESTREO Y ANALISIS DE FITOPLANCTON**

Para el estudio del fitoplancton se siguió la siguiente metodología empleada en los muestreos desarrollados anteriores proyectos de este consultor (UACH-DGA, S.I.T. 239 –

año 2011; UACH-DGA, S.I.T. 278 – año 2012). Es decir se colectaran dos tipos de muestras en la zona pelágica de los lagos:

- 1) Muestras cualitativas consistentes en arrastres verticales de red (tamaño malla de 55 $\mu$ m) desde la superficie hasta los 40 metros de profundidad. El objetivo de estas muestras es registrar la mayor diversidad florística, particularmente de aquellas especies de fitoplancton que presentan flotabilidad positiva (como por ejemplo *Botryococcus* o *Anabaena* sp), las cuales generalmente son sub-representadas con otras metodologías de muestreo. Estas muestras se analizaron vivas para una mejor determinación taxonómica y en base a ellas se construirán los inventarios base de diversidad. Sub-volúmenes de estas muestras se fijaron con lugol al 4% (v/v) como resguardo/inventario ficológico de nuestros laboratorios en la UACH.
- 2) Las muestras cuantitativas están conformadas por muestras integradas de agua, desde la superficie hasta los 40 m de profundidad. Sub-volúmenes de cada estrato de la columna de agua, colectado a intervalos regulares (0-40 m) se trasvasijaron a un contenedor de plástico de 20L. Una vez homogeneizada la muestra final (250 ml) se almacenó en botellas de vidrio color ámbar y fijada con lugol al 4% (v/v) para su posterior análisis cuantitativo en el laboratorio.

El análisis del fitoplancton se realizó de acuerdo a la metodología Mischke y col. (2009). El inventario de diversidad florístico se generó inicialmente en base al análisis de las muestras cualitativas de red 2 a 3 ml de muestra (Met. 1). Posteriormente se realizó los análisis cuantitativos de microalgas a partir de las muestras integradas (Met 2): consistentes en conteos de meso-fitoplancton en cámara completa a bajo aumento (10x) seguido de conteos en transectos completos con una magnificación mayor (32x), método Utermöhl). Se midieron las algas para contar con datos de bio-volumenes de las especies, y por ende caracterizar de mejor forma el fitoplancton. Las determinaciones taxonómicas fueron apoyadas por literatura relacionada a los diferentes grupos de fitoplancton descritos para las aguas continentales de Chile y del hemisferio norte.

La estructura comunitaria del fitoplancton, caracterizada bajo el microscopio invertido, se relacionó con la distribución de clorofilas para los principales grupos de algas (Cianobacterias, Clorófitas, Criptófitas y Marrones) registradas utilizando el fluorómetro

sumergible V2 (Fluoroprobe BBE, Moldaenke). El uso de la técnica de fluorimetría in vivo ha sido exitosamente utilizada en el estudios de eutrofización de lagos y embalses en Europa (Caputo et al. 2008, Navarro et al. 2009 y Longhi et al. 2010) y Norteamérica (Catherine et al. 2010) permitiendo describir y analizar los patrones de distribución horizontal y vertical de diferentes grupos fitoplanctónicos y relacionarlos con variables físico-químicas asociadas. Todo ello sin desmedro del necesario análisis, de muestras vivas y/o fijadas, bajo el microscopio invertido para la determinación taxonómica de las especies de fitoplancton.

## **2.1.5 MUESTREO Y ANALISIS DE ZOOPLANCTON**

Para el estudio del zooplancton (microcrustáceos, rotíferos y ciliados mixotróficos) se siguió la misma metodología empleada en los muestreos desarrollados en anteriores proyectos de este consultor (UACH-DGA, S.I.T. 239 – año 2011; UACH-DGA, S.I.T. 278 - 2012).

### **MICROCRUSTACEOS**

En cada punto de muestreo de la zona pelágica de los lagos se colectaron microcrustáceos con una red de zooplancton de 80  $\mu\text{m}$  (apertura: 29 cm) con flujómetro desde la superficie hasta 40 m de profundidad. La fijación se realizó con formalina saturada con azúcar a 4% concentración final. Los microcrustáceos, copépodos y cladóceros, se clasificaron a nivel de especie. Los organismos se cuantificaron en cámaras de Bogorov bajo una lupa Zeiss Jena Technival (aumento 25-80x) según Woelfl (2002).

### **ROTIFEROS**

Los rotíferos presentes en la zona pelágica de los lagos (0-40 m; muestra integrada de agua según metodología 2, sección fitoplancton) se cuantificaron filtrando entre 5-10 L de agua integrada (metodología fitoplancton-sección 2) en tamices de 40  $\mu\text{m}$ . Los organismos

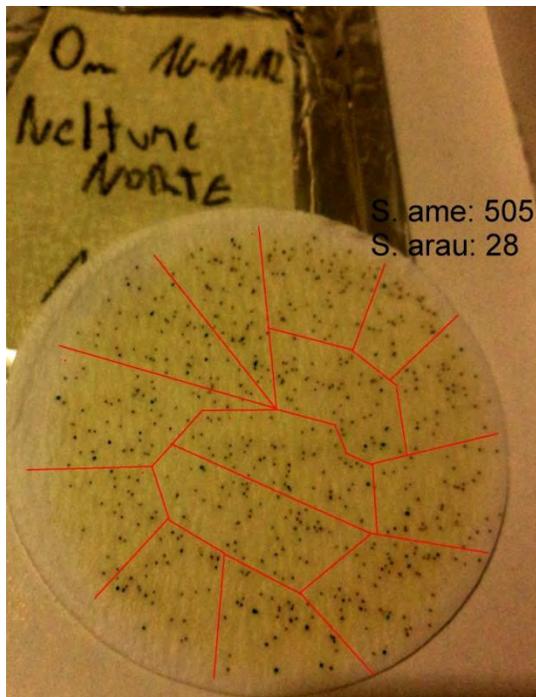
se concentraron en envases de plástico de 100 ml y se fijaron en formalina saturada con azúcar a 4% concentración final. La abundancia y diversidad de rotíferos (nivel de género) se determinó en cámaras de Bogorov bajo microscopio invertido Leitz Fluovert FS (aumento 100-200x).

### **CILIADO MIXOTRÓFICOS (*Stentor*)**

Estos organismos unicelulares con un tamaño entre 0,2 y 0,3 mm poseen varios miles de algas simbióticas (~ 1000-5000) (*Chlorella* sp.) por ciliado (Fig.3). Estas algas no se pueden cuantificar por separado en las muestras de fitoplancton, pero aportan significativamente a la concentración de clorofila a y la productividad de los lagos nor-patagónicos. Además estos ciliados aportan un alto porcentaje (40-80%) a la biomasa zooplanctónica y a la biomasa total del plancton del lago Pirehueico (1991/92) y de otros lagos araucanos (ej. Lagos Maihue, Colico y Caburgua) (Woelfl 1995; Woelfl & Geller 2002; Woelfl 2007). Estos organismos son sensibles a los cambios relacionados con la trofía de los lagos. Por lo tanto considerar a los ciliados del género *Stentor* en monitoreos limnológicos resulta muy informativo a la hora de evaluar la cambios de trofía, por ejemplo.

La cuantificación de este grupo se realizó contando los ciliados sobre los filtros de fibra de vidrio (0,7  $\mu\text{m}$ ) siguiendo las metodologías descritas en Woelfl & Geller (2002) y utilizado

ya en anteriores estudios de este consultor (UACH-DGA, S.I.T. 278 – año 2012) (Fig.3). Para ello se utilizó 1 litro de agua tomado entre 0 y 60m de profundidad en cada punto pelágico de muestreo. Posteriormente los ciliados se cuantificaron en fotos tomados de estos filtros (Fig. 3).



**Fig. 3** Ciliados (puntos oscuros) sobre filtro de fibra de vidrio (0,7  $\mu\text{m}$ ). Tomado en estación Cua-Cua (Lago Neltume, superficie. Volumen filtrado: 1 L)

## 2.2 EVALUACIÓN DE LOS DATOS EN COMPARACIÓN CON DATOS HISTÓRICOS EN OTROS ESTUDIOS (Objetivo 4)

### RECOPIACIÓN DE DATOS

Se realizó una recopilación y evaluación crítica de la calidad de los datos históricos para finalmente evaluar el desarrollo del estado trófico histórico de ambos lagos. Los datos se recopilaron de los informes técnicos y publicaciones disponibles, los cuales se presentan junto con los valores medidos en este estudio, en una base de datos *MASTER* en formato EXCEL, similar a las bases de datos elaborados por este consultor para los lagos Ranco y Maihue (UACH-DGA S.I.T. 239 – año 2011, S.I.T. 262 - 2011, S.I.T. 278 - 2012).

La revisión de la calidad y confiabilidad de los datos recopilados se realizó de acuerdo a la misma metodología ya aplicada en los mencionados estudios usando principalmente métodos empíricos que han mostrado ser más acertados que los métodos estadísticos que solamente aportan información sobre datos fuera de rango (outliers) y datos extremos.

Se realizaron los siguientes procedimientos al respecto:

- a) revisión de datos (con ayuda de filtros) para detectar problemas de ingreso de datos en el banco de datos.
- b) determinación de relaciones entre fracción soluble y total de nitrógeno y fósforo para detectar problemas analíticos.
- c) determinación de incoherencias (“saltos”) entre perfiles verticales y mediciones seguidas de los parámetros tróficos para detectar problemas de muestreo/procesamiento/análisis de muestras.
- d) determinación de incoherencias entre diferentes parámetros que están relacionados entre sí (p.ej. fracciones de amonio, nitrato, oxigenación, pH, conductividad; clorofila a, transparencia y nutrientes, etc.).

Finalmente se eliminaron los datos identificados con alta probabilidad de ser “erróneos” de la posterior evaluación de los datos en conjunto.

## EVALUACIÓN DE DATOS

Para caracterizar el estado trófico de los lagos se utilizaron los principales parámetros descriptores de calidad de agua empleados por los principales índices de trofía:

- clorofila-a.
- transparencia del agua (profundidad de visión del Disco de Secchi/zona eufótica.
- concentración de nutrientes, particularmente fósforo total.
- el nitrógeno total no se incluyó como parámetro para clasificar la trofía de los cuerpos de agua, porque todos los índices consideran valores límites para un estado oligotrófico muy superiores (250 o 350  $\mu\text{g N/L}$ , véase abajo) a los valores medido en los lagos Neltume y Pirehueico (al igual que los demás lagos araucanos). Por lo tanto, la clasificación trófica basándose en los valores de nitrógeno siempre resultará en un estado “oligotrófico”, aunque los otros parámetros tróficos (clorofila, transparencia, P total) indican por ejemplo un estado “mesotrófico” y/o incluso “eutrófico”.

Los índices considerados en este estudio para evaluar el estado de los sistemas son el índice propuesto por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 1982), la clasificación trófica propuesta por la Guía CONAMA para la elaboración de Normas Secundarias en Chile.

La fijación de los límites, que se propone aquí, se realizó considerando la experiencia internacional y la Guía NS (tabla 3).

**Tabla 3** Promedios, rangos y valores máximos (en paréntesis) para la clasificación del estado trófico en lagos templados según diferentes fuentes de la literatura.

\* valores citados en Smith 1999 son tomados de la publicación Nürnberg, 1996

		Dillon 1975	Carlson 1977	OECD 1982	Smith 1999*/Nürnberg 1996	Guía NS Tabla 2
<b>Secchi (m)</b>	Ultraoligo-	-	-	-	-	> 20
	Oligo	> 5	> 4	12-6	> 4	≥ 10
	Meso	5-2	4-2	6-3	4-2	10-5
<b>Clorofila a (µg/l)</b>	Ultra-oligo-	-	-	-	-	< 1
	Oligo-	≤ 2,1 (< 5,7)	< 2,6	1-2,5 (< 8)	<3,5	< 3
	Meso	≤ 5,6 (< 15)	2,6-7,3	2,5-8 (< 25)	3,5-9	3 - 10
<b>P Total (µg P/l)</b>	Ultraoligo-	-	-	-	-	< 5
	Oligo-	≤ 10	≤ 12	4-10	<10	≤ 10
	Meso	≤ 20	12-24	10-35	10-30	≤ 20
<b>N Total (µg N/l)</b>	Ultraoligo-	-	-	-	-	-
	Oligo-	-	-	< 350	< 350	≤ 250
	Meso	-	-	350-650	350-650	≤ 400

### Literatura clasificación trófica.

Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22(3): 361-369.

Dillon, P.J., F.H. Rigler. (1975). A simple method for predicting the capacity of a lake for development base on lake trophic status. *J.Fish.Res.Board Can.* 32:1519-1531.

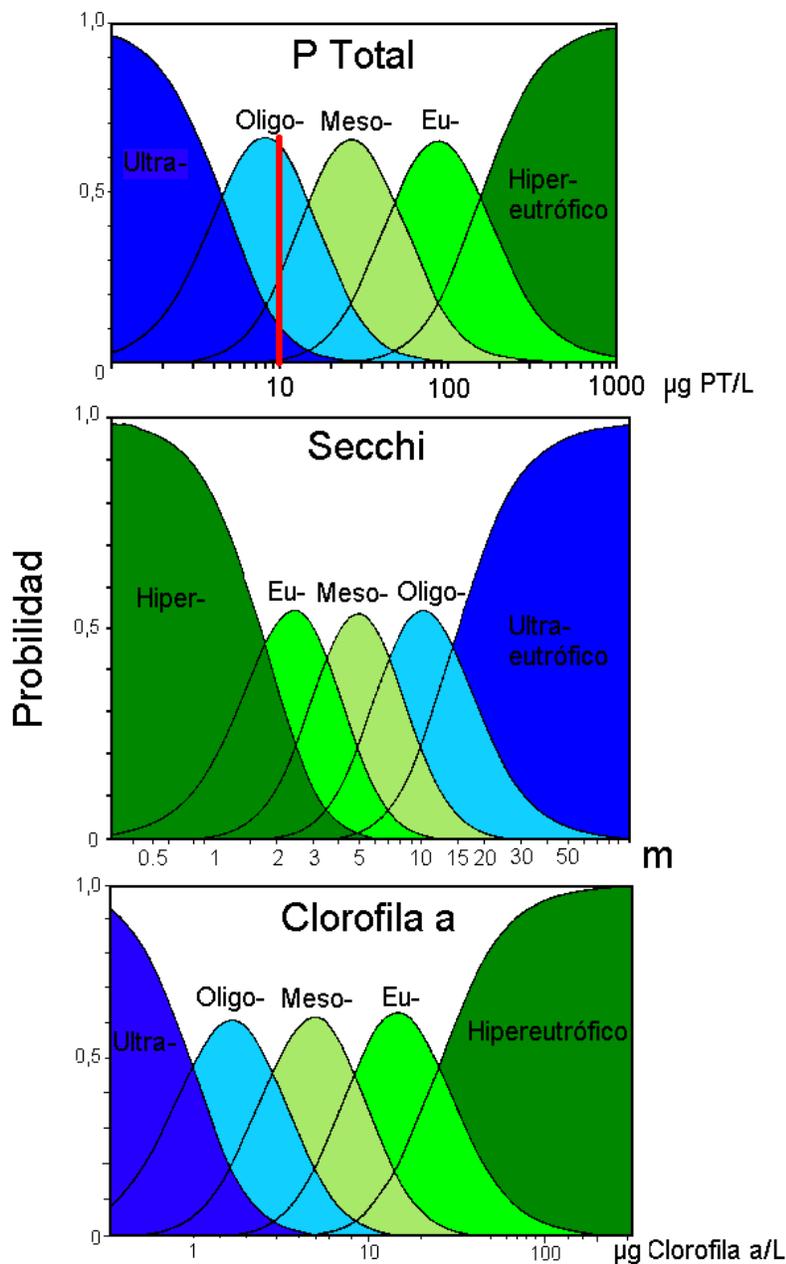
Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marina (2005). CONAMA, 1-18

Nürnberg, G.K. (1996) Trophic state of clear and colored, soft- and hard-water lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lakes and reservoir Management* 12: 432-447

Organization For Economic Co-Operation And Development (OECD). (1982). *Eutrophication Of Waters. Monitoring, Assessment And Control.* 156 pp.

Smith VH, GD Tilman & JC Nekola (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution* (100):179-196.

Sin embargo, cabe recordar, que una clasificación trófica usando valores límites máximos y mínimos (como se usa comúnmente en normas secundarias) es un procedimiento "técnico-práctico", pero no refleja adecuadamente el escenario real del estado trófico de un lago, que se debería describir con un modelo probabilístico (Fig. 4). Según este se puede deducir una determinada probabilidad (1 = 100%, 0 = 0%) para clasificar el estado de lago que tiene una cierta concentración de P total, clorofila a o transparencia. Por ejemplo, un lago con una concentración promedio de 10  $\mu\text{g P/L}$  se clasificaría con un probabilidad de 68% como oligotrófico y con una probabilidad de 25% como mesotrófico (véase línea roja en la figura 4).



**Fig. 4** Modelo probabilístico para la clasificación de la trofía según Vollenweider & Kerekes (1980).

## **2.3 PROPUESTA DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS LAGOS A ESTUDIAR (Objetivo 5)**

De acuerdo con los resultados de este estudio, la revisión de los datos históricos y en consideración del estado trófico de los lagos Neltume y Pirehueico, se propone el monitoreo para estos lagos (sin incluir un monitoreo de ríos).

Se abordó principalmente los siguientes aspectos en el capítulo 3.6:

- parámetros tróficos relevantes a considerar
- lugares de monitoreo
- frecuencia de monitoreo
- profundidades a monitorear

## Referencias:

- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D.C.
- Caputo L, Naselli-Flores L, Ordoñez J and Armengol J. Phytoplankton distribution along trophic gradients within and among Catalan (Spain) reservoirs. *Freshwater Biology* (2008), 53 (12), 2543-2556.
- Catherine A., Mouillot D., Escoffier N., Bernard C and M. Troussellier. Cost effective prediction of the eutrophication status of lakes and reservoirs. *Freshwater Biology* (2010) 55, 2425–2435.
- Longhi M.L. and Beiser B.E. Patterns in taxonomic and functional diversity of lake phytoplankton. *Freshwater Biology* (2010) 55, 1349–1366
- Mischke, U., Thackeray, S., Dunbar, M., McDonald, C., Carvalho, L., De Hoyos, C., Jarvinen, M., Laplace-Treyture, C., Morabito, G., Skjelbred, B., Solheim, A.L., Brierley, B., Dudley, B., 2009. WISER-Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery. Theme 6: Environment (including Climate Change). Seven Framework Programme. Deliverable D3.1-4: Guidance document on sampling, analysis and counting standards for phytoplankton in lakes, 51 pp.
- Navarro E., L. Caputo, R. Marcé, J. Carol, L. Benejam, E. García-Berthou and J. Armengol. Ecological classification of a set of Mediterranean reservoirs applying the EU Water Framework Directive: A reasonable compromise between science and management. *Lake and Reservoir Management* (2009) 25, 364–376
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., Orellana, M., 1982. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae; Vol. 2, Chrysophyceae - Xanthophyceae; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae; Vol. 4, Bacillariophyceae.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera, P., Orellana, M., 1983. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 5, (parte 1 y 2), Chlorophyceae.
- Poch Ambiental S.A., 2009. Redefinición de la Red Mínima de Lagos. Santiago (Octubre 2009), 184pp.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton- Methodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 9:1-38.
- Woelfl et al. 2011. Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Ranco, cuenca del Rio Bueno. Informe UACH, 170 páginas.
- Woelfl, S., 2007. The distribution of large mixotrophic ciliates (*Stentor*) in deep North Patagonian lakes (Chile): First results. *Limnologica* 37, 28-36.

Woelfl, S., Garcia, P., Duarte, C., 2010. Chlorella-bearing ciliates (*Stentor*, *Ophrydium*) dominate in an oligotrophic, deep North Patagonian lake (Lake Caburgua, Chile). *Limnologica* 40, 134-139.

Woelfl, S., Geller, W., 2002. Chlorella-bearing ciliates dominate in an oligotrophic North Patagonian Lake (Lake Pirehueico, Chile): abundance, biomass and symbiotic photosynthesis. *Freshwater Biology* 47 (2), 231-242.

## **3 RESULTADOS OBTENIDOS**

Se presentan aquí los resultados obtenidos en este estudio.

### **3.1 MONITOREO DEL LAGO NELTUME**

El lago Neltume y sus principales afluentes fueron muestreados en 16 de noviembre 2012. En este muestreo participó también el Inspector fiscal Srta. Marysol Azocar Gutiérrez.

#### **3.1.1 PARAMETROS FISICOS Y QUÍMICOS**

Las tablas 3 y 4 muestran los datos físicos (temperatura, conductividad eléctrica) y químicos (oxígeno, DQO, nutrientes, N y P total) y clorofila a para las dos estaciones Centro y Cua-Cua (Centro Norte), del lago Neltume, en cada una de las profundidades muestreadas. Los datos sobre el clima lumínico se presentan en el punto 4.1.2. Los resultados más importantes se describen a continuación:

#### **TEMPERATURA**

En el lago Neltume las temperaturas máximas superficiales fueron de 18,3 y 17,4°C en las estaciones Centro y Cua-Cua, respectivamente. En cuanto a la distribución vertical de temperaturas, se observa una leve estratificación térmica ubicada en el límite inferior de la capa superficial en ambas estaciones, seguido por una disminución continua de la temperatura hasta los 20 metros (metalimnion). Las temperaturas hipolimnéticas mínimas estuvieron en el rango de 7,0 – 6,9°C. En base a esta información se concluye que el lago Neltume, durante la segunda quincena de Noviembre de 2012, está aún en proceso de estratificación térmica. Al comparar esta información con los datos históricos correspondientes a la primavera de del año 98 (DGA 2000, mes: Octubre sin especificación de quincena) salta a la vista que, para aquella primavera del año 98, el lago Neltume aún se encontraba en circulación térmica con temperaturas superficiales de 15 °C y temperaturas hipolimnéticas de aprox. 13 °C. Esta comparación, en cuanto a la organización vertical del sistema - gobernada principalmente por temperatura - es importante de tener en cuenta ya que en gran medida determina los patrones de

ensamblaje comunitario del plancton (fito y zooplancton) que se observan en el lago. Es decir, se trata de un contraste puntual de la fenología del sistema, enmarcada en un ciclo anual, que dificulta las comparaciones directas entre periodos característicos del año. Los datos de la primavera del años 98 descritos en el informe UACH - DGA (2000) describen un período en el cual el Lago Neltume se encontraba en circulación térmica con temperaturas máximas de 15 °C mientras que la primavera de 2012 (este estudio) es representativo más bien de un periodo de organización vertical del sistema en capas de agua bien definidas (epi-,meta- y hipolimnion). Mayores antecedentes a lo largo del documento.

