



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2014
Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para
actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile
(Segunda Etapa)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Enero 2016



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2014
Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para
actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile
(Segunda Etapa)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Enero 2016

REQUERENTE

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO

Jefa División Política Comercial e Industrial
Pamela Arellano Pérez

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFA DE PROYECTO

Nicole Pesse Lastra



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Noviembre 2015

AUTORES

Nicole Pesce Lastra
Carolina Oyarzo Rösner
Claudia Pérez Sáez

COLABORADORES

Rodrigo Vera Sepúlveda
Manuel Olguín Tequil
Gemita Pizarro Nova
Claudia Zamora Amstein
Christian Espinoza Alvarado
Francisco Correa Araneda
Denice Meyer Cárdenas
Paola Hinojosa Carrasco
Javier Barrientos Gómez
Lilian Díaz Galindo
Gerson de Santos Pavletic
Cristian Ruiz Soto

COLABORADORES EXTERNOS

Irma Vila Pinto
Juan Pablo Oyanedel Muñoz
Karina Díaz Valle



RESUMEN EJECUTIVO

La salmonicultura es el segundo sistema de producción animal más importante a nivel mundial. Chile se ubica dentro de los principales productores acuícolas en el mundo, cuya producción es explicada en más de un 90% por la salmonicultura. El ciclo de cultivo de salmónidos consta de fase de agua dulce “alevinaje y smoltificación” y fase agua de mar donde se realiza la “engorda” de los peces. La etapa de alevinaje se realiza principalmente en los sistemas lacustres en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos.

El fuerte y continuo crecimiento de la acuicultura ha generado importantes beneficios e ingresos económicos, pero también ha dado lugar a diversos impactos ambientales, destacando entre estos últimos, la aceleración del proceso de eutrofización en los lagos, por el mayor aporte de fósforo. A partir de esta problemática se ha desarrollado el concepto de “capacidad de carga”, el que establece límites concretos, ya sea en relación al tamaño poblacional de una especie dada la cantidad de recursos, o a la capacidad de los ecosistemas para asimilar los residuos de las actividades antrópicas. En relación a este concepto, se han desarrollado diversos modelos que permiten estimar la capacidad de carga de ecosistemas lacustres, los cuales han sido aplicados y validados, tanto en zonas templadas como en zonas tropicales.

El presente proyecto da continuidad al proceso de actualización de información ambiental de los lagos Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo) y Chilotés (Cacao, Huillínco, Tarahuín y Natri) en los cuales se desarrolla salmonicultura, orientado a obtener información de las características limnológicas de la columna de agua, del sedimento y de las corrientes superficiales. Con estos antecedentes fue posible realizar estimaciones actualizadas de capacidad de carga y estado trófico de los sistemas lacustres estudiados, para aportar con información que permita a la autoridad sectorial tomar decisiones orientadas a resguardar los sistemas acuáticos donde se realizan las actividades de acuicultura, de modo que se tienda a una acuicultura sustentable.

En relación a la revisión bibliográfica, a partir de 1984 se han realizado 49 estudios relacionados a caracterizar parámetros ambientales en los lagos estudiados. La mayor cantidad de estudios se registró desde el año 2002 a la fecha, período en que se publicó más del 70% de los trabajos. Los lagos más estudiados son el Llanquihue y el Puyehue, donde las temáticas más recurrentes han sido la paleolimnología y la limnología. Así también en la primera etapa del proyecto, desarrollada el año 2012, se realizó una revisión detallada de los estudios de capacidad de carga en lagos con acuicultura de la región de Los Lagos, identificando las falencias o errores y recalculando los análisis, en los casos que ello fue posible. Se monitorearon 6 de los 9 lagos actualmente en estudio y se propuso un modelo de capacidad de carga para el lago Llanquihue.



Morfométricamente los lagos Araucanos se caracterizaron por presentar una mayor superficie, profundidad máxima y volumen, en comparación con los lagos Chilotas. Esto implica que este último grupo de lagos presenta tiempos de renovación más rápidas (0,1-3,5 años).

