



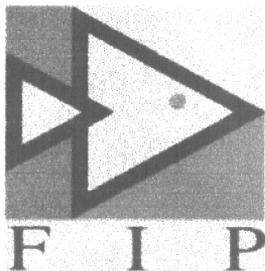
FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS F I P

FIP - IT / 97 - 39

INFORME : DETERMINACION DE LA CAPACIDAD
FINAL DE CARGA Y BALANCE DE FOSFORO
(TOMO I) Y NITROGENO DE LOS LAGOS RIESCO,
LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA EN
LA XI REGION

UNIDAD : UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
EJECUTORA



REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO
Y RECONSTRUCCION
SUBSECRETARIA DE PESCA
FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
(F.I.P.)



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE ZOOLOGIA

INFORME FINAL:

***“ DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA
Y BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO DE LOS
LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA ”
(METODOLOGIA Y RESUMEN)***

Investigador Principal:
† Prof. Dr. HUGO CAMPOS CERECEDA

VALDIVIA, MAYO, 1999

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE ZOOLOGIA**

INFORME FINAL

**“DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y
BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO DE LOS
LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA,
EN LA XIª REGION”
(METODOLOGIA y RESUMEN)**

Presentado por:

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Al :

FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
SUBSECRETARIA DE PESCA
MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y RECONSTRUCCION
REPUBLICA DE CHILE

Investigador principal:

† Prof.Dr. HUGO CAMPOS CERECEDA

VALDIVIA, MAYO de 1999

Dedicatoria:

A LA MEMORIA DE NUESTRO QUERIDO

MAESTRO Y AMIGO

Prof. Dr. HUGO CAMPOS CERECEDA (Q.E.P.D.)

AUTORES

- ◆ **Dra. LORENA VILLALOBOS**
Investigador Alterno; Dr.rer.nat. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Mg.Sc. MARIANO GRANDJEAN**
Coinvestigador; Magister en Ciencias, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Dr. ANTON HUBER**
Coinvestigador; Dr.rer.nat. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Dr. OSCAR PARRA**
Coinvestigador, Dr.rer.nat. Centro EULA, UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
- ◆ **Dr. CARLOS OYARZUN**
Coinvestigador; Dr. en Ciencias Ambientales; UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
- ◆ **Dra. EDILIA JAQUE**
Coinvestigador; Dr. en Ciencias Ambientales, Centro EULA; UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
- ◆ **Dr. (Cand.) CARLOS BERTRAN**
Coinvestigador, Dr. en Ciencias Ambientales, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Mg. Sc. ALEJANDRO BRAVO S.**
Coinvestigador, Magister en Ciencias, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Mg.Sc. DALBA AVILES**
Coinvestigador, Magister en Ciencias, UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
- ◆ **T.M. GLORIA AGUERO**
Coinvestigador; Tecnólogo Médico, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
- ◆ **Ing. ALBERTO AVILA**
Coinvestigador, Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

COLABORADORES

- ◆ **ROSA CARCAMO.** Encargada de Computación. Instituto de Zoología. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
- ◆ **RAUL ARRIAGADA.** Especialista en excursiones limnológicas. Instituto de Zoología. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
- ◆ **RUTH OLIVA.** Secretaria y Oficial de Laboratorio. Instituto de Zoología. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.



INDICE

INTRODUCCION	4
MATERIAL Y METODOS	
Capítulo 1: INGRESO DE NUTRIENTES A LA HOYA SEGUN EL USO DEL SUELO	6
Capítulo 2: INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES	8
Capítulo 3: INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIONES Y BALANCE HIDRICO	10
Capítulo 4: INGRESO AL LAGO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS CENTROS DE CULTIVO	13
Capítulo 5: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO DEL AGUA DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA	15
Capítulo 6: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN LOS SEDIMENTOS	17
Capítulo 7: EXPORTACION DE NITROGENO Y FOSFORO EN LAS MICROCUENCAS	17
Capítulo 8: BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO TOTALES DE LOS LAGOS Y SU BALANCE MASICO	19
Capítulo 9: DETALLAR METODOLOGIA PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE CARGA EN TERMINOS DE STOCK CULTIVABLE DE ESPECIES SALMONIDEAS EN LOS LAGOS	24
Capítulo 10: MODELO DE SIMULACION DE FOSFORO Y NITROGENO APORTADOS	25
Capítulo 11: AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVOS	25
RESUMEN DE LOS RESULTADOS	37
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	75



INTRODUCCION

El Fondo de Investigaciones Pesqueras ha adjudicado a la Universidad Austral de Chile el proyecto titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y BALANCE DE FÓSFORO Y NITRÓGENO DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA, EN LA XIª REGION"**. El Objetivo General de esta investigación consiste en: "Determinar la capacidad de carga, en términos de stock potencial cultivable de especies salmonídeas, considerando principalmente, el balance de fósforo y nitrógeno en los lagos mencionados". Para alcanzar el objetivo general se establecen los siguientes objetivos específicos:

- I. Estimar para cada lago, los aportes de fósforo y nitrógeno totales aportados al lago por las diferentes actividades desarrolladas en sus cuencas (silvoagropecuaria, pesquera, acuícola, turística, centros urbanos, etc.), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de ríos y de agua lluvia.
- II. Determinar, para cada lago, el balance másico de fósforo y nitrógeno totales considerando los flujos de entrada y salida.
- III. Estimar a través de un modelo de simulación, la capacidad de carga en términos de máximo stock cultivable de especies salmonídeas, en cada cuerpo lacustre.
- IV. Sensibilizar el modelo aplicado en función de las eventuales operaciones, considerando diferentes niveles de producción y localización en los lagos señalados. Asimismo, para cada nivel de producción se deberá estimar el período de tiempo en que esta actividad económica se desarrollará sin que alcance la carga crítica, que induzca cambio en la trofia del lago.

Este proyecto corresponde a una línea de investigación destinado a conocer la capacidad de carga de nutrientes que pueden soportar los lagos con respecto a los diferentes usos antrópicos tanto en el lago mismo como en la hoya circundante. A través de estos estudios el FIP ha asumido la realización de las investigaciones científicas necesarias para fundamentar "las medidas de protección del medio ambiente que deben cumplir los titulares de concesiones de acuicultura localizados en sistemas marítimos, lacustres y fluviales", establecido en los artículos 74° y 87° de la Ley de Pesca y Acuicultura.

El fósforo y nitrógeno constituyen dos nutrientes esenciales en la productividad fitoplanctónica de los lagos, una baja concentración de ellos puede inhibir el crecimiento de las algas, sin embargo un aumento exagerado en su concentración produce un impacto negativo en la trofia de los lagos, ya que al aumentar su concentración límite originan un aumento en la densidad y biomasa



fitoplanctónica, dicho aumento en la productividad fitoplanctónica es traspasado en la cadena trófica a la comunidad zooplanctónica y peces, involucrando así muchas veces al sistema en un proceso de eutroficación.

Los lagos reciben en forma natural estos dos nutrientes desde su cuenca de drenaje, a través de ríos afluentes, aguas de escorrentía y aguas lluvias. Los afluentes son los que contribuyen en mayor medida al aporte del fósforo y nitrógeno, ya que ellos reciben estos nutrientes de sus subcuencas de acuerdo a la conformación geoquímica de sus suelos, y el uso de ellos se relaciona a la cantidad de precipitaciones. El uso de ellos corresponde en forma natural a cubiertas de bosques naturales, los cuales han alcanzado un equilibrio con su entorno. El problema principal se origina cuando las cuencas de drenaje son intervenidas, cambiando el uso del suelo (agricultura, ganadería), desarrollando industrias, estableciendo poblaciones (ciudades, aldeas), turismo, acuicultura etc., estas actividades alteran el equilibrio, el cual como ya se ha demostrado en otros estudios, desencadena un ingreso incrementado de fósforo y nitrógeno en los sistemas acuáticos, lo que conlleva al aumento de trofia. Las investigaciones actuales, tienen por objetivo prevenir este proceso, y contar con la información científica necesaria que permita establecer las bases para desarrollar un equilibrio entre las actividades humanas y la naturaleza

En el presente volumen se entrega la metodología utilizada para alcanzar el objetivos general y objetivos específicos, para cumplir con los requisitos establecidos en la propuesta técnica, presentada por la Universidad Austral de Chile al Fondo de Investigación Pesquera. Además, se incluyen los antecedentes previos disponibles de las áreas de estudio en las cuales se desarrolló la presente investigación.

MATERIAL Y METODOS

AREA DE ESTUDIO

El presente proyecto corresponde al estudio denominado "Determinación de la Capacidad de Carga y Balance de Fósforo y Nitrógeno de los Lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida en la XIª Región" (Fig. 1).

- **Lago Riesco.** Pertenece al distrito de lagos Sur-Patagónicos de Chile. Su ubicación geográfica está en las coordenadas 45°46'S y 72°20'W. Este lago pertenece a la hoya hidrográfica del río Aysén, tiene un área superficial de 29.8 km², 22 km de largo, 1.5 de ancho, profundidad máxima de 230 m. En este lago Campos et al (1996) realizó un estudio de diagnóstico limnológico estacional, que corresponde a los únicos antecedentes disponibles. En el lago Riesco, actualmente se encuentran instalados dos Centros de cultivo de salmonídeos (Fig. 2).
- **Lago Los Palos.** Pertenece a la hoya hidrográfica del río Aysén, está ubicado entre las coordenadas 45°19'S y 72°42'W y a 7 m s. n. m.. Su área superficial se estima en 5 km², con una cuenca de drenaje de 220 km². A la fecha de inicio de este estudio no se disponía de mayores antecedentes limnológicos para este lago (Fig.3).
- **Laguna Escondida.** Pertenece a la hoya hidrográfica del río Cisnes. Está ubicada entre las coordenadas 44°49'S y 72°40'W, se estima que tiene un área de 7.0 km² y un área de drenaje de 248 km². Al igual que en el lago Los Palos no se tenían antecedentes limnológicos para esta laguna (Fig. 4).

➤ **Capítulo 1: INGRESO DE NUTRIENTES A LAS HOYAS DE LOS LAGOS SEGÚN EL USO DE LOS SUELOS**

- **Análisis hidrológico: Definición de Cuencas y Subcuencas**

El manejo de un sistema natural como una cuenca lacustre, debe realizarse considerando los factores externos al cuerpo de agua en la medida que son entradas, tanto de energía como de materia que en forma regular están ingresando al lago. Seleccionar y definir tanto el sistema hídrico mayor, como identificar los subsistemas hídricos que lo componen resulta necesario si se desea analizar en forma integrada un sistema natural de esta naturaleza.

Con el objeto de definir las cuencas y subcuencas de drenaje de las cuencas de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida, se utilizó la información topográfica entregada por las cartas escala 1: 50.000 del IGM. (Cartas Lago Copa I 85, Laguna de Las Torres I 86, Lago Presidente Rossvelt I 96, Lago Cóndor I 118, Lago Portales I 119, Puerto Aysén I 106); que permitió generar una base de datos, no solo de los límites de las cuencas, sino también de toda la red hidrográfica de la cuenca. Dicha información fue digitalizada en Arc-Info ©, e ingresada al SIG del mismo nombre, con el fin de obtener información morfométrica asociada a la red hidrográfica.

- **Morfometría de Pendientes**

La pendiente o grado de inclinación de una ladera, es una de las características físicas que aceleran procesos de gravedad y activan la dinámica de taludes asociada a las laderas, tales como: erosión de suelo en manto y cárcavas, deslizamientos, caídas de piedras y derrumbes. Siendo además, un factor condicionante de la potencialidad del suelo para determinados usos. La cartografía morfométrica de las cuencas lacustres de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida, se realizó en forma automática en Sistemas de Información Geográfica Arc info©, desde el cual se exportaron las curvas de nivel de cada cuenca y sus bases de datos asociada al SIG Idrisi ©, donde fueron ingresadas y manejadas a través de módulos, que permiten interpolar superficies a través de curvas de nivel. Los umbrales definidos son los siguientes: de 0 a 5° - 5.1° a 10° - 10.1° a 15° - 15.1° a 20° - 20.1° a 25° - 25.1° a 30° ; 30.1° a 35° y más de 35°; estos umbrales se asocian a los diversos procesos morfogenéticos que tienen lugar en las zonas de dominio de dichas pendientes, lo que nos permite definir zonas de riesgos gravitacionales y zonas de restricción a usos productivos del suelo. La misma información de base se utilizó para generar los modelos digitales de terreno primero en Idrisi© y luego mejorados en Surfer©.

- **El uso actual del Suelo**

Los distintos usos del suelo presentes en las cuencas de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida, se identificaron a través de la información generada por el Catastro de Bosque Nativo (CONAF, CONAMA, 1997) y de levantamiento en terreno. Esto permitió definir las diversas categorías de uso del territorio en las cuencas, los que en total corresponden a las siguientes clases: Praderas, Matorral-Pradera, Matorrales, Bosque adulto, Renoval, Bosque adulto/renoval, Krummholz, Humedales, Areas desprovistas de vegetación, Nieves y glaciares. Dicha información fue manejada en el Sistema de Información Geográfica Idrisi©, donde se analizaron los aspectos relativos a las superficies ocupadas por cada uso en la cuenca y en las subcuencas correspondientes.

➤ **Capítulo 2: INGRESO DE NUTRIENTES AL LAGO A TRAVES DE SUS AFLUENTES**

De acuerdo a la red hídrica obtenida de la carta base del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50.000) se diseñó el muestreo de la carga de nitrógeno y fósforo que ingresa a los lagos desde los afluentes. El criterio utilizado para seleccionar los ríos, se hizo sobre la base del número de orden y caudal del afluente. Para ello se muestrearon un total de 9 afluentes en el lago Riesco, 3 en el lago Los Palos, y 6 en laguna Escondida; además, del efluente de cada uno de estos lagos (Fig. 2, 3 y 4). En cada uno de los afluentes y efluentes, se midieron mensualmente en el período comprendido entre los meses de abril 1998 a marzo de 1999, los siguientes parámetros: perfil del río, velocidad de la corriente, caudal, temperatura, color, turbidez, pH, conductividad, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, fósforo soluble, fósforo total, seston total (fracciones orgánica e inorgánica) y componentes biológicos (coliformes totales y fecales). Las muestras de agua para los análisis químicos de los ríos se obtuvieron, tomando una muestra superficial, por medio de una botella Ruttner de 2 litros. de capacidad.

◆ **Componentes Físicos**

- **Perfil del río:** Se midió en el último sector del cauce del río cerca de su desembocadura en el lago, determinándose el ancho con huincha metálica y la profundidad en un mínimo de tres puntos en la sección. Con estas dos mediciones posteriormente se calculó el área del río para luego ser utilizada en el cálculo del caudal.
- **Velocidad de la corriente:** En los mismos puntos en que se midió el perfil del río, se obtuvo un registro de la velocidad de la corriente mensualmente, usando un flujómetro portátil, marca GLOBAL PROBE MODEL FP101.
- **Caudal:** el cálculo del caudal para cada uno de los ríos, se realizó usando las mediciones del área de la sección y la velocidad de la corriente, estos datos fueron ingresados a una planilla electrónica (QPRO), que efectúa los cálculos del caudal.
- **Temperatura:** en cada río se registró la temperatura con un termómetro digital WTW, el cual fue introducido directamente en el agua.
- **Color:** se midió en laboratorio usando un espectrofotómetro con longitud de onda de 440 nm, las unidades están dadas en unid. Pt-Co.
- **Turbidez:** se midió en un espectrofotómetro con longitud de onda 440 nm y unidades de turbidez en mg/l de sílice (SiO₂).



◆ **Componentes Químicos**

- **pH:** fue medido directamente en el río con un pH metro portátil marca WTW.
- **Conductividad:** se midió en terreno utilizando un conductivímetro portátil marca WTW, las unidades están dadas en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C.
- **Nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$):** se utilizó el método colorimétrico de salicilato de sodio y sal de Seignette. De este nitrógeno de nitrato se obtuvo el valor del nitrato (NO_3). Rango del método: 1-2000 $\mu\text{g/l}$.
- **Nitrógeno de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$):** se determinó a través del método colorimétrico de sulfamilamida y N-Naftil etilendiamina dicloro. A partir de esta medición se obtiene el nitrito (NO_2). Rango del método: 1-20 $\mu\text{g/l}$.
- **Nitrógeno de amoníaco ($\text{NH}_3\text{-N}$):** se determinó mediante el método del Indofenol azul, hipoclorito de sodio (método de Solorzano), a partir de este se obtiene el amonio (NH_4^+). Rango del método: < 1-1000 $\mu\text{g/l}$.
- **Nitrógeno orgánico:** se utilizó el método de Kjeldahl mediante digestión con ácido sulfúrico. A través de este método se obtuvo el "nitrógeno Kjeldahl", al cual se le resta el nitrógeno de amoníaco (N-NH_3), cuantificando, a través de esta diferencia, el nitrógeno orgánico. Rango del método: 10-1000 $\mu\text{g/l}$.
- **Nitrógeno total:** se obtuvo a partir de la sumatoria de las concentraciones de: nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno orgánico.
- **Fósforo soluble u ortofosfato:** fue medido en el laboratorio con ácido ascórbico siguiendo el método de tartrato antimónico de potasio. Rango del método: 1-100 $\mu\text{g/l}$.
- **Fósforo total:** se determinó mediante el método de tartrato antimónico después de una digestión con ácido sulfúrico y perhydrol al 30 %. Rango del método: 1-200 $\mu\text{g/l}$.
- **Seston total, orgánico e inorgánico:** se cuantificó filtrando un litro de agua a través de un filtro de fibra de vidrio (0.45 μm de porosidad), previamente tarado, posteriormente el filtro con material particulado se secó a 60°C durante 24 horas, hasta peso constante, luego fue tarado nuevamente obteniendo por diferencia el peso seco del material particulado. Para obtener la fracción orgánica e inorgánica, el filtro fue incinerado durante 6 horas en Muffla a 550°C, quedando como residuo solo las cenizas (material inorgánico). Finalmente, el filtro se pesó nuevamente y por diferencia se cuantificó la fracción orgánica.



◆ **Componentes biológicos**

- **Análisis bacteriológico:** Este análisis se realizó solamente una vez en el año durante el verano en los ríos analizados. Se determinó la cantidad de Coliformes fecales y totales. Estas bacterias son indicadoras de contaminación fecal y su presencia se usa para calificar la calidad de aguas recreacionales. La cuantificación de este parámetro se realizó con el medio MF-C (APHA, 1976), filtrando 100 ml de agua muestreada e incubando los filtros en una placa a 44.5 °C en un baño termostático por 24 hrs.

➤ **Capítulo 3: INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIONES Y BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA**

- **Aporte de nutrientes a través de agua lluvia.** Para determinar la concentración de nutrientes que ingresaron a través del agua lluvia, se instaló un colector de agua de lluvia automático de 1 m² de superficie, conectado a un recipiente de vidrio Pyrex. Las muestras se obtuvieron cuando coincidieron, la ocurrencia de precipitaciones con los muestreos en cada una de las cuencas lacustres. La muestra de agua lluvia fue preservada en frío hasta su análisis. En el agua lluvia se analizaron los contenidos de nutrientes fósforo total y nitrógeno total, de acuerdo a la metodología descrita anteriormente (capítulo 2).
- **Balance hídrico:** El ciclo hídrico es un modelo de circulación general que implica un despliegue complejo de los movimientos y transformaciones del agua. Conocer el valor de cada uno de los componentes del balance hídrico es un antecedente indispensable para estimar la capacidad de carga y balance de nutrientes de una cuenca lacustre. Para poder determinar los aportes de agua que llegan a toda la cuenca se utilizan diferentes metodologías y aproximaciones; en los párrafos siguientes se enumeran las metodologías que fueron utilizadas para establecer el balance hídrico en las cuencas de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida.

Para establecer el balance hídrico de una cuenca se tiene que cuantificar cada uno de los componentes del ciclo hídrico (1).



$$P + Qa - Qe + \Delta W - Evtr - Ev = 0 \quad (1)$$

donde:

- P = aportes de agua por precipitación
- Qa = caudal del afluente
- Qe = caudal del efluente
- Evtr = evapotranspiración y variación del contenido de agua edáfica de las vertientes que desembocan al lago
- Ev = evaporación desde la superficie del lago
- ΔW = variación del contenido de agua del lago

La cuantificación de los diferentes componentes del balance hídrico para los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida se hizo para la temporada mayo 1998 / marzo 1999, considerando en el análisis de los datos períodos trimestrales. Durante abril se llevó a cabo la prospección de las cuencas, la instalación, prueba y calibración de los equipos en terreno.

Período 1	10 mayo 1998 - 14 julio
Período 2	15 julio - 03 septiembre
Período 3	04 septiembre - 16 noviembre
Período 4	17 noviembre - 10 enero 1999
Período 5	11 enero - 25 marzo 1999

- **Precipitación**

Para determinar los aportes de agua que llega a cada una de las cuencas por precipitación (P), se instaló una serie de pluviómetros totalizadores. Estos instrumentos se ubicaron sólo en las zonas accesibles de las vertientes de los respectivos lagos. Las impenetrables y extensas hoyas hidrográficas de los lagos, que en algunos casos nacen en vastos territorios de glaciales o terrenos montañosos de topografía muy escabrosa, no permitió instalar un mayor número de pluviómetros en estas zonas. La ubicación de cada uno de los pluviómetros totalizadores por cuenca se muestran en las figuras 5, 6 y 7.

- **Variación del contenido de agua de los lagos**

La variación temporal del contenido de agua del lago (ΔW), como consecuencia de la variación en altura del espejo de agua, se calculó a partir de la diferencia del contenido de agua del lago entre dos



períodos consecutivos. Para esta estimación se utilizó la información de las estaciones limnimétricas, ubicadas en la desembocadura de los correspondientes lagos. Para esto se instalaron limnímetros automáticos de registro continuo, los cuales cada 10 minutos registraron la altura del espejo de agua. Estos datos fueron almacenados en un Data logger. En el análisis posterior, las diferencias de nivel se multiplicaron por la superficie del correspondiente lago para calcular el volumen de agua involucrada en este parámetro.

- **Evaporación**

La pérdida de agua por evaporación desde la superficie de cada uno de los lagos (E_v), se consideró equivalente a la evaporación registrada en una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio.

- **Evapotranspiración y variación del contenido de agua edáfica de las vertientes.**

Este parámetro (E_{vtr}) se pretendía determinar en forma indirecta (Ecuación 2), lo que no fue posible de realizar, debido a que no se pudo medir en forma continua el caudal del afluente principal (Q_a) en cada uno de los lagos.

$$P + Q_a - Q_e + \Delta W - E_v = E_{vtr} \quad (2)$$

La superficie de las cuencas que drenan directamente a los lagos son relativamente pequeñas en comparación a la extensión total de la cuenca hidrográfica de cada uno de los lagos. Debido a ello, las pérdidas de agua por evapotranspiración desde las vertientes y la variación de la reserva de agua del suelo de estas superficies no fueron consideradas en el cálculo del balance hídrico de los correspondientes lagos.

- **Aportes de agua por el río afluente**

El aporte de agua del afluente principal de cada lago se pretendió determinar con la información entregada por la estación limnimétrica, ubicada cerca de la entrada a los respectivos lagos. Esta metodología no fue posible utilizar, especialmente durante los períodos muy lluviosos o cuando se producían los deshielos, porque los ríos afluentes se hacían extremadamente caudalosos, lo que no permitió su aforo. Además, los ríos en estas oportunidades se desbordaban y penetraban por varios cauces a los lagos, lo que hacía imposible determinar su caudal. Debido a esta situación, se tuvo que utilizar una metodología alternativa; ella consistió en determinar periódicamente el aporte de agua de algunas microcuencas, ubicadas en las vertientes que drenaban directamente hacia cada lago. Este antecedente se utilizó para estimar la cantidad total de agua que llegó a cada lago (A_v).

Con los limnigrafos instalados en la desembocadura de los lagos, se estableció la variación temporal del caudal de los respectivos ríos efluentes.

Una vez que fue determinada, la cantidad de agua que llegó a la superficie de cada lago por precipitación, la que escurrió directamente desde las vertientes de las laderas a los lagos, las pérdidas de agua por evaporación desde la superficie de los lagos, la variación del contenido de agua de los lagos y los montos de los caudales del efluente de cada uno de los lagos, se pudo calcular en forma indirecta el aporte de agua de los afluentes principales de ellos (ecuación 3).

$$P + Q_e + \Delta W - E_{vtr} + A_v - E_v = Q_a \quad (3)$$

➤ **Capítulo 4: INGRESO AL LAGO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS CENTROS DE CULTIVO**

• **Análisis de alimento**

En la totalidad de los centros de cultivo de salmonídeos que desarrollan la fase de agua dulce o producción de smolt, se utilizan exclusivamente alimentos secos. Estos corresponden básicamente a los llamados alimentos "pellet" clásico y/o extruído.

El muestreo de alimento se realizó estacionalmente, el alimento se extrajo directamente desde los recipientes de alimentación de las balsas jaulas, sacando una muestra representativa de los diferentes calibres utilizados en cada época del año en que se efectuarán los muestreos. Por lo cual, se muestrearon los denominados alimentos "crumble" calibres 2, 3 y 4 y los "pellet" calibres 1.5 y 1.8.