### **PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Los valores del pH fueron relativamente neutros (circumneutral) y estables (con poca variación) en ambas estaciones pelágicas del lago Neltume (Centro y Cua-Cua) durante noviembre 2012 fluctuando entre 7,6 y 7,21.

La conductividad eléctrica osciló muy poco en ambas estaciones presentando valores máximos de 50 $\mu$ S/cm en las capas de agua más superficiales y valores mínimos de 43 $\mu$ S/cm en profundidad.. Estos valores son similares y contrastables a los reportados en reportes e informes previos (UACH - DGA 2000).

### **OXÍGENO**

El oxígeno mostró en ambas estaciones en el epilimnion, cerca de la superficie, una buena saturación con valores alrededor de 95-100% de saturación, mientras que a mayores profundidades se observaron valores entre 92 – 75% de saturación de oxígeno mostrando un leve déficit de saturación a partir de los 40m de profundidad. Esto sugiere, por un lado que la mezcla invernal de la columna de agua no habría sido suficiente para saturar completamente la columna de agua, o bien que en los estratos profundos del cuerpo de agua (profundidades meta-hipolimneticas) existe un marcado consumo de oxigeno donde se respira materia orgánica; situación interesante de estudiar y contemplar en estudios futuros. Las concentraciones de oxígeno estuvieron en el rango de 10,7 – 9,0 mg/L, observándose valores menores en profundidades epilimnéticas superficiales (9,6 - 9,8 mg/L en las estaciones Centro y Cua-Cua), aumentando hacia la profundidad alcanzando

un máximo a los 10-30m (Centro) y 20m (Cua-Cua) de profundidad (metalimnion); valores que se corresponden con los máximos de clorofila – a registrados (producción de oxígeno/fotosíntesis). A mayores profundidades (hipolimnion), las concentraciones de oxígeno disminuyen gradualmente hasta alcanzar valores mínimos de 9,0 y 9,1 mg/L correspondientes a solamente 75% de saturación. Esto significa que el hipolimnion del lago Neltume ya muestra en primavera un déficit de oxígeno sobre el fondo; situación que probablemente evolucionará hacia menores concentraciones de oxígeno hipolimnetico durante el periodo d máxima estratificación térmica (verano siguiente).

## **CLOROFILA A**

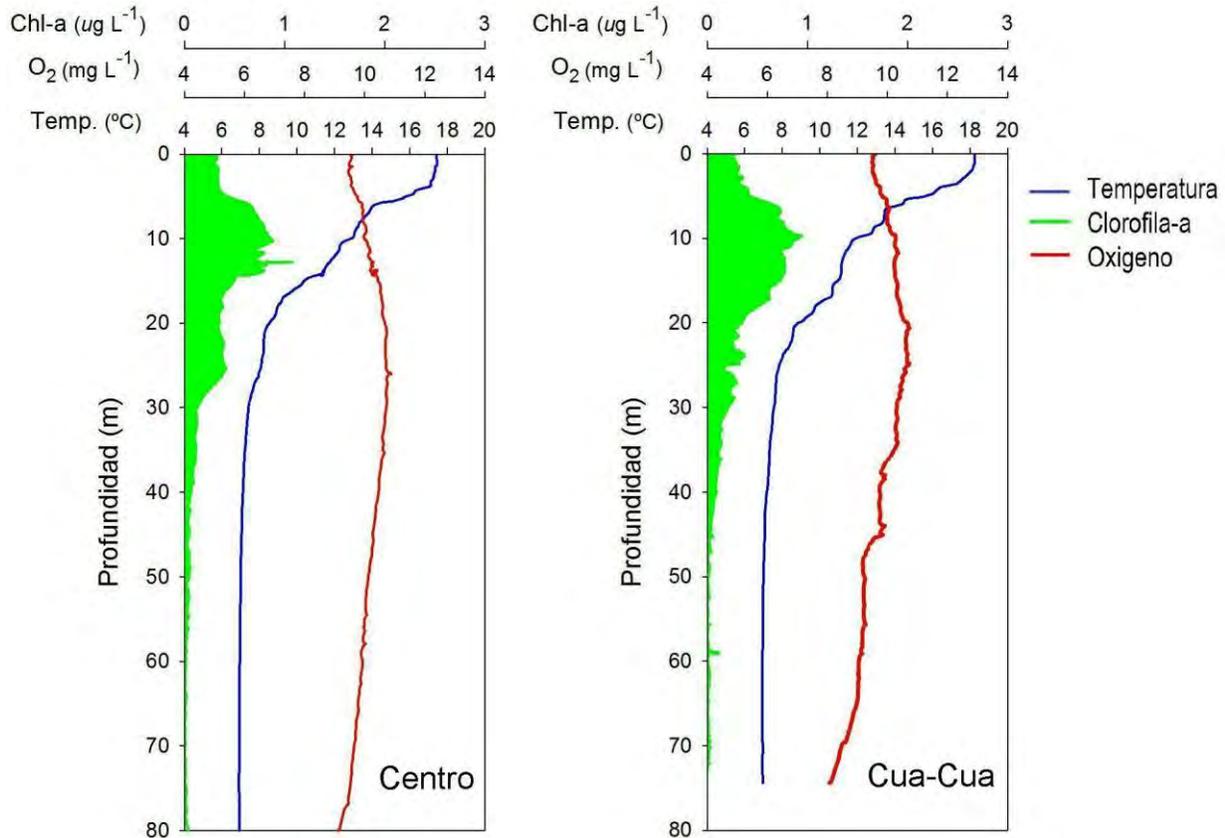
Los valores de clorofila a fueron muy similares en ambas estaciones del lago Neltume (Central y Cua-Cua) fluctuando entre 0,2 y 1,34  $\mu\text{g Chl a/L}$ ; valores propios de una condición oligotrófica. En cuanto a distribución vertical de la clorofila a, ésta mostró valores máximos en el epi-metalimnion (10-30 m) en ambas estaciones pelágicas del Neltume. (Fig. 4). Los valores de clorofila-a registrados en este estudio, considerando que se utilizó la misma metodología son menores que los valores reportados en el estudio de la DGA (2000) para la primavera representativa del año 1998. En este informe los máximos de clorofila se registraron a los 20 metros de profundidad con valores en torno a los 1,18 y 1,84 ( $\mu\text{g Chl a/L}$ ). De manera contrastante, los datos de clorofila- a registrados en este estudio empleando técnicas de fluorimetría in situ registran levemente mayores valores de clorofila-a que con extracción y lectura espectrométrica.

**Tabla 3** Parámetros físicos, químicos y clorofila a, estación Centro del Lago Neltume

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
0	17,4	50	7,5	9,6	101	13,5	15,4	< 0,002	< 0,002	0,0024	0,0579	< 0,002	0,0094	0,3
5	15,7	50	7,6	9,8	99	10,8	15,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0576	< 0,002	0,0125	0,6
10	12,9	49	7,6	10,0	95	10,8	15,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0436	< 0,002	0,0083	1,1
20	8,5	44	7,6	10,7	91	11,4	15,0	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0424	< 0,002	0,0075	0,9
30	7,4	44	7,6	10,7	89	13,0	14,9	0,0039	< 0,002	0,0449	0,0739	< 0,002	0,0099	1,1
40	7,1	44	7,6	10,5	87	11,2	15,0	< 0,002	< 0,002	0,0697	0,0831	< 0,002	0,0086	0,4
50	7,0	43	7,6	10,1	84	11,7	14,9	< 0,002	< 0,002	0,0726	0,0922	< 0,002	0,0078	0,5
60	6,9	43	7,6	9,9	82	11,7	14,9	0,0029	< 0,002	0,0785	0,0909	< 0,002	0,0078	0,2
80	6,9	46	7,6	9,1	75	16,2	n.d.	< 0,002	< 0,002	0,0846	0,1078	< 0,002	0,0083	

**Tabla 4** Parámetros físicos, químicos y clorofila a, estación Centro Norte (Cua-Cua) del Lago Neltume

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
0	18,3	50	7,21	9,6	102	12,6	3,1	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0447	< 0,002	0,0088	0,55
5	15,6	52	7,27	9,8	99	13	11,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0424	< 0,002	0,0107	0,78
10	11,8	48	7,34	10,3	95	12,6	3,1	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0690	< 0,002	0,0105	1,34
20	8,8	45	7,42	10,7	92	12,6	3,4	0,002	< 0,002	0,0022	0,0516	< 0,002	0,0091	0,56
30	7,6	44	7,44	10,3	86	13,9	6,8	0,0034	< 0,002	0,0574	0,0710	< 0,002	0,0078	0,63
40	7,2	44	7,44	9,7	81	11,7	1,4	< 0,002	< 0,002	0,0750	0,0911	< 0,002	0,0080	0,39
50	7,0	44	7,46	9,2	76	9,9	2,6	0,0025	< 0,002	0,0665	0,0976	< 0,002	0,0094	0,48
60	7,0	44	7,45	9,0	75	13,5	2,1	0,002	< 0,002	0,0677	0,1017	< 0,002	0,0086	0,23

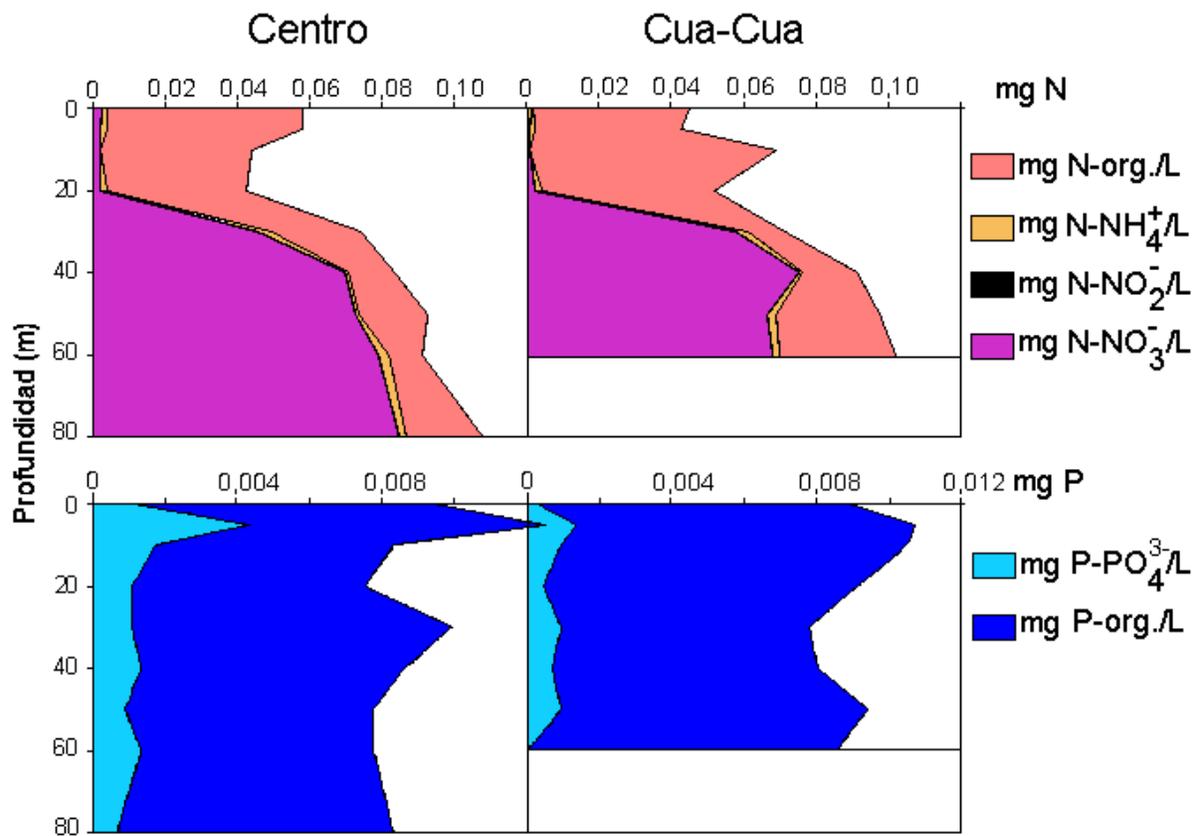


**Fig. 4** Perfiles verticales de la temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L) y clorofila-a (µg/L) medidos en el lago Neltume

### NITRÓGENO y FÓSFORO

En las estaciones Centro y Cua-Cua, la concentración de las especies inorgánicas de nitrógeno correspondientes a nitrato, nitrito y amonio, muestran un patrón similar para el muestreo de primavera (noviembre 2012) con concentraciones relativamente bajas registradas entre los 0 y 30 m de profundidad (epilimnion), observándose valores de  $N-NH_4^+ < 0,002$  y  $0,002$  mg N/L desde la superficie hasta los 20m de profundidad. Los valores máximos de  $N-NH_4^+$  se registraron a los 30m en ambas estaciones con valores de concentración de  $0,0039$  mg N/L (Centro) y  $0,0034$  mg N/L (Cua-Cua). También se observó otro valor sobre el límite de detección a los 60m de profundidad en la estación Centro ( $0,0029$  mg N/L) y a 50m de profundidad en la estación Cua-Cua ( $0,0025$  mg N/L). El nitrito siempre se mantuvo a niveles muy bajos ( $<$  límite de cuantificación =  $0,002$  mg N/L) en ambas estaciones pelágicas. El nitrato presentó valores bajos en superficie hasta los

20m de profundidad con valores máximos en superficie de 0,0024 mg N/L. La concentración de fosfato fue inferior al límite de detección (0,002 mg P/L) en toda la columna de agua de ambas estaciones pelágicas. En cuanto al nitrógeno total se observó una leve tendencia a disminución en la concentración entre los 0-20m de profundidad con un rango de valores a 0,0579-0,0424 mg N/L en la estación Centro. Entre los 30-80m de profundidad se observa un aumento del nitrógeno con un rango de valores de 0,0739-0,1078 mg N/L. En la estación Cua-Cua, en cambio, se observa un aumento continuo de la concentración de nitrógeno total con un rango de valores, desde superficie a los 60m de profundidad, de 0,0447-0,1017 mg N/L. Para el fósforo total la distribución vertical mostró un máximo sub-superficial a los 5m (est. Centro) con un valor de 0,0125 mg P/L y entre los 5-10m de profundidad (est. Cua-Cua) con valores de 0,0107 y 0,0105 mg P/L. A mayores profundidades (hipolimnion) se observa concentraciones de entre “0,0075-0,099” mg P/L para ambas estaciones.



**Fig. 5** Perfiles verticales de diferentes fracciones de nitrógeno y fósforo en dos estaciones en el lago Neltume. N-org. = nitrógeno orgánico. P-org. = fósforo orgánico. Valores son acumulativos. La suma de los valores corresponde a P total y N total.

## **SILICE**

En las estaciones Centro y Cua-Cua la concentración de sílice muestra un patrón distinto durante el muestreo durante noviembre 2012 con concentraciones entre 15,4-14,9 mg/L (est. Centro) y 1,4-11,3 mg/L (est. Cua-Cua). En la estación Centro la distribución vertical de sílice se mostró homogénea a contrario a la est. Cua-Cua donde se detectaron valores menores con un máximo sub-superficial de 11,3 mg/L a 10m de profundidad. El resto de la columna de agua mantuvo valores <6,8 mg/L y con poca variación, con excepción al valor de 6,8 mg/L detectado a 30m de profundidad. Este perfil de Si en la estación Cua-Cua es extraño por mostrar valores bastante bajos (< 5 mg/L) en casi toda la columna de agua. La explicación más lógica para este fenómeno es el ingreso de agua por parte del afluente Cua-Cua que tiene una baja concentración de Sílice (~ 1,8 mg/L).

## **DQO**

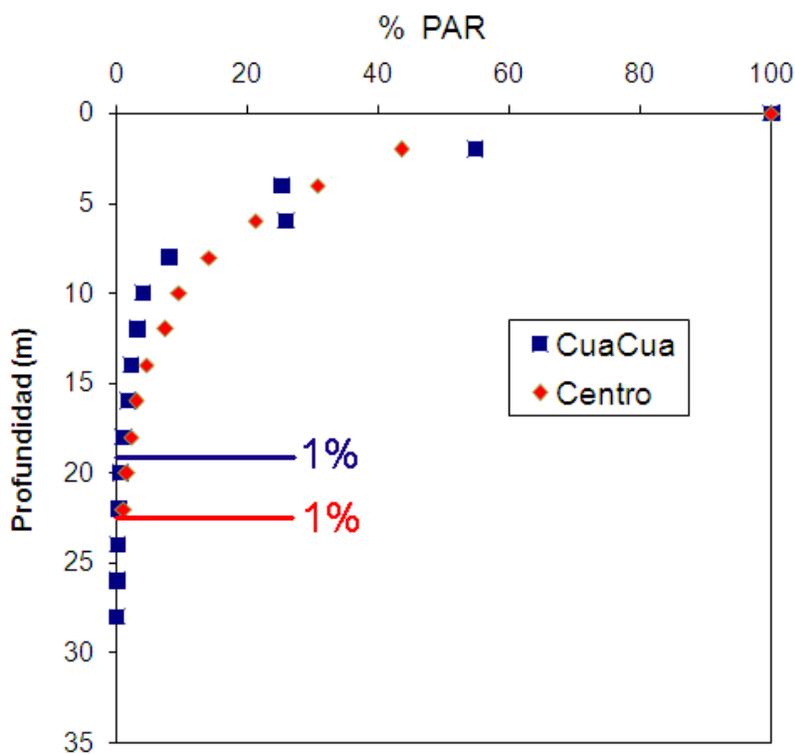
El DQO en el lago Neltume mostró poca variabilidad en profundidades entre los 0-30m. Para la estación Centro se registró un valor mínimo entre los 5-10m (10,8 mg/L) y un máximo con 16,2 mg/L a los 80m. Para la estación Cua-Cua se registró un valor mínimo a los 50m (9,9 mg/L), un máximo con 13,9 mg/L a los 30m y un sub-máximo a los 60m (13,5 mg/L).

### **3.1.2 TRANSPARENCIA Y CLIMA LUMÍNICO**

La transparencia del agua del lago Neltume durante Noviembre de 2012 fue de 9 m, no observándose diferencias entre las estaciones de muestreo. Sin embargo al comparar la información de Disco de Secchi con datos históricos, se observa que los valores reportados en este estudio son menores a los reportados por Campos y col (1977) y los datos descritos en el informe DGA, 2000. Esto sugiere que el clima lumínico del lago ha cambiado durante las últimas 3 décadas hacia aguas más turbias (coloreadas), sin que esto se relacione con cambios de trofía con aumentos de biomasa de fitoplancton (cl-a) y nutrientes.

**Tabla 5** Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Neltume (16.11.2012)

Estación	Transparencia (m)	Zona eufótica 1% (m)	Coefficiente de atenuación $k_d(m^{-1})$
Centro	9,0	22,4	0,205
Cua-Cua	9,0	18,6	0,248

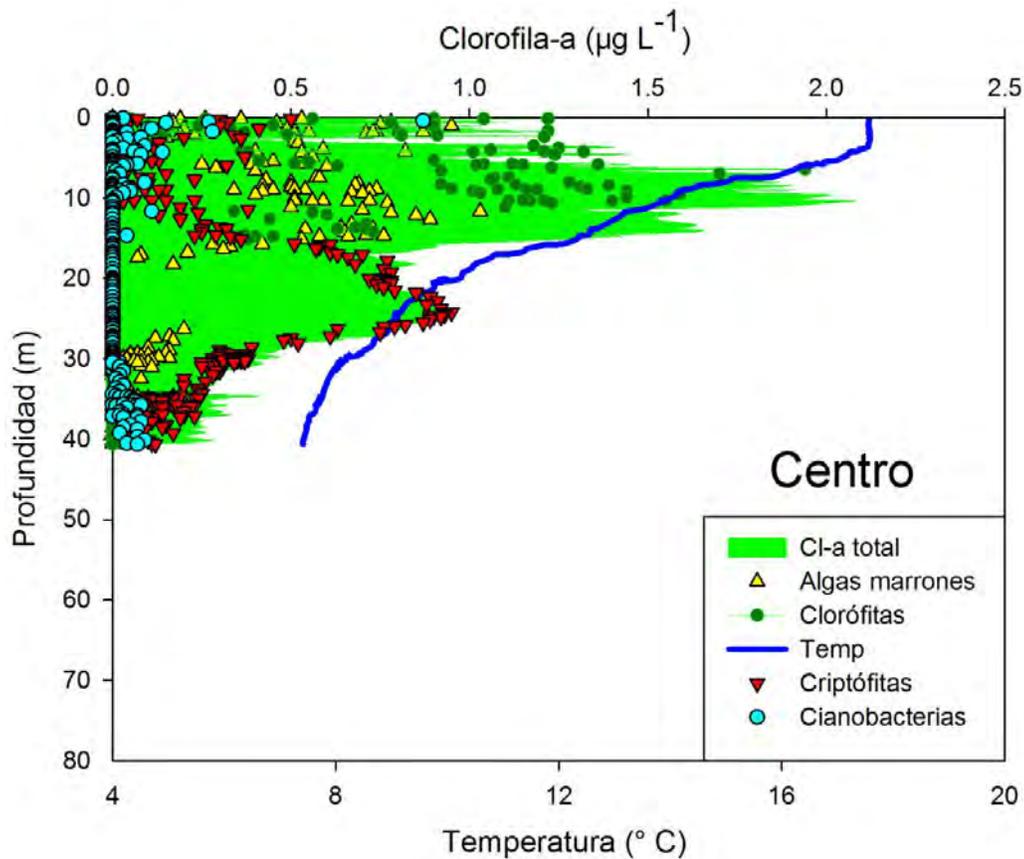


**Fig. 6** Perfil vertical de atenuación la luz visible (PAR: 400-700 nm) y ubicación del límite inferior de la zona eufótica (1%) en las estaciones Centro y Cua-Cua