Para la caracterización ambiental de cada lago y su nivel trofía, se establecieron las estaciones de muestreo dependiendo de su morfología y actividades antrópicas en su cuenca, fijando como mínimo 5 estaciones de muestreo por lago. Se constituyeron estaciones control asociadas a las máximas profundidades de cada lago, y estaciones de muestreo en bahías con acuicultura *in situ* (balsas jaula). En las estaciones control se tomaron exclusivamente muestras y datos de columna de agua, como mínimo 10 muestras entre la superficie y el fondo, en profundidades ≥ 100 m, de modo que fue posible contar con perfiles de nutrientes hasta la máxima profundidad lacustre. En las bahías con acuicultura, se tomaron muestras de columna de agua en tres estratos (superficie, medio y fondo), junto con sedimentos en tres sectores en triplicado. En cada estación de muestreo se tomaron variables físico-químicas y biológicas de la columna de agua, específicamente transparencia del disco de Secchi, perfiles de CTDO, análisis de nutrientes totales y disueltos, clorofila a, junto con abundancia de fito y zooplancton. Así también se evaluaron variables físico-químicas del sedimento, particularmente temperatura, pH y potencial de óxido reducción *in situ*, junto con análisis de granulometría y materia orgánica. Además durante el muestreo se realizaron mediciones de correntometría Lagrangeana. Los muestreos fueron realizados entre abril y diciembre de 2014.

Los resultados indicaron que el lago Llanquihue en otoño, presentó una columna de agua estratificada térmicamente, mientras que los lagos Chapo y Rupanco fueron analizados durante la condición de mezcla, para el lago Ranco se observaron indicios de estratificación y en el lago Puyehue una leve alza de temperatura superficial pero sin formación de termoclina. Sólo en los lagos Huillínco y Cucao se registró estratificación química, una clara picnoclina a los 8 a 10 m de profundidad. Todos los cuerpos de agua presentaron generalmente buenas condiciones de oxigenación (~ 10 mg/L), salvo en el lago Tarahuín, donde se registraron valores en torno a los 5 mg/L a 1m del fondo, en la estación de mayor profundidad (20 m aprox). Situación similar se registró en los lagos Llanquihue y Rupanco observándose valores bajo 2,5 mg/L de oxígeno disuelto (OD) en el hipolimnion profundo, en la estación control del área Ensenada (317m) y en bahía Phillipi en el lago Llanquihue. Mientras que en el lago Rupanco la disminución de OD se produjo en las dos estaciones control bajo los 100 y 250 m de profundidad y en algunas bahías bajo los 50 m de profundidad.

En los lagos Llanquihue, Chapo, Rupanco, y Ranco, el fitoplancton estuvo dominada por diatomeas. En cambio, en el Lago Puyehue, dependiendo de la estación de muestreo, los grupos dominantes alternaron entre diatomeas y cloroficeas. La composición fitoplancótica de los lagos Huillínco y Cucao estuvo restringida únicamente a especies de diatomeas. En los lagos Tarahuín y Natri además de presentar diatomeas, se registraron cianoficeas y cloroficeas. No se detectó la especie plaga FAN *Dydimosphaenia geminata* en ninguno de los sistemas lacustres en estudio. Sin



embargo, se observó: *Anabaena spp.*, representantes de este género han sido descritos como potencialmente nocivos por su toxicidad. Además, se registró la presencia de *Ceratium hirundinella*, dinoflagelado que ha sido descrito para Chile como una especie asociada a intervención antrópica y enriquecimiento con nutrientes. En relación al zooplancton de los lagos araucanos, éste registró menor densidad a la reportada en estudios previos. Se registraron las especies *Tumeodiaptomus diabolicus* (= *Diaptomus diabolicus*) y *Mesocyclops sp.*, *B. gracilipes* y *Bosmina chilensis*.

Respecto a la componente sedimentaria, los lagos chilotas presentaron mayores porcentajes de materia orgánica y fango, en comparación a los lagos araucanos. Además, en los lagos chilotas se registraron valores del potencial redox bajo el límite de aceptabilidad, llegando incluso a valores negativos. En general, se observó mayor acumulación de fango y materia orgánica en los sedimentos provenientes de bahías que presentan actividades de acuicultura.

En relación a los parámetros indicadores del estado trófico de los lagos, el nitrógeno total, fósforo total y clorofila a, indicaron que en general los lagos araucanos se mantienen dentro del rango oligotrófico. Mientras que la transparencia del agua, en la mayoría de estos lagos, reflejó un estado mesotrófico. En el caso de los lagos chilotas, los parámetros indicadores de trofia reflejaron mayormente un estado mesotrófico, salvo la transparencia del agua, que para la mayoría de los casos, correspondió a valores considerados eutróficos. Al complementar la clasificación de trofia para los lagos chilotas con la técnica del paradigma nutriente – color, el estado trófico de lagos chilotas, en su mayoría presentaron un estado distrófico. El lago Cucao y Huillinco en algunos puntos presentaron una condición mixotrófica, es decir, su estatus trófico da cuenta de procesos autotróficos como heterotróficos. En tanto en el lago Tarahuín, se evidenciaron los valores de color más bajos de los lagos chilotas.