Las muestras de alimento fueron conservadas en seco y trasladadas hasta el Laboratorio de Fitoquímica, dependiente del Instituto de Producción y Sanidad Vegetal de la Universidad Austral de Chile, en Valdivia. En esta unidad se procedió a realizar la determinación de materia seca, nitrógeno total y fósforo total contenido en los alimentos.

La determinación de materia seca se hizo a través del método gravimétrico, después de secar la muestra a 105°C por 48 horas. La cuantificación del nitrógeno total se hizo mediante el método de Micro Kjeldahl. La cuantificación del contenido de fósforo total se hizo de acuerdo a la metodología descrita por el AOAC (1984).



- **Obtención de sedimentos**

La tasa de sedimentación se calculó a partir de muestras obtenidas mediante el uso de trampas de sedimentación, consistentes en tubos de PVC de 10.3 cm de diámetro, cerradas en su parte inferior, manteniendo la relación 1:7 para evitar la resuspensión del material ya sedimentado. Las trampas fueron instaladas durante períodos de 24 y 72 horas. Luego de completado cada período fueron tapadas y retiradas. Para asegurar una cantidad de muestra apropiada para los análisis químicos, se dispuso de 5 soportes metálicos conteniendo seis trampas cada uno.

Las trampas de sedimentación fueron instaladas sólo en el lago Riesco, con ayuda de buzos autónomos, los que procedieron en cada ocasión a verificar la correcta instalación de los soportes y tubos colectores. Durante la faena de instalación y posterior recuperación, los tubos permanecieron tapados, con la finalidad de evitar la pérdida y mezcla del material sedimentado. Luego de recuperados, fueron depositados sobre la embarcación, en canastillos metálicos, con el fin de mantener la posición vertical y evitar su vuelco. A cada tubo se agregó 1 ml de HCl 0,2 N para permitir una mayor velocidad de decantación del material particulado. Las muestras se tomaron por replicado ($n = 5$) eligiéndose al azar desde diferentes tubos recolectores (trampas) provenientes del mismo sitio de muestreo.

Para las determinaciones de nitrógeno total, se realizó una digestión con ácido sulfúrico y un catalizador de selenio que lleva sales de cobre, durante dos horas. Posteriormente se realizó la determinación colorimétrica con reacción de salicilato de sodio y nitroprusiato de sodio (Fassbender & Bornemisza, 1987).

Para las determinaciones de fósforo total se realizó una extracción con ácido clorhídrico (3 %) durante tres horas y una determinación colorimétrica con el método del monovanadato de amonio, complejo amarillo (Fassbender & Bornemisza, *op. cit.*).

Para las determinaciones de carbono total, se realizó una digestión con dicromato de potasio en medio ácido sulfúrico en caliente. Posteriormente una determinación colorimétrica, usando oxalato de sodio como patrón de carbono (Chapman, 1957).

Para determinar los niveles de significancia entre las muestras, se realizaron análisis de varianza una vía y cuando las varianzas fueron heterogéneas se utilizó el test de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1969).



➤ **Capítulo 5: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN EL AGUA DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA**

• **Batimetría de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida**

Para la elaboración de la cartografía batimétrica de los lagos Los Palos y laguna Escondida, se realizaron perfiles batimétricos en zig-zag cubriendo toda la superficie de los lagos. Los cortes batimétricos se obtuvieron con un ecosonda LOWRENCE X-16 de 192 khz de frecuencia, cuyos perfiles fueron interpolados a isolíneas de igual profundidad, sobre una base cartográfica del contorno de lago, escala 1:20.000. Posteriormente, los datos obtenidos se digitalizaron en Autocad®, desde donde se exportaron al SIG Idrisi®, que permite elaborar una imagen con coordenadas X, Y, Z (siendo el valor Z la Profundidad). Los archivos así generados, se ingresaron al Surfer®, donde fue posible la interpolación de los puntos y la generación de imágenes tridimensionales representativas de la topografía de fondo del lago. Además permitieron obtener datos asociados al volumen y área total por estratos, para cada uno de los lagos analizados. El manejo de dicha información permitió calcular todos los parámetros morfométricos y elaborar gráficos y curvas hipsográficas. Para el lago Riesco se utilizó la base de datos obtenida de Campos et al (1996), la cual fue digitalizada y procesada de acuerdo a la metodología antes descrita, para la obtención del modelo tridimensional.

• **Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos**

Para la realización de los análisis físicos, químicos y biológicos, en el lago Riesco se eligieron 2 estaciones de muestreo, cuya localización se muestra en la figura 2. En la estación 1 se tomaron muestras a las siguientes profundidades: 0.1, 15, 30 y 80 metros, y en la estación 2 a los: 0.1, 15, 60 y 120 metros. En el lago Los Palos se muestreó en una estación a 0.1, 15, 30 y 60 metros de profundidad (Fig. 3). En la laguna Escondida se obtuvieron muestras en dos estaciones, en la estación 1 las profundidades fueron 0.1, 15, 30 y 50 metros, y en la estación 2 a los: 0.1, 15, 30 y 60 metros (Fig. 4). El criterio utilizado para la elección de las profundidades en cada uno de los lagos, se fundamentó en la obtención de muestras representativas de la columna de agua desde la superficie al fondo.

Las muestras de agua, para análisis químicos, se obtuvieron mediante una botella Van Dorn de 6 litros. Los parámetros medidos fueron los siguientes: Perfil de Temperatura; Perfil de luz; Transparencia; Color; Turbidez; pH, Conductividad; Oxígeno disuelto; Nitrato; Nitrito; Amonio; Nitrógeno orgánico; Nitrógeno total; Fósforo soluble; Fósforo total; Seston Total (fracción orgánica e



inorgánica). Los métodos utilizados para la cuantificación de los parámetros químicos están mencionados en el capítulo 2, correspondiente al Ingreso de nutrientes al lago por medio de sus afluentes. Dentro de los componentes biológicos se cuantificó la presencia de: Bacterias (coliformes totales y fecales), Clorofila "a", Fitoplancton y Zooplancton.

- **Temperatura del agua.** Se midió el perfil térmico en la columna de agua por medio de un Batitermógrafo marca Kalshico.
- **Transparencia.** Se midió con un disco Secchi, se expresa en unidades de metros.
- **Luz.** El perfil lumínico ($\mu E \cdot s \cdot cm^2$) se obtuvo con un fotómetro Li-Cor, con registros en intervalos de medio metro desde la superficie hasta los 7 metros de profundidad, y en intervalos de un metro desde esta profundidad hacia los estratos profundos.
- **Oxígeno disuelto.** Se utilizó el método de Winkler, los valores se entregan en mg/l.
- **Clorofila "a".** Los pigmentos fotosintéticos fueron obtenidos previa filtración una muestra de agua en un filtro milipore, posteriormente la clorofila "a", se extrajo en acetona al 90% (SCOR-UNESCO, 1969). Las absorvancias fueron medidas en un espectrofotómetro SHIMADZU UV-150-02.
- **Fitoplancton.** Las muestras de fitoplancton se obtuvieron, paralelamente a la toma de muestras de agua para análisis físicos y químicos. Para el análisis cuantitativo de fitoplancton en el lago Riesco y laguna Escondida se muestreó en las dos estaciones, antes mencionadas, en las profundidades de 1, 5, 10, 15 y 30 metros. Para el lago Los Palos las muestras fueron tomadas en la estación antes indicada, y a idénticas profundidades. Las muestras de fitoplancton se obtuvieron a partir del volumen de agua muestreado con la botella Van Dorn de 6 litros de capacidad. Estas consisten en un volumen de 150 ml, las que fueron preservadas con lugol. El recuento cuantitativo de fitoplancton se efectuó empleando un microscopio Zeiss WL equipado con contraste de fases e interferencia, de acuerdo a la metodología de Utermöhl (1958). Los resultados se expresan en valores de densidad (cel/l) y biomasa ($\mu g/l$ o pg/l). Adicionalmente, para un análisis cualitativo de la comunidad fitoplanctónica se realizaron arrastres verticales con una red sin mecanismo de cierre.
- **Zooplancton.** Durante el período de estudio se realizaron muestreos mensuales de la comunidad zooplanctónica de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida. Para la obtención de las muestras se utilizó una red de cierre Ruttner (Hydrobios), cuyo diámetro de boca es de 9.0 cm de diámetro, con una abertura de malla de $55 \mu m$. La red fue arrastrada verticalmente cubriendo la columna de agua desde 50-0 metros de profundidad. Dentro de la columna vertical se eligieron diferentes estratos: 50-30, 30-20, 20-15, 15-10, 10-6, 6-3 y 3-0 metros. Las muestras fueron



fijadas con formaldehído alcanzando una concentración final de 4%. Para el recuento de las muestras se utilizó un microscopio estereoscopio Leitz a diferentes magnitudes. En las muestras se realizó el recuento de los Crustácea y Rotífera. El número de organismos encontrados en la columna de agua se expresa como número de individuos por metro cúbico.

➤ **Capítulo 6: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN LOS SEDIMENTOS DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA**

El muestreo de los sedimentos del fondo de los lagos Riesco, los Palos y Escondida se realizó mediante una draga tipo Emery 232 cm². En el lago Riesco y laguna Escondida se consideraron dos estaciones de muestreo, ubicadas, en cada caso, en las cercanías del afluente principal y el desagüe. Para el Lago Los Palos se consideró una sola estación de muestreo, ubicada en el centro del lago. Para la determinación de las características texturales del sedimento, sus contenidos de materia orgánica y nutrientes (P, N y C); en cada lago, se obtuvieron, por sitio de muestreo, 4 réplicas durante el invierno y 5 réplicas en verano. La cuantificación de los contenidos de materia orgánica por fracciones, se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Anderson et al. (1981).

Los análisis texturales del sedimento y contenidos de materia orgánica total (n = 4, invierno y n = 5, verano) se realizaron en los laboratorios del Instituto de Zoología; mientras que, la determinación de los nutrientes en los sedimentos (n = 3), en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile. Siguiendo la metodología descrita, anteriormente, en el capítulo 4.

➤ **Capítulo 7: EXPORTACION DE NITROGENO Y FOSFORO EN MICROCUENCAS**

En este estudio se determinaron los efectos de los distintos usos del suelo sobre las concentraciones y la exportación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Para ello, se trabajó con una aproximación experimental de microcuencas, las cuales están situadas dentro de las hoyas del lago Riesco y laguna Escondida.

• **Areas de Estudio**

El diseño experimental propuesto originalmente para este estudio incluía el monitoreo de fósforo y nitrógeno en dos o tres puntos a lo largo de un cauce principal, para conocer las variaciones de estos

nutrientes cuando se pasaba de un uso del suelo a otro distinto. Esto no fue posible de realizar, porque la mayoría de los ríos que drenan las cuencas de estos lagos son inaccesibles en sus partes altas. Por lo tanto, se optó por realizar un diseño experimental modificado, que incluyó la selección de 3 microcuencas representativas de los distintos usos del suelo de toda el área de estudio: (a) bosque nativo denso, (b) bosque semidenso alterado, y (c) bosque-matorrales-praderas. La ubicación de estas microcuencas se muestran en las figuras 8 y 9. En la cuenca del lago Los Palos, no se consideró ninguna microcuenca por la imposibilidad de instalar instrumentos en algún lugar adecuado. Sin embargo, los resultados obtenidos en las otras microcuencas son válidos para similares usos del suelo de este lago, porque los suelos y coberturas vegetales son semejantes.

• **Mediciones Experimentales**

Las microcuencas en estudio se seleccionaron con ayuda de información de uso del suelo del Proyecto Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos (CONAF-CONAMA), y verificación de terreno. Además, se consideró que tuvieran acceso expedito durante todo el año, un adecuado resguardo de los instrumentos y lugares relativamente estables del cauce principal, necesario para realizar los aforos mensualmente.

En las tres microcuencas se instalaron limnímetros registradores del caudal y se programaron para que almacenaran información de la altura del nivel de agua cada 15 minutos. Con ayuda de aforos mensuales, realizados en la sección del cauce donde estuvieron instalados los instrumentos, se establecieron las ecuaciones de regresión respectivas que permitieron determinar los caudales en base horaria (Figs. 10, 11 y 12), durante todo el período de mediciones.

Mensualmente, en las tres microcuencas se recolectaron muestras de agua para determinar las concentraciones de las distintas formas de nitrógeno y fósforo. Las muestras fueron pre-tratadas, almacenadas y luego transportadas al Laboratorio de Química del Agua del Instituto de Zoología (Universidad Austral de Chile), donde se utilizaron los métodos analíticos descritos en el capítulo 2. La exportación de fósforo y nitrógeno de las microcuencas se calculó combinando el caudal total de agua de cada período, determinados con la información proveniente de los limnímetros, con la concentración de nitrógeno y fósforo medidos en el punto medio del período. Luego, se dividió la exportación mensual de fósforo y nitrógeno de cada microcuenca (mg/mes) por el área de la cuenca respectiva (m²), para obtener las cantidades exportadas por unidad de área (mg/m² mes).

➤ **Capítulo 8: BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO TOTALES DE LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA Y BALANCE MASICO**

La metodología propuesta para este análisis en el caso del fósforo es la de Vollenweider (1976) adaptada por Dillon y Rigler (1978). Además, se siguieron las metodologías de Bachmann (1984) y Lorraine et al. (1989) para determinar la carga predictiva de nitrógeno. Las fórmulas que se aplicaron a cada lago de este proyecto se describen a continuación.

• **Carga de fósforo o nitrógeno total de los afluentes al lago**

$$L[p] = \frac{Q_1 * [P]_1 + Q_2 * [P]_2 + \dots + Q_n * [P]_n}{A_o}$$

donde:

L[p]= carga de fósforo (nitrógeno) en mg/m²*año

Q₁ = caudal del afluente anual. Los números de cada uno de los valores de Q corresponde a un afluente.

P = concentración de fósforo que corresponde al afluente del cual se ha medido el caudal

A_o = área del lago

Esta fórmula nos permite conocer la cantidad de fósforo (o nitrógeno) que aportan los afluentes durante un periodo de tiempo determinado, considerando su caudal. Este valor de carga está referido a unidades de superficie, al relacionarlo con el área del lago. Los resultados, posteriormente pueden ser convertidos a valores volumétricos

• **Carga de fósforo y nitrógeno del agua de lluvia**

$$L[p] = Pp * ([p] / A_o)$$

donde:

L[p] = carga de fósforo (nitrógeno) en mg/m² * año

Pp = precipitación anual sobre cada lago.

[p] = concentración promedio de fósforo (nitrógeno) en el agua de lluvia.

A_o = Area superficial del lago



Se consideran las concentraciones de fósforo o nitrógeno contenidas en el agua lluvia caída sobre el espejo de agua de cada lago, durante el periodo de estudio.

- **Carga directa de las aguas residuales (L_{DS})**

Las concentraciones de nutrientes (P y N), provenientes de las aguas residuales se calcularon, a través de los antecedentes recopilados de una encuesta realizada en toda el área que cubre la cuenca de los lagos. En dicha encuesta se cuantificó el número de habitaciones con uso permanente y de uso durante el verano; además, se obtuvo información sobre número de personas que habitan dichas instalaciones y el número de días de permanencia. Con esta información se calculó la carga total aportada a través de las aguas residuales, aplicando la fórmula propuesta por Dillon y Rigler (1974).

$$J_A = K (\text{kg} \cdot \text{capita}^{-1} \text{ año}^{-1}) * N (\text{capita}) * (1 - R_s) * T (\text{capita} \cdot \text{habitac}^{-1} \text{ año}^{-1})$$

donde:

J_A = abastecimiento artificial de fósforo (nitrógeno)

K = para el caso del fósforo $K=0.8$ kg de fósforo por persona al año lo que corresponde a 2.19 gramos por persona al día. Para el caso del nitrógeno $K=3.8$ kg que equivalen a 10.4 gr de nitrógeno por persona al día (Dillon y Rigler, 1974)

N = corresponde al número de habitantes

R_s = es el coeficiente de retención de fósforo total para fosas sépticas de acuerdo a la capacidad de filtración del suelo (filter bed) (Brandes et al. 1974). Se calculó un R_s de 0.30 para las fosas sépticas y 0.1 para los pozos negros con suelo de arena volcánica, de acuerdo a la tabla de Brandes et al (1974).

T = es el número promedio de días de uso de las edificaciones al año por habitante.

El cálculo se hizo en forma independiente para los diferentes tipos de sistemas de eliminación de aguas residuales. Posteriormente, se realizó la sumatoria de los aportes calculados para fosas sépticas y Pozos negros.

- **Aporte por centros de cultivo de salmonídeos (L_G)**

El balance de P y N por concepto de ingreso de nutrientes a través de los alimentos para peces, se realizó de acuerdo a las estimaciones desarrolladas en el modelo de producción de peces, y a los retrocálculos de las cantidades de alimento necesarias para lograr dichas producciones de smolts.

Además, se integraron a estas determinaciones los análisis efectuados directamente a los alimentos para cuantificar las cantidades de Nitrógeno y Fósforo presentes en estos (capítulo 4).

Con estos antecedentes, más las cuantificaciones del contenido de Nitrógeno y Fósforo presente en los peces, fue posible cuantificar los aportes de N y P, por parte de los centros de cultivo de peces.

El cálculo acerca de las cantidades de alimento empleadas en el proceso productivo se hicieron considerando como base un factor de conversión de 1.5.

Esta información fue manejada considerando una ecuación de balance en que la entrada de N/P es igual a la suma de las cantidades de N/P presentes en la producción de peces más las cantidades de estos nutrientes que son eliminadas como desechos.

$$\text{N/P en alimento} = \text{N/P en Peces} + \text{N/P en desechos}$$

- **Balance másico**

Se calculó de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$L_{\text{int}} = L_{\text{out}} - L_{\text{ext}} \pm TP.$$

donde:

L_{int} = carga interna de fósforo o nitrógeno durante un intervalo de tiempo.

L_{out} = pérdida de fósforo o nitrógeno total en la columna de agua durante un intervalo de tiempo

L_{ext} = entrada externa de fósforo o nitrógeno total en la columna de agua durante un intervalo de tiempo.

$\pm TP$ = diferencia positiva o negativa de fósforo o nitrógeno total en la columna de agua durante un intervalo de tiempo.

Lorraine (1990) calcula el balance de nitrógeno total en una forma simple de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_{\infty} = N_j - N_w$$

donde:

N_{∞} = contenido de nitrógeno total anual del lago

N_j = carga de nitrógeno total (entrada) anual al lago.

N_w = salida de nitrógeno total anual del lago



Un valor positivo revela que está saliendo del lago una menor cantidad de nitrógeno que el ingreso, lo que significa sedimentación; mientras que un valor negativo significa que existe un aporte extra de nitrógeno, desde los sedimentos (carga interna).

• **Balance predictivo: cálculo de la concentración de fósforo total , de acuerdo a la carga medida**
El balance predictivo de fósforo total se desarrolló a través del modelo de Vollenweider (1968, 1976), Vollenweider y Dillon (1974); Dillon y Rigler (1974) y Jorgensen y Vollenweider (1989), este permite predecir la concentración de fósforo total de un lago de acuerdo a la carga que posea en un tiempo determinado. El balance predictivo se fundamenta básicamente en la carga de fósforo total presente en el lago, tiempo de retención del fósforo en el lago y salida de fósforo total del lago. Sobre la base de la carga de fósforo total cuantificada en el período de estudio, se calculó la concentración de fósforo total que teóricamente tendría el lago de acuerdo a la fórmula de Dillon y Rigler (1974).

$$[P] = \frac{LP * (1 - R)}{z * f}$$

donde:

LP = carga de fósforo total que ingresa al lago, a través de las distintas fuentes.

z = profundidad promedio

f = capacidad de renovación anual

1 - R = coeficiente de retención de fósforo R, se calculó según la fórmula de Larsen & Mercier (1976).

$$R(P) = \sqrt{tw} / (1 + \sqrt{tw})$$

donde:

tw = renovación teórica del volumen de agua del lago

Cálculo del tiempo de residencia:

$$tw = (V/Q)$$

donde:

V = volumen del lago (km³)

Q = caudal medio anual del efluente (km³)

En general, las fórmulas del balance predictivo están hechas especialmente para el fósforo que tiene una alta tasa de sedimentación a través de la materia orgánica. Para el nitrógeno es más difícil su cálculo ya



que un alto porcentaje permanece en disolución y presenta procesos de nitrificación como ganancia o desnitrificación como pérdida. Esto significa que el nitrógeno tendría un tiempo de retención inferior que el fósforo.

Los cálculos de balance de nitrógeno siguen las mismas fórmulas anteriores con excepción del tiempo de retención. Por lo tanto, el cálculo predictivo se utilizó la fórmula de Bachmann (1984), la cual permite estimar la carga de nitrógeno total, a partir de la concentración promedio anual y el modelo de Vollenweider (1976) con la ecuación de Dillon y Rigler (1974), el cual está diseñado para el fósforo; pero utilizando un coeficiente de retención (R), 16% menor al utilizado para el fósforo. Así, es posible calcular la concentración de nitrógeno total, a partir de la carga medida; .

Fórmula de Bachmann (1984)

$$\ln(L) = 3.24 + 0.708\ln(\text{TN}) + 0.859\ln(z) + 0.770\ln(f)$$

donde:

L = carga de nitrógeno, (mg/m² * año)

ln = logaritmo natural

TN = nitrógeno total (promedio anual) medido en el lago (mg/m³)

z = profundidad media del lago (m)

f = capacidad de renovación anual (1/año)

Modelo de Vollenweider (1976)

$$N = \frac{L_{\text{NT}} * (1 - R)}{z * f} = \text{mg} / \text{m}^3$$

donde:

N = concentración de nitrógeno total calculado de acuerdo a la carga

L_{NT} = carga de nitrógeno medida, (mg/m²*año)

R = coeficiente de retención de nitrógeno (16% menos que el calculado para el fósforo).

f = capacidad de renovación (1/año)

z = profundidad media (m)



➤ **Capítulo 9: DETALLAR METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA EN TERMINOS DE STOCK CULTIVABLES DE ESPECIES SALMONIDEAS EN LOS LAGOS RIESCO, LOS PALOS Y LAGUNA ESCONDIDA**

La capacidad de carga en cultivos salmonídeos en los lagos se determinó a través de la siguiente metodología:

1. Cálculo del balance de nitrógeno y fósforo de cada lago.
2. Cálculo del balance másico de fósforo y nitrógeno de cada lago.
3. Determinación de la carga crítica de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida. Carga crítica es lo que se llama el "Critical Load". Corresponde a la concentración máxima de fósforo que el lago puede soportar para mantener su estado de trofia. El cálculo que nosotros emplearemos para la carga crítica se hizo de acuerdo a la fórmula de Vollenweider (1976) que es la siguiente:

$$L_c = 10 * q_s (1 + \sqrt{z / q_s}) \text{ en (mg*m}^2\text{/año)}$$

donde:

10 = valor máximo de fósforo total para mantener un lago oligotrófico.

z = profundidad media del lago

$$q_s = z / \tau \omega$$

$\tau \omega$ = renovación teórica total.

Calcular la carga artificial al lago

Esta carga se determina sumando los aportes de los centros urbanos (cuando existen), habitaciones, uso de los suelos. Según la fórmula:

$$J_t = J_n + J_a \text{ (kg/cápita/año)}$$

donde:

J_t = carga total de nutrientes del lago

J_n = carga natural de nutrientes

J_a = carga artificial de nutrientes.

La medida de kg/cápita/año esta referida al aporte de fósforo o nitrógeno por persona al año o por cabeza de ganado.



4. La carga crítica del nitrógeno se determinó utilizando la ecuación de Bachmann (1984) y el modelo de Vollenweider (1976) con la ecuación de Dillon y Rigler (1974), utilizando como nivel máximo de oligotrofia 200 ug/l, según Wetzel (1983).
5. La diferencia existente entre el valor de la carga crítica y la carga actual del lago permite obtener un diagnóstico sobre la capacidad de soporte de fósforo o nitrógeno, para alcanzar la carga crítica de oligotrofia.
6. El cálculo de la carga de nutrientes que ingresa desde los Centros de cultivos, de acuerdo a las cantidades de alimento utilizada, permite cuantificar este aporte a la carga total de nutrientes que ingresan al lago.
7. Con estos antecedentes se puede calcular la capacidad de carga en términos de stock cultivables de especies salmonídeas, en cada cuerpo lacustre, sin sobrepasar su límite oligotrófico, de acuerdo al aporte de P y N por producción de Salmonídeos.

➤ **Capítulo 10: MODELO DE SIMULACION DE FOSFORO Y NITROGENO APORTADOS**

Sobre la base de los antecedentes obtenidos del centro de cultivo de salmonídeos, que opera actualmente en el lago Riesco, se realizó un modelo simulado de diferentes niveles de producción de peces y su cuantificación en términos de aportes de desechos y nutrientes (P y N), a los sedimentos y masa de agua.

➤ **Capítulo 11: AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVOS**

La determinación de áreas apropiadas para establecer centros de cultivo se hizo en relación a las características batimétricas, fisiográficas y sedimentológicas; además, de un análisis de la hidrodinámica y distribución de nutrientes, oxígeno y temperatura en cada lago.