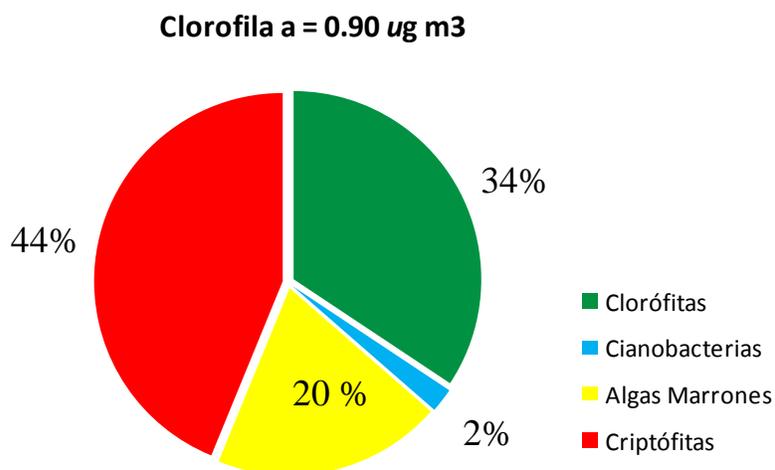
### 3.1.3 FITOPLANCTON

Distribución vertical de los principales grupos de algas (Clorofíceas, Cianobacterias, Criptofíceas y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas) y valores medios integrados de clorofila-a ( $\mu\text{g Chl a/L}$ ) en profundidad, 0-40m (Fig.7):

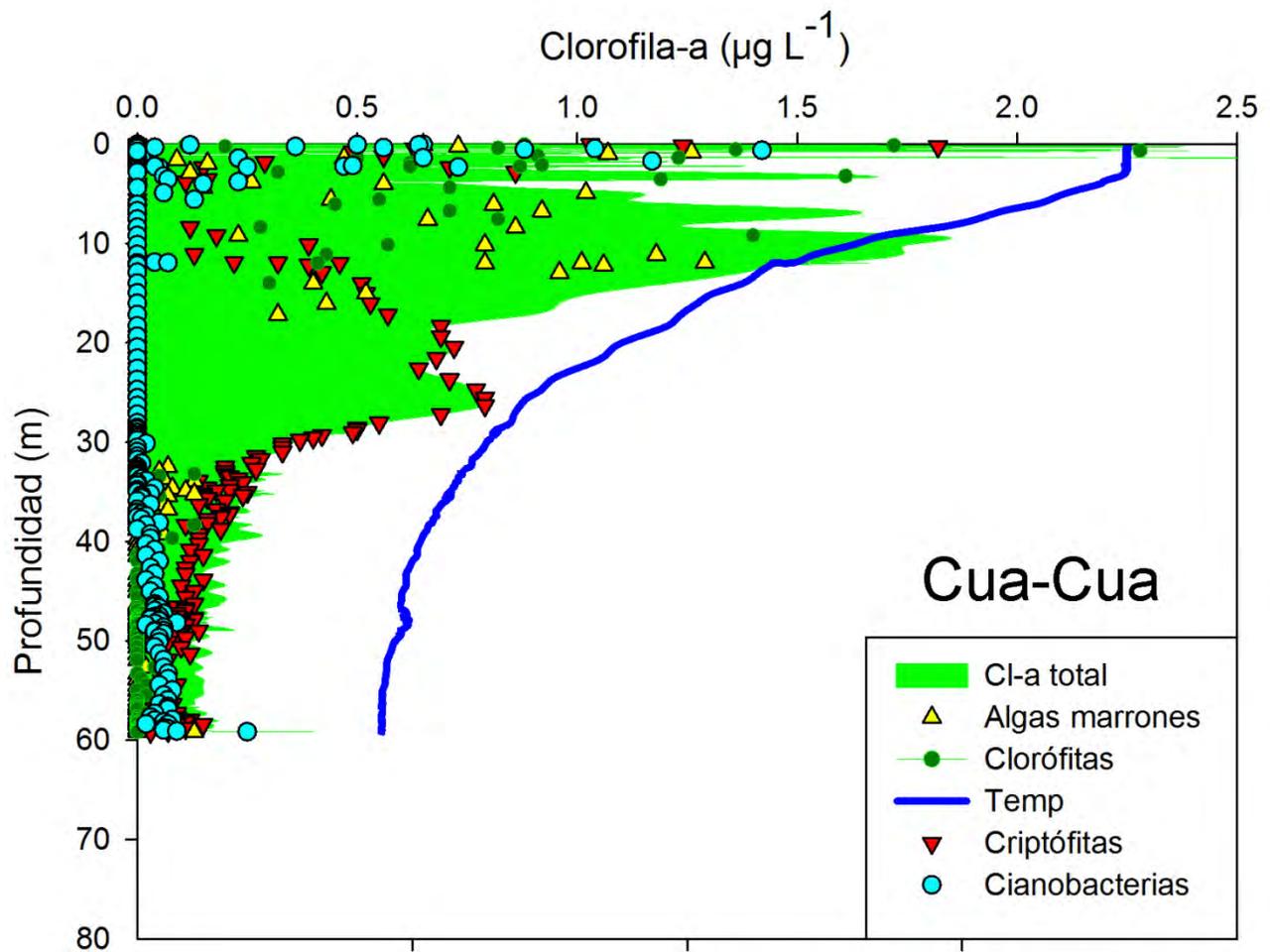
En las estaciones pelágicas del Lago Neltume (Centro y Cua-Cua) se realizaron *in situ* perfiles verticales de distribución de clorofilas para los principales grupos funcionales de microalgas: Clorofíceas (algas verdes), Cianobacterias (algas azules), Criptofíceas y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas) utilizando un fluorómetro sumergible marca Fluoroprobe V2 BBE, (Moldaenke, Alemania). Esta sonda es capaz, en base a las características espectrales de las microalgas, de detectar y cuantificar la biomasa proporcional de clorofila-a para cada uno de los grupos de algas arriba señalados respecto a la biomasa total de este pigmento (Chl-a). Para generar correctamente estas mediciones el equipo fue previamente calibrado con agua pre-filtrada del Lago Neltume (colectada a 5 metros de profundidad). Esta calibración se realizó con el objetivo de no sobre estimar los valores de la clorofila total-a como resultado de la fluorescencia propia de la materia orgánica disuelta, que de hecho, es específica para cada ambiente y periodo de muestreo. Estas sustancias disueltas son también conocidas como sustancia coloreadas, CDOM, Gelbstoff o Yellow substance. Una vez calibrado el fluorómetro con la señal propia del CDOM del lago se procedió a generar los perfiles verticales de pigmentos desde la superficie hasta el fondo o en su defecto hasta los 40 m de profundidad. Los resultados de estos perfiles se muestran detallados en las figuras 7 y 9.



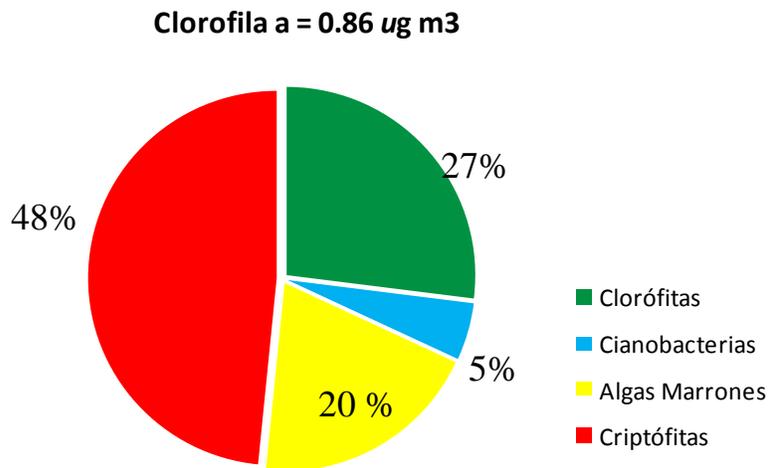
**Fig. 7** Distribución vertical de la clorofila-a “total” (área verde) y la biomasa proporcional para las Clorófitas (círculos verdes), Cianobacterias (círculos azules), Criptofíceas (triángulos rojos) y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas; triángulos amarillos) en la estación Centro del lago Neltume.



**Fig. 8** Valor medio integrado de clorofila-a, 0-40m, en la estación Centro del lago Neltume y biomasa proporcional para los distintos grupos de microalgas.



**Fig. 9** Distribución vertical de la clorofila-a “total” (área verde) y la biomasa proporcional para las Clorófitas (círculos verdes), Cianobacterias (círculos azules), Criotófitas (triángulos rojos) y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas; triángulos amarillos) en la estación Cua-Cua.



**Fig. 10** Biomasa de clorofila-a para la estación Cua-Cua, estimada como el valor medio integrado en profundidad de las clorofilas registradas por la sonda FLP (desde la superficie hasta los 40 m, método trapezoidal) y la biomasa proporcional de Chl-a para los distintos grupos de microalgas.

Los resultados de distribución vertical de fitoplancton para los distintos grupos espectrales de microalgas (Clorófitas, Cianobacterias, Criptófitas y algas marrones) registrados con la sonda Fluoroprobe, Figuras 7 y 9, muestran que las microalgas no se distribuyen de manera homogénea en el eje vertical de la columna de agua. En particular se observa que el grupo de las algas verdes (incluidas las algas *Chlorella sp* incorporadas en los ciliados mixotrofos *Stentor*), las algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas) y las cianobacterias presentan máximos de biomasa en la capa más superficial del lago Neltume, entre los 0 y los 18 metros de profundidad. Adicionalmente se aprecia que las Criptófitas, de manera claramente distintiva, desarrollan máximos metalimnéticos de biomasa ubicados en torno a los 27 metros de profundidad; patrón común detectado en ambas estaciones de muestreo. En cuanto a los valores medios integrados de clorofila-a (0-40m), como descriptores de la biomasa de microalgas del lago, se observan resultados similares de biomasa de Chl-a para las dos estaciones con valores de 0,90 y 0,86  $\mu\text{g Chl-a m}^3$  para la estación central y la estación Cua-Cua, respectivamente (Figuras 8 y 10). La estructura comunitaria de fitoplancton, caracterizada como la biomasa proporcional de los

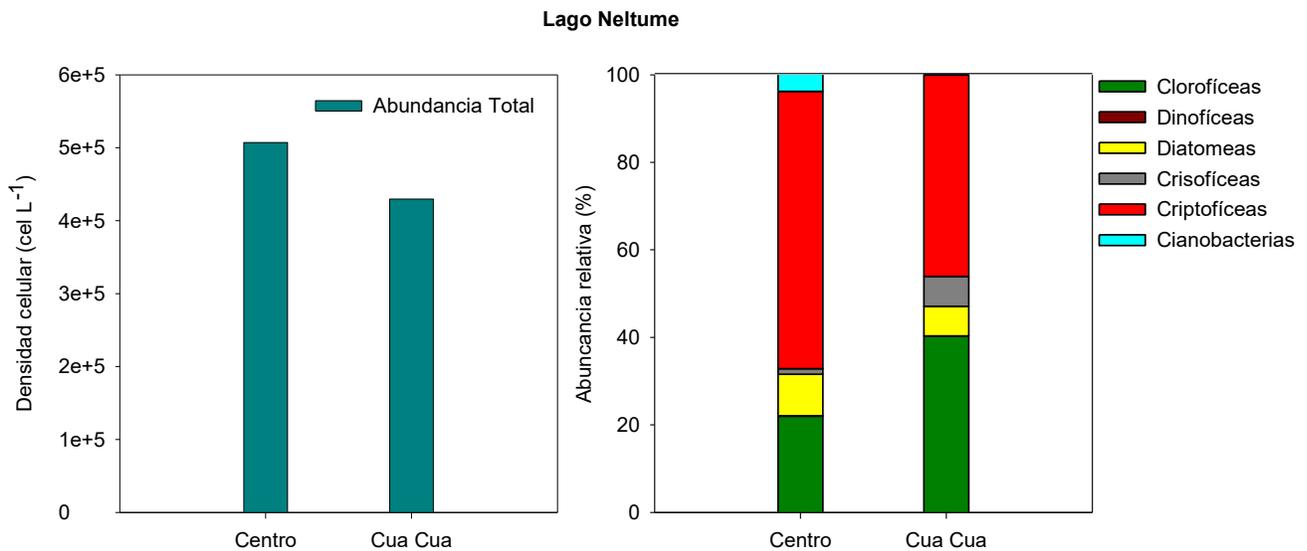
distintos grupos (Clorofíceas, Cianobacterias, Criptofíceas y algas marrones) respecto a la biomasa total (Chl-a), fue similar en ambos puntos de muestreo (Centro y Cua-Cua) siendo ésta dominada por algas criptofíceas.

### **Análisis del fitoplancton bajo el microscopio invertido: determinaciones taxonómicas, recuentos y estimas de biovolumen.**

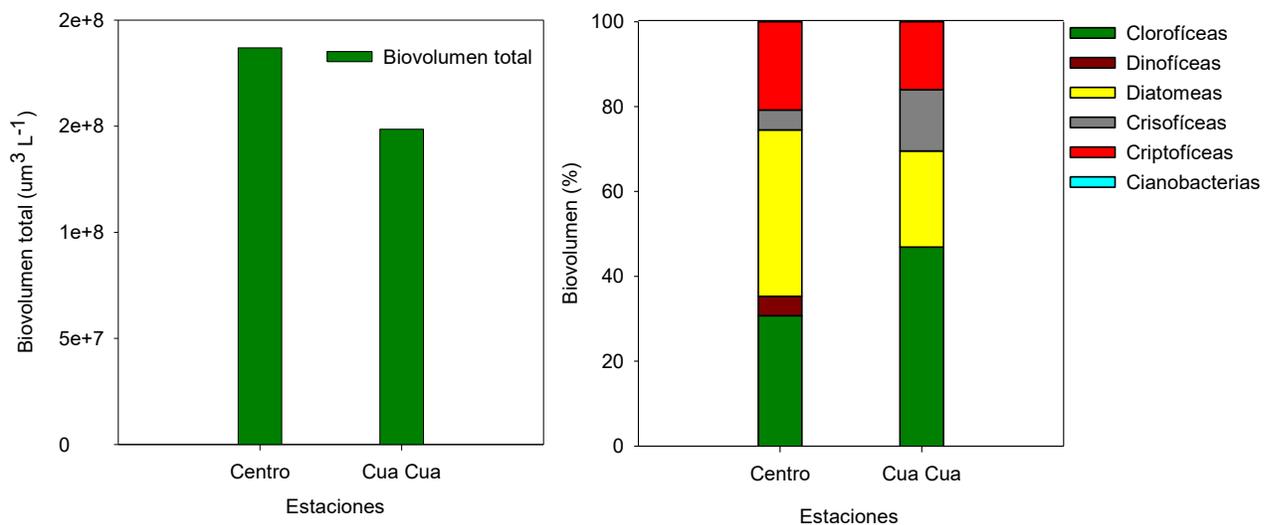
Se analizó el fitoplancton de las dos estaciones de muestreo pelágico del lago Neltume: estación Centro y estación Cua-Cua. Las muestras analizadas corresponden a una única muestras de agua "integrada" en profundidad desde la superficie hasta los 40m para cada estación de muestreo. Esta muestra fueron colectadas siguiendo la metodología detallada en el punto 2.1.4., Volúmenes de 50 ml de la muestra integrada de fitoplancton fueron sedimentados durante 24 hrs siguiendo la metodología de Utermöhl. Los resultados de este análisis se informan tanto en abundancias como en biovolúmenes estimados en base a las alometrias de acuerdo a su forma geométrica aproximada, Anexo 3.

En total se registraron 43 especies de fitoplancton, de las cuales 24 corresponden a Diatomeas, 8 a Clorofíceas, 3 a Dinofíceas, 2 a Criptofíceas, 4 a Crisofíceas y 2 a Cianofíceas. Los resultados del análisis de fitoplancton de primavera, en este estudio, muestran que la densidad de microalgas en el lago Neltume, presenta valores de 507238 y 429715 cel./L en las estaciones Centro y Cua-Cua, respectivamente. La estructura comunitaria de fitoplancton de ambas estaciones, en términos de abundancia, presenta una marcada co-dominancia de algas pertenecientes a las Criptofíceas y Clorofíceas. En particular las Criptofíceas estuvieron esencialmente representadas por la especie *Rhodomonas* af. *lacustris* con valores de densidad, en ambas estaciones, mayores al 43%, lo cual se corresponde notablemente con los valores fluorimétricos para este grupo de algas (Criptofíceas) registrados con la sonda Fluoroprobe ( Figura 11 y 12). En cuando a las Clorofíceas las especies que mostraron mayores valores de densidad celular fueron algas unicelulares (*Chlamydomonas* spp y *Chlorella* spp), y algas coloniales grandes del género *Sphaerocystis*. Los valores de densidad celular de las diatomeas son similares en ambas estaciones del lago, siendo éstas principalmente representadas por especies de los géneros *Navicula*, *Aulacoseira*, *Achnanthes* y Ciclotelas pequeñas. Las Crisofíceas del

genero *Mallomonas* están mejor representadas, en términos de abundancia en la estación Cua-Cua.



**Fig. 11** a) Densidad celular y b) abundancia relativa de microalgas registradas en las estaciones de muestro pelágico del lago Neltume, estaciones Centro y Cua-Cua.



**Fig. 12.** a) Biovolumen de fitoplancton y b) biomasa (biovolumen) relativo de microalgas registradas en las estaciones de muestro pelágico del lago Neltume, estaciones Centro y Cua-Cua.

Por el contrario las cianobacterias registran mayores valores de abundancia en la estación central del lago. Las especies registradas para este grupo de micro algas son *Aphanothece* sp (pequeñas colonias) y cianobacterias del genero *Pseudoanabaena*, con valores de abundancia conjunta menores al 10% en ambas estaciones de muestreo.

El biovolumen de fitoplancton calculado para las estaciones Centro y Cua-Cua del lago Neltume es de  $1.87E+08$  y  $1.49E+08$   $\mu\text{m}^3/\text{L}$ , respectivamente. La contribución relativa en de biovolumen para los diferentes grupos de microalgas (clorofíceas, dinofíceas, diatomeas, crisofíceas y cianobacterias) para las dos estaciones, figura 12, muestra algunas diferencias. En particular se observa que el bio-volumen de las diatomeas es mayor en la estación Centro, ubicada en la zona central de lago, respecto a los valores registrados para estos grupos (diatomeas) en la estación Cua-Cua, cuya cercanía al afluente homónimo es mayor. Específicamente la estación central presenta una mayor abundancia celular, y por lo tanto mayor bio-volumen, de las especies de diatomeas *Naviculas* sp y *Achnanthes* sp. De manera contrastante el grupo de las clorofíceas presenta mayores valores de abundancia y bio-volumen en la estación Cua-Cua respecto a la estación Centro del lago Neltume. Este resultado se explicaría debido a una mayor densidad celular de *Chlamydomonas* sp, *Oocystis* sp y sobretodo de algas verdes filamentosas de gran tamaño del genero *Tribonema* en esta estación (ver anexo 3 -); algas generalmente asociadas a zonas más someras y de desarrollo litoral de los cuerpos de agua. Adicionalmente la estación Cua-Cua fue la estación donde se registra también una mayor abundancia de algas Crisofíceas del genero *Mallomonas*.

La composición florística del fitoplancton registrada en este estudio es comparable y similar a lo reportado en estudios e informes previos (DGA, 2000). Sin embargo, por un lado, cabe destacar que el fitoplancton colectado en este muestreo estuvo dominado, tanto en biomasa como en abundancia, por la contribución de la especie *Rhodomonas* af. *lacustris*; taxón perteneciente al grupo de las crisofíceas que no se encuentra presente en el informe de la DGA (2000) para el período de primavera del año 1998. Sin embargo esta especie si se encontró presente en los periodos de invierno y verano de 1998 en dicho estudio (DGA, 2000). Por otro lado, en el presente estudio, la densidad celular registrada fue aproximadamente un 30% mayor a lo descrito para el fitoplancton de primavera del año 98.

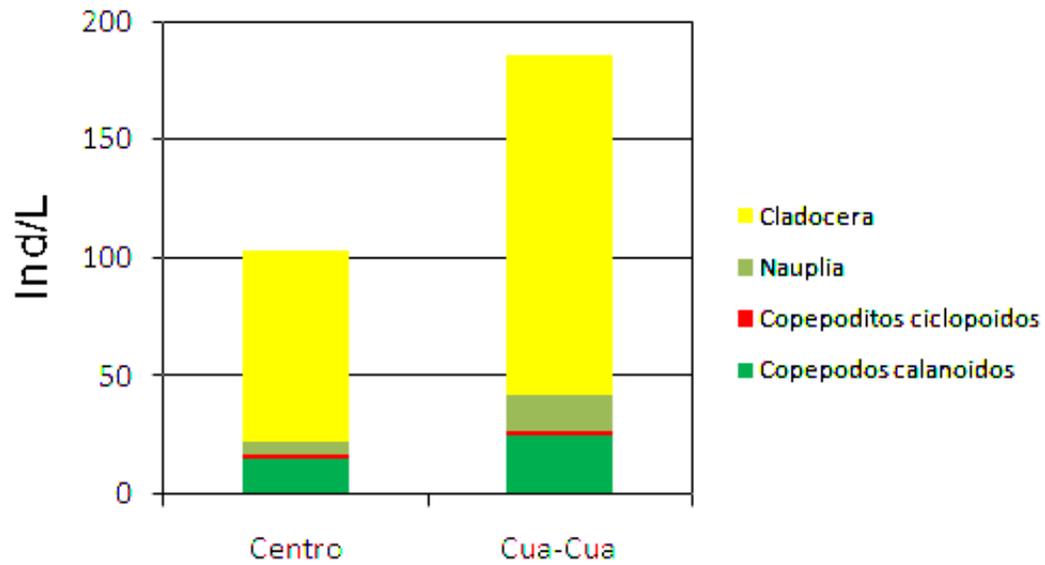
### 3.1.4 ZOOPLANCTON

#### 3.1.4.1 MICROCRUSTÁCEOS

El lago Neltume se encontró un total de 6 especies de microcrustáceos (Tabla 6), de las cuales 4 correspondieron a cladóceros y 2 a copépodos. En ambas estaciones dominó *Ceriodaphnia dubia* (un cladócero pequeño) con una abundancia entre 80 y 143 ind/L, seguido por copépodos calanoideos de la especie *Diaptomus diabolicus* con una abundancia entre 13 - 22 ind/L y algunos nauplius. En la estación Centro, las proporciones de ambos grupos de microcrustáceos se mantienen relativamente constantes, aportando en total aprox. 95% de la densidad total de microcrustáceos. Otras especies como *Eubosmina*, *Scapholebris* (cladóceros) y *Tropocyclops prasinus* (copépodo ciclopoideo) estuvieron también presentes pero en muy bajas abundancias.