La evaluación de capacidad de carga para los lagos araucanos se realizó con un modelo utilizado por la OECD (1982). El uso de este modelo para estimación de capacidad de carga de los lagos araucanos fue revisado y validado en taller de expertos en limnología realizado por IFOP-SUBPESCA con expertos nacionales. Del mismo modo en el taller, se consensuó que no se realizaría modelación de capacidad de carga para los lagos chilotas en estudio, ya que estos sistemas presentan características limnológicas que no satisfacen los supuestos del modelo, limitando su utilización, por es la presencia de picnoclina, morfología compleja, por ser someros (<20 m de profundidad en algunos casos), y distróficos (con color por presencia de ácidos húmicos). Consecuentemente, determinar la carga crítica de nutrientes, para pasar de un estado oligotrófico a mesotrófico en estos lagos es innecesario, ya que actualmente poseen una condición muy sensible, similar a un lago eutrófico, con baja capacidad de amortiguar alteraciones naturales y/o antrópicas en la cuenca como en el cuerpo de agua.

Se estimó la carga crítica de fósforo en los lagos araucanos, además de calcular la carga actual en cada uno de ellos. A pesar que la carga actual de los lagos araucanos no sobrepasó la carga crítica y aún poseen condiciones oligotróficas, es necesario tener en consideración que los valores



obtenidos de carga actual podrían encontrarse subestimados, ya que la carga de fósforo actual requiere un tiempo determinado para que se refleje en el lago, el tiempo necesario para que el fósforo total alcance entre el 90 y 95% de equilibrio en la mayoría de los lagos araucanos varió entre 2,7 y 7 años. En tanto, el lago Llanquihue requiere mayor tiempo para alcanzar el equilibrio, demorando entre 12 y 22 años para alcanzar el fósforo total su equilibrio. Esto indicaría que las contribuciones de fósforo que se realizan actualmente a estos lagos estarían reflejándose pasado ese lapso. Considerando que en el último período la producción acuícola ha presentado una tendencia al incremento en la mayoría de los lagos y el tiempo que requiere el fósforo para alcanzar su equilibrio en lagos araucanos, se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en estos lagos, y es aconsejable disminuir su ingreso actual.



ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivo específicos	6
4. METODOLOGÍA	7
4.1. Área de estudio	7
4.2. Objetivo específico 1.	8
4.3. Objetivos específicos 2 y 3	9
4.4. Objetivos específicos 4.	22
4.5. Objetivo específico 5.	34
5. GESTIÓN DEL PROYECTO.....	36
6. RESULTADOS	42
6.1. Objetivo específico 1.....	42
6.2. Objetivos específicos 2 y 3.	46
6.3. Objetivo específico 4.....	141
7. DISCUSIÓN	195
8. CONCLUSIONES	212
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215

ANEXOS:

- ANEXO 1. FIGURAS**
- ANEXO 2. TABLAS**
- ANEXO 3. TALLER DE DIFUSIÓN**
- ANEXO 4. BASE DATOS Y PRESENTACIONES CONGRESO LIMNOLOGÍA**



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación general del área de estudio	7
Figura 2.	Estaciones de muestreo en lago Ranco (E1 y E2 corresponden a estaciones de muestreo en bahías con concesiones acuícolas, 100978 y 101955 respectivamente, y E3 en las cercanías del poblado de Futrono. C2 y C1 corresponden a sitios control de máxima profundidad del lago).	10
Figura 3.	Estaciones de muestreo en lago Puyehue (E1 y E2 corresponden a estaciones de muestreo en bahías con concesiones de acuicultura autorizadas, 100205 y 100578 respectivamente, mientras que E3 a la Bahía cercana al poblado Entrelagos. C2 y C1 corresponden a sitios control de máxima profundidad del lago)	11
Figura 4.	Estaciones de muestreo en lago Rupanco (en la figura se identifican 7 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura en donde se tomaron las muestras: 101707, 100081, 100389, 100625, 101851, 101862, 100522; además de dos sitios control de máxima profundidad, C270 y C100).....	12
Figura 5.	Estaciones de muestreo en lago Llanquihue (en la figura se identifican 13 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 101866, 100100, 100510/511, 100332, 100507, 100204, 100545, 100627, 100628, 100370, 100390, 100070; además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2).	13
Figura 6.	Estaciones de muestreo lago Chapo (en la figura se identifican 6 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 101332, 100394, 101291, 101051, 101278, 100678; además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2)...	14
Figura 7.	Estaciones de muestreo en lago Cucao (en la figura se identifican 3 estaciones de muestreo: E1 (correspondiente a la concesión de acuicultura 100618), E2 y E3, además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2).	15
Figura 8.	Estaciones de muestreo en lago Huillinco (en la figura se identifican 5 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 100617, 100520, 100616, 100212 y 100968; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).....	16
Figura 9.	Estaciones de muestreo en lago Tarahuín (en la figura se identifican 2 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 100521 y 100436; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).	17
Figura 10.	Estaciones de muestreo lago Natri (en la figura se identifican 3 códigos de centros acuícolas en donde se tomaron las muestras: 100437, 100600, y 100427; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).....	18
Figura 11.	Modelo conceptual de paradigma nutriente – color, extraído y modificado desde Williamson <i>et al.</i> (1999) y Webster <i>et al.</i> (2008).	33