Los antecedentes batimétricos, topográficos y fisiográficos de cada lago se obtuvo de la prospección en terreno y de las cartas batimétricas, respectivas. La caracterización textural de los sedimentos, se hizo por medio de muestras de sedimento y posterior análisis granulométrico y contenido de materia orgánica. La hidrodinámica se estudio por medio de derivadores, a diferentes profundidades; además, se

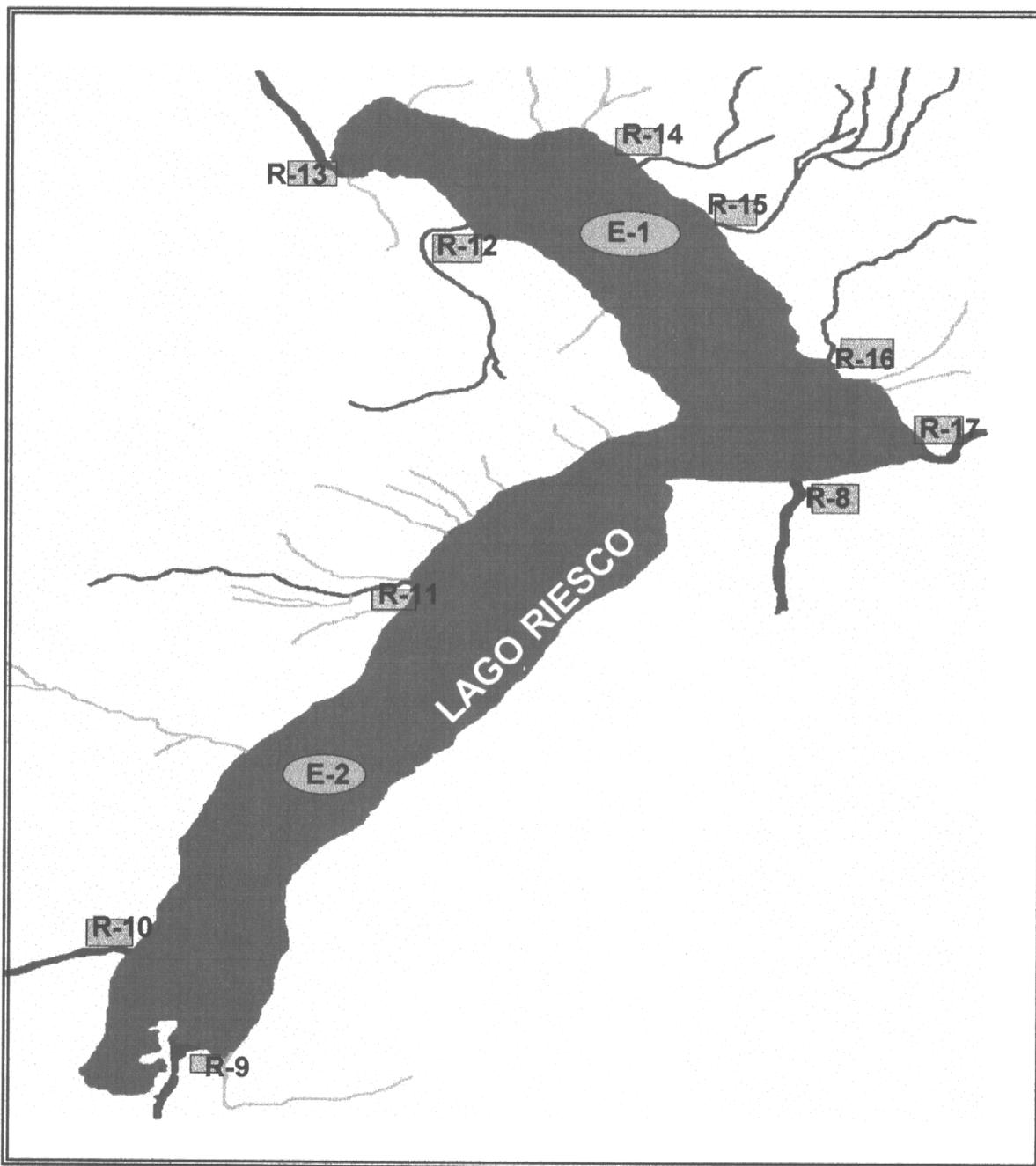


Figura 2: Ubicación de las estaciones de muestreo (lago y ríos) en el LAGO RIESCO.

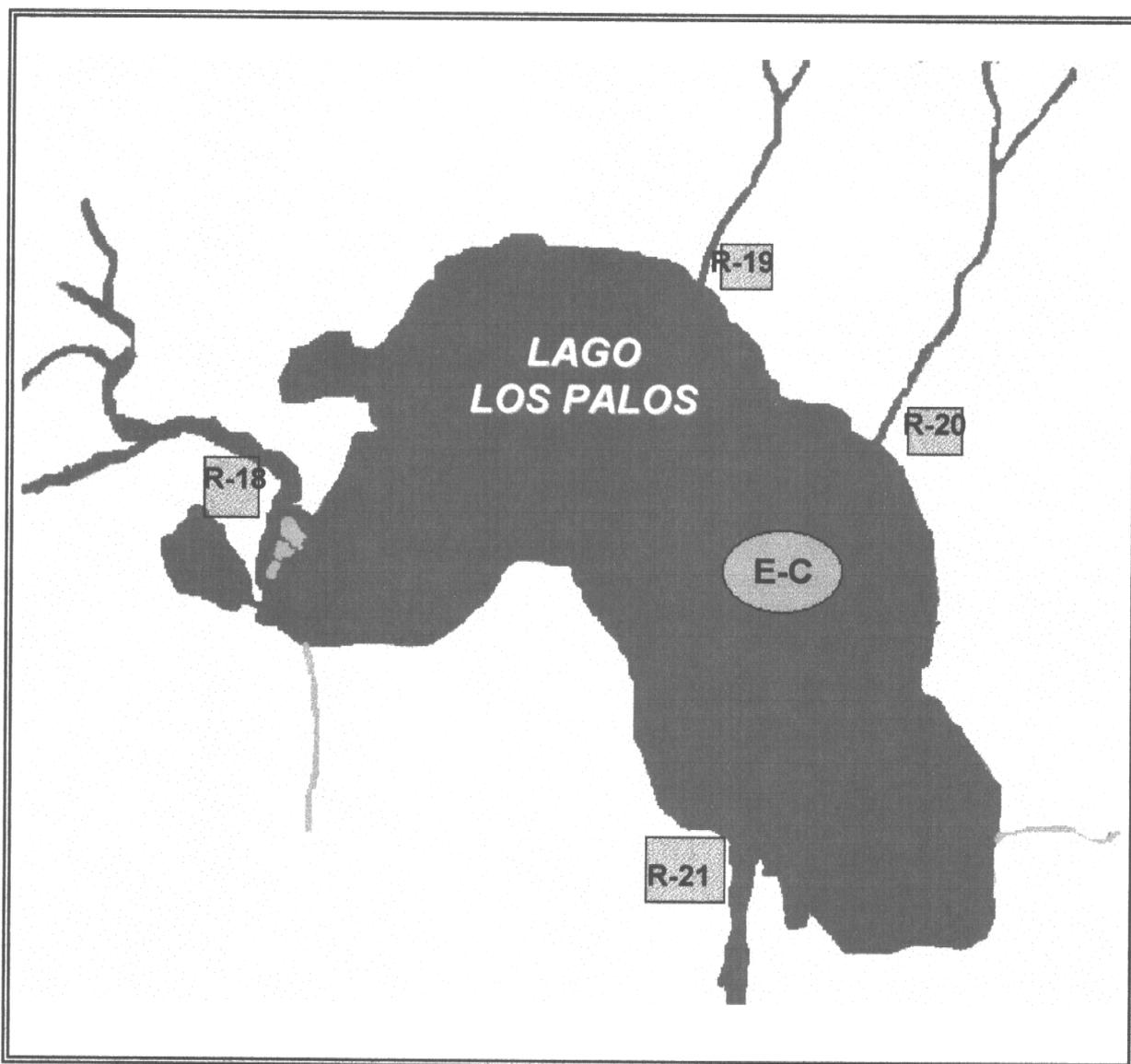


Figura 3: Ubicación de las estaciones de muestreo (lago y ríos) del LAGO LOS PALOS.

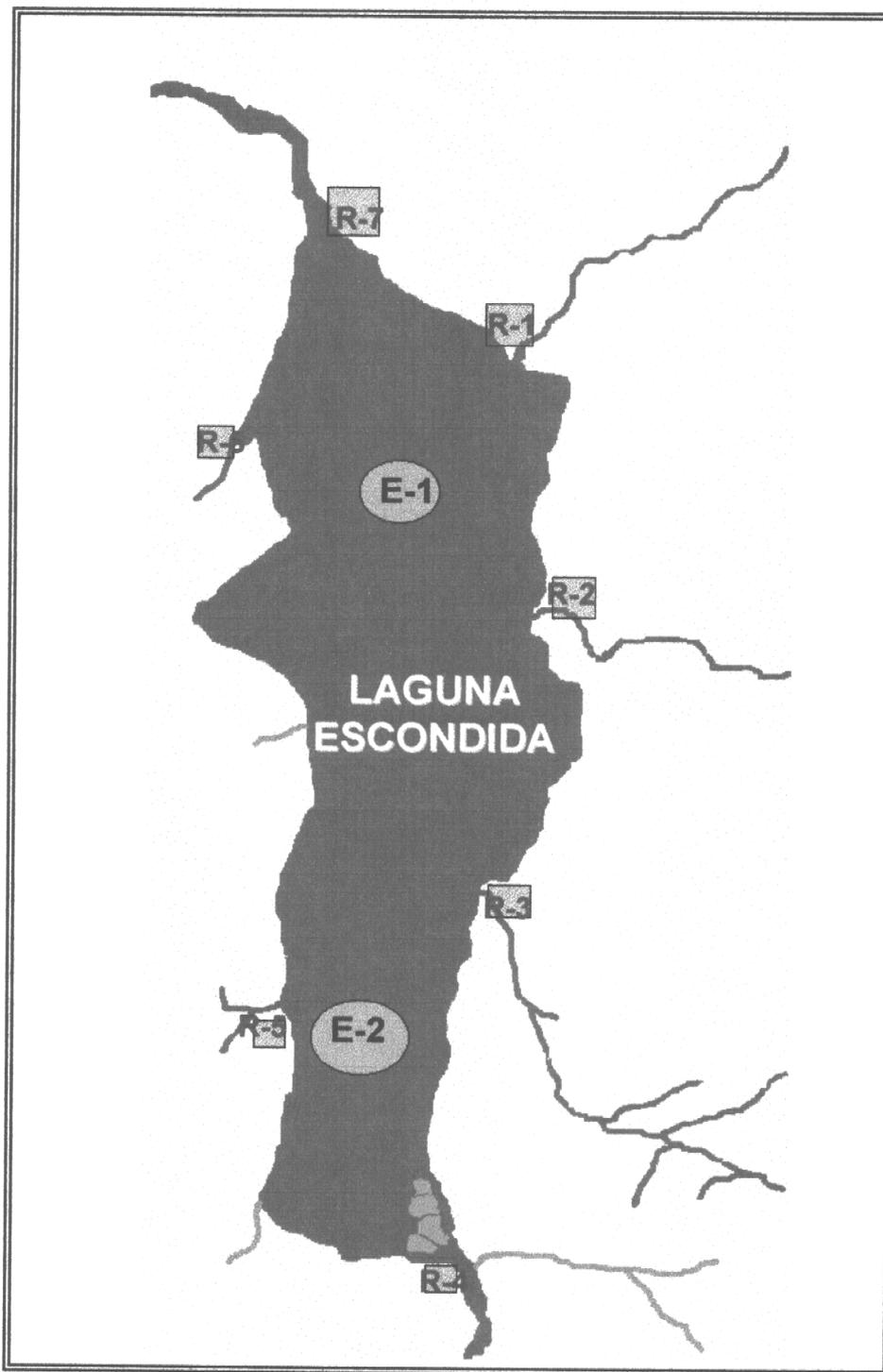


Figura 4: Ubicación de las estaciones de muestreo (lago y ríos) de la LAGUNA ESCONDIDA

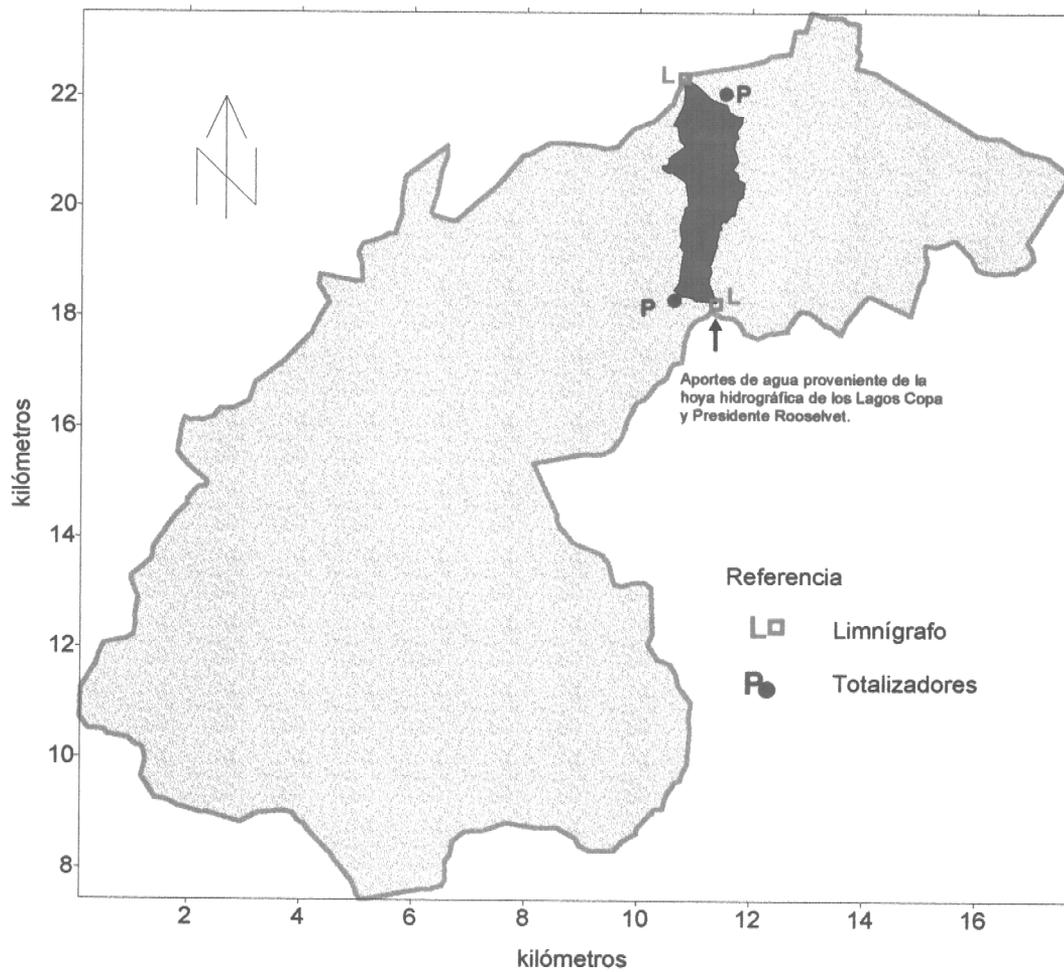


Figura 5: Hoya hidrográfica de la laguna Escondida. Ubicación de los limnógrafos y pluviómetros.

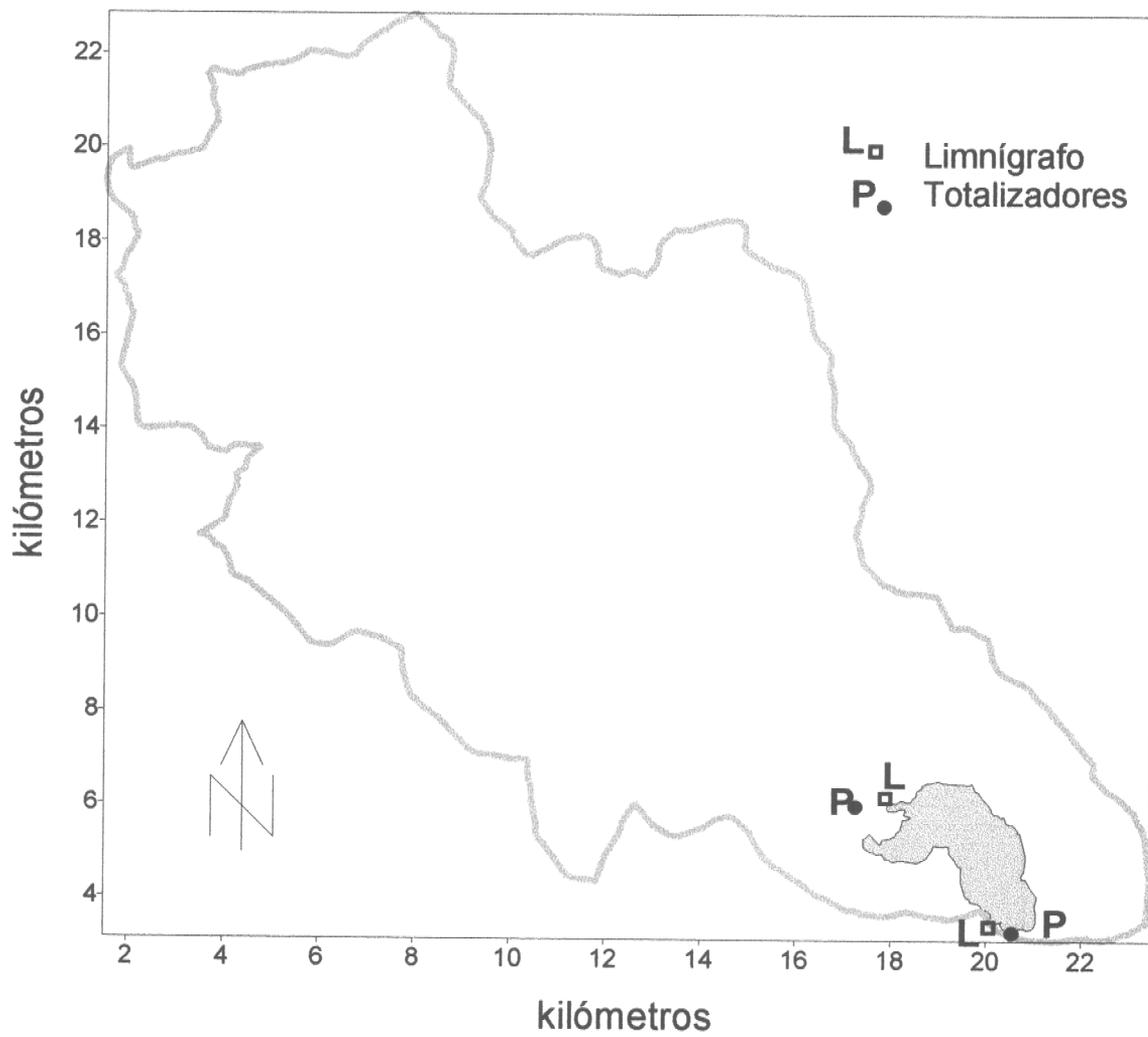


Figura 6: Hoya hidrográfica del lago Los Palos. Ubicación de limnógrafos y totalizadores.

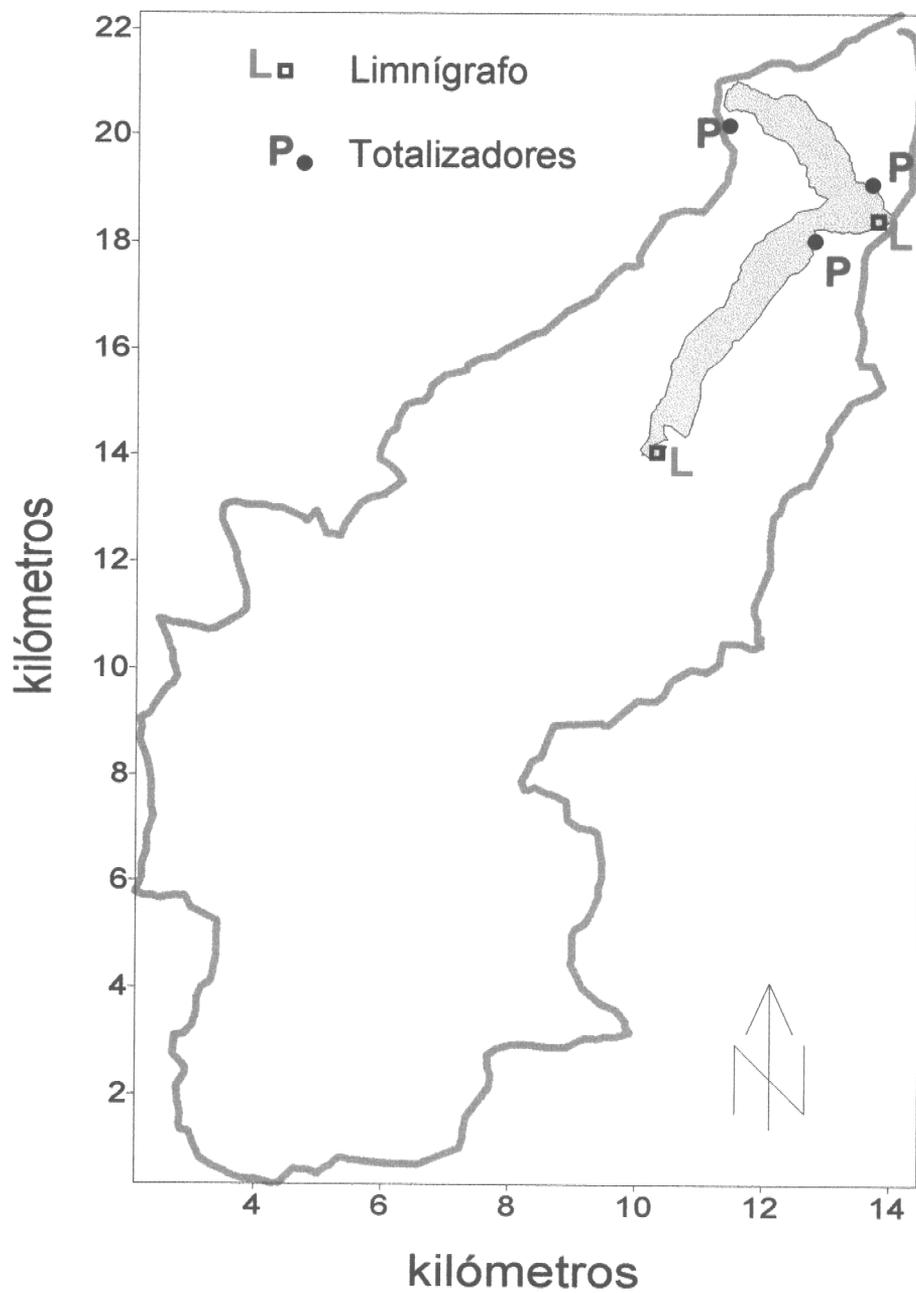


Figura 7: Hoya hidrográfica del lago Riesco. Ubicación de limnógrafos y totalizadores.

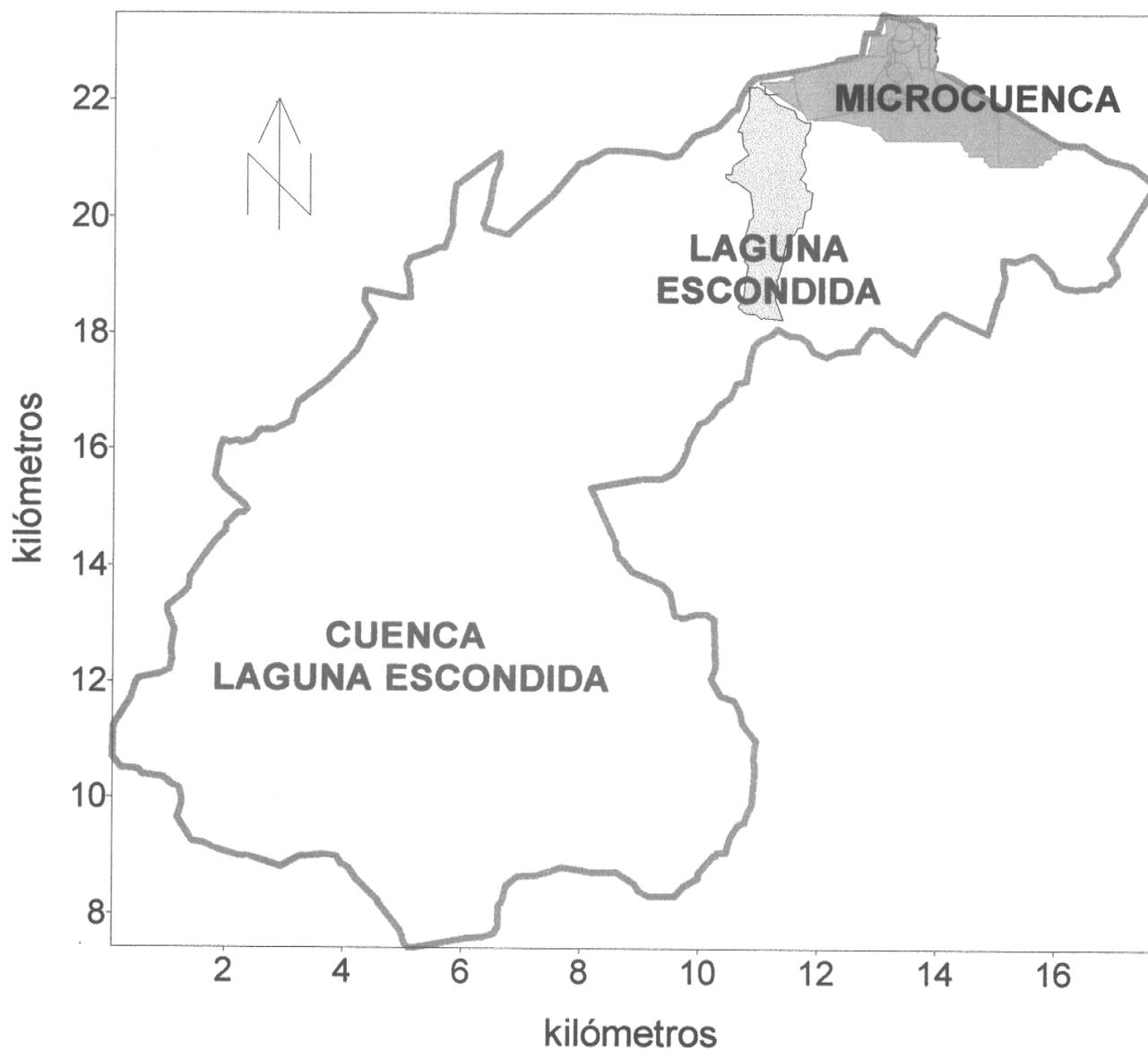


Figura 8: Ubicación de la Microcuenca en estudio de la Laguna Escondida.