**Tabla 6** Abundancia de los microcrustáceos en dos estaciones en el lago Neltume (0-40 m). ♂: machos; ♀: hembras; ♀+H: hembras con huevos

Grupo/Especies		Centro Ind/L	Cua-Cua Ind/L
<b>Copépodos</b>			
<i>Diaptomus diabolicus</i>	♂	1,06	1,02
	♀	0,59	0,80
	♀+H	0,06	0,88
Copepoditos calanoideos		13,36	22,39
<i>Tropocyclops prasinus</i>	♂	0,77	0,36
	♀	0,30	0,36
	♀+H	0,18	0,07
Copepoditos ciclopoideos		0,59	0,88
Nauplia		5,38	15,32
<b>Cladóceros</b>			
<i>Daphnia sp.</i>		0,00	0,22
<i>Neobosmina chilensis</i>		0,06	0,58
<i>Ceriodaphnia dubia</i>		80,65	142,67
<i>Scapholebris spinifera</i>		0,00	0,22
<b>Suma ind/L</b>		<b>103,00</b>	<b>185,78</b>



**Fig. 13** Abundancia de los grupos de microcrustáceos en dos estaciones del lago Neltume

La comunidad de microcrustáceos encontrada en este muestreo es recurrente en los lagos del sur de Chile y muy similar, en cuanto a estructura y composición, a la reportada en 1998 por Campos y colaboradores; en informe DGA (2000).

### 3.1.4.2 ROTÍFEROS

En el Lago Neltume se registraron 6 especies de rotíferos (Tabla 7). En ambas estaciones del lago la especie que dominó las poblaciones de rotíferos fue *Kellicotia longispina* con valores máximos de densidad en la estación Centro del lago, igual a 16 ind/L. De manera comparada a lo observado en el lago Pirehueico, las poblaciones de rotíferos entre estaciones en el lago Neltume fueron más parecidas.

**Tabla 7** Abundancia de Rotíferos registrados en el lago Neltume (Ind/L).

Lago	Neltume	
	Centro	Cua Cua
<i>Trichocerca</i> sp.	2	0
<i>Keratella americana</i> Ahlstrom	1	1
<i>Keratella cochlearis forma tecta</i>	2	3
<i>Kellicotia longispina</i> Ahlstrom 1983	16	6
<i>Brachionus</i> sp	1	0
<i>Synchaeta</i> sp.	1	1
Densidad total de rotíferos (ind/L)	23	11

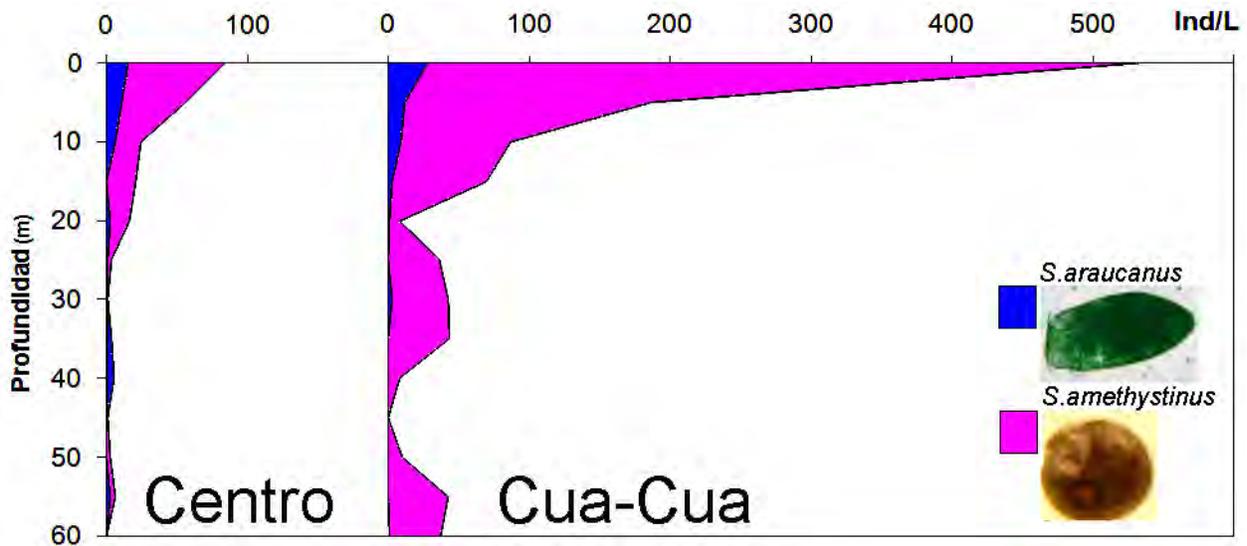
### 3.1.4.3 CILIADOS MIXOTRÓFICOS

Durante el presente proyecto se realizó la identificación y cuantificación de ciliados mixotróficos del género *Stentor* en las dos estaciones pelágicas. Estos organismos se alimentan heterotróficamente (ingieren otros algas, bacterias etc.) y autotróficamente a través de sus algas simbióticas. Son de gran importancia referente a la biomasa planctónica, al clorofila a y la productividad primaria de los sistemas lacustres debido a que contienen entre 1000 y 5000 células fitoplanctónicas en forma endosimbiótica.

Se identificaron las dos especies - *Stentor araucanus* y *Stentor amethystinus* – que comúnmente se encuentran también en otros lagos araucanos oligotróficos como los lagos Maihue, Pirehueico, Caburgua, y Colico (Woelfl 2007). Cabe mencionar que *S.araucanus* es una especie endémica del Conosur.

En la Fig.15 se puede observar que se encontraron en general más ciliados mixotróficos en la estación Cua-Cua (abundancia máxima: 505 ind/L) que en la estación centro (86

ind/L). *Stentor amethystinus* dominó en ambas estaciones con ~ 80-90% de los organismos. En ambas estaciones los organismos están concentrados en el epilimnion (0-20 m). Bajo 20 m se observa una disminución drástica de la abundancia de los ciliados, aunque se encuentra en la estación Cua-Cua ciliados hasta incluso 60 m de profundidad.



**Fig. 15** Distribución vertical de *Stentor araucanus* (azul) y *Stentor amethystinus* (rosa) en dos estaciones en el lago Neltume (16.11.2012)

Estudios anteriores de en 1998 por Campos (Informe DGA, 2000), Woelfl (2007) y el estudio de Infraeco (2010) también mencionan la presencia importante de *Stentor* en el lago Neltume. Sin embargo, en estos estudios - con excepción del estudio de Woelfl (2007) - no se usaron la metodología adecuada para cuantificar correctamente la abundancia de *Stentor* y tampoco se distinguieron las 2 especies de estos ciliados mixotróficos.

### 3.2 MONITOREO DE LOS AFLUENTES DEL LAGO NELTUME

En la tabla 8 se presentan los resultados sobre el muestreo de los afluentes del lago Neltume. Las temperaturas registradas durante el presente muestreo variaron entre 14,58-9,65 °C, observándose el máximo en el río Chan-Chan y el mínimo para el río N2. La conductividad eléctrica mostró valores entre 52-83  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores menores se observaron en los tributarios más importantes (Cua-Cua y Chan-Chan) con valores de 53-52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los tributarios menores (ríos N1, N2 y Huechulafquen) presentaron valores más altos de conductividad, los cuales se mantuvieron entre valores de 83-68  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH de los sistemas loticos (ríos) asociados al lago Neltume mostraron valores entre -7,69 -8,28, representando valores neutros a levemente básicos. El oxígeno disuelto y su saturación mostraron valores entre 9,41 - 10,5 mg/L y 91-96% no observándose una saturación total de las aguas fluviales asociadas al lago Neltume. Para la DQO se observaron valores “levemente” elevados entre 11,2-17,1 mg/L. Para el sílice se detectaron valores relativamente bajos con un rango de variación entre 1,8-5,7 mg/L. El valor mínimo de sílice se detectó en el río Cua-Cua que corresponde al mayor tributario del lago Neltume. Los nutrientes inorgánicos de nitrógeno y fósforo aportados por los ríos y arroyos al lago Neltume fueron relativamente bajos. Para el caso del amonio se registraron valores entre <0,002-0,0076 mg N/L. La concentración de nitrito de de los sistemas fluviales presentó valores inferiores al límite de cuantificación (<0,002 mg N/L). El nitrato se mantuvo en el rango de 0,0037 - 0,0734 mg N/L con valores máximos para el río N1 y mínimos para los ríos Chan-Chan y Cua-Cua. El nitrógeno total se mantuvo a valores relativamente bajos entre 0,0469 -0,1253 mg N/L. El fosfato presentó una mayor variabilidad con valores entre < 0,002 - 0,0138 mg P/L y el fósforo total en cambio presentó una menor variabilidad con valores entre 0,0123-0,0304 mg P/L.

**Tabla 8** Parámetros físicos y químicos de los afluentes del Lago Neltume

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L
Rio Chan-Chan	14,58	53	8,28	10,41	96	16,7	5,7	< 0,002	< 0,002	0,0037	0,0506	0,0135	0,0304
Rio N1	12,2	75	7,69	10,07	94	17,1	3,9	0,0021	< 0,002	0,0734	0,1253	0,0038	0,0245
Rio N2	9,65	83	7,98	10,28	91	17,1	4,8	< 0,002	< 0,002	0,0501	0,0767	0,0054	0,0147
Rio Huechulafquen	10,98	68	8,13	10,5	95	11,2	3,6	0,0031	< 0,002	0,0174	0,0469	0,0020	0,0123
Rio Cua-Cua	11,68	52	7,73	9,41	93	15,3	1,8	0,0076	< 0,002	0,0048	0,0499	0,0018	0,0172

### **3.3 MONITOREO DEL LAGO PIREHUEICO**

#### **3.3.1 PARAMETROS FISICOS Y QUÍMICOS**

Las tablas 9 y 10 muestran los datos físicos (temperatura, conductividad eléctrica) y químicos (oxígeno, DQO, nutrientes, N y P total) y clorofila a para las dos estaciones Hua-Hum y Fuy para cada una de las profundidades muestreadas. Los datos sobre el clima lumínico se presentan en el punto 3.3.2. Los resultados más importantes se describen a continuación:

#### **TEMPERATURA**

En el lago Pirehueico las temperaturas máximas superficiales fueron de 14.2 y 13.7 °C en las estaciones Fuy y Hua-Hum, respectivamente. En cuanto a la distribución vertical de temperaturas, los perfiles evidencian una disminución gradual de la temperatura desde la superficie hasta los 30 metros durante noviembre 2012 registrándose una primera termoclina más superficial entorno a los 8-10 m de profundidad seguida de una segunda termoclina ubicada ~ a los 22 m de profundidad. Las capas de agua hipolimnéticas presentaron valores de temperatura desde los 8,0 a los 6,2°C en profundidad. Al comparar entre estaciones de muestreo se observa que las zonas más profundas del hipolimnion del Pto. Fuy son 0,4 °C más cálidas que lo registrado a iguales profundidades pero en el punto Hua-Hum, probablemente producto de la oscilación horizontal de la termoclina (Seiche interna).

En base a esta información se concluye que el lago Pirehueico, durante la segunda quincena de Noviembre de 2012 está en proceso de estratificación térmica, con múltiples termoclinas ubicadas a distintas profundidades entre los 10 y 30 m. Al comparar esta información con los datos correspondientes a la primavera de del año 98 (DGA 2000, mes: Octubre sin especificación de quincena) salta a la vista que, para aquella primavera del año 98, el lago Pirehueico se encontraba aún en circulación térmica con temperaturas

superficiales de 11 °C y temperaturas hipolimnéticas de aprox. 8 °C. Esta comparación de datos de distribución de temperatura entre periodos de primavera (años 98 y 2120) es importante de tener en cuenta, ya que en gran medida, la organización vertical del sistema: mezcla vs estratificación térmica, así como los valores de temperatura de agua misma, determinan los patrones de distribución del plancton que se observa en el Lago. En síntesis la primavera característica del años 1998 (DGA; 2000), es más representativa de un período de circulación térmica, mientras que los datos de distribución de temperaturas primavera de 2012, descrita en este estudio, es más representativa de un periodo estival.

## **OXÍGENO**

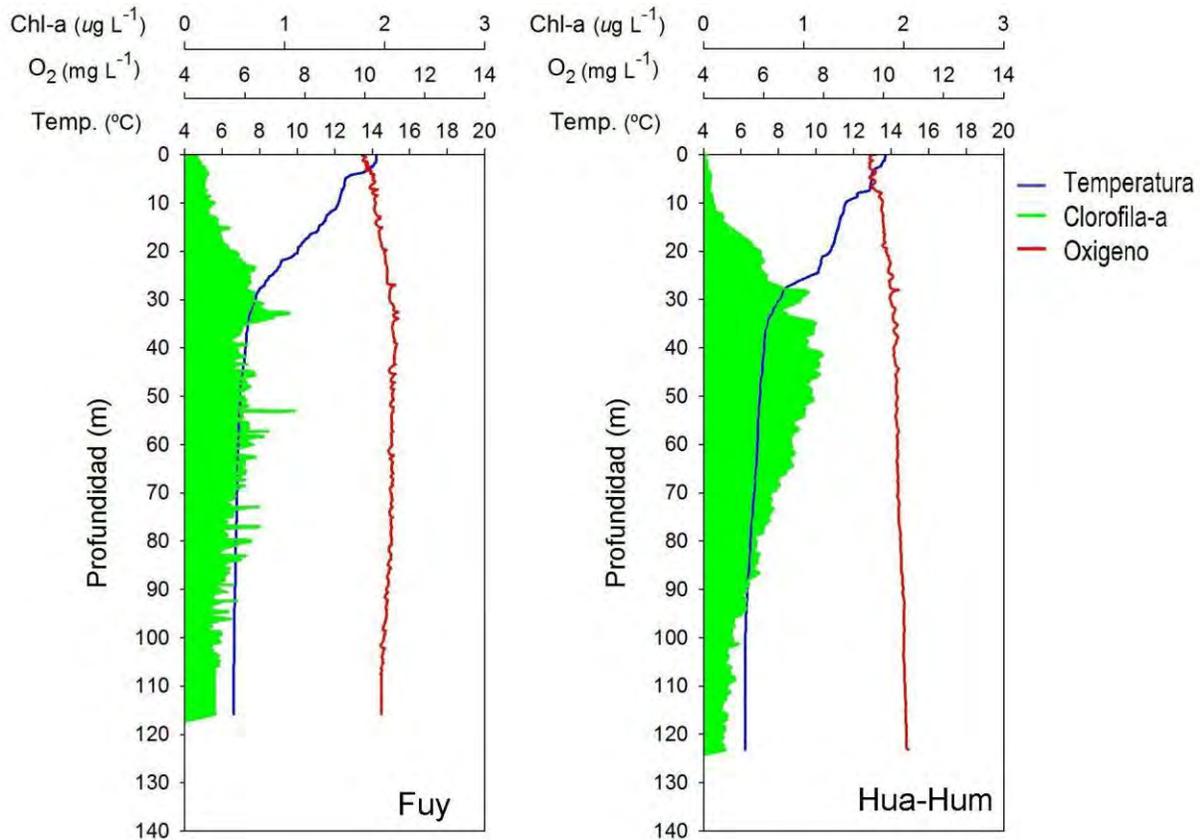
El oxígeno mostró en ambas estaciones en el epilimnion, cerca de la superficie, una buena saturación con valores alrededor de 97-100% de saturación, mientras que a mayores profundidades la saturación de oxígeno baja a valores entre 95 – 90% mostrando un déficit leve de saturación a partir de los 50m de profundidad en ambas estaciones. Este perfil de oxígeno es característico para lagos oligotróficos de esta zona (Campos y col., Informe DGA 2000).

**Tabla 9** Parámetros físicos, químicos y clorofila a, estación Fuy del Lago Pirehueico

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
0	14,2	52	7,87	10,0	97	13,5	12,5	0,0023	< 0,002	< 0,002	0,0576	< 0,002	0,0059	0,84
5	12,6	52	7,28	10,3	97	11,2	12,7	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0381	< 0,002	0,0071	0,39
10	12,2	52	7,26	10,4	97	14,4	12,6	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0427	< 0,002	0,0062	0,39
20	10,0	52	7,32	10,7	95	13,9	12,5	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0364	< 0,002	0,0054	0,46
30	7,8	51	7,35	10,8	91	13,0	12,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0583	< 0,002	0,0064	0,71
40	7,2	51	7,37	11,0	92	13,0	12,5	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0353	< 0,002	0,0056	0,88
50	6,9	51	7,38	10,9	90	< 5	12,6	0,0023	< 0,002	< 0,002	0,0338	< 0,002	0,0054	0,59
60	6,9	51	7,37	10,9	90	9,8	12,5	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0493	< 0,002	0,0056	0,63
80	6,7	51	7,37	10,9	89	10,3	12,7	< 0,002	< 0,002	0,0036	0,0424	< 0,002	0,0046	
110	6,6	85	7,31	9,3	76	15,3	12,7	< 0,002	< 0,002	0,0090	0,0404	< 0,002	0,0056	

**Tabla 10** Parámetros físicos, químicos y clorofila a, estación Hua-Hum del Lago Pirehueico

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
0	13,70	53	7,53	10,4	100	12,6	12,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0418	< 0,002	0,0064	0,63
5	12,95	53	7,39	10,2	97	13,9	12,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0381	< 0,002	0,0067	0,63
10	11,60	53	7,39	10,6	97	13,9	12,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0539	< 0,002	0,0062	0,25
20	10,76	53	7,37	10,7	97	13,0	12,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0628	< 0,002	0,0059	1,03
30	8,01	53	7,4	10,8	92	12,1	12,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0438	< 0,002	0,0062	1,26
40	7,24	53	7,39	10,9	91	13,0	12,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0507	< 0,002	0,0070	0,88
50	7,02	53	7,42	11,1	91	14,9	12,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0401	< 0,002	0,0064	1,10
60	6,87	53	7,46	11,1	91	10,8	12,4	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0350	< 0,002	0,0067	1,33
80	6,51	54	7,5	11,2	91	13,9	12,5	< 0,002	< 0,002	0,0024	0,0447	< 0,002	0,0067	
100	6,24	53	7,53	11,3	91	14,1	12,5	< 0,002	< 0,002	0,0079	0,0424	< 0,002	0,0056	
140	6,21	53	7,49	11,4	92	12,6	12,5	< 0,002	< 0,002	0,0108	0,0470	< 0,002	0,0064	



**Fig. 16** Perfiles verticales de la temperatura, oxígeno disuelto y clorofila-a medidos en el lago Pirehueico

## SILICE

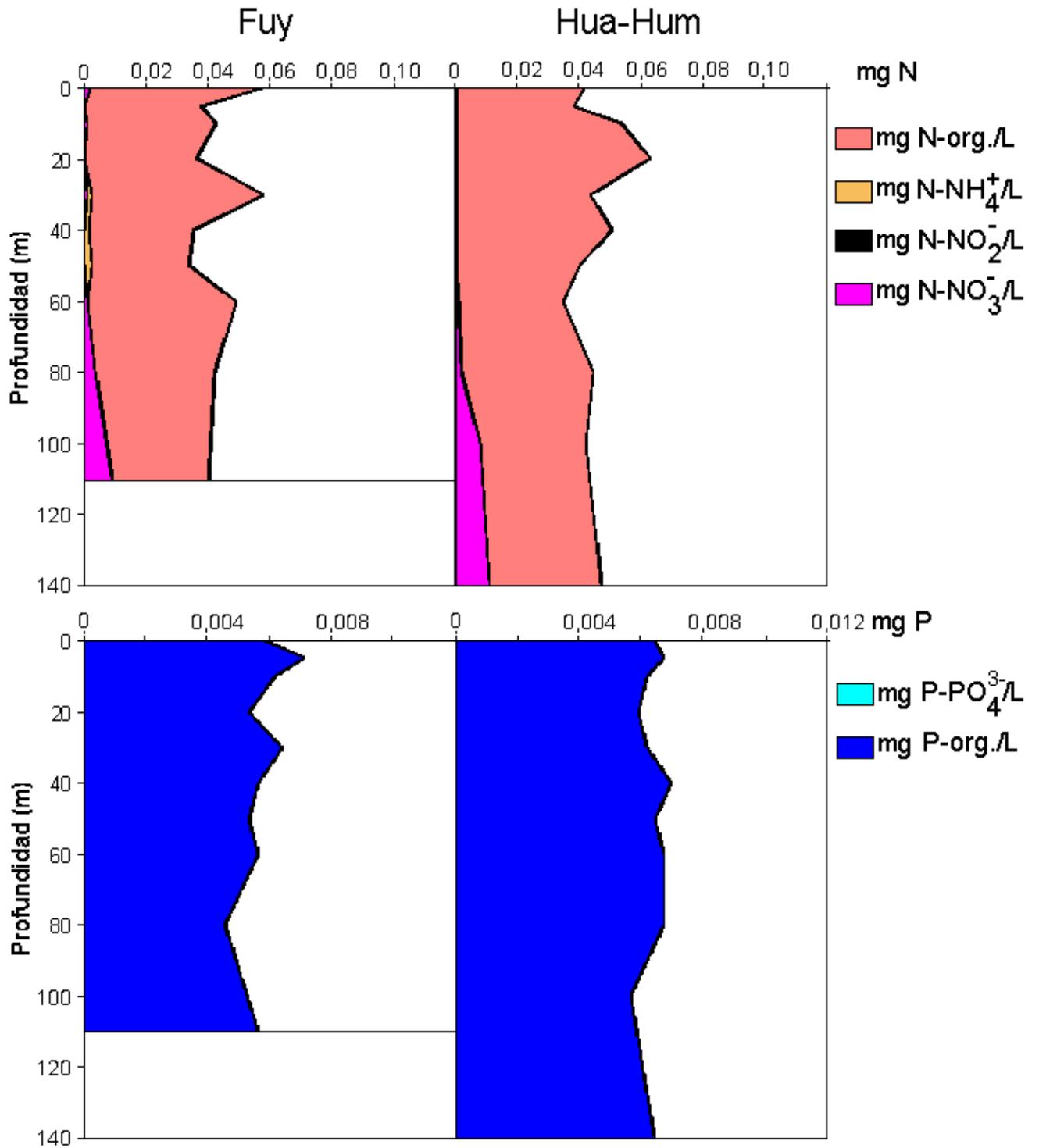
En las estaciones Fuy y Hua-Hum la concentración de sílice muestra un patrón similar de variación vertical para el muestreo durante noviembre 2012 con valores entre 12,4-12,7 mg/L, desde las superficie hacia el fondo. En general la distribución vertical de sílice mostró una leve tendencia de incremento de concentración en profundidad; patrón normal de mineralización de silicatos a sílice biogénico por actividad biológica/respiración de la MO (liberación de sílice). La concentración de sílice registrado en este estudio es mayor que lo reportado en el informe DGA, 2000 para los distintos periodos del años (primavera, otoño, invierno, verano). Sin embargo los valores de sílice en la columna de agua que aquí se reportan son similares a los reportados para los periodos de primavera descrita en los primeros estudios del lago, Campos y colaboradores 1978.

## **DQO**

El DQO en el lago Pirehueico mostró valores relativamente homogéneos. Para la estación Fuy se detectó poca variabilidad en las profundidades entre los 0-40m con un rango entre 13,5-11,2 mg/L. Los valores máximos se detectaron en el fondo a 110m con un valor de 15,3 mg/L y valores mínimos entre los 50-60m con valores <5-9,8 mg/L. La estación Hua-Hum no mostró un patrón definido para el DQO sin embargo presentó una baja variabilidad.

## **NITRÓGENO y FÓSFORO**

En las estaciones Fuy y Hua-Hum la concentración de las especies inorgánicas de nitrógeno correspondiendo a nitrato, nitrito y amonio, muestran un patrón similar con leves excepciones para el muestreo durante noviembre 2012 con concentraciones bajas entre los 0 y 80 m de profundidad, observándose valores de  $\text{N-NH}_4^+ < 0,002$  y  $0,0023$  mg N/L. El nitrito siempre se mantuvo a niveles bajo del límite de cuantificación en ambas estaciones pelágicas. El nitrato fue prácticamente ausente en el epilimnion y metalimnion hasta los 60m de profundidad. A profundidades mayores (80-140m) se observa un aumento hacia el fondo con un rango de valores de  $0,0024$ - $0,0108$  mg N/L. El fosfato se mantuvo a valores por debajo de los límites de cuantificación de  $< 0,002$  mg P/L en toda la columna de agua de ambas estaciones pelágicas. En cuanto al nitrógeno total se observó un rango de valores de  $0,0576$ - $0,0338$  mg N/L en ambas estaciones del lago Pirehueico, excepto por una baja concentración (30m –  $0,0012$  mg N/L) en la estación Fuy. Cabe destacar que la concentración de nutrientes, en particular nitrato ( $< 0,020$  mg N/L), fue muy baja en el hipolimnion, algo que este consultor no ha observado en ningún lago araucano estudiado hasta ahora y tampoco se ha descrito anteriormente para un lago araucano.



**Fig. 17** Perfiles verticales de diferentes fracciones de nitrógeno y fósforo en dos estaciones en el lago Pirehueico. N-org. = nitrógeno orgánico. P-org. = fósforo orgánico. Valores son acumulativos. La suma de las fracciones corresponde a P total y N total.

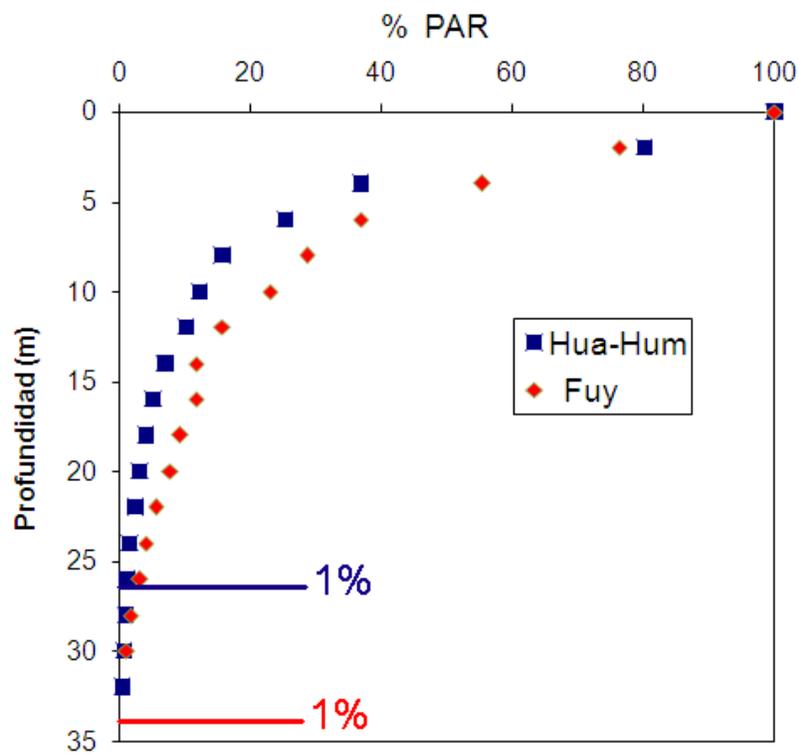
Para el fósforo total la distribución vertical mostró valores bajos con un máximo sub-superficial a los 5m (est. Fuy) con un valor de 0,0071 mg P/L y a los 40m de profundidad (est. Hua-Hum) con un valor de 0,0070 mg P/L. En general se observa una leve variabilidad en las concentraciones de entre 0,0046-0,0071 mg P/L para ambas estaciones.

### 3.3.2 TRANSPARENCIA Y CLIMA LUMÍNICO

La transparencia del agua, caracterizada como la profundidad de visión del Disco de Secchi no presenta variaciones entre los puntos muestreados, registrándose un valor de Secchi =10m de en ambas estación. Sin embargo se aprecian diferencias en el espesor de la zona eufótica, estimada mediante el cálculo de los coeficientes de atenuación de la luz PAR, Tabla 11-Fig. 18. Para el caso de la estación Fuy, la zona eufótica estimada presenta un espesor de aproximadamente 34 m mientras que la estación Hua-Hum presenta una zona eufótica menos amplia de 26.5m. Las diferencias encontradas en la amplitud de la zona eufótica entre las estaciones del lago se podrían explicar por la hidrodinámica del sistema. En particular se hipotética que los influjos de agua provenientes del río Hua-Hum tendrían un efecto local sobre el clima lumínico de la estación pelágica del mismo nombre (Hua-Hum). Cabe destacar, sin embargo, que los valores de transparencia del agua son propios de sistemas oligotróficos y similares a los ya reportados para el lago Pirehueico durante las últimas tres décadas.

**Tabla 11** Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Pirehueico (15.11.2012)

<b>Estación</b>	<b>Transparencia (m)</b>	<b>Zona eufótica 1% (m)</b>	<b>Coeficiente de atenuación <math>k_d(m^{-1})</math></b>
<b>Fuy</b>	<b>10,0</b>	<b>33,9</b>	<b>0,136</b>
<b>Hua-Hum</b>	<b>10,0</b>	<b>26,5</b>	<b>0,173</b>

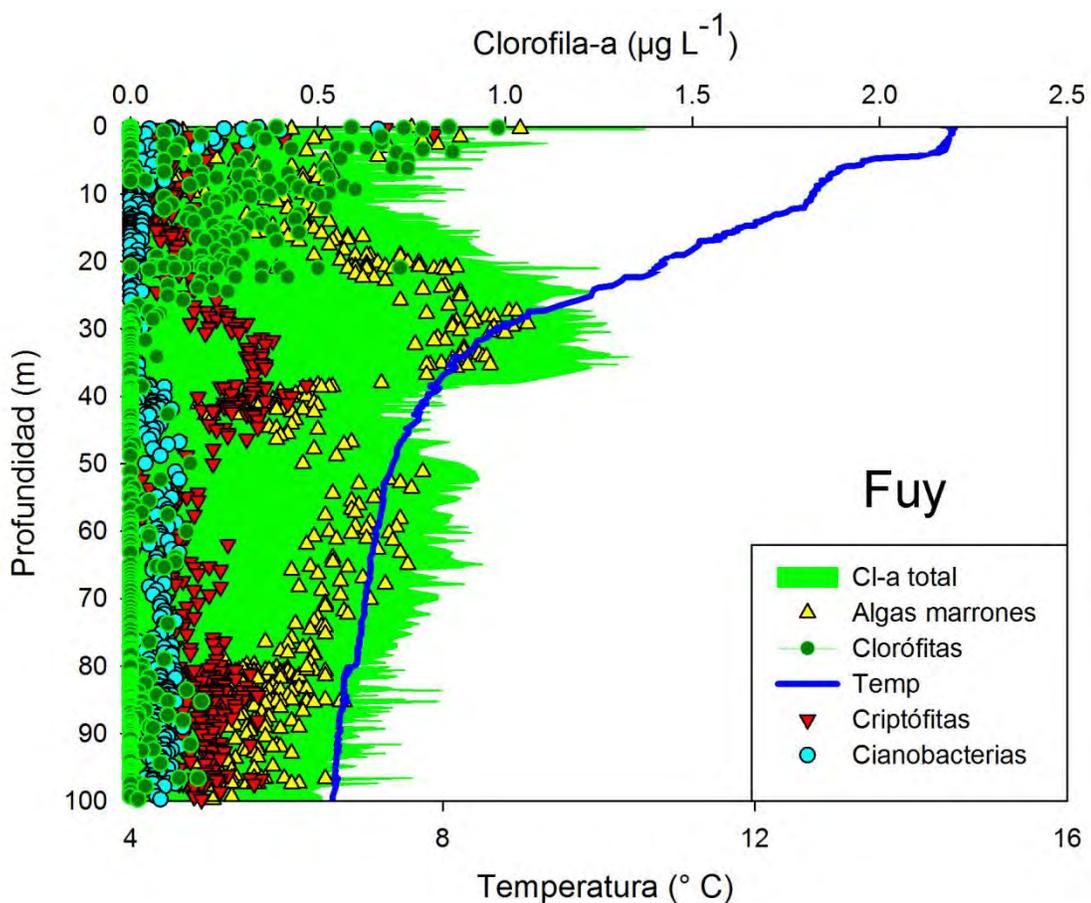


**Fig. 18** Perfil vertical de la luz visible (PAR: 400-700 nm) y la zona eufótica (1%) en las estaciones Hua-Hum y Fuy.

### 3.3.3 FITOPLANCTON

#### DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ALGAS

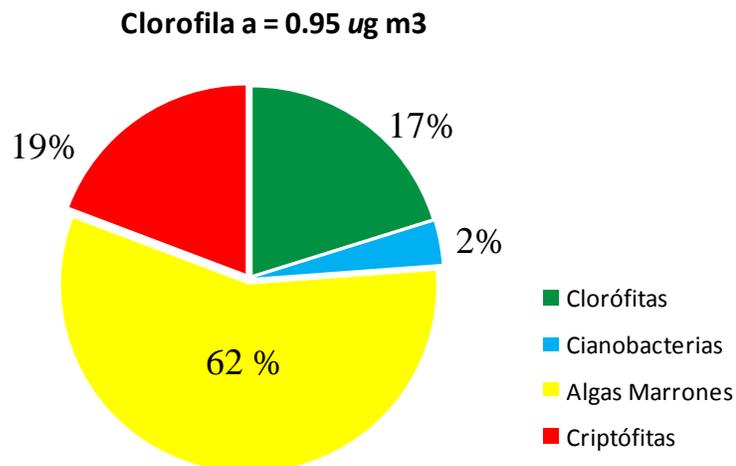
En las estaciones pelágicas del Lago Pirehueico (Fuy y Hua-Hum) se realizaron *in situ* perfiles verticales de distribución de clorofilas para los principales grupos funcionales de microalgas: Clorofíceas (algas verdes), Cianobacterias (algas azules), Criptofíceas y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas) utilizando un fluorómetro sumergible marca FluoroprobeV2 BBE, (Moldaenke, Alemania).



**Fig. 19** Distribución vertical de la clorofila-a “total” (área verde) y la biomasa proporcional para las Clorofíceas (círculos verdes), Cianobacterias (círculos azules), Criptofíceas (triángulos rojos) y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas; triángulos amarillos) en la estación Fuy del lago Pirehueico.

Esta sonda es capaz de detectar y cuantificarla biomasa proporcional de clorofila-a para cada uno de los grupos de algas arriba señalados respecto a la biomasa total de este pigmento (Chl-a).

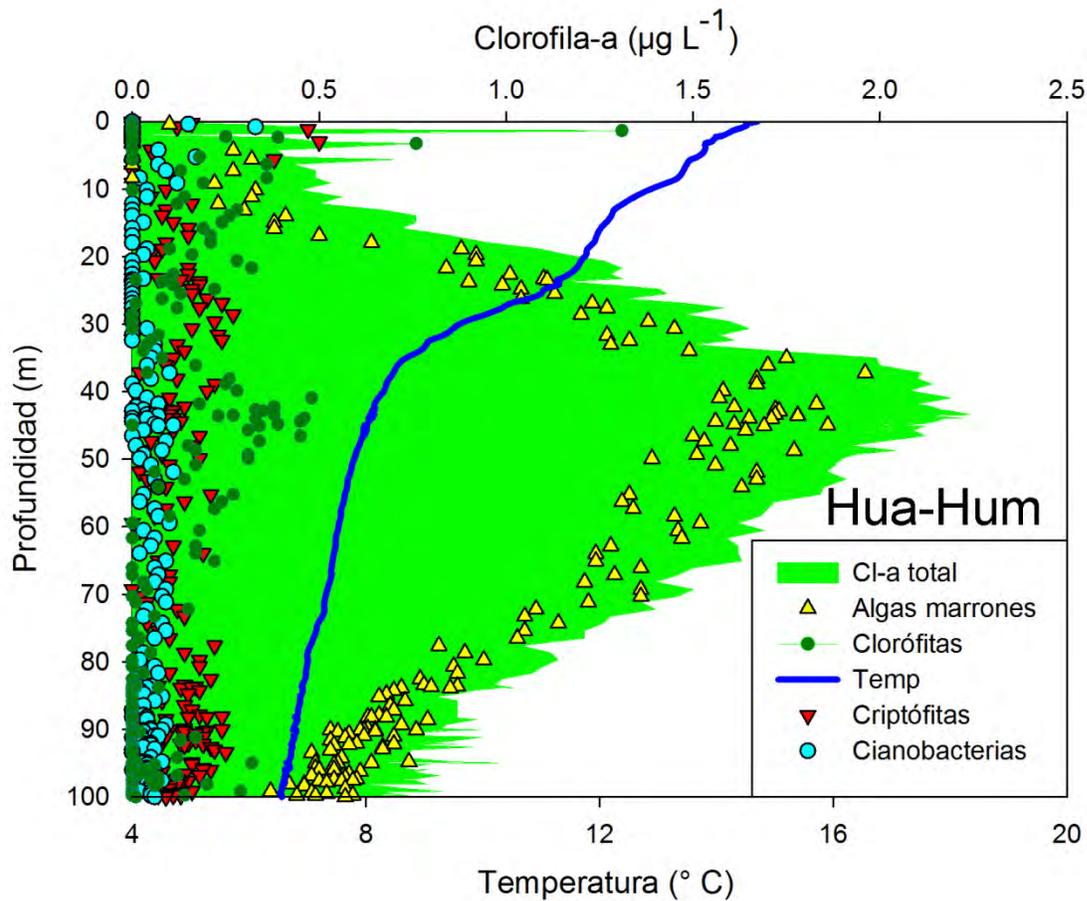
La sonda fue calibrada con agua pre-filtrada del lago para tener el "blanco" de fluorescencia de las sustancias disueltas coloreadas de este ambiente (sustancia cromófora, CDOM, Gelbstoff o Yellow substance). Una vez calibrado el fluorómetro se procedió a generar los perfiles verticales de pigmentos desde la superficie hasta los 100m de profundidad. Los resultados de estos perfiles se muestran detallados en las figuras 19 y 20.



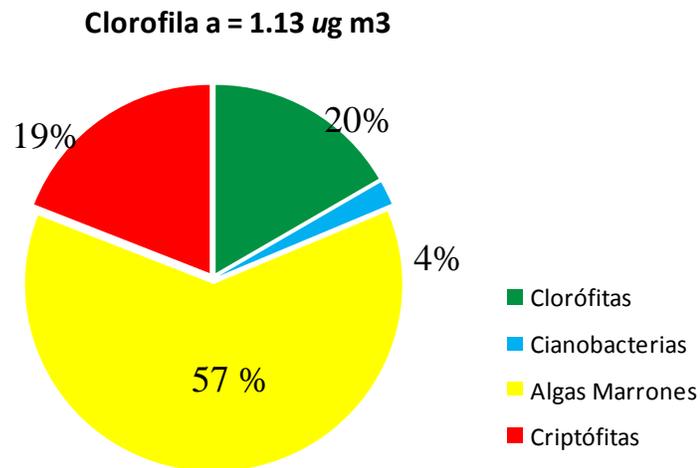
**Fig. 20** Valor medio integrado de clorofila, 0-40m, en la estación Fuy del lago Pirehueico y biomasa proporcional de cl-a para los distintos grupos de microalgas.

Los resultados de distribución vertical de fitoplancton para los distintos grupos espectrales de microalgas (Clorofíceas, Cianobacterias, Criptofíceas y algas marrones) registrados con la sonda Fluoroprobe (Figuras 19 y 21) muestran que las microalgas no se distribuyen de manera homogénea tanto en el eje vertical (en profundidad) así como en el eje longitudinal del lago. Cabe recordar que las estaciones de muestreo corresponden a los extremos opuestos del lago, uno ubicado en las cercanías de afluente, río Hua-Hum y el

otro en la vecindad del efluente, Río Fuy; puntos separados por más de 10 Km.



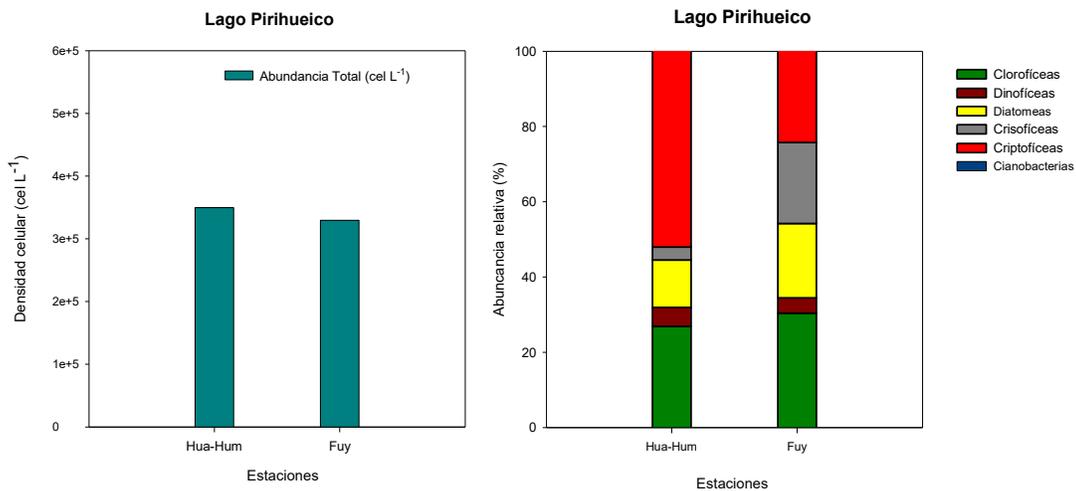
**Fig. 21** Distribución vertical de la clorofila-a “total” (área verde) y la biomasa proporcional para las Clorófitas (círculos verdes), Cianobacterias (círculos azules), Criptófitas (triángulos rojos) y algas marrones (Diatomeas, Crisofíceas y Dinofíceas; triángulos amarillos) en la estación Hua-Hum del lago Pirehueico.



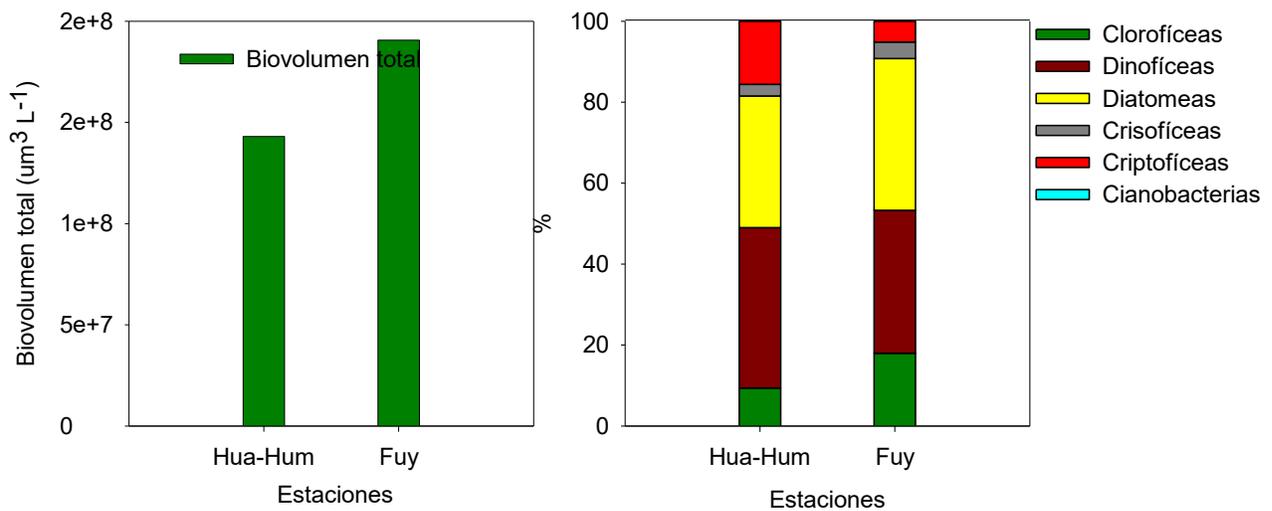
**Fig. 22** Valor medio integrado de clorofila, 0-40m, en la estación Hua-Hum del lago Pirehueico y biomasa proporcional de cl-a para los distintos grupos de microalgas.