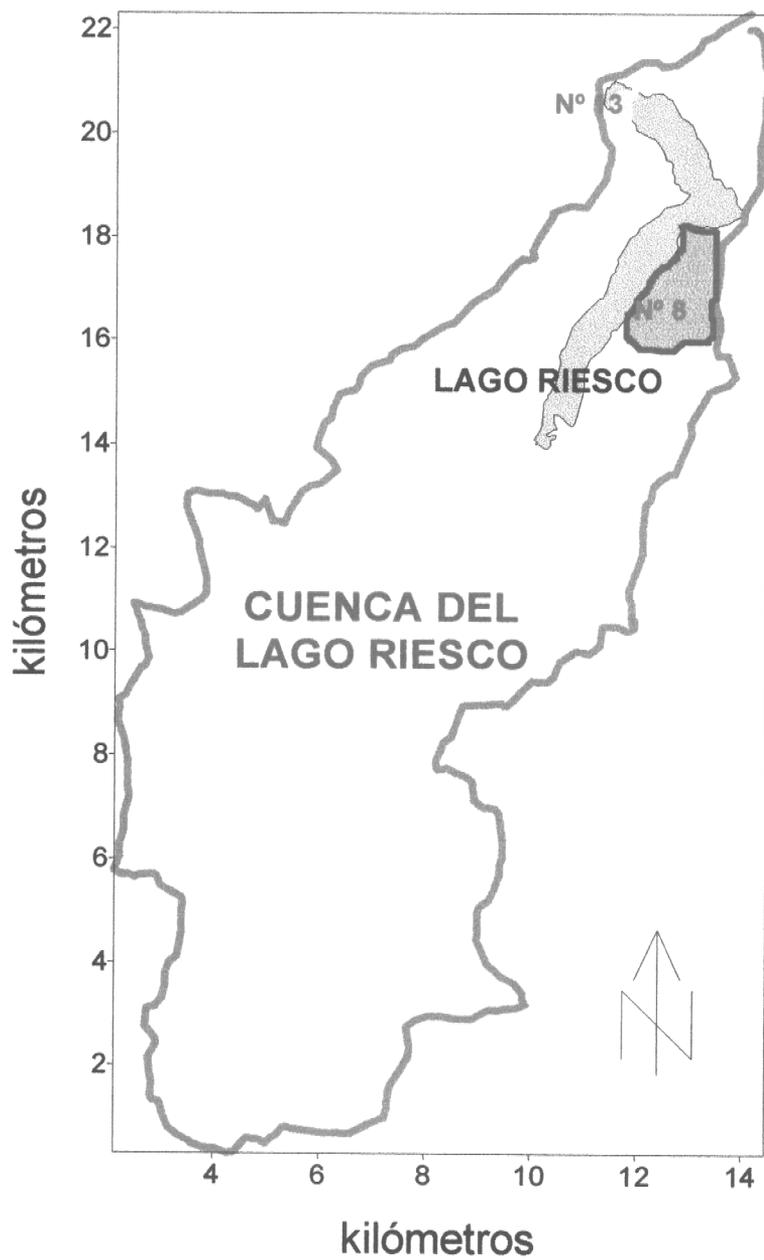


Figura 9: Ubicación de las microcuencas en estudio del Lago Riesco.

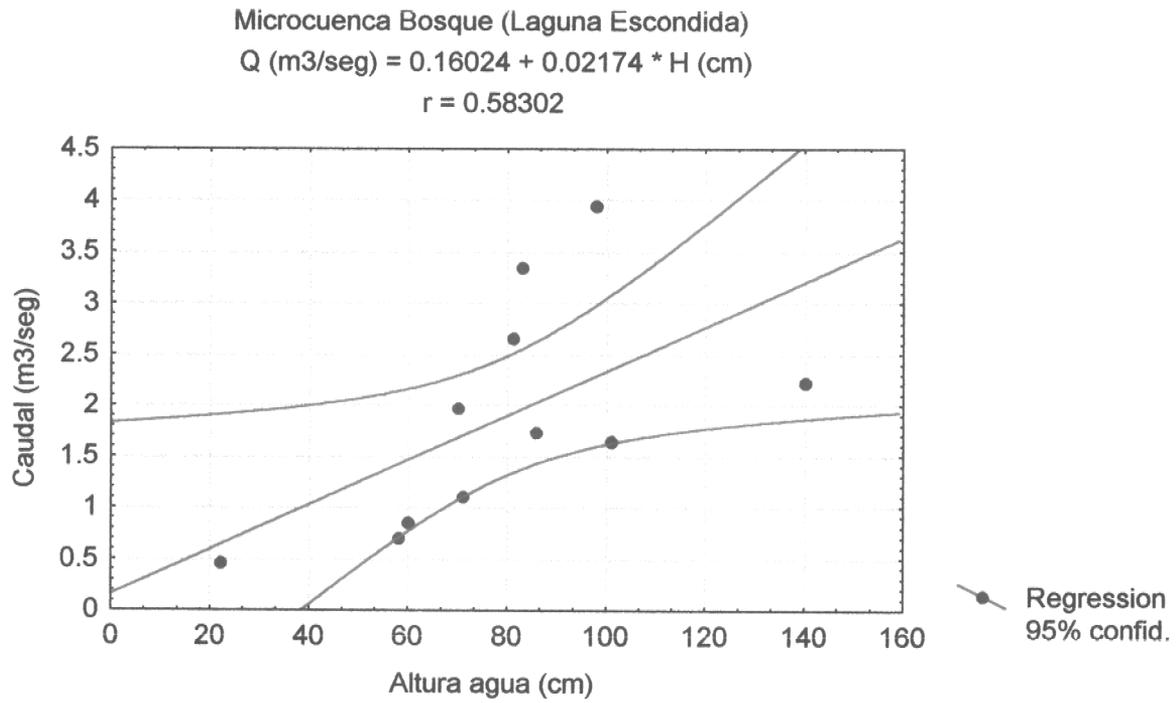


Figura 10: Calibración de la microcuenca con bosque nativo (Laguna Escondida)

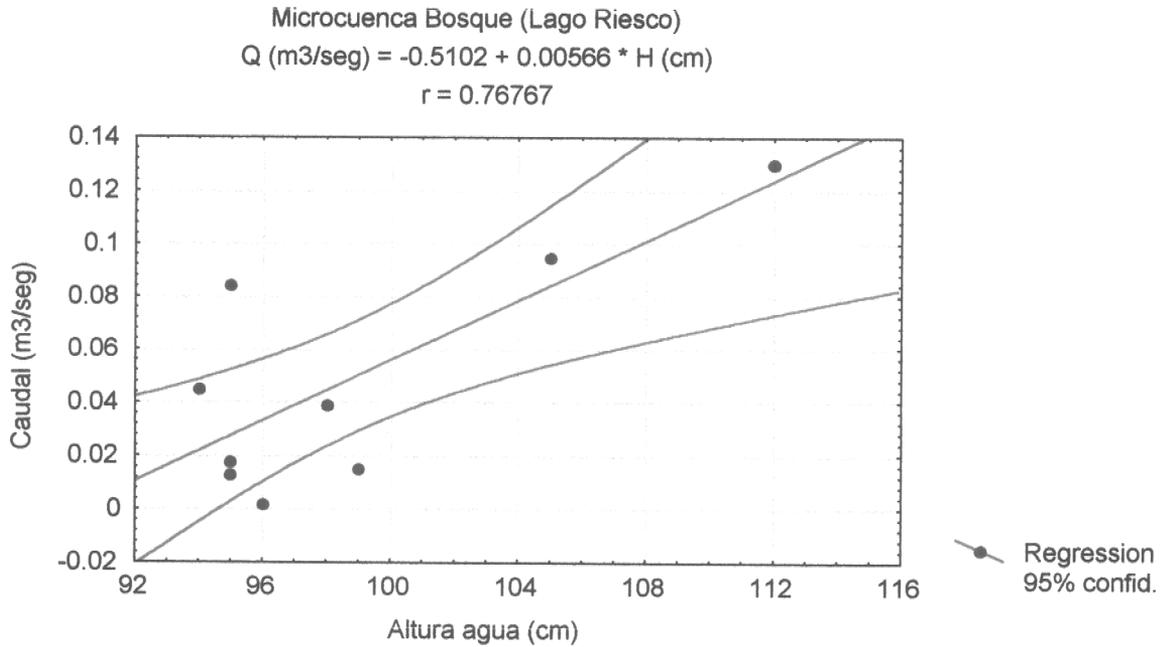


Figura 11: Calibración de la microcuenca con bosque nativo alterado (Lago Riesco)

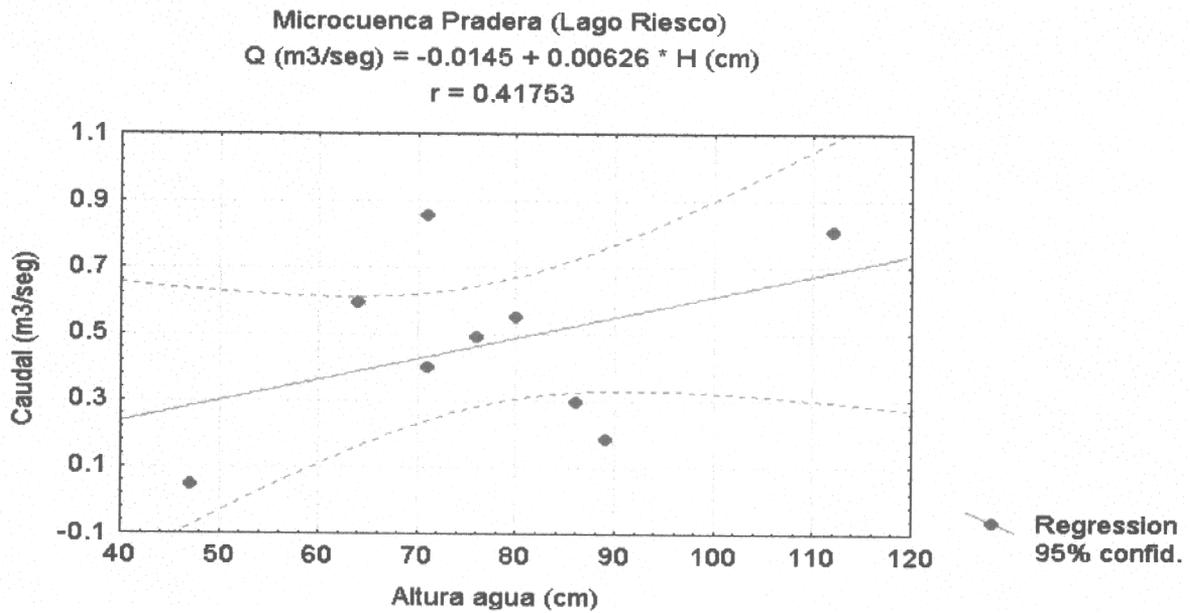


Figura 12: Calibración de la microcuenca con matorrales-praderas (Lago Riesco)

RESUMENES

Capítulo N°1:

INGRESO DE NUTRIENTES A LA HOYA SEGUN EL USO DEL SUELO

Localizadas en la vertiente occidental de la cordillera Patagónica Andina, las cuencas hidrográficas de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida forman parte de la zona hidrográfica denominada por Cereceda y Niemeyer (1984) como cuencas Patagónicas de Ríos Caudalosos Trasandinos.

La cuenca lacustre de la laguna Escondida es la más septentrional de las cuencas estudiadas y se localiza en el curso inferior de la Hoya hidrográfica del río Cisnes, que drena la región Patagónica al sur de los 44° de latitud. Se trata de una cuenca de escasa accesibilidad, a pesar de su cercanía al centro poblado de Puerto Cisnes, desde donde se puede acceder sólo por vía fluvial.

Administrativamente, se sitúa en la comuna de Puerto Cisnes y representa un sector despoblado durante la mayor parte del año, la escasa población que accede a la cuenca lo hace en forma estacional y esporádica debido fundamentalmente al alto riesgo de inundación de los sectores ribereños del lago y de sus terrazas lacustres.

Las cuencas de los lagos Riesco y Los Palos constituyen subcuencas de la Hoya hidrográfica del río Aysén y se localizan en su curso inferior, a pocos kilómetros de la ciudad de Aysén. Se trata de cuencas de accesibilidad restringida, siendo el lago Riesco el que presenta un acceso vial más expedito, en cambio el lago Los Palos tiene acceso vial y fluvial.

Administrativamente, ambas cuencas forman parte de la comuna de Aysén y presentan bajos índices de ocupación humana de su territorio, en efecto la población de estas cuencas está constituida principalmente por población flotante, que se concentra durante períodos de interés turístico.

La red hídrica que caracteriza estas cuencas, resulta ser el principal conector entre el ambiente terrestre de las laderas y vertientes de la cuenca con el ambiente acuático del espejo de agua del lago. A través de esta red se producen los aportes a los lagos ya sea de nutrientes, como de sedimentos; y es en este contexto que se ha dado especial relevancia al estudio de la red hídrica. En términos generales, la cuenca de la laguna Escondida presenta la mayor magnitud en sus caudales, longitud de drenes y densidad de drenaje; en su interior alberga una cadena importante de lagos como el Rossvelt y Copa, que constituyen afluentes a la laguna, la que se localiza en el curso inferior de la cuenca. Las características morfométricas del lago, como área, profundidad, relación cuenca lago y volumen, indican que este lago no constituye el receptáculo final de los aportes de una cuenca





asociados a erosión y procesos de vertientes de mayor envergadura, que se verán facilitados por la acción de factores climáticos típicos de un clima super húmedo como el que caracteriza esta región

Tabla N° 1: Características relevantes de las cuencas lacustres de la Patagonia Occidental.

Parámetros	Riesco	Los Palos	Escondida
Area de la cuenca (km ²)	315.4	213.6	1240.0
Area del Lago (km ²)	14.7	7.32	6.7
Relación C/L (%)	4.7	3.0	0.5
% de Uso Forestal	77.0	76.0	70.0
% de Uso de Praderas	0.4	4.0	2.0
% ocupado por Glaciares	22.6	20.0	28.0
% de áreas con pendiente > a 22°	73.2	70.0	80.0
% de áreas con pendientes < a 8°	25.0	20.0	12.0
N° de Subcuencas	23.0	3.0	10.0
Subcuencas de más de 50 km ²	4	1	5
Profundidad máxima lago (m)	130.0	59.0	68.0
Volumen (km ³)	0.97	0.28	0.28

Fuente: Datos del presente estudio

Capítulo N°2:

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES

Los afluentes son los principales captadores de nutrientes desde el área de drenaje de la cuenca de un lago. Estos ríos, a través de las aguas de escorrentías, reciben los sedimentos y sólidos disueltos provenientes de los diferentes usos de los suelos; correspondiendo la composición química de sus aguas a la composición mineralógica de los suelos del cauce del río.

En la presente investigación se estudiaron en cada una de las cuencas de cada lago un número representativo de afluentes, de acuerdo a su caudal, tamaño de su subcuenca de drenaje y uso de los suelos de esas cuencas. En el informe correspondiente para cada lago se entregan los antecedentes de localización de los afluentes seleccionados para este estudio. En los ríos seleccionados se midió mensualmente el caudal, los factores físicos como la temperatura, color y turbidez; además se analizaron factores químicos como pH, Conductividad, Sólidos totales disueltos, Nitrito Nitrato, Amonio, Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Total, Fósforo soluble (Ortofosfato) y Fósforo Total. Entre los parámetros bióticos se midió solamente una vez en el año la presencia de Coliformes Totales

➤ Características morfométricas

Los ríos presentaron tamaños variables, destacan los tres afluentes principales, los cuales corresponden a ríos de orden 4, entre ellos sobresale el río Copa de la laguna Escondida, con aproximadamente 7 brazos, que representan un ancho promedio anual de 73.3 metros. Los ríos restantes presentaron un rango promedio anual entre 1.5 y 63.47 metros de ancho, correspondientes al río R-20 del lago Los Palos y al afluente principal del lago Riesco (Cóndor). Por otra parte, las profundidades promedios anuales fluctuaron entre 0.16 y 3.1 metros, ambos valores registrados en afluentes del lago Riesco, R-15 y Río Cóndor, respectivamente. El caudal promedio anual fluctuó entre 0.06 y 81.49 m³/s, medidos en el río R-13 del lago Riesco y el río Copa de la laguna Escondida. En general, los afluentes principales registraron los mayores caudales; correspondiendo un caudal considerablemente menor a los afluentes secundarios. En relación a los ríos efluentes, estos poseen un gran tamaño, destacando el efluente de laguna Escondida con un ancho promedio anual de 73.6 metros, con 7 metros de profundidad media y con el mayor caudal promedio medido en los ríos (228.21 m³/s).

➤ **Características físicas**

La temperatura anual promedio en los ríos fluctuó entre 6.9 y 11.76 °C, medida en el río R-19 y R-8 de los lagos Los Palos y Riesco, respectivamente. Los valores promedio extremos detectados para el color fueron 12.8 unid. Pt-Co para el R-2 de la laguna Escondida; y 29.3 unid. Pt-Co cuantificado en el R-13 del lago Riesco. La turbidez en general registró pocas variaciones anuales, fluctuando los valores promedios entre 2.5 y 2.7 mg/l de SiO₂.

➤ **Características químicas**

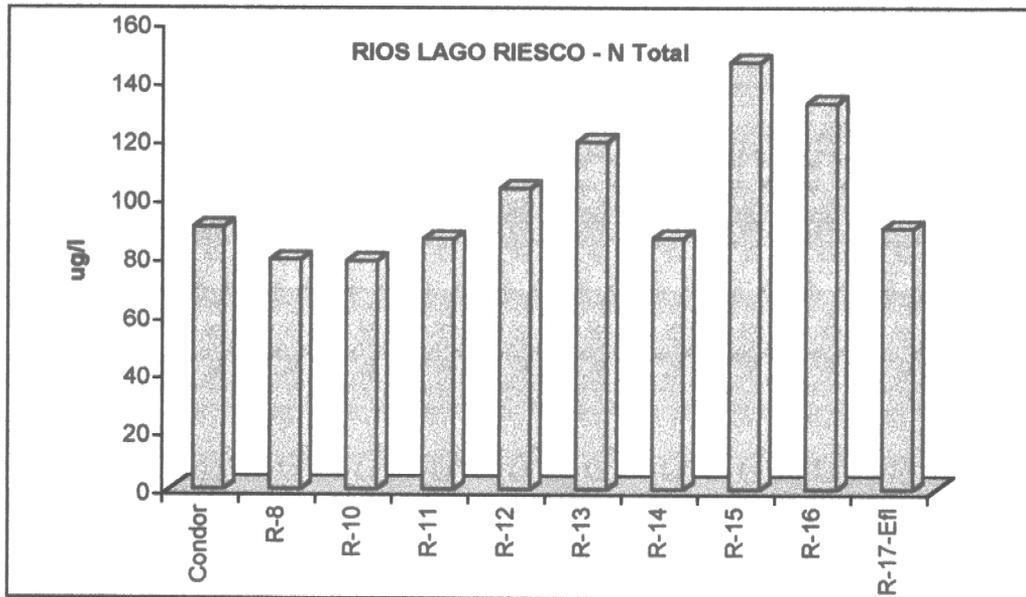
El pH correspondió al de aguas neutras, con un rango promedio anual entre 6.75 y 7.24 registrado en los ríos R-6 de laguna Escondida y R-20 del lago Los Palos, respectivamente. Para la Conductividad, en general, se detectaron valores bajos, los que fluctuaron entre 11.7 y 32.7 uS*cm⁻¹, correspondientes a los ríos R-1 de laguna Escondida y R-16 de lago Riesco. En relación al oxígeno se midieron altas concentraciones, con un rango promedio anual que osciló entre 10.6 y 13.0 mg/l, ambos valores cuantificados en el lago Riesco para los ríos R-8 y R-10, respectivamente.

En relación al nitrógeno total, en términos generales, la concentración promedio anual se midió en un rango entre 39.2 y 146.3 ug/l, ambos valores extremos corresponden a los ríos R-12 y R-15 del lago Riesco. En un análisis general, sin embargo, los ríos que revisten mayor importancia en términos de ingreso de nutrientes son los ríos afluentes principales, debido principalmente al mayor caudal que ellos poseen, lo que se puede observar en las figuras 13a, 14a y 15a. A pesar de que, en general, se detectaron bajas concentraciones de nitrógeno total ingresando por los ríos, las más altas correspondieron a los afluentes del lago Riesco y las más bajas a aquellos de la Escondida, ocupando Los Palos una situación intermedia, lo que se observa en las figuras 13a, 14a y 15a.

En el caso del fósforo total el rango de concentraciones promedio anuales fluctuó entre 4.6 y 9.8 ug/l, medidos en los ríos R-3 de laguna Escondida y R-13 del lago Riesco, respectivamente. Al igual que para el nitrógeno total, en el caso del fósforo total y otros nutrientes que ingresan al lago el afluente principal constituyó la entrada más importante (Fig. 13b, 14b y 15b). Como se observa en las figuras, la tendencia tanto para el fósforo total como para el ortofosfato es la antes descrita para el nitrógeno total; cuantificándose las mayores concentraciones en los afluentes del lago Riesco, y las menores en los de la laguna Escondida.