Si bien la distribución vertical de microalgas (grupos espectrales) entre los puntos revela algunas diferencias, ver figura 20 y 22, se aprecia como patrón común la formación de máximos de clorofila en profundidad representado principalmente por la contribución en biomasa (clorofilas) de las algas marrones, Figuras 19 y 21. En ambos puntos de muestro las algas marones constituyen el grupo funcional que domina el fitoplancton tanto en biomasa de clorofilas como en abundancias y bio-volumenes (más información Anexo 3). De manera similar a lo registrado en el lago Neltume, Figs 7 y 9, observamos que en el lago Pirehueico se desarrollan máximos metalimneticos de biomasa (clorofila-a) correspondiente al grupo de las criptofíceas. Se observa también que las algas verdes (clorófitas) presentes en Pirehueico presentan máximos de biomasa en los estratos más superficiales del lago; señal fluorimétrica (círculos verdes en Figuras 19 y 21) que incluye también a las *Chlorella* sp. (algas endosimbióticas) presentes dentro de los grandes ciliados que se encuentran en los distintos estratos del lago, ver distribución de ciliados y señal fluorimétrica de algas verdes, Figura 19 y 21). En términos generales y para ambos puntos de muestreo del lago Pirehueico se observa que los valores medios integrados de clorofila-a (0-40m), como descriptores de la biomasa de microalgas del lago son similares, bajos y propios de la oligotrofia. En particular se registran valores de 0.95 y 1.13  $\mu\text{g/L}$  de Cl-a para la estación Fuy y la estación Hua-Hum, respectivamente. La estructura

comunitaria de fitoplancton, caracterizada como la biomasa proporcional de clorofilas para los distintos grupos espectrales (Clorofíceas, Cianobacterias, Criptofíceas y algas marrones) respecto a la biomasa total (Chl-a), es notablemente parecida en ambos puntos de muestreo. Se observa además que el fitoplancton de este lago es dominado por la contribución en biomasa de las algas Marrones en más de un 50%.



**Fig.23** a) Densidad celular y b) abundancia relativa de microalgas registradas en las estaciones de muestro pelágico del lago Pirehueico, estaciones Hua-Hum y Fuy.



**Fig.24.** a) Biovolumen de fitoplancton y b) biomasa (bio-volumen) relativa de microalgas registradas en las estaciones de muestro pelágico del lago Pirehueico, estaciones Hua-Hum y Fuy.

Adicionalmente, las Criptofíceas y las Clorofíceas destacan por presentar valores similares de biomasa. Finalmente, la biomasa de clorofilas de las cianobacterias fue baja y menor al 5 % en ambas estaciones. Para más antecedentes ver Anexo 3, listado de especies, abundancias y bio volúmenes.

## **ANÁLISIS DEL FITOPLANCTON BAJO EL MICROSCOPIO INVERTIDO: DETERMINACIONES TAXONÓMICAS, RECuentOS Y ESTIMAS DE BIOVOLUMEN.**

Se analizó el fitoplancton de las dos estaciones de muestreo pelágico del lago Pirehueico: estaciones Hua-Hum y estación Fuy. Las muestras analizadas corresponden a una única muestras de agua "integrada" en profundidad desde la superficie hasta los 40m para cada estación de muestreo.

En total se registraron 37 especies de fitoplancton, de las cuales 15 corresponden a Diatomeas, 11 a Clorofíceas, 2 a Criptofíceas, 3 a Crisofíceas, 4 Dinofíceas y 2 a Cianofíceas. Para mayor información ver Anexo 3 listado de especies. Los resultados del análisis de fitoplancton de primavera, en este estudio, muestran que la densidad de microalgas en el lago Pirehueico, figura 23, presenta valores de 349609 y 329564 cel. L<sup>-1</sup> en las estaciones Hua-Hum y Fuy, respectivamente. En términos de densidad celular la estructura comunitaria de fitoplancton entre las estaciones fue distinta. La estación Hua-Hum presenta una mayor densidad de *Rhodomonas* sp con un 51% en dominancia, mientras que en la estación Fuy, la dominancia estuvo compartida por *Rhodomonas* sp (24%), *Chlamydomonas* spp (26 %) y *Chromulinas* sp (16%); todos organismos de pequeño tamaño. Los valores de densidad celular de las diatomeas son similares en ambas estaciones del lago, siendo éste grupo de algas principalmente representadas por especies pennadas de gran tamaño de los géneros *Tabellaria* y *Aulacoseira*. Las algas Crisofíceas estuvieron esencialmente representada por *Dinobryon divergens* y algunas *Mallomonas* sp (silico-flagelados). Los Dinoflagelados registraron bajas densidades con representantes de los generos *Peridinium* y *Gymnodinium*, ambos organismos motiles capaces de regular su ubicación en la columna de agua (más información en Anexo 3).

El biovolumen de fitoplancton calculado para las estaciones Hua-Hum y Fuy del lago Pirehueico es de  $1.43E+08$  y  $1.91E+08+08 \mu\text{m}^3/\text{L}$ , respectivamente. La contribución relativa en términos de bio-volumen para los diferentes grupos de microalgas (clorofíceas, dinofíceas, diatomeas, crisofíceas y cianobacterias) en las dos estaciones, figura 24, muestra que el fitoplancton estuvo claramente co-dominado, por la biomasa (bio-volumen) de las diatomeas y los dinoflagelados. La composición florística, densidades y abundancias relativas del fitoplancton en este estudio son comprobables y similares a lo reportado en estudios e informes previos (DGA, 2000).

### 3.3.4 ZOOPLANCTON

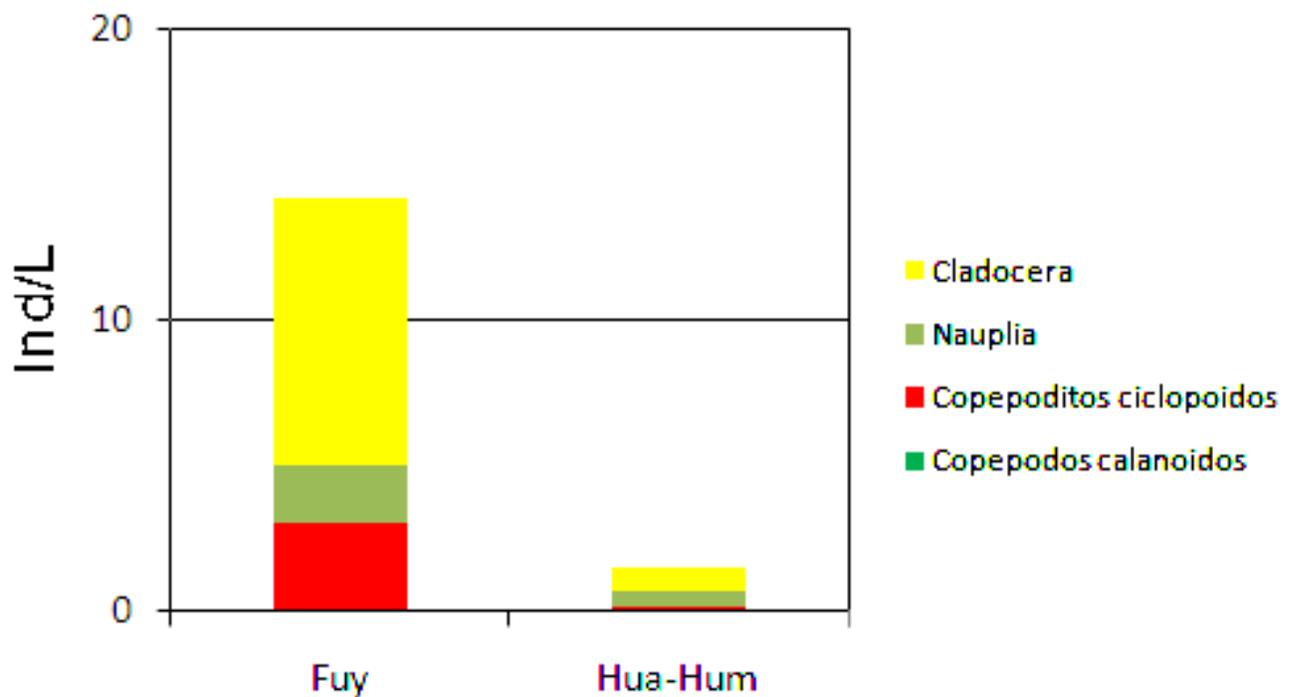
#### 3.3.4.1 MICROCRUSTÁCEOS

El lago Pirehueico, se encontraron un total de 4 especies de microcrustáceos (Tabla12), de las cuales 2 correspondieron a cladóceros y 2 a copépodos. En la estación Fuy, se encontró la mayor abundancia de microcrustáceos, correspondiente a 14,19 ind/L, representado en casi un 64% de la comunidad el cladócero *Daphnia pulex*, seguido por un 19% y 14% de copepoditos ciclopoideos (*Tropocyclops*) y estadíos naupliares respectivamente (Fig. 25). En la estación Hua-Hum, la abundancia de microcrustáceos es significativamente menor, prácticamente 90% menor.

La estructura comunitaria de los microcrustáceos registrados en este estudio difiere notablemente con lo reportado en los estudios de campos 98 y col, DGA 2000 y todavía más de la estructura reportado por Woelfl (1995) y Woelfl & Geller (2002) para 1991/92. Es muy notable por un lado la ausencia del genero *Boeckella*, copépodos indicados como dominantes absolutos en términos de la biomasa y abundancia de los microcrustáceos hasta el año 2000 y la dominancia de *Daphnia pulex*, cladóceros que no existía en los años noventa en este lago (Woelfl & Geller, 2002). Todavía no se puede explicar este cambio importante en la estructura zooplanctónica, pero puede ser relacionada con cambios en aportes de nutrientes, carbono, cambios de temperatura e otros todavía no considerados.

**Tabla 12** Abundancia de los microcrustáceos en dos estaciones en el lago Pirehueico (0-40 m). ♂: machos; ♀: hembras; ♀+H: hembras con huevos

Grupo/Especies		Fuy Ind/L	Hua-Hum Ind/L
<b>Copépodos</b>			
Copepoditos calanoideos		0	0,008
<i>Tropocyclops prasinus</i>	♂	0,019	0,012
	♀	0,076	0,004
	♀+H	0,153	0,012
<i>Mesocyclops sp.</i>	♂	0	0,008
	♀	0	0,004
Copepoditos ciclopoideos		2,770	0,128
Nauplia		1,986	0,528
<b>Cladóceros</b>			
<i>Daphnia pulex</i>		9,111	0,656
<i>Neobosmina chilensis</i>		0,076	0,128
<b>Suma ind/L</b>		<b>14,19</b>	<b>1,489</b>



**Fig.25** Abundancia de los grupos de microcrustáceos en dos estaciones del lago Neltume

### 3.3.4.2 ROTÍFEROS

En el Lago Pirehueico se encontraron 7 especies de rotíferos, Tabla 13, observándose una notable diferencia en términos de abundancia específica y dominancia de las poblaciones entre las estaciones muestreadas del lago. En particular se observa una menor riqueza específica en la estación Fuy. Específicamente se registraron sólo dos especies de rotíferos pertenecientes a los géneros *Polyarthra* y *Synchaeta*, siendo *Synchaeta* el género que presentó una mayor densidad de organismos: 30 ind/L. Para el caso de la estación Hua-Hum, sitio más cercano al afluente homónimo se registra una mayor riqueza específica de rotíferos. En esta estación del lago se observa una marcada dominancia de *Keratella americana*; especie asociada a ambientes con una mayor turbulencia, y *Trichocerca* sp. organismo con un buen desempeño ecológico en ambientes de tipo litoral asociado a plantas acuáticas respecto a ambiente netamente pelágico.

**Tabla 13** Abundancia de Rotíferos registrados en el lago Pirehueico.

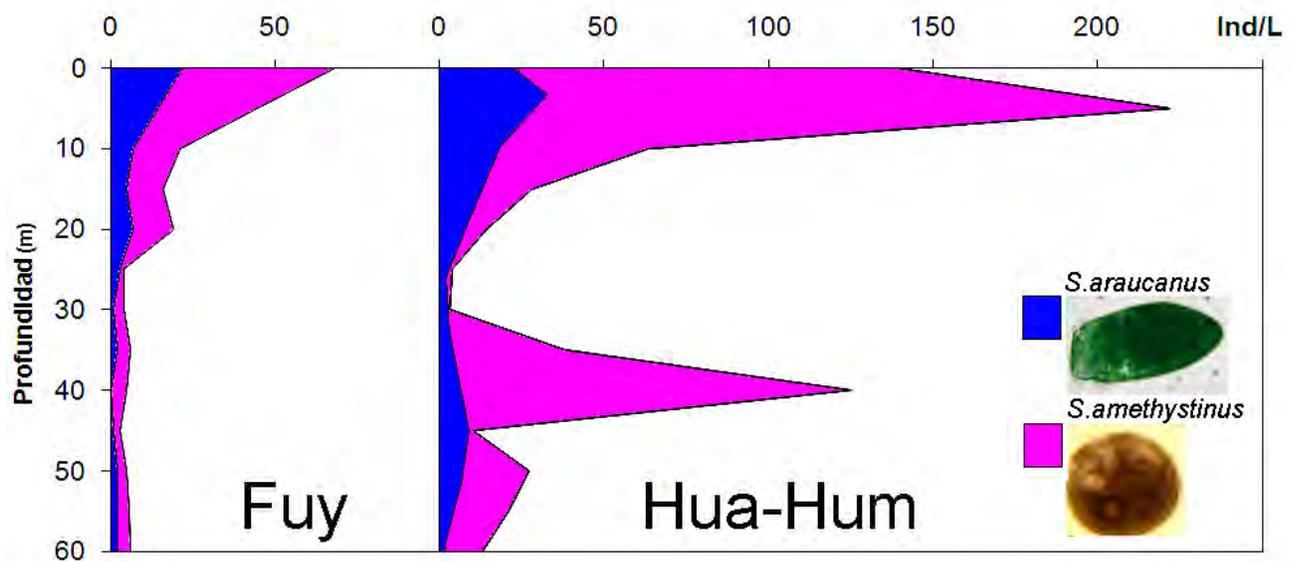
Lago	Pirihueico	
	Fuy	Hua Hum
<i>Euchlanis</i> sp.	0	1
<i>Trichocerca</i> sp.	0	16
<i>Keratella americana</i> Ahlstrom	0	26
<i>Keratella cochlearis</i> forma tecta	1	1
<i>Polyarthra</i> af. <i>Vulgaris</i>	1	5
<i>Synchaeta</i> sp.	30	0
Densidad total de rotíferos (ind/L)	32	49

### 3.3.4.3 CILIADOS MIXOTRÓFICOS

Se identificaron dos especies – *Stentor araucanus* y *Stentor amethystinus* – en las dos estaciones muestreadas, siendo la segunda especie la más abundante. En la Fig. 26 se puede observar que se encontraron en general más ciliados mixotróficos en la estación Hua-Hum (abundancia máxima: 220 ind/L) que en la estación centro. *S.amethystinus* dominó en ambas estaciones con ~ 80-90% de los organismos. En ambas estaciones los

organismos están concentrados en el epilimnion (0-20 m) y un peak también en 40 m, bajo de la zona eufótica.

En relación con datos históricos, las abundancias encontradas están en el rango reportado para este lago (Woelfl & Geller, 2002). Sin embargo, su importancia respecto a la biomasa zooplanctónica total en este lago, que fue aproximadamente 65% en 1991/1992 (Woelfl & Geller, 2002) disminuyó debido a la invasión de *Daphnia pulex*, que ahora aporta supuestamente mucho a la biomasa del zooplancton, porque tiene un peso individual más alto que los copépodos calanoideos en comparación con los ciliados mixotróficos.



**Fig. 26** Distribución vertical de *Stentor araucanus* (azul) y *Stentor amethystinus* (rosado) en dos estaciones en el lago Pirehueico (15.11.2012)

### 3.4 MONITOREO DE LOS AFLUENTES DEL LAGO PIREHUEICO

Las temperaturas registradas durante el presente muestreo se distribuyeron en el rango entre 10,88-12,73 °C, observándose el máximo en el río Fuy y el mínimo para el río Las Estacas (Tabla 14). La conductividad eléctrica mostró valores entre 30-53  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pH de los ríos del lago Pirehueico mostraron poca variabilidad con valores entre 7,44-8,04 representando valores neutros a levemente básicos. El oxígeno disuelto y su saturación mostraron valores entre 9,81-10,22 mg/L y 90-100%, observándose casi una saturación total del mayor tributario al lago Neltume correspondiente al río Hua-Hum con 99,8%.

Para el DQO se observaron valores levemente elevados entre 13,9-11,2 mg/L, los que son típicos para ríos de esta zona

Para el sílice se detectaron valores con un rango de variación entre 11,2-17,8 mg/L. El valor mínimo de sílice se detectó en el río Hua-Hum, mayor tributario del lago Pirehueico.

Los nutrientes inorgánicos de nitrógeno y fósforo contenidos en los ríos con influencia al lago Pirehueico estuvieron muy bajos. Para amonio en un rango de  $< 0,002$ - $0,0028$  mg N/L (máx-río Hua-Hum; mín-río Upinza), nitrito siempre menores al límite de cuantificación ( $<0,002$  mg N/L). El nitrato se mantuvo en el rango de  $<0,002$ - $0,0090$  mg N/L con valores máximos para el río Las Estacas y mínimos para los ríos Upinza y Los Baños.

El nitrógeno total se mantuvo a valores bajos entre  $0,0287$ - $0,0458$  mg N/L.

El fosfato se presentó más bajos aún con valores entre  $< 0,002$ - $0,0055$  mg P/L y el fósforo total presentó valores entre  $0,0125$ - $0,0066$  mg P/L.

Los valores de sílice varían entre 11 y 17 mg/L, lo que es considerablemente más alto que los valores encontrados en algunos ríos de la cuenca del lago Neltume.

En general se puede concluir que los aportes de N y P por parte de los afluentes del Lago Pirehueico fueron muy bajos.

**Tabla 14** Parámetros físicos y químicos de los afluentes del lago Pirehueico

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O <sub>2</sub> %	DQO mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	N-NH <sub>4</sub> mgN/L	N-NO <sub>2</sub> mgN/L	N-NO <sub>3</sub> mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO <sub>4</sub> mgP/L	P Tot. mgP/L
Rio Hua-Hum	11,65	50	7,44	9,81	99,8	11,2	11,2	0,0028	< 0,002	<0,002	0,0428	<0,002	0,0098
Rio Upinza	11,2	47	7,71	9,95	90,07	13,5	14,6	<0,002	< 0,002	<0,002	0,0287	0,0033	0,0125
Rio Los Baños	11,54	53	7,63	10,18	93,68	12,1	15,1	<0,002	< 0,002	<0,002	0,0297	0,0020	0,0075
Rio Las Estacas	10,88	30	7,46	10,22	92,64	12,1	17,8	0,0020	< 0,002	0,0090	0,0411	0,0055	0,0116
Rio El Manzano	11,1	32	8,04	10,15	92,4	12,1	12,4	<0,002	< 0,002	0,0032	0,0402	0,0032	0,0105
Rio Fuy	12,73	46	7,67	10,12	95,4	13,9	13,6	<0,002	< 0,002	0,0028	0,0458	<0,002	0,0066

### 3.5 ESTADO TRÓFICO DE LOS LAGOS NELTUME Y PIREHUEICO

Se recopiló información de los siguientes estudios:

#### Lago Neltume

Identificación del Estudio	Autor	Año
Estudio Limnológico, Morfométrico, Físico y Químico del Lago Neltume	Universidad Austral de Chile, Campos et al.	1977
Estudio Limnológico de los Lagos Neltume y Pirehueico	Dirección General de Aguas, DGA	2000
Línea de Base de flora y fauna acuática y calidad del agua, Proyecto Hidroeléctrico Neltume. Informe Final. Enero 2009	Centro de Ecología Aplicada, CEA	2009
Caracterización limnológica y Modelización Hidrodinámica del Lago Neltume. Evaluación de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Neltume.	INFRAECO	2010
Diagnóstico y caracterización del estado trófico del lago Neltume y Pirehueico	Dirección General de Aguas, DGA	2012

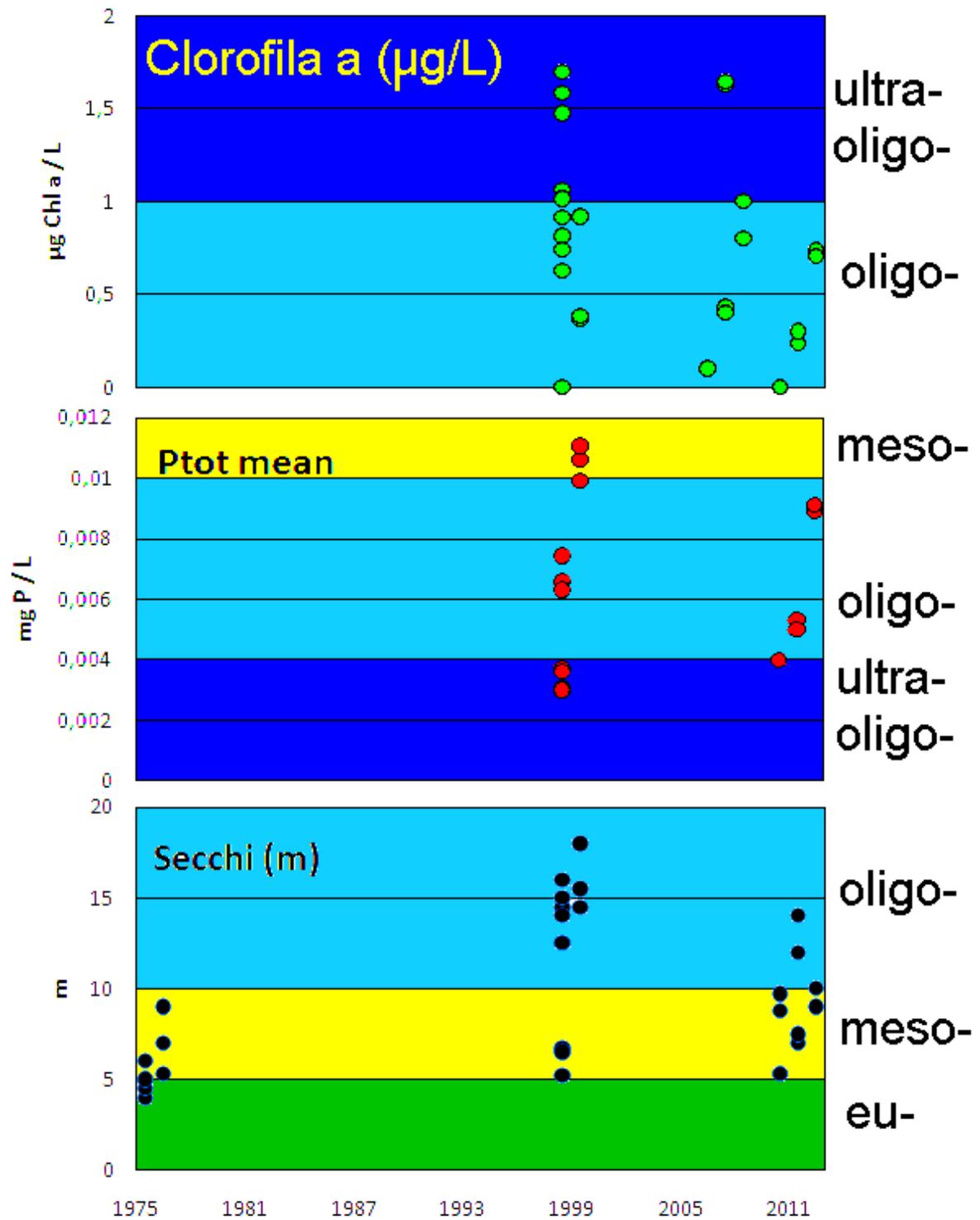
#### Lago Pirehueico

Identificación del Estudio	Autor	Año
Estudios Limnológicos en el lago Pirehueico (Chile): Morfometría y Características Físico-Químicas.	Universidad Austral de Chile, Campos et al.	1978
Estudio Limnológico de los Lagos Neltume y Pirehueico	Dirección General de Aguas, DGA	2000
Diagnóstico y caracterización del estado trófico del lago Neltume y Pirehueico	Dirección General de Aguas, DGA	2012

### 3.5.1 ESTADO TRÓFICO DEL LAGO NELTUME

La figura 27 muestra para las estaciones pelágicas del lago Neltume (Centro y Cua-Cua) los valores y la indicación del estado trófico basado en los parámetros tróficos transparencia (profundidad Secchi), fósforo total y clorofila a obtenidos por la Dirección General de Aguas (DGA), la Universidad Austral de Chile (UACH), centro de Ecología Aplicada (CEA) e INFRAECO desde 1975 hasta fines de 2012. La clasificación del estado trófico se realizó de acuerdo con la tabla N° 2 de la Guía *Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas* (2005). Esta clasificación trófica corresponde a una probabilidad de aproximadamente un 80% del estado trófico correspondiente según el estudio OECD (Wetzel, 2001).