En términos generales, se registran en los afluentes bajas concentraciones a través del año, tanto para el nitrógeno como para el fósforo total (Fig. 13, 14 y 15), con valores que prácticamente no superan los 100 ug/l y 6.5 ug/l para ambos compuestos, respectivamente. Destaca, igualmente el hecho, que las concentraciones que egresan por los efluentes son muy similares a las que ingresan.

a



b

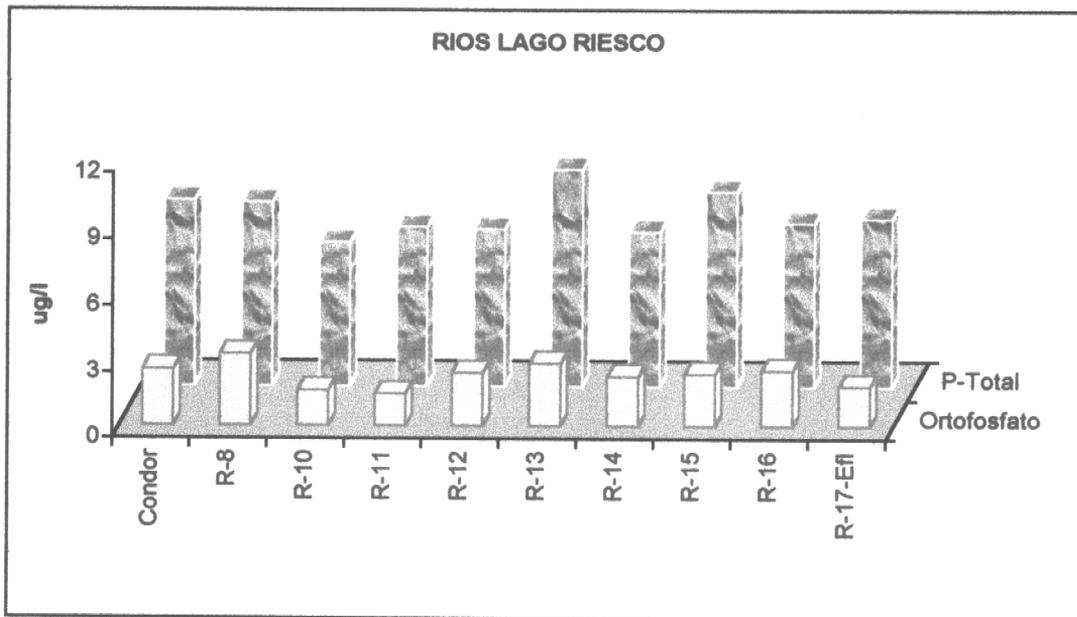
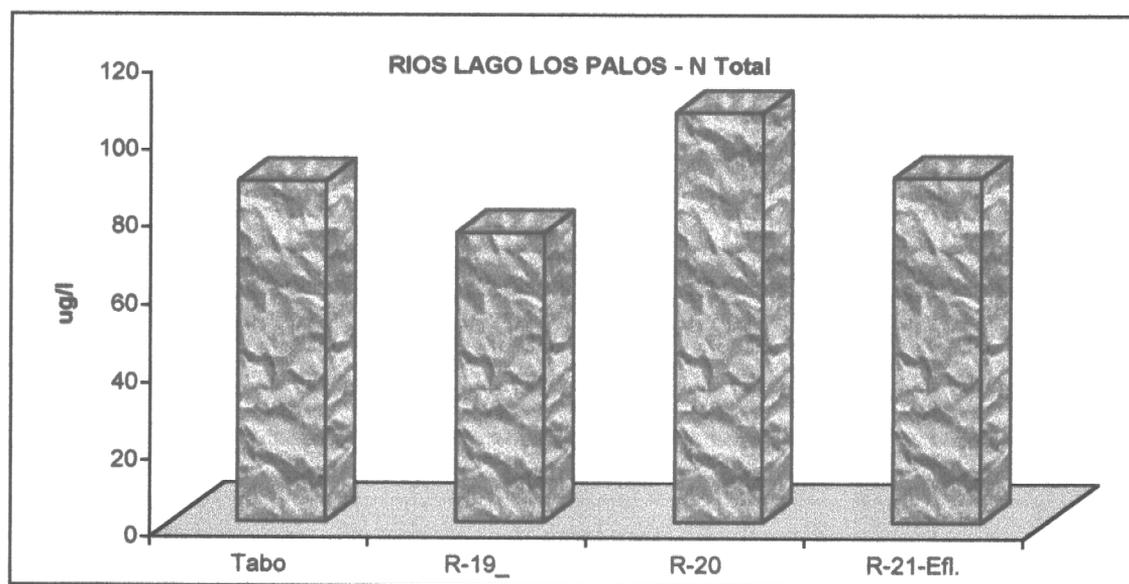


Figura 13 a y b. Nitrógeno Total, Fósforo Total y Ortofosfato (µg/l) registrado en los afluentes del lago Riesco.

a



b

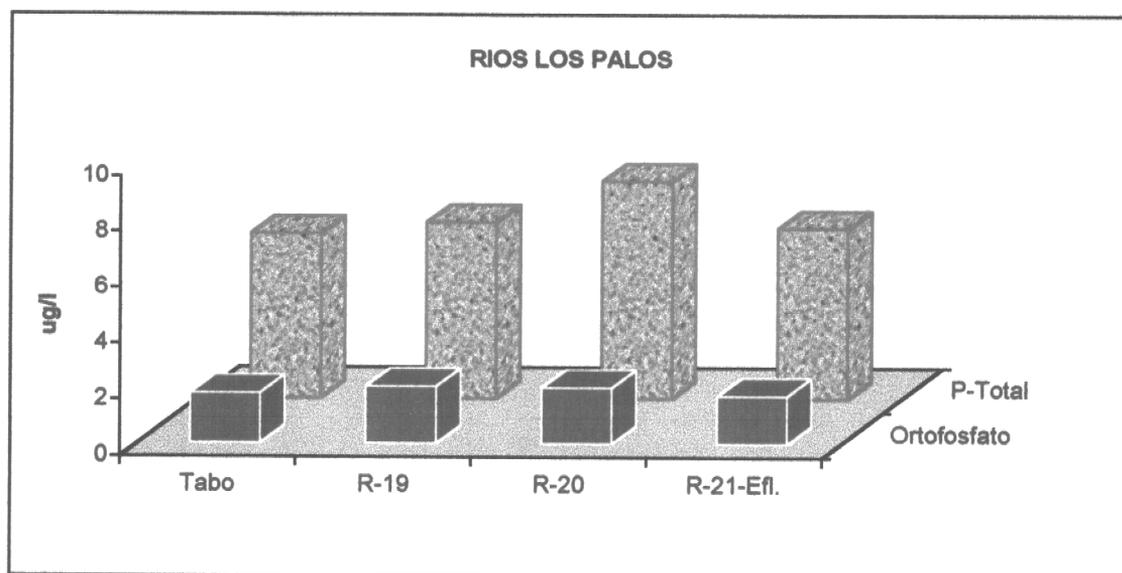


Figura 14 a y b. Nitrógeno, Total Fósforo Total y Ortofosfato (ug/l) registrado en los afluentes del lago Los Palos.

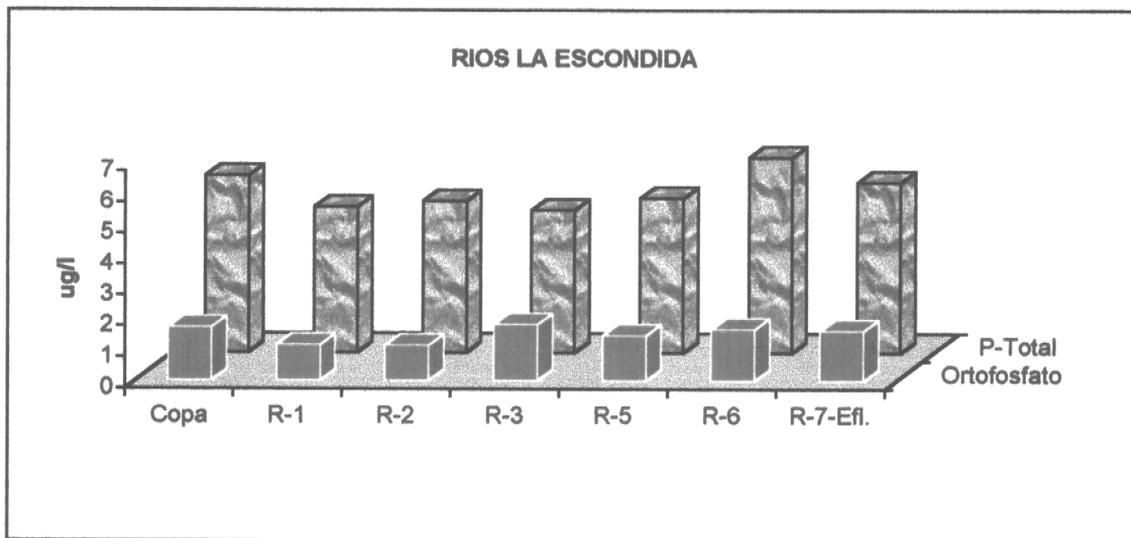
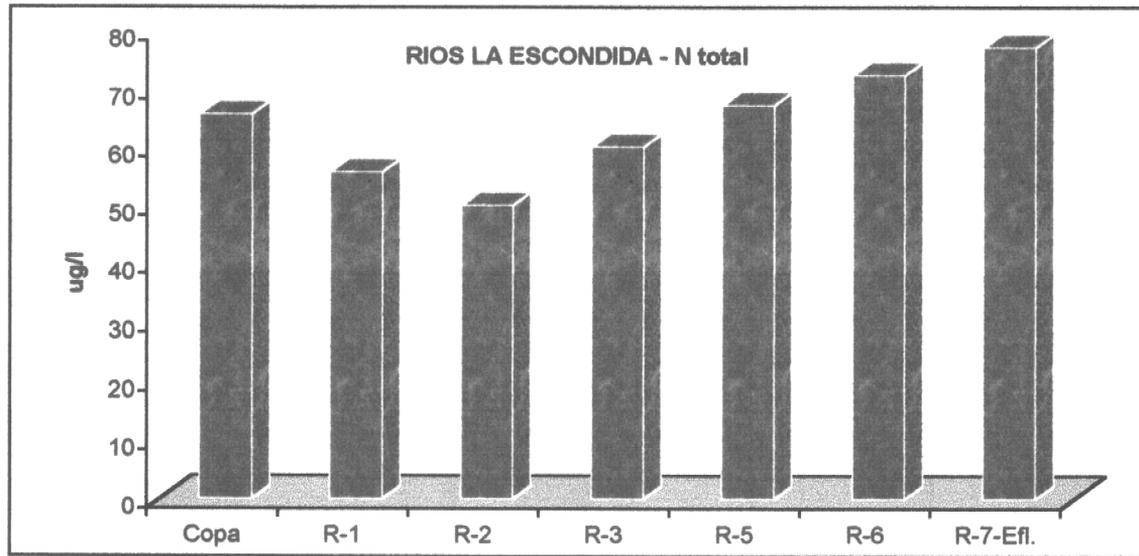


Figura 15 a y b. Nitrógeno Total, Fósforo Total y Ortofosfato ($\mu\text{g/l}$) registrado en los afluentes de la laguna Escondida.

Capítulo N°3:

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACION Y BALANCE HIDRICO

Los componentes del balance hídrico de las tres cuencas estuvieron influidos por el régimen anual de las precipitaciones (Tabla 2). La precipitación anual de las cuencas superaron los 3000 mm. Los eventos de lluvia de mayor importancia se manifestaron rápidamente sobre los caudales afluentes y efluentes de los lagos. Ello es producto de las fuertes pendientes que tienen la topografía local de las cuencas y a la relación que existe entre la superficie de la hoya hidrográfica y el tamaño de los respectivos lagos, que es de 21, 29 y 185 para los lagos Riesco, Palos y Escondida, respectivamente. Debido a esta característica, en especial el espejo de agua de la laguna Escondida y su río efluente, registraron un ascenso que superó los 5 metros durante los períodos más lluviosos.

Tabla 2. Componentes del balance hídrico ($m^3 \cdot 10^6$) de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida.

LAGOS	PP	Qa	Qe	W	Va	Ev
Riesco	46.562	1637.477	1846.584	9.061	180.256	8.65
Los Palos	16.193	931.908	958.847	4.132	18.054	3.176
Escondida	31.321	6624.765	7292.458	5.075	645.240	3.906

- PP = precipitación que llega a la superficie del lago ($m^3 \cdot 10^6$)
- Qa = caudal del afluente ($m^3 \cdot 10^6$)
- Qe = caudal del efluente ($m^3 \cdot 10^6$)
- W = variación del contenido de agua del lago durante el período de medición ($m^3 \cdot 10^6$)
- Va = aporte de agua de las vertientes que drenan hacia el lago ($m^3 \cdot 10^6$)
- Ev = evaporación desde el lago ($m^3 \cdot 10^6$)

Si se compara el volumen de agua que retiene cada uno de los lagos con el cuantioso aporte que reciben a través del río efluente, se puede inferir que estos lagos tienen un recambio muy rápido.



Por la cercanía al mar y su ubicación altitudinal, el caudal del río efluente del lago Los Palos estuvo influido por el curso diario de las mareas.

Capítulo N° 4

INGRESO AL LAGO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS CENTROS DE CULTIVO

- **Análisis de los alimentos**

Al establecer un análisis comparativo entre los diferentes tipos de alimentos de salmonídeos, provenientes del Centro de Cultivo localizado en el lago Riesco, se puede establecer que, en general, tienen un 93.8% de materia seca.

En una muestra de alimentos tipo crumble y pellet tomadas en otoño, invierno y primavera se registraron los valores más bajos de nitrógeno (14.7%). La mayor cantidad de nitrógeno se detectó en el alimento tipo pellet. Esa muestra de alimento fue colectada durante la estación de primavera (16.1%). Las concentraciones de nitrógeno presentes en los diferentes tipos de alimentos analizados, son más altos que los niveles de nitrógeno analizados en los alimentos utilizados en la producción de smolt, en los Centros de Cultivo ubicados en el lago Ranco (Rodríguez, 1993), Rupanco (Campos et al. 1996) y Chiloé (Campos et al., 1998).

Con respecto a las concentraciones de fósforo presente en los alimentos analizados, se puede observar que tomando en cuenta los valores promedio, estos varían entre 0.99 y 1.0%, respectivamente.

Al efectuar un análisis comparativo de las concentraciones de fósforo, registradas en los alimentos utilizados en el Centro de Cultivo, con los registros obtenidos de estudios similares en los lagos Ranco y Rupanco, se puede establecer la existencia de leves diferencias. Las determinaciones realizadas en Rupanco registraron valores entre 0.6 y 0.8% (Campos et al. 1996), y en el lago Riesco están por sobre 0.9%. Esta situación se debería casi exclusivamente a las diferentes calidades de materias primas que utilizan los fabricantes de estos alimentos. No obstante lo anterior, es destacable el hecho que, en general, las cantidades de fósforo están alrededor del 1%, cantidad que es recomendada por la autoridad pertinente, como una medida de regular el ingreso de fósforo a los sistemas lacustres.

Capítulo N° 5

CONTENIDO DE FOSFORO Y NITROGENO DE LOS LAGOS DE ACUERDO A SU MORFOMETRIA

Con el objetivo de poder clasificar los 3 lagos en estudio de acuerdo a sus características físico-químicas y biológicas se incluyeron una serie de parámetros, los cuales se resumen y comparan en los siguientes párrafos. Uno de los objetivos centrales de la investigación correspondiente al presente capítulo, dice referencia con la determinación de la concentración actual de los nutrientes (fósforo y nitrógeno), los que posteriormente constituyen la base para los cálculos de balance másico.

➤ FACTORES FISICOS Y QUIMICOS

- De acuerdo al régimen térmico, los lagos presentan distintos comportamientos. El Riesco representa un lago Monomítico Templado típico, es decir con circulación de sus aguas durante el invierno, y la formación de una marcada termoclina en verano, formándose tres estratos de agua que poseen diferentes densidades. En tanto que, el lago Los Palos, a pesar de presentar un patrón térmico similar, muestra una termoclina suave en la época estival, posiblemente debido a su baja profundidad y régimen de vientos a los que está sometido. Por otra parte, el ciclo térmico observado en la laguna Escondida no representó a un lago Monomítico Templado, fundamentalmente por la ausencia de una termoclina durante el verano, este hecho se debe principalmente al régimen hídrico que se observa en este cuerpo de agua., en donde una alta tasa de renovación impide la formación de una termoclina. Cabe destacar que, el régimen térmico es de vital importancia para los eventos físicos, químicos y biológicos dentro de un lago, ya que influye en primera instancia en la circulación de las aguas, y por ende de los compuestos químicos; y la relación de estos con la biota.

En general, el rango de temperatura en los lagos en investigación se encontró entre 6.9°C y 17.5 °C, ambos valores extremos fueron medidos en el lago Riesco, durante el invierno y verano, respectivamente.

- Los 3 lagos presentaron valores extremos de transparencia similares, la mínima se detectó en la laguna Escondida con aproximadamente 3.2 m, y fue medida durante el invierno y el verano. Por otra parte, la máxima transparencia observada en los tres lagos tuvo un valor cercano a los 10.0 metros, el que se registró en época primaveral para la Escondida y Los Palos; en tanto que,



en el lago Riesco se detectó en otoño. Llama la atención que, los valores mínimos de transparencia en los tres lagos se detectaron durante el invierno y verano, asociados por un lado a la alta pluviosidad invernal, y por otro, a los procesos de deshielos en verano.

- En relación a los parámetros químicos, el pH registrado en los lagos correspondió al de aguas neutras, con un promedio anual cercano a los 6.9. Los valores de conductividad son muy bajos, con un promedio anual bajo los 20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, detectándose la mínima para la laguna Escondida (14.1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); siendo este valor levemente mayor en los lagos Riesco y Los Palos. Esto hace suponer, un bajo ingreso de iones a través de las cuencas de drenaje; hecho que ya ha sido detectado en otros lagos de la región (Campos et al., 1999). En relación a las concentraciones de oxígeno, los lagos presentaron comportamiento un tanto disímil. En la laguna Escondida, en general, se observaron concentraciones altas durante el periodo de estudio, con un promedio anual de 11.5 mg/l. En el lago Los Palos, durante el periodo de circulación (de julio hasta diciembre), se midieron altas concentraciones de oxígeno (> 11.0 mg/l); mientras que, en los meses de estratificación térmica, principalmente en el estrato de 60 metros se detectaron bajas concentraciones (< 5.0 mg/l). En el lago Riesco, por otra parte, a pesar de presentar una concentración promedio anual alta (10.3 mg/l); registró un comportamiento distinto en cada uno de sus brazos. En el brazo menor, se midieron, en general, altas concentraciones de oxígeno; en tanto que el brazo mayor (estación 2, al cual ingresa el río Cóndor (afluente principal)), se caracterizó por presentar durante todo el periodo de muestreo el estrato de 120 metros con anoxia, observándose una concentración mínima de oxígeno de tan sólo 0.24 mg/l (marzo). La razón de esta anoxia, reside probablemente en el régimen de circulación que predomina en este cuerpo de agua. En general, en los lagos se observó la tendencia a disminuir la concentración de oxígeno de superficie a fondo.
- En relación al nitrógeno total, el promedio anual (Fig. 16 a) indica para los tres lagos concentraciones similares (media < 80 $\mu\text{g/l}$), correspondiendo a valores encontrados en lagos (ultra)oligotróficos. Sin embargo, llama la atención el lago Riesco, en el cual se detectaron diferencias entre las estaciones de muestreo, principalmente en la estación 2 se registraron altas concentraciones en el estrato anóxico; no obstante, a pesar de ser altas, no sobrepasan aún, el límite de la oligotrofia. En cuanto a la distribución temporal (Fig. 16 b), los tres lagos muestran una tendencia similar, detectándose en periodos muy similares las máximas, (invierno, primavera, y verano). En relación al nitrógeno orgánico, en los tres lagos, este constituyó más del 50% del Nitrógeno Total. Considerando el amonio, el cual es un indicador importante de procesos bioquímicos y microbiológicos que ocurren en un lago; las concentraciones promedio

anuales fueron bajas para el lago Riesco y laguna Escondida (Fig. 16a), con 3.9 y 7.6 ug/l, respectivamente. Mientras que, en Los Palos se detectó una media anual de 15.4 ug/l, registrándose prácticamente todo el periodo de estudio, principalmente en los estratos de fondo, concentraciones altas para el compuesto (entre 20 a 45 ug/l).

- Las concentraciones de ortofosfato y fósforo total medidas en los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida fueron bajas y en el rango de lagos (ultra)oligotróficos. Como se observa en la Figura 17, los valores promedios anuales para el fósforo total fueron muy similares en los lagos Riesco y Los Palos (5.8 y 6.1 ug/l); en tanto que en la Escondida este valor fue levemente menor. En la distribución vertical, no se detectó una tendencia determinada del compuesto en los lagos Riesco y Los Palos; en cambio, en la laguna Escondida se registraron durante gran parte del estudio los valores más altos en el estrato de fondo. En un análisis temporal (Fig. 18a) es evidente que las concentraciones más altas, en todos los lagos, se detectaron en el periodo otoño-invierno.

En el caso del ortofosfato, que es la forma inorgánica más importante del fósforo disponible para las algas, se observó en los tres lagos un promedio anual muy similar (Fig. 17) y en el rango de lagos ultraoligotróficos (<2 ug/l). En su distribución vertical el ortofosfato mostró la tendencia ya descrita para el fósforo total. En tanto que, en su distribución temporal (Fig. 18b), se observaron las concentraciones más altas durante el periodo febrero-marzo

◆ COMPONENTES BIOTICOS

- **Clorofila "a"**

La clorofila "a" corresponde a uno de los parámetros biológicos que se cuantifican para ser usados como indicadores de la respuesta de las microalgas a determinadas concentraciones de nutrientes. En general, para los tres lagos, los valores obtenidos fueron bajos, y en el rango de lagos oligotróficos. La comparación de los promedios anuales (Fig. 19a), indica que los lagos Riesco y Los Palos presentaron concentraciones similares (0.87 y 0.80 ug/l), en tanto que en la laguna Escondida se registró el valor más bajo, con 0.48 ug/l. En un análisis temporal, se observaron diferencias entre los lagos (Fig. 19b), en el caso del lago Riesco se detectaron 4 máximas durante el año, las que coincidirían con las estaciones anuales, cuantificándose la máxima en el verano. En el lago Los Palos, la concentración máxima se registró en otoño, detectándose dos peaks menores en invierno y verano. Mientras que, para la laguna Escondida, los valores se mantienen relativamente similares, con una máxima predominante durante el invierno.

- **Análisis comparativo de las comunidades Fitoplanctónicas de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida**

Un análisis comparativo del fitoplancton de los tres lagos en estudio (ver Tabla 3) muestra lo siguiente: el Riesco es el que presenta la mayor riqueza específica (60 especies) seguido por la Escondida con 50 especies y Los Palos con 45 especies. En los tres lagos el grupo con mayor número de especies fueron las Diatomeas, seguido por las Chlorophyceas; el resto de los grupos en los tres lagos estuvieron representados por pocas especies.

En cuanto a las especies que contribuyeron a lo largo del año con más del 90% de la abundancia (densidad celular) y biomasa fueron para el lago Riesco *Aulacoseira granulata*, *Gimnodinium* sp., *Rhizosolenia eriensis*, *Dinobryon divergens* y *Dictiosphaerium pulchellum*; en el lago Los Palos fueron *Dinobryon divergens*, *Gimnodinium* sp., *Peridinium inconspicuum*, *Cryptomonas* sp., *Melosira distans* y *Asterionella formosa*; por otra parte en la laguna La Escondida la abundancia y la biomasa estuvo determinada por la presencia de *Gimnodinium* sp., *Peridinium inconspicuum*, *Melosira distans*, *Dinobryon divergens*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria* sp., *Gomphonema angustatum*, *Aulacoseira granulata*, *Cryptomonas* sp., *Synedra rumpens* y *Hannea arcus*. De lo anterior se deduce que en términos de abundancia y biomasa los tres lagos comparten varias especies comunes que son: *Aulacoseira granulata*, *Gimnodinium* sp., *Dinobryon divergens*, *Peridinium inconspicuum*, *Cryptomonas* sp. y *Melosira distans*.

Con respecto a los valores de densidad y biomasa se presenta una situación o patrón definido, siempre los valores de densidad y biomasa son mayores en el lago Riesco, seguido por el lago Los Palos y Escondida. Estos valores son muy congruentes con los de la clorofila a. Todos estos valores, los de abundancia, biomasa y clorofila "a" corresponden a lagos de características oligotróficas.

Otro dato relevante que indica una cierta similitud entre los tres lagos es que las especies con mayor biomasa celular son *Gimnodinium* sp. en primer lugar, seguido por *Aulacoseira granulata*, *Dinobryon divergens* y *Peridinium inconspicuum*.

Con relación a la distribución temporal de los máximos valores de abundancia y biomasa y concentración de clorofila a, se observa también un patrón similar en los tres lagos, los máximos valores se presentan en general entre diciembre y marzo; observándose también un máximo a inicios de otoño, es decir entre los meses de marzo a mayo.

El Dinoflagelado *Ceratium hirundinella* se detectó en dos de los tres lagos: Riesco y Los Palos, comprobándose con esto el avance de la colonización, en los lagos chilenos oligotróficos, por esta especie probablemente introducida como consecuencia de la actividad de la acuicultura.

En general, existe congruencia en la distribución temporal entre las abundancias y biomásas del fitoplancton y zooplancton en los tres lagos estudiados.

En resumen, considerando la composición específica, las especies dominantes, los valores de densidad celular, biomasa y las concentraciones de clorofila "a" de los tres lagos indica que sus respectivas comunidades fitoplanctónicas corresponden a típicas comunidades de lagos oligotróficos.

- **Análisis comparativo de la comunidad zooplanctónica de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida**

En la presente investigación, el estudio de la composición y dinámica de la comunidad zooplanctónica permitió tener una aproximación a el estado trófico del lago, desde el punto de vista biológico.

Con relación a la composición específica (Tabla 4), el lago Riesco presentó la menor diversidad de especies (14), en tanto que la mayor fue observada en Los Palos (17). Una comparación de los tres lagos (Fig. 20) muestra que la mayor densidad promedio anual se registró en el lago Riesco con $40898 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ (Tabla 5), valor relativamente alto para un sistema oligotrófico. Por otra parte, en el lago Los Palos se encontraron $27270 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, correspondiendo a una densidad aún dentro de un sistema oligotrófico. En tanto que, la densidad total registrada en la laguna Escondida fue baja con $5199 \text{ Ind} \cdot \text{m}^{-3}$, lo que se explica por el régimen hídrico del lago, el cual presenta una alta tasa de recambio, impidiendo el desarrollo de poblaciones estables en el sistema.

Como se observa en la Figura 20a, en los tres lagos la densidad total estuvo dada en su mayor parte por el grupo Rotifera, el cual dentro del promedio anual constituyó cerca del 90%. Considerando a los Rotifera, en el lago Riesco la alta densidad promedio estuvo dada fundamentalmente por la especie *Phylodina sp.*, y en modo secundario por *K.cochlearis*. Por otra parte en el lago Los Palos la densidad promedio anual correspondió primordialmente a la presencia de *K.cochlearis*. En tanto que, en la laguna Escondida las especies que predominaron fueron *P.vulgaris* y *K.cochlearis*. En el conjunto de especies registradas para los tres lagos llama la atención la alta densidad de la especie *Phylodina sp.* detectada para el lago Riesco; ella correspondería a una especie característica de algunos sistemas de la XIª región.

Como se indicó, el grupo Crustácea registró escasa relevancia en la densidad total. En el lago Riesco y Los Palos considerando las especies adultas, *Boeckella gracilipes* fue la única especie importante dentro de su grupo. En tanto que, en la laguna Escondida comparativamente con el



resto de los adultos, *E.hagmanni* se registró como la especie más importante. Para el lago Riesco y Los Palos se debe destacar la presencia del copepodo más grande de agua dulce del mundo, *Parabroteas sarsii*, la especie es endémica de algunos lagos de las regiones XIª y XIIª, y su biología e interrelaciones con el resto de la biota se desconocen. Por otra parte, a pesar de que en la laguna Escondida no se alcanzan a desarrollar en su totalidad las comunidades zooplanctónicas; destaca para la laguna la presencia de 5 especies de Crustácea, la comunidad presente en esta laguna sería muy similar a aquella determinada en lagos de la Nord-Patagonia chilena.

Finalmente, en los tres lagos se detectó la presencia de una especie de Ciliado, ya conocida en lagos oligotróficos de las regiones Xª y XIª, que se denominó *Stentor sp.*, la cual se presentó en densidades muy bajas.

Se puede concluir que la comunidad zooplanctónica de estos lagos es característica de los cuerpos lacustre de la zona, y en concordancia con la oligotrofia ya detectada para el fitoplancton.



Tabla 3.- Cuadro Comparativo de las características más relevantes de las comunidades fitoplanctónicas de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida.-

	ABRIL			MAYO			JUNIO		
	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida
	22	17	17	22 spp.	16	16	20 spp.	15	18
Riqueza Especifica									
Riqueza Especifica por grupo									
Bacillariophyce	9	9	9	8	7	9	7	6	10
Chlorophyceae	5	2	2	5	-	1	3	2	1
Chrysophyceae	3	1	1	2	2	1	3	1	2
Cryptophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	1
Cyanophyceae	2	1	1	3	3	2	3	2	2
Dinophyceae	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Densidad Celular (Cel/L)									
Min:	32.390	8.610	2.870	10.250	7.790	3.690	10.250	15.580	2.460
Prom:	53.952	27.306	10.209	32.062	28.044	9.840	55.596	19.844	6.314
Máx:	92.660	47.560	18.860	50.020	39.770	17.220	101.270	26.240	20.090
Biomasa Celular (pg/L)									
Min:	97.092.510	23.396.240	1.262.390	82.105.780	4.419.800	3.822.020	53.909.260	28.706.150	17.415.160
Prom:	230.927.990	128.069.568	79.316.989	250.540.750	137.563.446	63.189.159	216.196.014	87.037.752	33.439.231
Máx:	565.487.990	240.653.190	181.521.760	460.267.640	280.728.640	130.536.620	403.677.800	146.079.720	33.439.231
Especie con mayor Densidad Celular	<i>R. eriensis</i>	<i>P. inconspicuum</i>	Gimnodinium	Gimnodinium	Gimnodinium sp.	<i>P. inconspicuum</i>	<i>R. lacustris</i>	Gimnodinium	Gimnodinium
Especies Acompañantes	<i>D. divergens</i> <i>D. pulchellum</i> <i>R. lacustris</i> <i>A. granulata</i> Gimnodinium	Gimnodinium sp <i>R. longiseta</i> Cryptomonas	<i>P. inconspicuum</i> <i>D. divergens</i> Cryptomonas <i>Pseudanabaena</i>	<i>R. longiseta</i> <i>D. pulchellum</i> <i>A. granulata</i> <i>R. lacustris</i>	<i>P. inconspicuum</i> Cryptomonas <i>R. longiseta</i> <i>H. arcus</i>	Gimnodinium sp Cryptomonas sp <i>S. rumpens</i> <i>H. arcus</i>	Gimnodinium <i>R. eriensis</i> <i>A. granulata</i> <i>D. pulchellum</i>	<i>R. lacustris</i> Cryptomonas <i>P. inconspicuum</i> <i>Microspora sp.</i>	<i>G. angustatum</i> <i>S. rumpens</i> <i>Fragilaria sp.</i> Cryptomonas sp
Especie con mayor Biomasa Celular	Gimnodinium	Gimnodinium	Gimnodinium sp.	Gimnodinium	Gimnodinium sp.	Gimnodinium sp.	Gimnodinium	Gimnodinium sp.	Gimnodinium sp.
Especies Acompañantes	<i>A. granulata</i> <i>R. eriensis</i> <i>D. divergens</i>	<i>P. inconspicuum</i> <i>R. longiseta</i> Cryptomonas sp	<i>B. braunii</i> <i>P. inconspicuum</i> <i>D. divergens</i> <i>C. affinis</i> Cryptomonas sp	<i>A. granulata</i> <i>R. eriensis</i> <i>D. pulchellum</i>	<i>R. longiseta</i> Cryptomonas sp <i>P. inconspicuum</i> <i>H. arcus</i>	<i>P. inconspicuum</i> <i>H. arcus</i> <i>S. rumpens</i> <i>G. angustatum</i>	<i>A. granulata</i> <i>R. eriensis</i> <i>D. pulchellum</i>	Cryptomonas sp <i>B. braunii</i> <i>Microspora sp</i>	<i>S. rumpens</i> Cryptomonas sp <i>G. angustatum</i> <i>Fragilaria sp</i> Mallomonas
Clorofila a ug/L	1,16	1,89	0,31	0,87	0,72	0,35	0,72	0,51	0,43

Continuación Tabla 3

	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE		
	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida
	19	13	18	21	14	10	22	11	13
Riqueza Específica	11	5	13	9	6	8	9	4	9
Riqueza Específica por grupo	2	1	1	3	2	-	3	1	-
Bacillariophyceae	1	1	-	2	-	-	1	-	1
Chlorophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	1
Chrysophyceae	2	2	-	4	2	-	5	2	1
Cryptophyceae	1	2	2	2	2	1	2	2	1
Cyanophyceae									
Dinophyceae									
Densidad Celular (Cél/L)	8.200	3.690	2.050	9.840	2.050	1.230	20.090	2.870	2.870
Min:	23.575	5.330	4.428	17.630	3.772	2.460	43.255	5.330	4.469
Prom:	38.130	6.560	11.070	34.030	7.380	6.150	78.720	7.380	5.740
Max:									
Biomasa Celular (pg/L)	28.675.400	7.118.420	7.425.100	58.456.079	7.093.000	1.328.400	58.456.980	391.960	7.388.200
Min:	129.807.743	17.872.966	23.249.091	131.869.079	15.151.058	6.808.624	131.869.079	6.756.800	20.949.893
Prom:	271.159.240	36.371.920	86.526.810	302.974.4200	23.905.460	28.363.800	302.974.420	14.016.260	35.948.800
Max:									
Especie con mayor Densidad Celular	<i>A. granulata</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>A. granulata</i>	<i>R. lacustris</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>D. pulchellum</i>	<i>M. distans</i>	<i>Gimnodinium</i>
Especies Acompañantes	<i>Gimnodinium</i> <i>R. eriensis</i> <i>R. lacustris</i> <i>Fragilaria</i>	<i>R. lacustris</i> <i>M. distans</i> <i>Cryptomonas</i>	<i>G. angustatum</i> <i>Cryptomonas</i> <i>M. distans</i> <i>A. granulata</i>	<i>R. eriensis</i> <i>K. contorta</i> <i>Cryptomonas</i> <i>D. pulchellum</i> <i>Pseudamabaena</i>	<i>Gimnodinium</i> <i>A. granulata</i> <i>Cryptomonas</i> <i>H. arcus</i>	<i>Fragilaria</i> sp. <i>H. arcus</i> <i>A. formosa</i> <i>S. rumpens</i>	<i>A. granulata</i> <i>R. eriensis</i> <i>K. contorta</i> <i>Cryptomonas</i> sp. <i>R. lacustris</i> <i>A. spiroides</i>	<i>Cryptomonas</i> <i>R. lacustris</i> <i>Pseudamabaena</i>	<i>Fragilaria</i> <i>A. granulata</i> <i>Cryptomonas</i> <i>G. angustatum</i> <i>Cymbella</i> sp.
Especie con mayor Biomasa Celular	<i>A. granulata</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>A. granulata</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>A. granulata</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>Gimnodinium</i>
Especies Acompañantes	<i>R. eriensis</i> <i>Gimnodinium</i>	<i>M. distans</i> <i>Cryptomonas</i> <i>Mallomonas</i>	<i>A. granulata</i> <i>Cryptomonas</i> <i>S. rumpens</i> <i>C. naviculiiformis</i>	<i>R. eriensis</i> <i>Gimnodinium</i>	<i>A. granulata</i> <i>B. braunii</i> <i>Cryptomonas</i> <i>H. arcus</i>	<i>Fragilaria</i> sp. <i>H. arcus</i> <i>A. formosa</i> <i>S. rumpens</i>	<i>R. eriensis</i> <i>Gimnodinium</i> <i>D. pulchellum</i>	<i>B. braunii</i> <i>M. distans</i> <i>Cryptomonas</i> <i>G. lacustris</i> <i>R. lacustris</i>	<i>A. granulata</i> <i>R. lacustris</i> <i>Cymbella</i> sp. <i>Fragilaria</i> sp. <i>H. arcus</i>
Clorofila a ug/L	0,96	0,88	0,60	1,04	1,30	1,85	0,48	0,49	0,42



Continuación Tabla 3.

	OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida
	23	17	19	28 spp.	19	19	29 spp.	21	19
Riqueza Específica									
Riqueza Específica por grupo									
Bacillariophyceae	9	9	12	16	11	13	14	10	14
Chlorophyceae	5	1	1	4	-	1	5	2	-
Chrysophyceae	2	2	1	3	2	2	4	2	2
Cryptophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	1
Cyanophyceae	3	1	2	1	2	-	2	2	-
Dinophyceae	2	2	1	2	2	2	2	3	2
Densidad Celular (Cél/L)									
Mín.	37.720	2.460	3.280	16.400	5.330	3.280	51.660	3.690	2.460
Prom.	65.190	13.776	5.721	60.393	15.416	6.683	73.744	29.274	25.942
Máx.	91.840	48.380	11.480	99.220	23.780	15.990	102.500	60.270	115.210
Biomasa Celular (pg/L)									
Mín.	194.427.330	2.541.590	10.343.890	29.808.640	8.488.640	2.863.440	198.507.240	4.211.110	2.546.100
Prom.	266.187.779	24.583.026	30.992.796	219.567.567	38.909.656	8.854.606	372.025.460	76.824.570	87.096.753
Máx.	359.621.660	72.971.390	45.259.900	379.123.720	64.928.830	27.317.480	642.458.520	142.153.150	809.118.600
Especie con mayor Densidad Celular	<i>D.pulchellum</i>	<i>A.formosa</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>D.pulchellum</i>	<i>D.divergens</i>	<i>M.distans</i>	<i>R.eriensis</i>	<i>D.divergens</i>	<i>P.inconspicuum</i>
Especies Acompañantes	<i>A.spiroides</i> <i>A.granulata</i> <i>R.eriensis</i> <i>R.lacustris</i> <i>D.pulchellum</i>	<i>Fragilaria sp.</i> <i>R.lacustris</i> <i>Cryptomonas</i> <i>M.distans</i>	<i>R.lacustris</i> <i>S.rumpens</i> <i>A.granulata</i> <i>M.distans</i> <i>Fragilaria</i>	<i>R.eriensis</i> <i>A.granulata</i> <i>R.lacustris</i> <i>M.distans</i> <i>K.contorta</i>	<i>S.rumpens</i> <i>A.granulata</i> <i>P.inconspicuum</i>	<i>D.divergens</i> <i>A.granulata</i> <i>H.amphioxys</i> <i>G.angustatum</i> <i>Fragilaria sp.</i>	<i>D.pulchellum</i> <i>A.granulata</i> <i>S.ocus</i> <i>N.acicularis</i>	<i>P.inconspicuum</i> <i>S.rumpens</i> <i>Gimnodinium</i> <i>M.varians</i> <i>S.rumpens</i>	<i>A.granulata</i> <i>M.distans</i> <i>A.formosa</i> <i>H.amphioxys</i> <i>D.divergens</i>
Especie con mayor Biomasa Celular	<i>A.granulata</i>	<i>A.granulata</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>A.granulata</i>	<i>D.divergens</i>	<i>D.divergens</i>	<i>A.granulata</i>	<i>D.divergens</i>	<i>P.inconspicuum</i>
Especies Acompañantes	<i>R.eriensis</i> <i>Gimnodinium</i>	<i>A.formosa</i> <i>Gimnodinium</i> <i>Cryptomonas</i> <i>Mallomonas</i> <i>S.rumpens</i>	<i>S.rumpens</i> <i>Cryptomonas</i> <i>A.granulata</i> <i>Fragilaria</i>	<i>R.eriensis</i> <i>Gimnodinium</i> <i>D.pulchellum</i>	<i>Gimnodinium</i> <i>A.granulata</i> <i>S.rumpens</i>	<i>M.distans</i> <i>A.granulata</i> <i>Mallomonas sp.</i> <i>A.formosa</i>	<i>R.eriensis</i> <i>Gimnodinium</i> <i>D.pulchellum</i>	<i>A.granulata</i> <i>Gimnodinium</i> <i>M.varians</i> <i>S.rumpens</i>	<i>Gimnodinium</i> <i>A.granulata</i> <i>D.divergens</i> <i>Fragilaria</i>
Clorofila a ug/L	1,15	0,57	0,58	0,92	0,48	0,28	0,77	0,54	0,35

Continuación Tabla 3.

	ENERO			FEBRERO			MARZO		
	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida	Riesco	Palos	Escondida
Riqueza Específica	25	24	22	23	15	20	29	13	20
Riqueza Específica por grupo									
Bacillariophyceae	11	13	14	14	8	14	17	6	14
Chlorophyceae	5	3	2	4	1	2	7	1	1
Chrysophyceae	4	2	1	2	1	1	2	1	1
Cryptophyceae	2	2	1	1	2	1	2	2	1
Cyanophyceae	2	2	1	1	1	-	1	1	1
Dinophyceae	1	2	2	1	2	2	-	2	2
Xanthophyceae	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Densidad Celular (Cél/L)									
Min.	103.730	4.920	1.230	57.400	4.920	5.330	52.480	2.870	2.870
Prom.	165.394	53.170	9.922	136.038	21.074	10.004	94.874	21.976	9.881
Máx.	260.350	120.950	20.910	221.400	31.570	18.040	176.300	34.030	15.170
Biomasa Celular (pg/L)									
Min.	568.773.320	3.198.410	1.066.410	268.772.630	5.505.480	7.837.970	197.714.710	1.921.260	8.175.400
Prom.	875.019.089	105.694.556	16.828.001	598.134.199	42.834.914	17.911.793	396.203.705	26.957.090	47.090.097
Máx.	2.043.477.380	204.458.390	40.149.680	1.184.216.940	65.569.256	30.670.460	669.209.380	49.487.090	97.892.420
Especie con mayor Densidad Celular	<i>R.eriensis</i>	<i>D.divergens</i>	<i>M.distans</i>	<i>R.eriensis</i>	<i>D.divergens</i>	<i>D.divergens</i>	<i>R.eriensis</i>	<i>P.inconspicuum</i>	<i>M.distans</i>
Especies Acompañantes	<i>D.pulchellum</i> <i>A.granulata</i>	<i>P.inconspicuum</i> <i>G.angustatum</i>	<i>Monoraphidium</i> <i>P.inconspicuum</i> <i>D.divergens</i> <i>A.formosa</i>	<i>A.granulata</i> <i>D.divergens</i> <i>D.pulchellum</i>	<i>P.inconspicuum</i> <i>M.distans</i> <i>G.lacustris</i>	<i>M.distans</i> <i>P.inconspicuum</i> <i>Gimnodinium</i>	<i>E.elegans</i> <i>A.granulata</i> <i>D.divergens</i> <i>D.pulchellum</i> <i>E.elegans</i>	<i>G.lacustris</i> <i>D.divergens</i>	<i>A.formosa</i> <i>Gimnodinium sp</i> <i>P.inconspicuum</i>
Especie con mayor Biomasa Celular	<i>A.granulata</i>	<i>D.divergens</i>	<i>D.divergens</i>	<i>R.eriensis</i>	<i>Gimnodinium sp.</i>	<i>D.divergens</i>	<i>A.granulata</i>	<i>Gimnodinium sp.</i>	<i>Gimnodinium sp.</i>
Especies Acompañantes	<i>R.eriensis</i>	<i>G.angustatum</i>	<i>Gimnodinium</i> <i>A.granulata</i> <i>P.inconspicuum</i>	<i>A.granulata</i> <i>D.divergens</i>	<i>D.divergens</i> <i>P.inconspicuum</i>	<i>Gimnodinium</i>	<i>R.eriensis</i> <i>D.divergens</i>	<i>G.lacustris</i> <i>P.inconspicuum</i>	<i>A.granulata</i> <i>D.divergens</i>
Clorofila a ug/L	1,06	0,60	0,29	0,82	1,05	0,48	0,62	0,59	0,56



Tabla 4. Comparación de la comunidad zooplanctónica registrada durante el periodo de estudio en los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida.

	RIESCO	LOS PALOS	ESCONDIDA
CRUSTACEA			
<i>Boeckella gracilipes</i>	X	X	X
<i>Parabroteas sarsii</i>	X	X	
<i>Mesocyclops longisetus</i>			X
<i>Tropocyclops prasinus</i>	X	X	X
<i>Eubosmina hagmanni</i>	X	X	X
<i>Ceriodaphnia dubia</i>			X
LARVAS CRUSTACEA			
Copepoditos Calánidos	X	X	X
Copepoditos Cyclopidos	X	X	X
Nauplius	X	X	X
ROTIFERA			
<i>Keratella cochlearis</i>	X	X	X
<i>Polyarthra vulgaris</i>	X	X	X
<i>Gastropus sp,</i>	X	X	X
<i>Chonochilus unicornis</i>	X	X	X
<i>Phylodina sp,</i>	X	X	X
<i>Filinia longiseta</i>	X	X	
<i>Synchaeta sp,</i>	X	X	X
<i>Lecane luna</i>	X	X	
<i>Trichocerca similis</i>	X	X	
<i>Lecane luna</i>		X	X
<i>Collotheca pelagica</i>		X	X
<i>Asplanchna sp</i>		X	X
CILIADO <i>Stentor sp.</i>	X	X	X

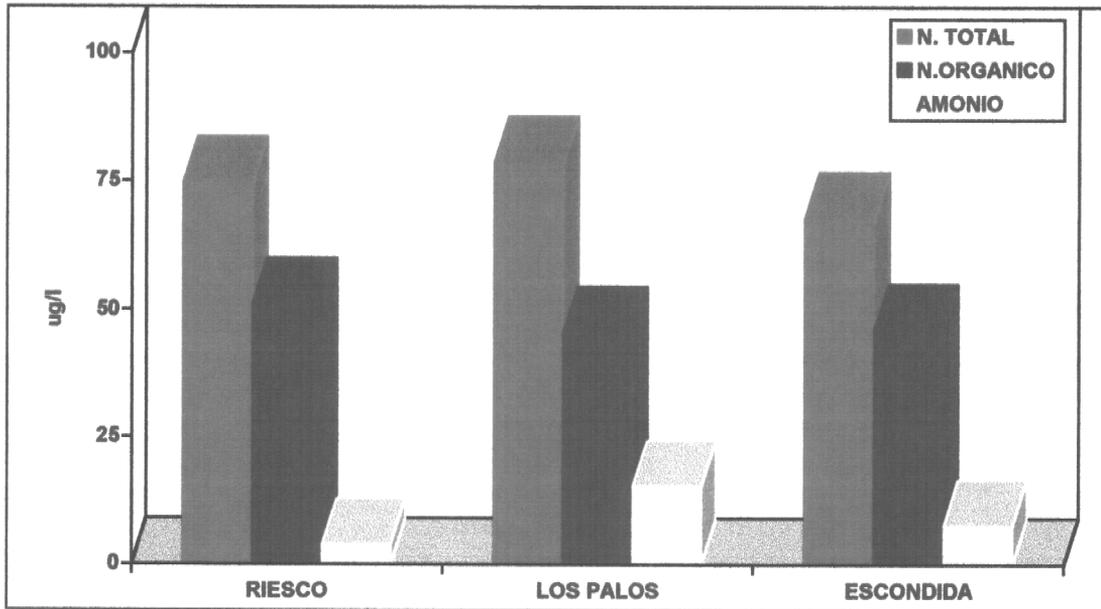
Tabla 5. Valores integrados (0-50 metros) en la columna de agua para los distintos grupos zooplanctónicos, durante el periodo de estudio, en los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida. Individuos están expresados por metro cúbico.

RIESCO	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Prom
TOTAL CRUSTACEA	3222	925	1669	953	780	534	3967	5146	12895	9142	5056	1116	3784
TOTAL ROTIFERA	32089	8570	6140	5103	4050	6118	16160	26077	197158	85611	36614	15615	36609
Stentor sp.	13	104	9	0	69	107	135	2707	336	1003	534	60	423
TOTAL	35324	9599	8810	6056	4899	6759	20262	33930	210389	95756	42204	16791	40898

LOS PALOS	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Prom.
TOTAL CRUSTACEA	892	1130	842	346	833	487	1606	5663	2156	4115	3487	2043	1967
TOTAL ROTIFERA	27860	35889	22301	2786	7604	4027	9560	26871	61830	78169	11961	13043	25158
Stentor sp.	13	13	44	31	9	6	9	113	182	440	490	393	145
TOTAL	28765	37032	23187	3163	8446	4520	11175	32647	64168	82724	15938	15479	27270

ESCONDIDA	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Prom.
TOTAL CRUSTACEA	475	377	448	22	9	3	15	12	15	46	245	351	168
TOTAL ROTIFERA	4069	3002	6510	258	122	252	666	2182	8878	2625	8843	17449	4571
Stentor sp.	491	236	239	41	38	101	3	53	160	660	1962	1534	460
TOTAL	5035	3615	7197	321	169	356	684	2247	9053	3331	11050	19334	5199

a



b

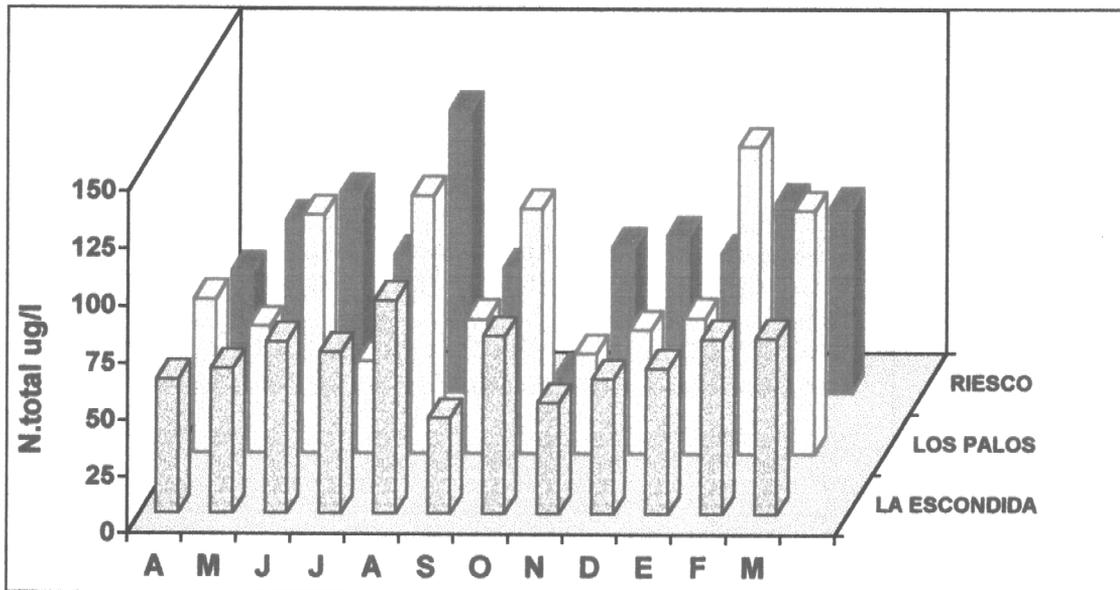


Figura. 16. a. Comparación de los promedios anuales de los nutrientes, Nitrógeno Total, Nitrógeno Orgánico y Amonio (ug/l), y b. Fluctuación del promedio mensual de nitrógeno total (ug/l), registrado en los lagos en estudio.