Se puede observar, que los valores obtenidos para la clorofila a y del fósforo total de la Dirección General de Aguas (DGA), la Universidad Austral de Chile (UACH), centro de Ecología Aplicada (CEA) e INFRAECO presentan un cierto rango de variabilidad, sin embargo los datos de clorofila a indicaron generalmente un estado ultraoligotrófico - oligotrófico con excepción de algunos valores altos para fósforo total indicando un estado mesotrófico. En cuanto al parámetro de transparencia (disco Secchi) se observa que una fracción (40%) de los datos indican un estado meso a eutrófico y el resto de los datos son características para lagos oligotróficos.

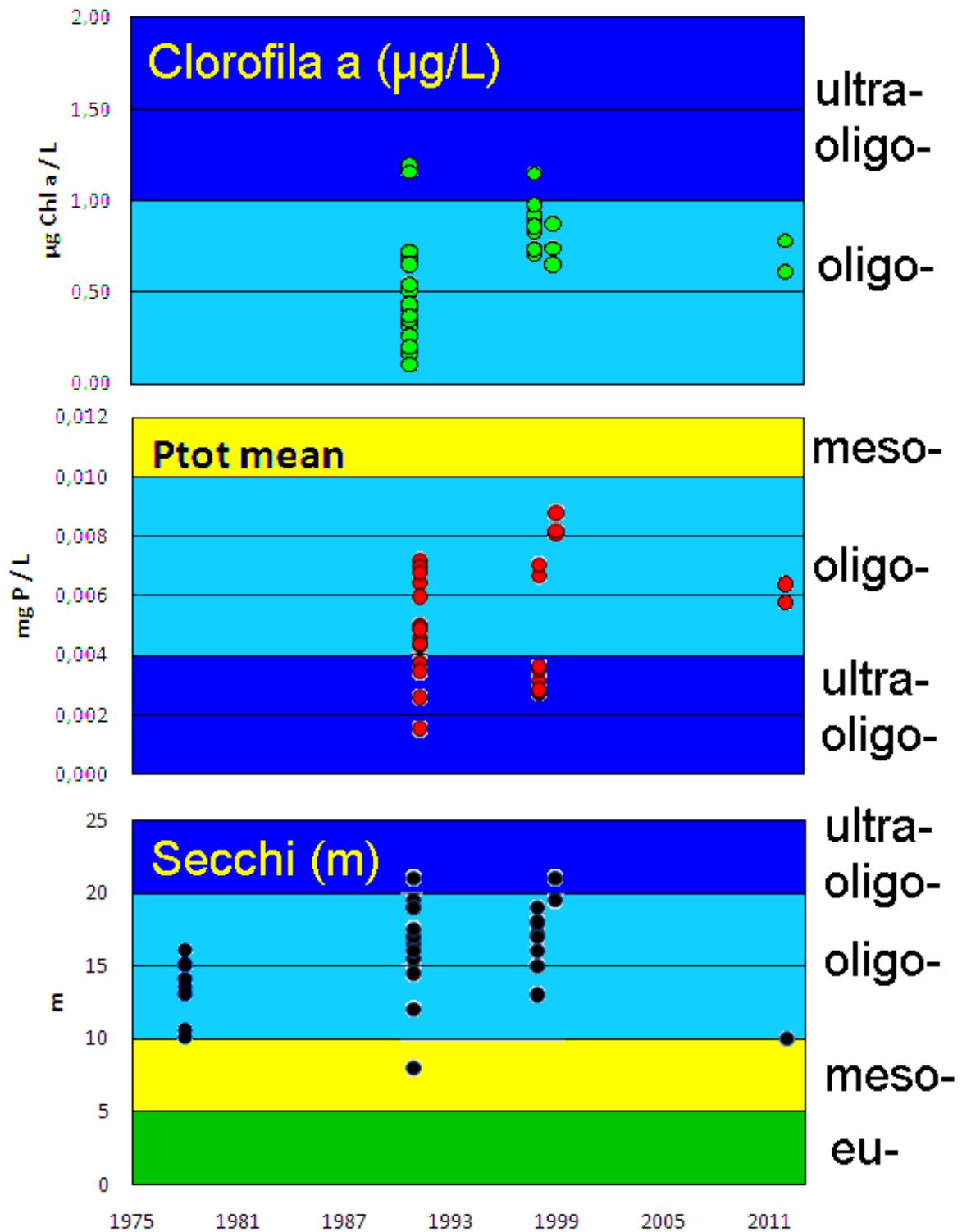


**Fig. 27** Estado trófico del lago Neltume, basado en la transparencia y promedio de fósforo total (PT) (0-80 m) y de clorofila a (0-40 m) en estaciones pelágicas. Datos en Anexo 1.

### 3.5.2 ESTADO TRÓFICO DEL LAGO PIREHUEICO

La figura 28 muestra para las estaciones pelágicas del lago Pirehueico (Fuy y Hua-Hum) los valores y la indicación del estado trófico basado en los parámetros tróficos transparencia (profundidad Secchi), fósforo total y clorofila a obtenidos por la Dirección General de Aguas (DGA), la Universidad Austral de Chile (UACH) desde 1978 hasta fines de 2012.

Se puede observar, que los valores obtenidos para la clorofila a y del fósforo total de la Dirección General de Aguas (DGA) y la Universidad Austral de Chile (UACH) presentan un bajo rango de variabilidad. Los datos de clorofila a indicaron siempre un estado oligotrófico al igual que el fósforo total. En cuanto al parámetro de transparencia (disco secchi) se observa que la gran mayoría de los datos indican un estado oligotrófico (años 1978-2012) y solo una pequeña fracción aguas características para lagos mesotróficos. Este puede ser más asociado a partículas inorgánicas en suspensión que al desarrollo de algas.



**Fig. 28** Estado trófico del lago Pirehueico, basado en la transparencia y promedio de fósforo total (PT) (0-140 m) y de clorofila a (0-40 m) en estaciones pelágicas. Datos en Anexo 1.

### 3.6 PROPUESTA DE ESTUDIOS DE MONITOREO

En base de los resultados de este informe se propone el siguiente monitoreo:

#### LAGO NELTUME:

El lago Neltume muestra constancia en su estado trófico durante las últimas décadas. La diversidad específica de fito- y zooplanctónica se ha mantenido por lo menos desde 1998. Sin embargo, encontramos un aumento notable de la abundancia de zooplancton (factor 100x) que debe ser verificado en el futuro.

Respecto al zooplancton cabe destacar, que el lago Neltume contiene una comunidad típica para lagos con poca intervención donde dominan los ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Se propone monitorear este lago de la siguiente forma:

- **Frecuencia de muestreo:** es suficiente monitorear en una estación centro dos veces al año: fines de marzo (estratificación térmica máxima) y fines de agosto (mezcla invernal). En caso que el déficit de oxígeno se manifiesta con valores bajo 60% al final de marzo, se recomienda monitorear este lago 4 veces al año, para obtener un imagen más detallada del desarrollo de este déficit de oxígeno con el tiempo.
- **Profundidades:** Es muy importante muestrear este lago desde la superficie hasta el fondo, midiendo a parte de los nutrientes (0 – 20 – 40 – 80 m), específicamente el oxígeno (sonda o Winkler). Este lago muestra un considerable déficit de saturación de oxígeno en el hipolimnion, que debe ser monitoreado cuidadosamente. Es posible que este lago no logra saturarse durante el invierno.
- **Parámetros:** en cuanto a parámetros se debe monitorear los parámetros tróficos básicos, fito- y zooplancton (microcrustáceos y *Stentor*). Es conveniente usar una sonda multiparamétrica para la medición de los parámetros físicos (temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno) y clorofila a.

## LAGO PIREHUEICO:

Aunque el lago Pirehueico muestra constancia en su estado trófico durante las últimas décadas, se observa un cambio de su estructura zooplanctónica muy notable. *Boeckella gracilipes*, el microcrustáceo dominante durante 1980 y 1990 parece ser desplazado por *Daphnia pulex*, mientras *Stentor*, el organismos zooplanctónico más importante en los años 1990 hasta 2004, todavía se encuentra presente.

Respecto a los nutrientes, cabe destacar, que son típicos para un lago oligotrófico, pero con muy bajas concentraciones de nitrato.

Se propone monitorear este lago de la siguiente forma:

- **Frecuencia de muestreo:** es suficiente muestrear el lago Pirehueico en una estación centro o Hua-Hum dos veces al año: fines de la estratificación térmica (fin de marzo) y durante la mezcla invernal (fines de agosto).
- **Profundidades:** Se propone muestrear por lo menos en las siguientes profundidades: 0 – 20 – 40 – 70 – 140 m.
- **Parámetros:** en cuanto a parámetros se debe monitorear los parámetros tróficos básicos (transparencia, clorofila a, nitrógeno y fósforo en todas sus formas) y además los grupos de fito- y zooplancton incluyendo microcrustáceos y los ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Se recomienda usar una sonda multiparamétrica para obtener perfiles verticales completos de los parámetros físicos (temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno) y ojala también de clorofila a.

## 4 CONCLUSIONES

Este informe final da conocimiento sobre el proyecto “**DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL LAGO NELTUME Y PIREHUEICO**”. El objetivo principal de este proyecto fue monitorear la columna de agua y sus principales afluentes y efluente durante noviembre 2012 con el fin de diagnosticar y caracterizar el estado trófico del lago Neltume y Pirehueico, adicionalmente se realizó una evaluación histórica de la data existente para estos lagos

### **MONITOREO LAGO NELTUME Y PIREHUEICO**

Se realizó un monitoreo único durante la primavera 2012 el mes de noviembre en dos estaciones pelágicas Centro y Cua-Cua en la columna de agua (superficie – fondo, Centro: 0-80m, Cua-Cua: 0-60 m) del lago Neltume y estaciones Fuy e Hua-Hum en la columna de agua (superficie – fondo, Fuy 0-110m, Hua-Hum 0-140m) registrando parámetros físicos, químicos y biológicos.

### **LAGO NELTUME**

#### **FACTORES FÍSICOS**

El lago Neltume mostró en primavera el proceso de una leve estratificación térmica con la formación de un epilimnion y metalimnion en los primeros 5 a 20 m de profundidad con temperaturas superficiales máximas alrededor de 17-18° C y temperaturas hipolimnéticas de 7,4-6,9° C. El oxígeno mostró en ambas estaciones una tendencia similar, con valores alrededor de 100% de saturación en el epilimnion y una subsaturación progresiva en el hipolimnion ya durante la primavera 2012, alcanzando valores mínimos de 75% sobre el fondo en la estación Centro y Cua-Cua. Estos valores son bastante bajos y llaman la atención, especialmente porque después de la mezcla invernal de la columna de agua la saturación de oxígeno todavía no alcanzó 100%, sino que solamente 75-84% en profundidades mayores a 50 m. Esto significa, que el tiempo de mezcla invernal no alcanzó a saturar completamente la columna de agua.

El pH y conductividad eléctrica no mostraron marcadas variaciones en los perfiles verticales (pH: 7,2-7,6; conductividad: 43 y 52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

## **NUTRIENTES**

Respecto a los parámetros químicos se puede observar, que en ambas estaciones del lago Neltume los valores de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) estuvieron muy similares. En general presentaron valores bajos (N total < 0,090 mg N/L; P total < 0,0020 mg P/L) y típicos para lagos oligotróficos de esta zona (Woelfl 2007). Las fracciones de los nutrientes solubles (nitrato, amonio, fósforo soluble) varían levemente entre estaciones. La distribución vertical de PT y NT total fue bastante homogénea, mientras las diferentes fracciones de los nutrientes, especialmente nitrato mostraron un perfil vertical bastante heterogéneo con valores muy bajos de nitrato en el epilimnion y valores más altos (0,0024 – 0,0846 mg N-NO<sub>3</sub>/L) en el hipolimnion durante noviembre 2012.

Los valores encontrados en este estudio en general fueron muy similares a los valores de estudios anteriores

## **DQO y SÍLICE**

Respecto a los parámetros DQO y sílice se observaron valores de DQO similares para ambas estaciones con valores entre 16,2-9,9 mg/L. Respecto al sílice sin embargo se observaron diferencias entre las dos estaciones registrándose valores mayores en la estación centro y valores significativamente menores en la estación Cua-Cua.

## **CLOROFILA A**

Los valores de clorofila a en ambas estaciones del lago Neltume fueron < 1,3  $\mu\text{g}/\text{L}$  en los primeros 30 m de profundidad (epilimnion) que en general es característico para lagos oligotróficos (Wetzel, 2001) y específicamente para los lagos araucanos (Campos, 1992a, 1992b; Woelfl, 2007).

## **FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON**

En total se registraron 43 especies de fitoplancton, de las cuales 24 corresponden a Diatomeas, 8 a Clorofíceas, 3 a Dinofíceas, 2 a Criptofíceas, 4 a Crisofíceas y 2 a Cianofíceas. La densidad de microalgas presentó valores de 507238 y 429715 cel./L en las estaciones Centro y Cua-Cua, respectivamente. La estructura comunitaria de

fitoplancton de ambas estaciones fue una marcada co-dominancia de Criptofíceas y Clorofíceas. En particular las Criptofíceas estuvieron esencialmente representadas por la especie *Rhodomonas* af. *lacustris* con valores de densidad mayores al 43%.

En cuanto al zooplancton dominaron solamente un cladóceros pequeño (*Ceriodaphnia dubia*) y los ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Otros microcrustáceos como copépodos calanoideos y ciclopoideos fueron escasos. La estructura zooplanctónica fue similar a estudios anteriores en cuanto a la importancia de los ciliados mixotróficos.

## **MONITOREO RÍOS (LAGO NELTUME)**

### **FACTORES FÍSICOS**

Se realizó 1 campaña de muestreo en cinco ríos del lago Neltume, los ríos Cua-Cua, Chan-Chan, N1, N2 y Huechulafquen. La temperatura del agua de los 5 ríos estudiados fluctuó entre 9,65 y 14,58 °C en noviembre 2012. El río Cua-Cua mostró temperaturas acorde con la temperatura sub-superficial del lago Neltume. La oxigenación en los ríos fue siempre sub-saturada (96-91%).

Respecto a los factores químicos, en general los valores de N y P en los afluentes estuvieron típicos para cuencas naturales sin intervenciones humanas significativas (N total 0,04 - 0,07 mg/L; P < 0,030 mg/L), con excepción del río N1 que mostró valores de 0,10 mg N/L, sin embargo habría que verificar este valor. Las fluctuaciones de las concentraciones de NT y PT fueron muy bajas. En cuanto a la importancia de las diferentes fracciones de nitrógeno, dominó el nitrato en todos los ríos. Amonio y nitrito se encontraron muchas veces muy cerca y bajo el límite de detección.

En el caso de fósforo el río Chan-Chan mostró valores superiores a 0,03 mg P/L mientras en los otros ríos el P total nunca superó los 0,025 mg P/L lo que corresponde a aportes de cuencas de bosque nativo. En general, las concentraciones menores a 0,01 mg P/L son típicas para cuencas no intervenidas, por lo cual se puede deducir que las cuencas de los tributarios al lago Neltume muestran alguna intervención (antrópica).

## **LAGO PIREHUEICO**

### **FACTORES FÍSICOS**

El lago Pirehueico mostró en primavera el proceso de una leve estratificación térmica con la formación de un epilimnion y metalimnion en los primeros 5 a 30 m de profundidad con temperaturas superficiales máximas alrededor de 13-14° C y temperaturas hipolimnéticas de 7,2-6,2° C. El oxígeno mostró en ambas estaciones una tendencia similar, con valores alrededor de 97-100% de saturación en el epilimnion y una subsaturación progresiva en el hipolimnion ya durante la primavera 2012, alcanzando valores mínimos de 90% sobre el fondo en la estación Fuy lo que es típico para lagos araucanos oligotróficos.

El pH y conductividad eléctrica no mostraron marcadas variaciones en los perfiles verticales (pH: 7,2-7,8; conductividad: 51 y 54  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) con excepción al valor de 110m en la estación Fuy donde la sonda debió haber tocado fondo.

La transparencia fue con 10 m similar en ambas estaciones siendo típico para lagos oligotróficos.

### **NUTRIENTES**

Respecto a los parámetros químicos se puede observar, que en ambas estaciones del lago Pirehueico los valores de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) estuvieron muy similares. En general presentaron valores bajos (N total < 0,057 mg N/L; P total < 0,0071 mg P/L) y típicos para lagos oligotróficos de esta zona (Woelfl 2007). Las fracciones de los nutrientes solubles (nitrato, amonio, fósforo soluble) varían levemente entre estaciones. La distribución vertical de PT y NT total fue bastante homogénea con una excepción (30m est. FUY), mientras las diferentes fracciones de los nutrientes, especialmente nitrato mostraron un perfil vertical bastante heterogéneo con valores muy bajos de nitrato en el epilimnion-metalimnion (<0,002) y valores más altos (0,0036 – 0,0108 mg N-NO<sub>3</sub>/L) en el hipolimnion sobre el fondo durante noviembre 2012.

Los valores encontrados en este estudio en general fueron muy similares a los valores de estudios anteriores, siendo característicos para lagos oligotróficos.

### **DQO y SILICE**

Respecto a los parámetros DQO y sílice se observaron valores de DQO similares para ambas estaciones con valores entre 14,9-9,8 mg/L, excepto en la estación Fuy a 50m con un valor <5 mg/L. Respecto al sílice no se observaron diferencias significativas entre las dos estaciones registrándose valores levemente mayores en la estación Fuy.

## **FACTORES BIOLÓGICOS**

### **CLOROFILA A**

Los valores de clorofila a en ambas estaciones del lago Pirehueico fueron <1,3 µg/L en los primeros 30 m de profundidad (epilimnion) que en general es característico para lagos oligotróficos (Wetzel, 2001) y específicamente para los lagos araucanos (Campos, 1992a, 1992b; Woelfl, 2007) y lago Maihue durante 1997 (Campos et al. 1998).

### **FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON**

En total se registraron 37 especies de fitoplancton, de las cuales 15 corresponden a Diatomeas, 11 a Clorofíceas, 2 a Criptofíceas, 3 a Crisofíceas, 4 Dinofíceas y 2 a Cianofíceas. La densidad de microalgas presentó valores de 349609 y 329564 cel. L<sup>-1</sup> en las estaciones Hua-Hum y Fuy, respectivamente, con una estructura comunitaria de fitoplancton distinta entre las estaciones. En la estación Hua-Hum dominó *Rhodomonas* sp con un 51%, mientras que en la estación Fuy, la dominancia estuvo compartida por *Rhodomonas* sp (24%), *Chlamydomonas* spp (26 %) y *Chromulinas* sp (16%); todos organismos de pequeño tamaño. Los valores de densidad celular de las diatomeas son similares en ambas estaciones del lago, siendo éste grupo de algas principalmente representadas por especies pennadas de gran tamaño de los géneros *Tabellaria* y *Aulacoseira*.

En cuanto al zooplancton dominaron en ambas estaciones monitoreadas *Daphnia pulex* y ciliados mixotróficos del género *Stentor*. Otros microcrustáceos como copépodos calanoideos y ciclopoideos fueron escasos. En comparación con estudios anteriores en los años noventa (1991/92 y 1998) es muy notable observar un cambio muy importante de la estructura zooplanctónica en este lago, con la invasión de *Daphnia pulex*, que hasta entonces estuvo ausente.

## **MONITOREO RÍOS (LAGO PIREHUEICO)**

### **FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS**

Se realizó 1 campaña de muestreo en seis ríos del lago Pirehueico, los ríos Hua-Hum, Fuy, Upinza, Los Baños, Las Estacas y El Manzano. La temperatura del agua de los 6 ríos estudiados fluctuó entre 10,88 y 12,73 °C en noviembre 2012. El río Hua-Hum mostró temperaturas acorde con la temperatura sub-superficial del lago Pirehueico. La oxigenación en los ríos fue sub-saturada (95-90%) con la excepción del río Hua-Hum que alcanzó su saturación (99,8%).