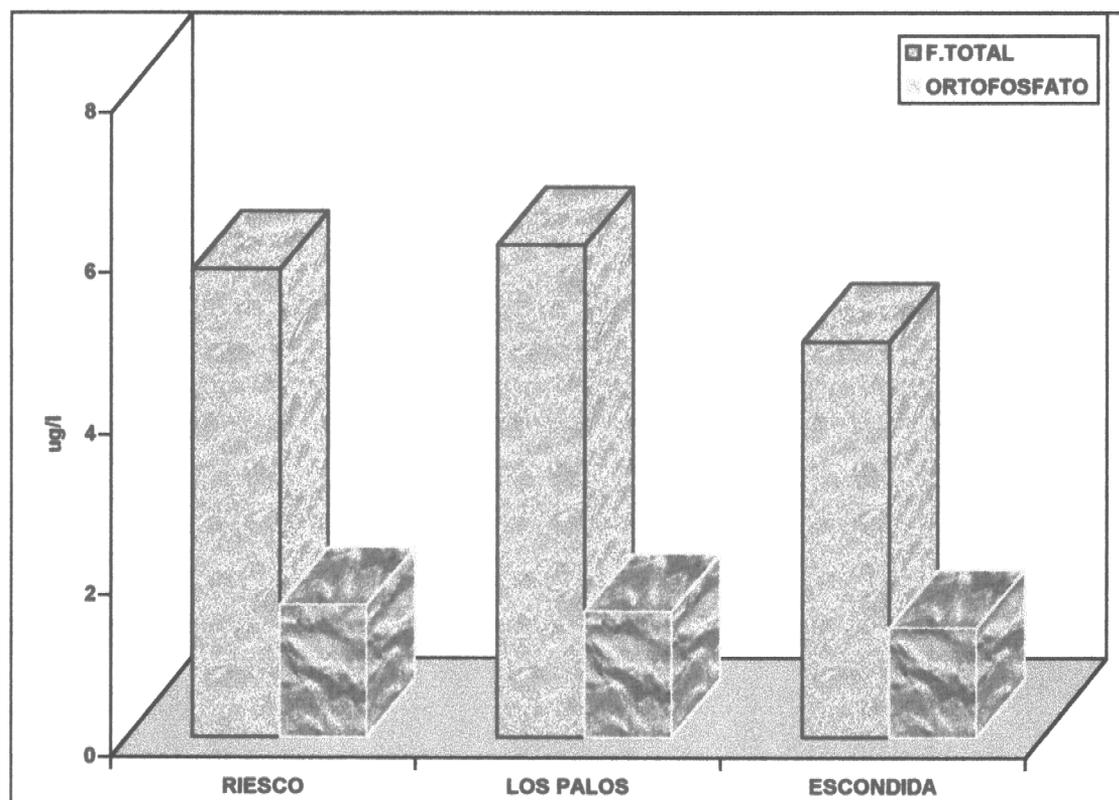


Figura. 17. Comparación de los promedios anuales de los nutrientes, Fósforo Total y Ortofosfato (ug/l), registrados en los lagos en estudio

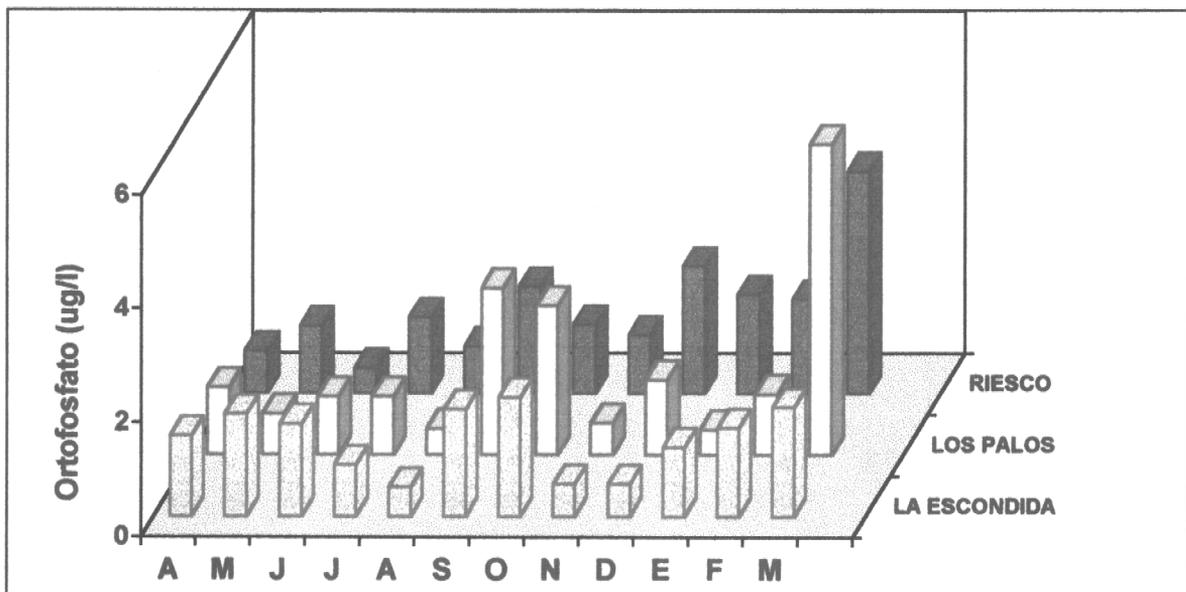
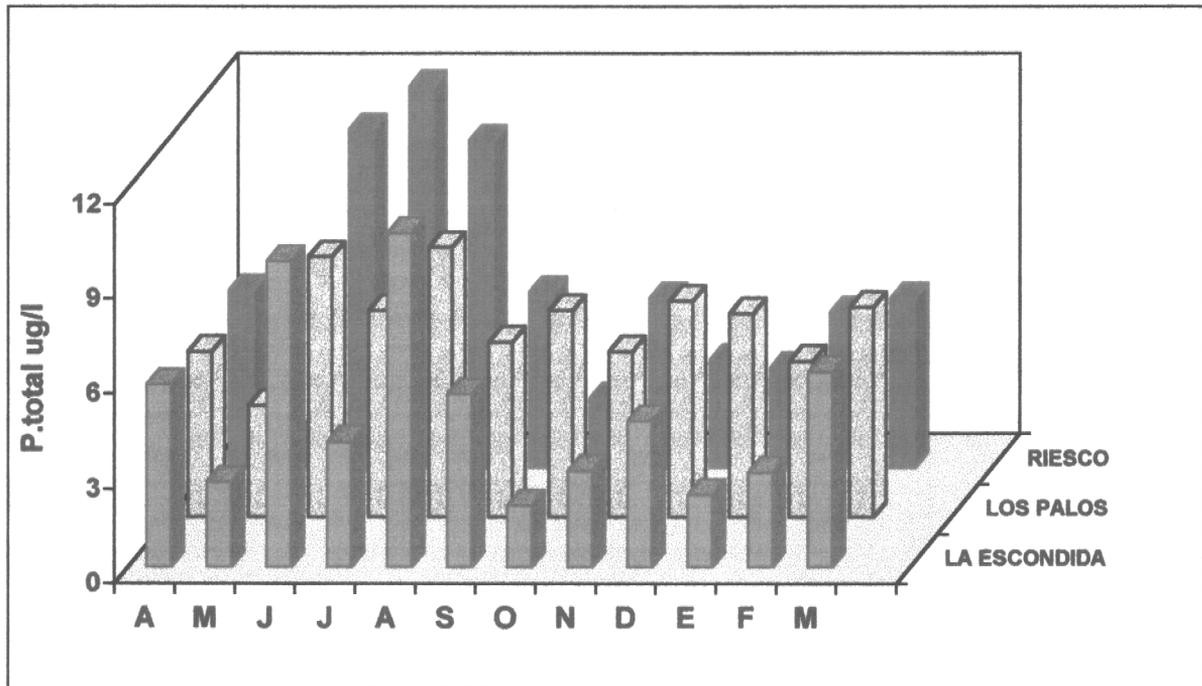


Figura. 18 a. Fluctuación del promedio mensual de Fósforo total ($\mu\text{g/l}$) y b. Ortofosfato ($\mu\text{g/l}$), registrados en los lagos en estudio.

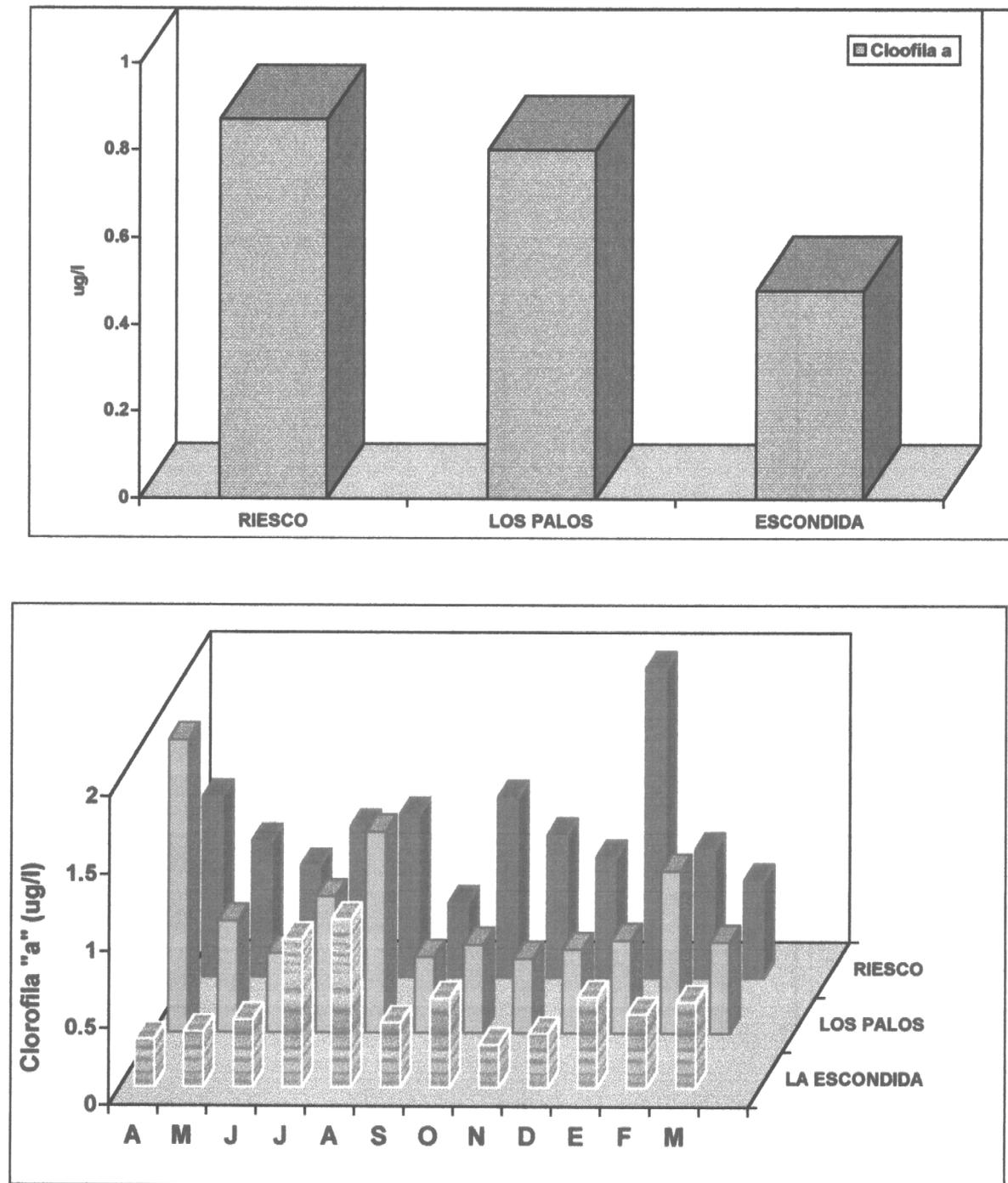


Figura. 19. a. Comparación de los promedios anuales de la Clorofila "a" (ug/l) y b. Fluctuación del promedio mensual de Clorofila "a" (ug/l), registrada en los lagos en estudio.

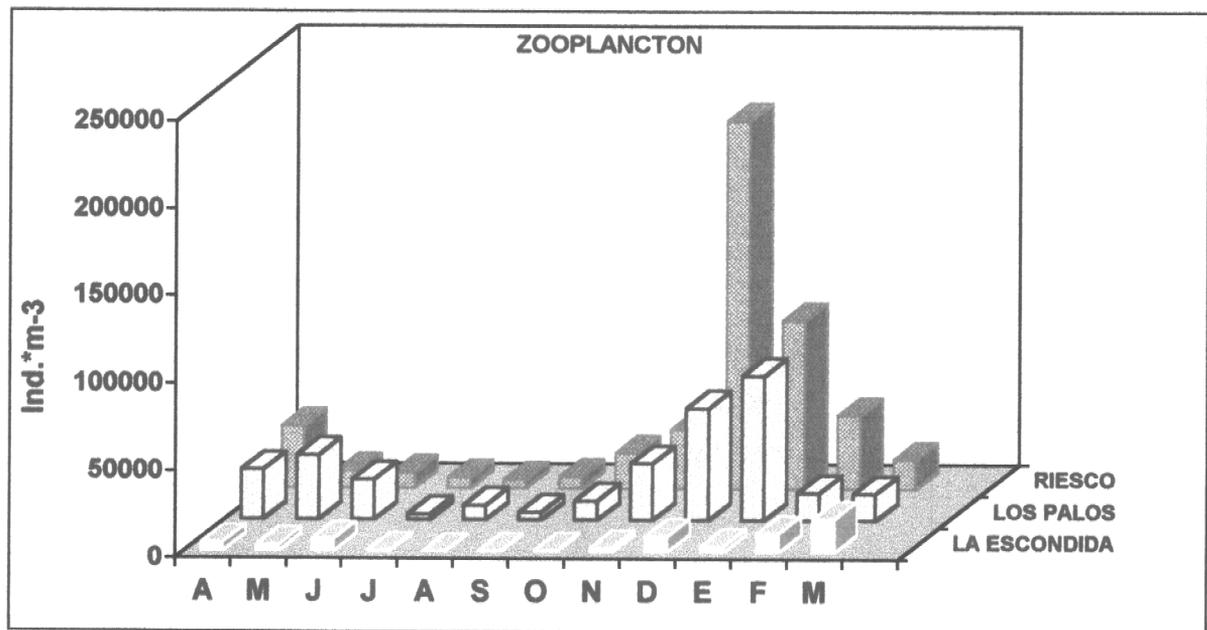
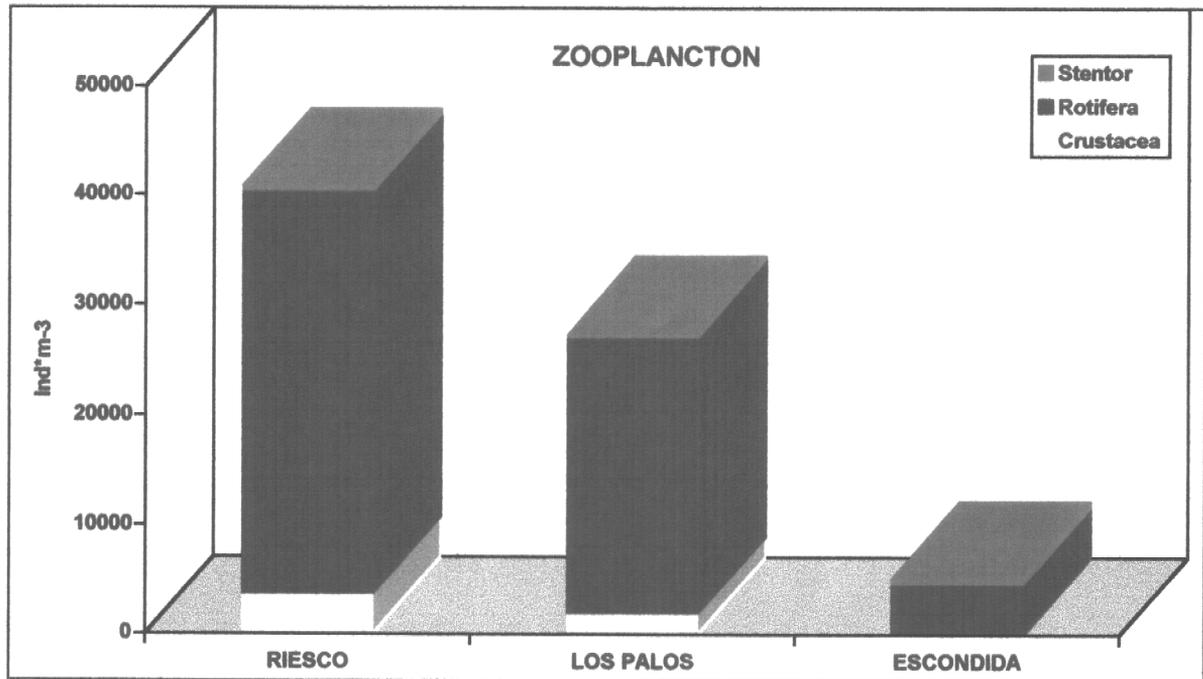


Figura 20. a. Comparación de los promedios anuales de los principales grupos zooplanctónicos y zooplancton total y b. Fluctuación mensual de la comunidad zooplanctónica, en los lagos en estudio.

Capítulo N° 6

CONTENIDO DE FOSFORO Y NITROGENO DE LOS SEDIMENTOS

- **Características texturales y contenidos de P, N y C en los sedimentos de los lagos Escondida, Riesco y los Palos (Coyhaique).**

Con la finalidad de caracterizar los sedimentos de los lagos en estudio, se realizaron en dos estaciones de muestreo análisis texturales y de contenido de nutrientes C, P y N. Además, con el objetivo de verificar la dispersión y/o dilución de los nutrientes aportados, por un Centro de Cultivo de Peces ubicado en el lago Riesco, se realizó un análisis de sedimentológico en un transecto longitudinal, que partió desde las balsas jaulas hacia la ribera del lago.

El análisis textural determinó que el sedimento de la estación 1 de los lagos Riesco y Escondida estuvo constituido por arena y fango, a diferencia de la estación 2 donde existió un predominio de la arena (sobre 80 %). La misma situación se presentó en el lago los Palos, donde la arena alcanzó al 85,7 % del total.

La fracción grava estuvo constituida principalmente por material orgánico, registrándose los valores máximos en las estación 1 de los lagos Riesco y Escondida (cerca del 80 %). El contenido orgánico mas alto en arena se obtuvo en los Lagos Riesco (estación 1) y Los Palos con 30,8 y 20,5 %, respectivamente. En la fracción fango del lago Los Palos se obtuvo el mayor porcentaje de materia orgánica de los tres lagos considerados, con valores sobre el 20 %.

El menor contenido de P se presentó en el lago Los Palos (0,05 %), para el N en el lago Riesco estación 2 (0,15 %) y para el C en la laguna Escondida estación 2 (1,79 %). El valor mayor de P alcanzó a 0,15 % en el lago Riesco (estación 1) y laguna Escondida (estación 2). En este último lugar, se registró además el mayor contenido de N (1,79 %). Para el C el máximo valor obtenido fue de 8 % en el Lago Los Palos.

En la experiencia de captación de sedimentos realizada en el Centro de Cultivo del lago Riesco, utilizando colectores, determinó que las trampas capturaron cerca de 1 g/m²/1d de peso seco en promedio, siendo la mitad material orgánico.

Los porcentajes de P, N y C del material depositado en las trampas del lago Riesco durante 72 horas fueron mayores que los obtenidos en 24 horas. Los porcentajes determinados en 1 día de exposición de las trampas fueron de 0,11 % de P; 0,34 % de N y 11,03 % de C mientras que los correspondientes a 3 días de exposición fueron 0,19 % de P; 0,83 % de N y 15,10 % de C.



La determinación de las características texturales, contenido orgánico y su dilución a partir de las balsas jaula del lago Riesco, indicó que la textura del sedimento se mantuvo pareja, a lo largo de una transecta imaginaria, con un predominio del fango (sobre 80 %). La mayor cantidad de grava (1 %), se determinó para la estación 1, ubicada cerca de la ribera del lago. La estación ubicada bajo el tren de balsas jaula presentó el mayor porcentaje de arena (18 %) y los mayores porcentajes de la fracción orgánica tanto en la arena (12 %) como en el fango (15 %).

Los contenidos de P y N en el sedimento de las cinco estaciones ubicadas sobre la transecta en el lago Riesco, fueron significativamente mayores al comparar la estación ubicada bajo las balsas jaula, con las estaciones próximas inmediatas.

Capítulo N° 7

EXPORTACION DE FOSFORO Y NITROGENO EN LAS MICROCUENCAS

Los resultados de las concentraciones mensuales de nitrógeno y fósforo indican que los valores menores de N-total y P-total se encuentran en la cuenca con bosque nativo denso y menos alterada que se encuentra situada en la laguna Escondida, la cual también presenta menores fluctuaciones mensuales en las concentraciones como lo indican las desviaciones estándar calculadas. Las cuencas del lago Riesco presentan concentraciones significativamente mayores de nitrógeno y fósforo. Los valores de N-total en la microcuenca con cobertura de bosque nativo alterado son significativamente mayores que la cuenca con bosque nativo de la laguna Escondida ($p < 0.000071$) y la cuenca con matorrales-praderas del lago Riesco ($p < 0.007046$). En el caso de las concentraciones de P-total, la cuenca con bosque nativo de la laguna Escondida, presenta valores significativamente menores que la cuenca con bosque alterado del lago Riesco ($p < 0.003664$) y la cuenca con matorrales praderas ($p < 0.078544$). En estos datos, es necesario considerar dos aspectos: (1) en la cuenca con bosque nativo del lago Riesco, durante el período de estudio se visualizaron actividades de extracción de madera y leña, lo que probablemente se traduce en una mayor concentración de nutrientes en los cauces de agua, y (2) las lagunas situadas dentro de la cuenca con matorrales y praderas, probablemente contribuyeron en la retención de nutrientes, por lo que los efectos del cambio de uso del suelo pueden quedar minimizados.



Los valores de exportación mensual de nitrógeno y fósforo en las microcuencas con bosques y matorrales-praderas de los lagos Escondida y Riesco, muestran que los flujos de estos elementos se concentran moderadamente entre los meses de junio y agosto. Con respecto al P-total, los flujos están concentrados en los períodos de invierno y primavera. Esto refleja una fuerte relación con los caudales registrados durante el año, ya que las cuencas de montaña presentan mayores caudales durante los meses de invierno.

Los valores mensuales de exportación de nitrógeno medidos en las cuencas con bosque nativo y matorrales-praderas, muestran una fuerte predominancia de las formas orgánicas por sobre el nitrógeno inorgánico, ya que la exportación N-orgánico representó aproximadamente entre el 60-70% del nitrógeno total. Los datos de las exportaciones mensuales de N-total, muestran valores mayores en la microcuenca con bosque nativo alterado, que en las microcuencas con matorrales-praderas y bosque nativo inalterado. Probablemente, esto pueda ser atribuido a una actividad humana más intensiva que estaba ocurriendo en esta cuenca (por ejemplo: extracción de madera y leña, animales). En el caso del P-total, los resultados son similares pero las diferencias son de menor magnitud. En el caso, de la microcuenca con matorrales y praderas del lago Riesco, los menores coeficientes de exportación pueden estar explicados por una retención de estos elementos ejercida por dos pequeños lagos presente en la cuenca y, además, por una actividad ganadera de bajo impacto.

Los coeficientes de exportación de nitrógeno y fósforo del bosque nativo inalterado medidos en este estudio, constituyen los valores más bajos comparados con otros bosques nativos situados en otras cuencas lacustres del sur de Chile (Tabla 6). En forma similar, también los valores de exportación de nutrientes del bosque nativo degradado y matorrales-praderas constituyen valores muy pequeños comparados con otras superficies similares de otros lagos. Probablemente, esta situación se pueda atribuir, en el primer caso, a que las entradas de estos elementos vía precipitaciones y sustrato geológico constituyen cantidades muy reducidas y a que las coberturas de bosque nativo inalterado son muy efectivas en la disminución de estos elementos que salen vía escorrentía hacia los cursos de agua. En el segundo caso, las praderas ganaderas presentan una reducida carga animal y prácticamente no existen campos agrícolas en estas superficies, por lo que entradas adicionales vía fertilizantes son prácticamente inexistentes.

De la aplicación de los índices de exportación de nitrógeno y fósforo calculados para las diferentes coberturas vegetales, se puede concluir que los aportes de nutrientes desde las subcuencas de la laguna Escondida constituyen los valores mayores de los tres lagos estudiados, debido a que posee la principal red de ríos y esteros que drenan extensas superficies con bosques nativos, lo que también se traduce en los mayores caudales de entrada al lago, en comparación con las subcuencas de los otros lagos. Las subcuencas del laguna Escondida, donde predomina un uso del suelo de bosque



nativo adulto relativamente inalterado prácticamente en el 100% de su superficie, con excepción de las superficies con nieves y glaciares, aportaron una cantidad estimada de N-total de 138.7 ton/año y P-total de 12.5 ton/año

Las subcuencas del lago Los Palos, con usos del suelo predominante correspondiente a bosques adultos y achaparrados y en menor medida matorrales y praderas, con excepción de las superficies con nieves y glaciares, aportaron una cantidad estimada de N-total y P-total de 29.8 y 2.6 ton/año, respectivamente. Estas subcuencas son las que aportaron las menores cantidades de nitrógeno y fósforo de los lagos estudiados, debido a que la magnitud de la red de drenaje es la menor de todas las cuencas, y por lo tanto, los valores de los caudales de los afluentes son muy inferiores a las de los otros lagos.

Las subcuencas del lago Riesco, donde las superficies de matorrales y praderas son relativamente mayores, en comparación con los otros lagos, los aportes de N-total y P-total correspondieron a 46.7 y 4.1 ton/año. En este caso, los caudales de todos los afluentes al lago constituyen un valor intermedio entre los de la laguna Escondida y el lago Los Palos, lo que explica estos valores de transporte de nitrógeno y fósforo.

TABLA 6: Comparación de nutrientes exportados en las microcuencas de los la laguna Escondida y lago Riesco con otros estudios realizados en el sur de Chile (kg/ha año).

LUGAR	NO ₃ -N	N-org	N-total	P-total	USO DEL SUELO
Lago Rupanco (1997)	4.8	2.8	6.8	0.65	Bosque nativo
	5.8	2.8	8.0	0.67	Praderas-matorrales
	12.5	3.9	18.5	1.12	Praderas-ganadería
	9.2	2.7	11.3	0.94	Praderas-agricultura
Lago Huillinco (1998)	1.6	2.1	3.9	0.29	Bosque nativo
	0.9	1.2	2.2	0.22	Bosque-pradera
	0.7	1.1	1.9	0.31	Praderas-matorrales-ganadería
Lago Ríñihue (1998)	0.8	6.9	8.1	0.59	Bosque nativo
	9.4	8.8	20.1	4.45	Matorrales-praderas-ganadería
Este estudio (1999)	0.5	1.1	1.7	0.15	Bosque nativo inalterado
	0.8	1.3	2.2	0.19	Bosque nativo degradado
	0.2	0.6	0.9	0.09	Matorrales-praderas

Capítulo N° 8

CARGA ANUAL, BALANCE MÁSSICO Y CONCENTRACIONES PREDICTIVAS DE FÓSFORO Y NITROGENO.

• CARGA ANUAL DE NUTRIENTES

Los mayores aportes de fósforo y nitrógeno que se reciben a través de los afluentes se manifiestan en la laguna Escondida (Tabla 7). Este hecho, sin lugar a dudas, está relacionado al tamaño de la cuenca de drenaje. Por otra parte, los mayores aportes de nutrientes, a través de aguas residuales se verifican en el lago Los Palos, que posee la mayor densidad poblacional permanente en su cuenca; le sigue en importancia el lago Riesco que también presenta una reducida densidad poblacional. Finalmente, llama la atención los aportes de aguas residuales registrados en la laguna Escondida, la cual a pesar de no tener, una población permanente, recibe especialmente durante el verano una gran afluencia de turistas (pescadores deportivos). Las aguas lluvias, aportan la mayor cantidad de nutrientes en la laguna Escondida, lo que obviamente está en directa relación a la pluviosidad que se registra en este cuerpo de agua. Con relación a los aportes provenientes desde los centros de cultivos de peces, se aprecia claramente que son mayores en el lago Riesco dónde opera actualmente un centro de cultivo; mientras que en Los Palos el centro de cultivos que allí opera, en la actualidad sólo es utilizado para mantener un reducido stock de reproductores. Respecto de la presencia de carga interna en estos cuerpos de agua, es decir, la liberación de nutrientes desde los sedimentos, sólo se manifiesta en el lago Los Palos para el caso del fósforo y nitrógeno; mientras que en la laguna Escondida sólo se hace evidente para el nitrógeno. La laguna Escondida, a pesar de recibir relativamente altas cargas de fósforo y nitrógeno, sólo presenta carga interna de nitrógeno, este fenómeno probablemente se relaciona con la alta solubilidad y compleja dinámica, que presentan los compuestos nitrogenados, los que involucran procesos químicos y microbiológicos. En cambio en el fósforo no se registra carga interna, ya que las cantidades que ingresan son similares a las que salen de la laguna. Es interesante destacar que, a pesar de existir una alta tasa de renovación de la masa de agua, los compuestos fosforados y nitrogenados tienen un comportamiento muy diferente en la laguna Escondida.

Finalmente, es interesante destacar que las cargas anuales de fósforo y nitrógeno en los lagos Riesco y Los Palos, se encuentran dentro de rangos semejantes. Sin embargo, la laguna Escondida registra las mayores cargas de nutrientes, lo que está íntimamente ligado a la gran extensión de su cuenca de drenaje y el reducido tamaño de la laguna.

Tabla 7. Aportes de nutrientes desde las distintas fuentes y carga total de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida.

Aportes	Riesco		Los Palos		Escondida	
	Fósforo (mg/m ² *año)	Nitrógeno (mg/m ² *año)	Fósforo (mg/m ² *año)	Nitrógeno (mg/m ² *año)	Fósforo (mg/m ² *año)	Nitrógeno (mg/m ² *año)
Carga Afluentes	1103.7	14996.6	300.81	4751.4	2848.8	33655.7
Aguas residuales	0.981	4.62	2.2	10.54	0.676	3.218
Aguas lluvias	23.13	397.4	19.13	262.3	33.76	696.1
Centros de cultivo	31.7	539.3	15.0	305.5	-	-
Sedimentos	0.00	0.00	927.6	5874.3	0.00	26574.8
Carga anual	1159.5	15937.9	1264.7	11204.1	2883.2	60929.8

• BALANCE MASICO

En el resultado del balance másico se puede obtener valores negativos o positivos, los valores negativos indican la existencia de sedimentación de nutrientes, es decir, los ingresos son mayores que los egresos del lago. En cambio, los valores positivos en el balance másico denotan la existencia de carga interna, es decir, desde el lago sale una cantidad mayor de nutrientes que las ingresadas, como consecuencia de la liberación de nutrientes desde los sedimentos. Esta situación queda en evidencia en el lago Los Palos para el caso del fósforo y nitrógeno; mientras que, en la laguna Escondida se manifiesta solamente para el caso del nitrógeno (Tabla 8). Es interesante destacar que en el caso del fósforo los mayores ingresos los registra la laguna Escondida; no obstante, aquí no ocurre el fenómeno de carga interna; en cambio en el lago los Palos que tiene un menor ingreso presenta este fenómeno. Esta situación está íntimamente relacionado con la tasa de renovación que presenta cada lago y la dinámica de los nutrientes en la masa de agua. Con respecto al nitrógeno los ingresos más altos se registran en los lagos Riesco y laguna Escondida; sin embargo, sólo se manifiesta carga interna de nitrógeno en la laguna Escondida situación que está casi exclusivamente dada por las diferencias que se registran en la masa de agua durante el año. Respecto de la presencia de sedimentación de nutrientes (P y N), esta se evidenció sólo en el lago Riesco, con valores de 10.65 y 163.15 toneladas para el fósforo y nitrógeno, respectivamente.



Tabla 8. Variables y balance másico de fósforo y nitrógeno de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida.

Aportes	Lago Riesco		Lago Los Palos		Laguna Escondida	
	Fósforo (tons)	Nitrógeno (tons)	Fósforo (tons)	Nitrógeno (tons)	Fósforo (tons)	Nitrógeno (tons)
Carga interna	- 10.65	- 163.15	6.79	43.0	0.00	177.5
Salida del lago	10.84	129.08	5.62	77.0	19.27	284.8
Entrada al lago	16.19	220.0	2.2	34.8	19.03	224.8
Diferencia en la columna de agua	- 5.3	- 72.24	+ 3.37	+ 0.824	- 0.04	+ 117.5

• **APLICACIÓN MODELO PREDICTIVO**

La aplicación del Modelo de Vollenweider (1968, 1976), Vollenweider y Dillon (1974); Dillon y Rigler (1974) y Jorgensen y Vollenweider (1989), permiten predecir la concentración de fósforo y/o nitrógeno a partir de las cargas medidas directamente en cada cuerpo de agua. De un análisis detallado de la tabla 9, se puede apreciar como este modelo se ajusta muy bien, cuando se comparan las concentraciones medidas directamente en los lagos (valores promedios anuales), con los valores obtenidos a través de la ecuación de Dillon y Rigler (1974). Este excelente ajuste del modelo se evidencia claramente para los lagos Riesco y los Palos; para el caso de la laguna Escondida se registran ciertas diferencias, pero estas se deberían básicamente a las especiales características de este cuerpo de agua, relacionadas directamente con una alta carga hidráulica y un mínimo tiempo de residencia hidráulica. Con respecto al nitrógeno se utiliza el mismo modelo aplicado para el fósforo, modificando sólo el tiempo de retención del nutriente (16% menos que el fósforo). De los resultados obtenidos, es evidente que el ajuste no es tan alto, pero indudablemente este modelo se transforma en una buena herramienta predictiva, dadas las complejas reacciones que ocurren en el ciclo del nitrógeno.

Tabla 9. Comparación de las concentraciones promedio anuales de P y N, con los valores obtenidos según el modelo predictivo de Vollenweider (1968, 1976), obtenidos en los diferentes lagos.

Concentración	Lago Riesco		Lago Los Palos		Laguna Escondida	
	Fósforo (ug/L)	Nitrógeno (ug/L)	Fósforo (ug/L)	Nitrógeno (ug/L)	Fósforo (ug/L)	Nitrógeno (ug/L)
Medida	5.8	74.5	6.1	78.5	4.9	67.6
Modelo predictivo	5.7	88.3	6.5	63.0	2.36	54.3



Capítulo N°9

CAPACIDAD DE CARGA EN TERMINOS DE STOCK CULTIVABLE DE ESPECIES SALMONIDEAS EN LOS LAGOS

Para determinar la capacidad de carga, en términos de máximo stock cultivable de peces, en cada uno de los lagos estudiados, se realizó un análisis considerando básicamente la carga actual y la carga crítica. Estableciendo las diferencias existentes entre estas cargas, es posible determinar el margen de soporte de carga que tiene cada cuerpo de agua para cambiar de nivel de trofia. Luego conociendo los aportes de compuestos nitrogenados y fosforados que entregan los centros de cultivo de peces, por tonelada de producción, es posible llegar a establecer, de acuerdo a los niveles de producción, el tiempo en el cual se alcanzaría la carga crítica y por ende se cambiaría el nivel de trofia del lago. Para estos efectos, se considera a los centros de cultivo de peces, como la fuente fija generadora de las mayores cantidades de compuestos nitrogenados y fosforados, dentro de cada cuenca.

Tabla 10. Determinación del margen de soporte de los nutrientes P y N (tons) en los tres lagos estudiados

	Lago Riesco		Lago Los Palos		Laguna Escondida	
	Fósforo	Nitrógeno	Fósforo	Nitrógeno	Fósforo	Nitrógeno
carga actual	1159.5	15937.9	1264.7	11204.1	2883.2	64144.6
carga crítica	15541.5	36114.3	1958.5	35575.1	12464.8	235232.6
diferencia	14382.0	20176.4	693.8	24371.0	9581.6	171088
Margen de soporte (tons)	211.4	296.6	5.1	178.4	64	1571.4

Considerando los márgenes disponibles (toneladas) de fósforo y nitrógeno que posee cada uno de los lagos, para alcanzar su respectiva carga crítica, se realizó un cálculo de máximo stock cultivable de especies salmonídeas (Tabla 10). Para estos cálculos se consideró la norma de producción de 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas de lago. Para esto se tomaron como referencia, los valores obtenidos en la presente investigación, respecto de los aportes netos que significa la producción de 1 tonelada de peces. Según estos antecedentes, se liberan al lago 11.0 kg de fósforo y 187.4 kg de nitrógeno por tonelada de peces vivos (smolts).



Al establecer, una relación entre el total de toneladas de peces que se pueden producir en cada lago y los aportes de fósforo y nitrógeno que estas significan, se puede considerar lo siguiente:

El lago Riesco produciendo 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas, alcanzaría su carga crítica de fósforo en 459 años; mientras que la carga crítica de nitrógeno se alcanzaría dentro de 38 años.

En el lago los Palos produciendo 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas, se alcanzaría la carga crítica de fósforo dentro de 22 años; mientras que la carga crítica de nitrógeno se alcanzaría en 45 años.

En la laguna Escondida produciendo 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas se alcanzarían las cargas críticas de fósforo y nitrógeno dentro de 304 y 436 años, respectivamente.

Considerando solamente al fósforo como elemento determinante en la eutroficación de estos cuerpos de agua, de acuerdo a las estimaciones anteriormente descritas, se puede establecer que el lago más vulnerable para cambiar su actual nivel de trofia sería el lago los Palos. El hecho que la laguna Escondida presente un período de tiempo tan largo para alcanzar su carga crítica, se debe exclusivamente a su comportamiento hidráulico, el cual se caracteriza por poseer una altísima tasa de renovación.

Capítulo N° 10

MODELO DE SIMULACION DE APORTES DE FÓSFORO Y NITROGENO POR CENTROS DE CULTIVOS DE SALMONIDEOS

De acuerdo con los cálculos descritos en los capítulos precedentes es posible simular una situación hipotética con diferentes niveles de producción de peces, para estos efectos se consideran estos niveles en relación con unidades de superficie (hectáreas), tal como lo estipula la reglamentación vigente.

En la Tabla 11 es posible visualizar en forma comparativa esta situación simulada para los tres lagos estudiados. En el caso del lago Riesco se pone de manifiesto que un incremento en el nivel de producción, aumenta sustancialmente los aportes, tanto de desechos, como de los nutrientes fósforo y nitrógeno. Así, desde un mínimo de 0.46 tons de fósforo y 7.87 tons de nitrógeno, produciendo 1 tonelada de peces/35 hectáreas; se puede alcanzar hasta un máximo de 1.63 tons de fósforo y 27.5 tons de nitrógeno, produciendo 1 ton de peces/10 hectáreas de lago. En el caso del lago Los Palos estos diferentes niveles de producción, incrementan los aportes de desechos y nutrientes (fósforo y



nitrogeno), desde un mínimo de 0.23 tons de fósforo y 3.93 tons de nitrógeno, produciendo 1 tonelada de peces/35 hectáreas; hasta 0.81 tons de fósforo y 13.75 tons de nitrógeno, produciendo 1 ton de peces/10 hectáreas de lago. En el caso de la laguna Escondida, los aportes de desechos y nutrientes que provienen de la situación simulada, aportarían desde un mínimo de 0.21 tons de fósforo y 3.56 tons de nitrógeno, con una tonelada de peces/35 hectáreas; hasta un máximo de 0.74 tons de fósforo y 12.52 tons de nitrógeno produciendo 1 ton de peces/10 hectáreas de lago.

Tabla 11. Simulación de requerimientos alimenticios; producción de desechos y nutrientes (N y P) en relación con diferentes a dos niveles de producción, en los tres lagos estudiados.

Nivel Producción	Lago Riesco		Lago Los Palos		Laguna Escondida	
	1 ton/35 Há	1 ton/10 Há	1 ton/35 Há	1 ton/10 Há	1 ton/35 Há	1 ton/10 Há
Peces Producidos (tons)	42.0	146.7	21.0	73.3	19.0	66.8
Alimento requerido (tons)	63.0	220.1	31.5	110.0	28.5	100.2
Desechos producidos (tons)	21.0	73.4	10.5	36.7	9.5	33.4
Fósforo que ingresa al lago (tons)	0.46	1.63	0.23	0.81	0.21	0.74
Nitrógeno que ingresa al lago (tons)	7.87	27.51	3.93	13.75	3.56	12.52

De acuerdo a los antecedentes obtenidos, a través de esta simulación, se puede plantear que para los efectos de reglamentación en acuicultura de aguas continentales, es necesario no sólo considerar el área del lago, para delimitar la cantidad de centros de cultivo que se podrían instalar en un cuerpo de agua. Se hace evidente, de acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, considerar que aspectos tales como la profundidad media y tasa de renovación de la masa de agua. Además, de los contenidos de nutrientes (fósforo y nitrógeno), son los parámetros determinantes en la cuantificación de capacidad de carga. Por lo tanto, estos parámetros constituyen los elementos de juicio que están íntimamente relacionados con los factores que intervienen en los cambios de trofia en un ambiente lacustre. Esta situación queda claramente evidenciada en la simulación realizada en la laguna Escondida. En esta laguna, de acuerdo a su limitada superficie, similar a la del lago Los Palos; según la normativa vigente, sólo se podría instalar un centro de cultivo, en cada lago y producir como tope alrededor de 20 toneladas de peces vivos. Sin embargo, esta norma sólo podría ser aplicada en el lago Los Palos; ya que, en el caso de la laguna Escondida, debido a sus características hidrológicas altamente fluctuantes, permitiría utilizar este cuerpo de agua con una carga muy superior de peces, debido a que posee una extraordinaria capacidad de soporte de



nutrientes. Es así, como a modo de ejemplo extremo, considerando los niveles de cargas críticas determinadas para el fósforo y nitrógeno, si se llegase a producir 1 tonelada de peces por cada hectárea de lago, se contribuiría con 7.4 toneladas de fósforo y 125 toneladas de nitrógeno anualmente. De acuerdo a estos aportes la laguna debería alcanzar la carga crítica de fósforo después de 8.6 años y la crítica de nitrógeno después de 12.6 años.

Capítulo N° 11

AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO

Con relación a la prospección de sitios adecuados para la instalación de pisciculturas, en los lagos estudiados, fue posible identificar dos sitios apropiados en el lago Riesco y dos sitios en la laguna Escondida; mientras que, en el lago Los Palos sólo se pudo identificar un sitio. Esta selección de sitios se hizo considerando básicamente aspectos batimétricos y fisiográficos. Desde el punto sedimentológico, sólo un sitio ubicado en el lago Riesco presentaría condiciones óptimas, debido a la presencia de material fino (arenas y fango), con relativamente bajas cantidades de materia orgánica. Mientras que, en los Palos y laguna Escondida, sedimentológicamente los sitios presentan mucho material fino con altos contenidos de materia orgánica. Desde el punto de vista hidrodinámico, en general, todos los sitios son relativamente buenos, en el sentido que presentan buena circulación de la masa de agua. No obstante, cuando se analizan la dinámica de los nutrientes, durante el verano, se puede apreciar que algunos sitios tienden a presentar acumulación de nitrógeno, a pesar de tener aguas bien oxigenadas en el estrato profundo.

Para el caso del lago Riesco, considerando su actual estado de trofia, sólo sería recomendable instalar un centro de cultivo en el área cercana al desagüe, para evitar la acumulación de nutrientes; ya que estos en forma natural se encuentran sedimentando en el lago. Sin embargo, también se debería tomar en cuenta que el sector del desagüe, es frecuentado durante el verano por gran cantidad de turistas, lo que indudablemente generaría algún tipo de conflicto en el uso de este cuerpo de agua. Con relación al lago los Palos, dadas sus características hidrodinámicas y el estado de trofia actual del lago, no sería recomendable agregar nuevos centros de cultivo de peces al ya existente. Finalmente, la laguna Escondida presenta las mejores condiciones desde el punto de vista hidrodinámico, para la instalación de centros de cultivo de peces, debido a la alta carga hidráulica y el mínimo tiempo de residencia hidráulica, que se registra a través del año.



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANDERSON, F; BLACK, L, MAYER, L; & WATLING, L. 1981. A temporal and spatial study of mud filt texture. *Northeastern Geology*. 3: 184-191.

ANDRADE B. y CASTRO C. 1976. Ensayo y métodos de detección de unidades morfodinámicas en las planicies litorales de Chile Central. *Revista Geográfica de Chile. Terra Australis*, N°25: 11 - 25.

APHA 1975. Standar Methods for the examination of water. 14th. De. APHA-AWWA-WPCF.

BRANDES, M; CHOWDRY N.A. & CHENG W. 1974. Experimental study on removal of pollutants from domestic sewage by underdrained soil filters. National Home Sewagwe Disposal Symposium. *Am. Soc. Agric. Eng.*, Chicago, III., 1974.

BRUNETT, 1963. Les cartes des pentes. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. 23: 317-334.

CAMPOS, H.; PARRA, O.; RODRIGUEZ A.; SOTO F.; HUBER, A.; OYARZUN, C.; SOTO, D.; AGÜERO, G.; & TURNER, A. 1993. Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el lago Rupanco, Xª Región. Proyecto Fondo de Investigación Pesquera y Universidad Austral de Chile.

CAMPOS, H.; VILLALOBOS, L.; PARRA, O.; AGÜERO, G. 1996. Estudios limnológicos de los lagos Elizalde y Riesco. Convenio Universidad Austral de Chile-Dirección General de Aguas. 180 pp.

CAMPOS, H., HUBER A., PARRA, O., OYARZUN, C., VILLALOBOS, L., JAQUE, E., BERTRAN, C. BRAVO, A., GRANDJEAN, M., AVILES, D., AGÜERO, G. & CAMPUSANO, C. 1998. Determinación de la Capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín. Convenio Fondo de Investigaciones Pesqueras, Subsecretaría de Pesca, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile y Universidad Austral de Chile. Lago Huillinco: 218 pp, L.Cucao: 203 pp, L.Natri: 164 pp, L.Tarahuin: 174 pp, L.Tepuhueico: 169 pp.

CAMPOS H. (Q.E.P.D), VILLALOBOS, L., GRANDJEAN, M. PARRA, O, JAQUE, E. & AGÜERO G. 1999. Diagnóstico limnológico de los principales lagos de la comuna de Coyhaique (Póllux, Castor, La Paloma y Atravesado). Convenio entre la Ilustre Municipalidad de Coyhaique y Universidad Austral de Chile. Financiado por el Gobierno Regional de la Comuna de Coyhaique 304 pp.

CHAMPMAN, H.D. 1957. Methods of analysis for soils plants waters.

OECD. CLASEN, J. & BERNHARDT, H. 1980 Eutrophication programme shallow lakes and reservoir project final report. Water Research Centre. Med.Laboratory, Med Marlow Bucks. SL7. 2HD U.Kingdom, 289 pp.

DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. 1974. The phosphorus-chorophyll relationship in lakes. *Limnol.Oceanogr*. 19: 767-73.

DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. 1975. A simple method for predicting the capacity of lake for development based on lake trophic status. *Jour. Fish. Res. Bd. Can.* 32: 1519-31

ENDLICHER W.1982. Instalación de Parcelas de Erosión, para evaluar la erosión del suelo en la Cordillera de la Costa de Chile Central. Actas Tercer Congreso Geológico Chileno.Concepción.

EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD (ENDESA), 1972. Caudales medios mensuales retrospectivos. División Hidrología. Santiago, Chile.

ENELL, M. & LÖF, J. 1987. The environmental impact of aquaculture.



FASSBENDER, H. W. & BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). San José Costa Rica, 420 pp.

HUTCHINSON, G.E. 1957. A treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley and Sons, New York. 1015 p.

JONES, J.R. & BACHMANN, R.W. 1976. Prediction of phosphorous and chlorophyll levels in lakes. Journ. Water Poll. Cont. Fed. 48: 2176-2178.

LARSEN, D.P. & MERCIER, H.T. 1976. Phosphorus retention capacity of lake. *Jour. Fish. Res. Bd. Can.* 33:1742-50.

LAUGENIE, C.I. 1971. Elementos de la cronología glaciaria en los Andes chilenos meridionales. Cuadernos del Sur. 1: 7-20.

JØRGENSEN, S.E. 1994. Fundamentals of Ecological Modelling (2nd Edition). Elsevier. 627 pp.

JØRGENSEN, S.E. & VOLLENWEIDER, R.A. 1989a. Problemas de Lagos y Reservorios. In: Jørgensen, S.E. & Vollenweider R.A. (Eds.): Directrices para la Gestión de lagos. Vol. 1. Internacional Lake Environment Committee Foundation and United Nations Environment Programme, Japon, 27-32 p.

MOPT. 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Serie monografías de la Secretaría de Estado para las políticas del agua y el Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

NIEMEYER, H. & CERECEDA, P. 1984. Tomo 8-Hidrografía. Colección Geografía de Chile. IGM.

OCDE. 1982. Eutrophication of waters monitoring assessment and Central Final Report. OCDE Cooperative Programme on monitoring of Inland waters (eutrophication control). Environment directorate, OECD, Paris. 154 pp.

PHILLIPS, M.J. & BEVERIDGE, M. 1986. Cages and effect on water condition fish farmer, 9 (3): 17-19.

QUINTANILLA V. 1985. Biogeografía. Colección Geografía de Chile. IGM.

RAST W. & LEE, G.F. 1978. Summary analysis of the North American (US portion) OECD. Eutrophication Project: Nutrient loading-lake response relationships and trophic state indices. *Ecological Research Series*, No. EPA-600/3-78-008, US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Corvallis, Oregon, USA. 454 pp.

RECKOW, K.H. & SIMPSON, J.T. 1980. A procedure using modeling and error analysis for the prediction of lakes phosphorous concentration from land use information. *Can. Journ. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1439-1448.

RODRIGUEZ, R.L. 1993. Determinación cuantitativa de la carga de desechos ingresados al lago Ranco por efecto del cultivo de especies salmonídeos. Tesis Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología Marina. 147 pp.

RYDING, S.O. 1980. Monitoring of Inland Waters: OECD Eutrophication Programme. The Nordic Project. Publication 1980:2, Nordic Cooperative Organization for Applied Research (NORDFORSK), Helsinki, Finland, 207 p.

RYDING, S.O. & RAST, W. 1992. El control de la eutroficación en lagos y pantanos. P.J. Editorial Pirámide, S.A. y Unesco. Madrid. España. 375 p.

- SAKAMOTO, M. 1966. Primary production by the phytoplankton community in some Japanese lakes and its reference on lake depth. *Arch. Hydrobiol.* 62:1-28.
- S.A.F., 1993. Fotografías aéreas, escala 1: 70.000. Servicio aerofotogramétrico de Chile.
- SCOR-UNESCO. 1969. Determination of photosynthetic pigments in sea water. 2nd. Ed. Imp. Rolland, Paris.
- STRASHLER 1987. *Modern Physical Geography*. Third Edition 488 p.
- SOKAL, R. & F. ROHLF. 1969. *Biometría*. H. Blume Ediciones. Rosario, 17. Madrid. 832 pp.
- UTHERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommung de quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 9: 1-38.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Technical Report DAS/CSI/68.27, Environmental Directorate, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris. 154 p.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1969. Möglichkeiten und Grenzen elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen (In German: Possibilities and limits of elementary models concerning the budget of substances in lakes). *Arch. Hydrobiol.* 66: 1-36
- VOLLENWEIDER, R.A. 1975. Input-output models with special reference to phosphorus. Loading concept in limnology. *Schweiz. Zeit. Hydrol.* 37: 53-84
- VOLLENWEIDER, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33:53-83
- VOLLENWEIDER, R.A. & P.J. Dillon. 1974. The application of phosphorus loading concept to eutrophication research. N.R.C. Tech. Rep. 13690: 42 p.
- WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. Second Ed., Saunder College Publishing, Philadelphia, 760 pp.