Respecto a los factores químicos, en general los valores de N y P en los afluentes estuvieron típicos para cuencas naturales sin intervenciones humanas significativas (N total 0,028 - 0,045 mg/L; P < 0,013 mg/L). Las fluctuaciones de las concentraciones de NT y PT fueron muy bajas. En cuanto a la importancia de las diferentes fracciones de nitrógeno, dominó el nitrato en todos los ríos. Amonio y nitrito se encontraron muchas veces muy cerca y bajo el límite de detección.

En el caso de fósforo los ríos el P total nunca superó los 0,0125 mg P/L lo que corresponde a aportes de cuencas de bosque nativo. En general, las concentraciones menores a 0,01 mg P/L son típicas para cuencas no intervenidas, por lo cual se puede deducir que las cuencas de los tributarios al lago Pirehueico casi ninguna intervención (antrópica).

## **DESARROLLO HISTORICO DE LA TROFÍA**

### **LAGO NELTUME**

De acuerdo a los parámetros trófico (secchi, P total y clorofila) el lago Neltume mantuvo su estado oligotrófico durante los últimos 35 años. No hay evidencia de un aumento significativo de la trofía aunque los datos de P total están ya cerca de la transición a un estado oligo-mesotrófico (7-9 µgP/L).

## **LAGO PIREHUEICO**

De acuerdo a los parámetros trófico (secchi, P total y clorofila) el lago Pirehueico mantuvo su estado ultra-oligotrófico durante los últimos 35 años. No hay evidencia de un aumento significativo de la trofia.

## 5 COMPOSICIÓN DEL EQUIPO TÉCNICO

### **Investigadores:**

- Dr. Stefan Woelfl. Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile.
- Dr. Jorge Nimptsch Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile.
- Dr. Luciano Caputo Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile.

### **Técnicos.**

- Biol.Mar. Ana Lorca, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile.
- Mg (C) Dayane Osman Schmeisser. Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile.
- Sr. Juan Carlos Reyes Hagemann, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Austral de Chile.

**ANEXO 1 DATOS HISTORICOS SOBRE PARAMETROS TRÓFICOS EN EL LAGO NELTUME**

Origen	Fecha	Secchi (m)			N-total (mg/L)			P-total (mg/L)			Clorofila a (ug/L)		
		Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue
UACH	1-7-75	5,0											
UACH	1-8-75	4,0											
UACH	1-9-75	4,5											
UACH	1-10-75	6											
UACH	1-11-75												
UACH	1-12-75	5											
UACH	1-1-76	5,3											
UACH	1-2-76	9											
UACH	1-3-76	7											
UACH	1-4-76												
UACH	29-4-98	14,5	15	16	0,1415	0,2437	0,0059	0,0102	0,0078	0,0059	0,44	0,59	0,68
UACH	29-4-98				0,2305	0,4532	0,0057	0,0075	0,0082	0,0057	0,82	0,7	0,74
UACH	29-4-98				0,1587	0,1563	0,0078	0,0069	0,0045	0,0078	0,86	0,94	0,83
UACH	29-4-98				0,5373	0,2386	0,0069	0,0051	0,0047	0,0069		1,42	0,85
UACH	29-4-98												1,68
UACH	29-4-98												1,59
UACH	29-4-98												1,56
UACH	20-8-98	6,7	6,5	5,2	0,0378			0,0027		0,0033	1,31	1,34	1,58
UACH	20-8-98				0,1002	0,1101	0,0033	0,0029	0,0027	0,0031	1,39	1,52	1,12
UACH	20-8-98				0,0872	0,1244	0,0031	0,0033	0,0031	0,0029	1,73	2,23	1,09
UACH	20-8-98				0,1188	0,1289	0,0029	0,0031	0,0035	0,0027	2,54	4,08	1,27
UACH	20-8-98					0,1416	0,0027		0,0027				2,02
UACH	20-8-98												2,44
UACH	20-8-98												2,35
UACH	21-10-98	14	12,5	12,5	0,053			0,0035			0,75	0,87	1,12
UACH	21-10-98				0,0821	0,056	0,0035	0,0035	0,0039	0,0035	1,69	1,84	1,18
UACH	21-10-98				0,1042	0,0738	0,0033	0,0037	0,0035	0,0033	0,31	0,34	0,82
UACH	21-10-98				0,1566	0,1027	0,0031	0,0041	0,0037	0,0031			0,79
UACH	21-10-98					0,118	0,0031		0,0033	0,0031			0,77

Origen	Fecha	Secchi (m)			N-total (mg/L)			P-total (mg/L)			Clorofila a (ug/L)		
		Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue
UACH	21-10-98												0,22
UACH	20-1-99	15,5	14,5	18	0,0281			0,0111		0,011	0,31	0,37	0,18
UACH	20-1-99				0,0523	0,02	0,011	0,0097	0,0109	0,0106	0,6	1,54	0,33
UACH	20-1-99				0,0709	0,0244	0,0106	0,0086	0,0117	0,01	0,25	0,85	0,37
UACH	20-1-99				0,0747	0,071	0,01	0,0103	0,0105	0,0108			0,52
UACH	20-1-99					0,1299	0,0108		0,0111				0,44
UACH	20-1-99												0,24
UACH	18-12-06								0,0150			0,10	
UACH	18-12-06								0,0150			0,10	
UACH	18-12-06								0,0150			0,10	
CEA	2-4-07								0,0150			1,90	
CEA	2-4-07								0,0150			0,50	
CEA	2-4-07								0,1010			2,50	
CEA	23-7-07								0,0150			0,60	
CEA	23-7-07								0,0150			0,60	
CEA	23-7-07								0,0150			0,10	
CEA	2-10-07						0,0150			0,0150			1,10
CEA	2-10-07						0,0150			0,0150			2,20
CEA	2-10-07						0,0150			0,0150			2,70
CEA	26-12-07						0,0150			0,0150			0,30
CEA	26-12-07						0,0150			0,0150			0,50
CEA	26-12-07						0,0150			0,0150			0,10
CEA	15-4-08						0,0150			0,0150			0,80
CEA	15-4-08						0,0150			0,0150			0,8
CEA	15-4-08						0,0150			0,0150			0,1
CEA	5-8-08						0,0260			0,0260			1,9
CEA	5-8-08						0,0150			0,0150			0,1
CEA	5-8-08						0,0150			0,0150			0,1
Infraeco-Endesa	13-9-10	5,3		5,3	0,920			0,004					
Infraeco-Endesa	9-12-10	8,8		9,7	0,06		0,014	0,028		0,014			
Infraeco-Endesa	9-12-10	12,0		14,0	0,029		0,026			0,026			
Infraeco-Endesa	12-2-11				0,044		0,005	0,004		0,005	0,1		0,3

Origen	Fecha	Secchi (m)			N-total (mg/L)			P-total (mg/L)			Clorofila a (ug/L)		
		Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue	Centro	Cua-Cua	Llanquihue
Infraeco-Endesa	12-2-11				0,044			0,007			0,2		
Infraeco-Endesa	12-2-11	7,0		7,5				0,005			0,4		
Infraeco-Endesa	21-4-11	9,0	10		0,0579	0,0447					0,2		0,4
UACH	16-11-12	9,0	9		0,0576	0,0424		0,0094	0,0088		0,3	0,55	
UACH	16-11-12				0,0436	0,0690		0,0125	0,0107		0,6	0,78	
UACH	16-11-12				0,0424	0,0516		0,0083	0,0105		1,1	1,34	
UACH	16-11-12				0,0739	0,0710		0,0075	0,0091		0,9	0,56	
UACH	16-11-12				0,0831	0,0911		0,0099	0,0078		1,1	0,63	
UACH	16-11-12				0,0922	0,0976		0,0086	0,0080		0,4	0,39	
UACH	16-11-12				0,0909	0,1017		0,0078	0,0094		0,5	0,48	
UACH	16-11-12				0,1078	0,0499		0,0078	0,0086		0,2	0,23	

## ANEXO 2 DATOS HISTÓRICOS SOBRE PARAMETROS TRÓFICOS EN EL LAGO PIREHUEICO

Fecha	Secchi (m)			N-total (mg/L)			P-total (mg/L)			Clorofila a (ug/L)		
	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum
23/05/1991					0,0172			0,0049		0,680	0,68	
13/06/1991		8			0,0147			-		0,660	0,66	
04/07/1991		12			0,106			0,0636		0,690	0,69	
25/07/1991		14,5			0,055			0,0071		0,500	0,50	
22/08/1991					0,082			-		0,540	0,54	
04/09/1991		19,5			0,030			0,0043		0,410	0,41	
26/09/1991		16,5			0,056			0,0049		0,680	0,68	
17/10/1991		19			0,057			0,0037			0,31	
24/10/1991		19			0,043			0,0025			0,43	
14/11/1991		21			0,049			0,0037		0,340	0,34	
26/11/1991		17			0,040			0,0015		0,160	0,16	
26/12/1991		15,5			0,077			0,0069		0,260	0,26	
15/01/1992		16			0,111					0,370	0,37	
10/02/1992		17			0,083			0,0059		0,100	0,10	
18/03/1992		19			0,021			0,0045		0,200	0,20	
09/04/1992					0,044			0,0048		1,200	1,20	
29/04/1992					0,054			0,0043		0,450	1,16	
18/05/1992		17,5			0,033			0,0067		0,720	0,72	
16/06/1992					0,057			0,0034		0,650	0,65	
28/04/1998	15	16	13	0,152	0,0897	0,0739	0,003	0,0039	0,0069	0,68	1,07	0,89
28/04/1998				0,1051		0,075	0,0031		0,0059	0,75	0,58	0,83
28/04/1998				0,133		0,1244	0,0039		0,0071	0,78	0,54	0,71
28/04/1998						0,1176			0,008		0,57	
28/04/1998				0,104	0,0857		0,0039	0,0035		0,84	0,77	
28/04/1998					0,144			0,0035			0,56	
28/04/1998					0,2524			0,0029				
<b>19/08/1998</b>	15	17,2	18	0,1087	0,1063	0,0477	0,0022	0,0033	0,0025	0,78	1,18	0,75
19/08/1998				0,1113		0,0872	0,0025		0,0029	1,18	0,83	0,72
19/08/1998				0,0732		0,069	0,0029		0,0029	0,71	0,83	0,68
19/08/1998						0,115			0,0025		0,87	

Fecha	Secchi (m)			N-total (mg/L)			P-total (mg/L)			Clorofila a (ug/L)		
	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum	Centro	Fuy	Hua-Hum
19/08/1998				0,0971	0,0854		0,0031	0,0024		0,71	1,12	
19/08/1998					0,0904			0,0024			0,75	
19/08/1998					0,0564			0,0029				
<b>20/10/1998</b>	19	17	18	0,050	0,0564	0,042	0,003	0,0037	0,0027	0,27	0,37	1,07
20/10/1998				0,057		0,056	0,003		0,0024	0,53	0,53	0,89
20/10/1998				0,0592		0,063	0,0029		0,0025	1,71	0,38	0,85
20/10/1998						0,092			0,0035		0,71	
20/10/1998				0,0696	0,0593		0,0035	0,0035			1,05	
20/10/1998					0,0623			0,0035			0,36	
20/10/1998					0,0622			0,0035				
<b>19/01/1999</b>	21	21	19,5	0,0311	0,0268	0,036	0,008	0,0068	0,0084	0,36	0,22	0,39
19/01/1999				0,042		0,030	0,008		0,0088	0,87	0,37	1,09
19/01/1999				0,0375		0,035	0,0088		0,0092	1,40	0,37	0,22
19/01/1999						0,033			0,0084		0,67	
19/01/1999				0,0269	0,0514		0,0076	0,0086			1,08	
19/01/1999					0,0533			0,0082			0,34	
19/01/1999					0,0285			0,0088				
16-11-12		10	10		0,0576	0,0418		0,0059	0,0064		0,84	0,63
16-11-12					0,0381	0,0381		0,0071	0,0067		0,39	0,63
16-11-12					0,0427	0,0539		0,0062	0,0062		0,39	0,25
16-11-12					0,0364	0,0628		0,0054	0,0059		0,46	1,03
16-11-12					0,0583	0,0438		0,0064	0,0062		0,71	1,26
16-11-12					0,0353	0,0507		0,0056	0,0070		0,88	0,88
16-11-12					0,0338	0,0401		0,0054	0,0064		0,59	1,10
16-11-12					0,0493	0,0350		0,0056	0,0067		0,63	1,33
16-11-12					0,0424	0,0447		0,0046	0,0067			
16-11-12					0,0404	0,0424		0,0056	0,0056			
16-11-12						0,0470			0,0064			

## ANEXO 3 DATOS SOBRE FITOPLANCTON

Matriz de presencia de las especies registradas en los lagos construida en base al análisis de muestras cualitativas de red (malla de 55 µm) y muestras integradas de los ambientes.

APENDICE 3	PIRIHUEICO Hua-Hum	PIRIHUEICO Fuy	NELTUME Centro-norte	NELTUME Centro
Clorofíceas				
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	x	x		
<i>Binuclearia</i> sp.		x		
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	x	x	x	x
<i>Chlamydomonas</i> spp.	x	x	x	x
<i>Chlorella</i> spp.			x	x
<i>Desmidium</i> sp.	x	x		
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie		x		x
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	x	x		
<i>Pandorina</i> sp.	x	x	x	x
<i>Scenedesmus</i> sp.			x	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chordat	x	x	x	x
<i>Staurastrum</i> af. <i>planktonicus</i>	x			
<i>Ulothrix</i> sp.	x	x	x	x
Dinofíceas				
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	x	x	x	x
<i>Gymnodinium</i> af. <i>paradoxum</i>	x	x		
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	x	x	x	x
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	x	x		
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass			x	
Diatomeas				
<i>Achnanthes</i> spp.	x	x	x	x
<i>Amphipleura</i> af. <i>pellucida</i>			x	x
<i>Amphora</i> sp.			x	
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	x	x	x	x
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen		x		
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	x	x	x	x
<i>Cyclotella</i> af. <i>atomus</i>			x	x
<i>Cymbella</i> sp.			x	x
<i>Diploneis</i> sp.			x	x
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee		x		
<i>Eunotia</i> sp.				x
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	x	x	x	x
<i>Fragilaria</i> sp.			x	x
<i>Gomphonema</i> sp.			x	x
<i>Melosira varians</i> Agardh	x	x	x	x
<i>Navicula</i> af. <i>radiosa</i>			x	x
<i>Navicula</i> sp1.			x	x
<i>Navicula</i> sp2.			x	x
<i>Nitzschia</i> af. <i>linearis</i>			x	x
<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x	
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L. Smith	x	x	x	x
<i>Synedra</i> af. <i>acus</i>	x	x		
<i>Synedra</i> af. <i>ulna</i>	x	x	x	x
<i>Synedra</i> sp.	x		x	x
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	x	x	x	x
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	x	x	x	x
<i>Urosolenia</i> sp.	x	x	x	x

APENDICE 3, continuación.	PIRIHUEICO Hua-Hum	PIRIHUEICO Fuy	NELTUME Centro-norte	NELTUME Centro
Crisofíceas				
<i>Chromulina spp.</i>		X		X
<i>Dinobryon sp.</i>	X	X		
<i>Mallomonas sp1.</i>		X	X	X
<i>Mallomonas sp2.</i>			X	X
<i>Ochromonas sp.</i>			X	X
Criptofíceas				
<i>Cryptomonas af. erosa</i>	X	X	X	X
<i>Rhodomonas af. lacustris</i>	X	X	X	X
Cianobacterias				
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Aphanothece sp.</i>			X	
<i>Pseudoanabaena sp.</i>			X	X

Compendio de especies de fitoplancton encontradas en los lagos Pirehueico y Neltume. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

LAGO	Pirihueico		Pirihuico		Neltume		Neltume	
Estacion	Hua-Hum		Fuy		Centro-norte		Centro	
Volumen sedimentado (ml)	50		50		50		50	
Fecha								
	Cel/L	%	Cel/L	%	Cel/L	%	Cel/L	%
<b>Cloroficeas</b>								
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	0	0.0	640	0.2	0	0.0	0	0.0
<i>Binuclearia</i> sp.	0	0.0	560	0.2	0	0.0	0	0.0
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	240	0.1	1120	0.3	1040	0.2	1120	0.3
<i>Botryococcus</i> sp.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Chlamydomonas</i> spp.	93373	26.7	87880	26.7	43940	8.7	101611	23.6
<i>Chlorella</i> spp.	0	0.0	0	0.0	38448	7.6	38448	8.9
<i>Desmidium</i> sp.	320	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	0	0.0	320	0.1	0	0.0	160	0.0
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	80	0.0	80	0.0	0.2	0.0	0	0.0
<i>Pandorina</i> sp.	0	0.0	4480	1.4	0	0.0	5120	1.2
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0.0	0	0.0	80	0.0	0	0.0
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chordat	0	0.0	5120	1.6	28160	5.6	25600	6.0
<i>Ulothrix</i> sp.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1280	0.3
<i>Zygnema</i> sp.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>Dinoficeas</b>								
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	0	0.0	80	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Gymnodinium af paradoxum</i>	960	0.3	2080	0.6	0	0.0	0	0.0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	80	0.0	160	0.0	80	0.0	0	0.0
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	16478	4.7	10985	3.3	0	0.0	0	0.0
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	0	0.0	0	0.0	160	0.0	0	0.0
<b>Diatomeas</b>	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Achnanthes</i> spp.	2746	0.8	5492.5	1.7	16477.5	3.2	5492.5	1.3
<i>Amphora</i> sp.	0	0.0	0	0.0	80	0.0	0	0.0
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	16560	4.7	19520	5.9	0	0.0	0	0.0
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i>	0	0.0	1120	0.3	0	0.0	0	0.0
<i>Aulacoseira distanice</i> (Ehrenberg) Ralfs	p	0.0	0	0.0	0	0.0	p	0.0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg)	240	0.1	1280	0.4	6000	1.2	5520	1.3
<i>Centronella af. reicheltii</i> Voigt	0	0.0	0	0.0	0	p	0	0.0
<i>Cyclotella af. atomus</i>	0	0.0	0	0.0	5492.5	1.1	5492.5	1.3
<i>Cymbella</i> sp.	0	0.0	0	0.0	240	0.0	160	0.0
<i>Diatoma</i> sp.	p	0.0	0	0.0	p	0.0	0	0.0
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	0	0.0	p	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Diploneis</i> sp.	0	0.0	0	0.0	p	0.0	0	0.0
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow)	0	0.0	40	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Eunotia</i> sp.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	400	0.1
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1600	0.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Fragilaria</i> sp.	0	0.0	0	0.0	240	0.0	0	0.0
<i>Gomphonema</i> sp.	0	0.0	0	0.0	80	0.0	80	0.0
<i>Melosira varians</i> Agardh	0	0.0	0	0.0	1040	0.2	0	0.0
<i>Navicula af gregaria</i> Donkin	0	0.0	0	0.0	p	0.0	0	0.0
<i>Navicula af. radiosa</i>	0	0.0	0	0.0	16477.5	3.2	80	0.0
<i>Navicula</i> sp1.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	80	0.0
<i>navicula</i> sp2. (pequeña)	0	0.0	0	0.0	0	0.0	8238.75	1.9
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) Wm. Smith	0	0.0	0	0.0	160	0.0	0	0.0
<i>Nitzschia</i> sp1.	0	0.0	0	0.0	80	0.0	0	0.0

LAGO	Pirihueico		Pirihuico		Neltume		Neltume	
Estacion	Hua-Hum		Fuy		Centro-norte		Centro	
Volumen sedimentado (ml)	50		50		50		50	
<b>Diatomeas</b>								
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L. Smith	160	0.0	160	0.0	320	0.1	960	0.2
<i>Synedra afacus</i>	0	0.0	160	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Synedra afalna</i>	480	0.1	240	0.1	80	0.0	0	0.0
<i>Synedra sp.</i>	80	0.0	0	0.0	0	0.0	40	0.0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	22160	6.3	37120	11.3	0	0.0	1920	0.4
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	0	0.0	0	0.0	960	0.2	560	0.1
<i>Urosolenia sp.</i>	160	0.0	0	0.0	560	0.1	0	0.0
<b>Crisofíceas</b>								
<i>Chromulina spp.</i>	0	0.0	54925	16.7	0	0.0	10985	2.6
<i>Dinobryon divergens</i>	12000	3.4	16000	4.9	0	0.0	0	0.0
<i>Mallomonas sp. grandes nel</i>	0	0.0	40	0.0	720	0.1	800	0.2
<i>Mallomonas sp2. pequeñas nel</i>	0	0.0	0	0.0	80	0.0	1040	0.2
<i>Ochromonas sp.</i>	0	0.0	0	0.0	5492.5	1.1	16477.5	3.8
<b>Criptofíceas</b>								
<i>Cryptomonas sp1</i>	640	0.2	320	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Cryptomonas aferosa</i>	0	0.0	0	0.1	320	0.1	80	0.0
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Rhodomonas af. lacustris</i>	181253	51.8	79641.3	24.2	321311	63.3	197730	46.0
<b>Cianofíceas</b>								
<i>Anabaena sp.</i>	p	0.0	p	0.0	0	0.0	240	0.1
<i>Aphanothece sp.</i>	0	0.0	0	0.0	4000	0.8	0	0.0
<i>Pseudonabaena sp.</i>	0	0.0	0	0.0	15120	3.0	0	0.0
<i>Synsacoccus sp.</i>	p	0.0	0	0.0	p	0.0	0	0.0
<i>Total Cel /L</i>	349608	100	329564	100	507238	100	429715	100

Biovolumen y densidad de fitoplancton de los lagos Pirihueico y Neltume..

Parametros fitoplancton	PIRIHUEICO	PIRIHUEICO	NELTUME	NELTUME
	Hua-Hum	Fuy	Centro-Norte	Centro
Biovolumen total ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	1.43 E+08	1.91E+08	1.87E+08	1.49E+08
Densidad total (cell $\text{L}^{-1}$ )	349609	329564	507239	429715
BV Clorofíceas ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	13414652	34281041	57379202	69659133
BV Cianobacterias ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	0	0	42240	14966
BV Dinofíceas ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	56691596	67315302	8587659	0
BV Diatomeas ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	46565825	71474277	73242859	33631747
BV Crisofíceas ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	4116000	7712463	8812243	21447140
BV Criptofíceas ( $\mu\text{m}^3 \text{L}^{-1}$ )	22298885	9831242	38831642	23796173