Figura 12.	Flujos de fósforo total (kg P/ton peces producidos) estimados para la salmonicultura (figura extraída del Informe final de la primera parte del proyecto).....	34
Figura 13.	Prototipo de publicidad en “Bolsa de Pan” con anuncios publicitarios locales.....	35
Figura 14.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue.....	46
Figura 15.	Perfiles de fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue (— PT).	47
Figura 16.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue (---N-NO ₃ , ---NT).	48
Figura 17.	Abundancia relativa (%) de fitoplancton en las estaciones de muestreo del lago Llanquihue, durante el otoño de 2014.....	49
Figura 18.	Abundancia fitoplancótica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Llanquihue, durante el otoño de 2014.	50
Figura 19.	Lago Llanquihue: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro. Maitén A (100510), Maitén C (100332), Bahía Cox (100628), Bahía Ensenada (100370), Bahía Rincones (100204), Bahía Volcán (100390), Monte Alegre (100627), Puerto Phillipi I (100100), Puerto Phillipi 2 (101866), Playa Maqui (100507), Puerto Octay (100545) y Puerto Rosales (1000070).	53
Figura 20.	Lago Llanquihue: Gráfico triangular para la clasificación de textura de los sedimentos del lago Llanquihue (% fango, % arena y % grava).	55
Figura 21.	Lago Llanquihue: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.	56
Figura 22.	Lago Llanquihue: Dirección de las corrientes medidas mediante correntometría lagrangeana en cada bahía a 1 m (rojo) y 15 m (verde) de profundidad. A= Phillipi, B= Maitén, C= Frutillar, D= Rincones, E= Puerto Octay, F= Puerto Fonck, G= Bahía Ensenada, H= Bahía Volcán.....	57
Figura 23.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Chapo.....	62
Figura 24.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Chapo (---P-PO ₄ ; ---PT).....	63
Figura 25.	Perfiles compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L, NT en mg/L) en los centros analizados del lago Chapo (---N-NO ₃ ; ---NT).	64
Figura 26.	Abundancia fitoplancótica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Chapo, durante el otoño-invierno de 2014.....	65
Figura 27.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Chapo, durante el otoño de 2014.	66



Figura 28.	Lago Chapo: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	69
Figura 29.	Lago Chapo: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava)	70
Figura 30.	Lago Chapo: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.....	72
Figura 31.	Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Chapo. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.....	73
Figura 32.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.....	74
Figura 33.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.....	75
Figura 34.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.....	75
Figura 35.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Natri, durante el invierno de 2014.....	76
Figura 36.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Natri, durante el invierno de 2014.....	77
Figura 37.	Lago Natri: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	79
Figura 38.	Lago Natri: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).....	80
Figura 39.	Lago Natri: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.	81
Figura 40.	Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Natri. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.....	82
Figura 41.	Perfiles físico-químicos (conductividad en mS/cm, oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados del lago Huillinco.	83
Figura 42.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en los centros analizados del lago Huillinco.	84
Figura 43.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L, y NT en mg/L) en los centros analizados del lago Huillinco.	84
Figura 44.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Huillinco, durante el invierno de 2014.....	85
Figura 45.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Huillinco, durante el invierno de 2014.....	86



Figura 46.	Lago Huillinco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	88
Figura 47.	Lago Huillinco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava)....	89
Figura 48.	Lago Huillinco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.....	90
Figura 49.	Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Huillinco. Color verde= correntometría de profundidad, color rojo= correntometría superficial.....	91
Figura 50.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Tarahuín.....	92
Figura 51.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en los centros analizados en el lago Tarahuín.....	93
Figura 52.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) en los centros analizados en el lago Tarahuín.....	94
Figura 53.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Tarahuín, durante el invierno de 2014.....	95
Figura 54.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Tarahuín, durante el invierno de 2014.....	95
Figura 55.	Lago Tarahuín: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	97
Figura 56.	Gráfico de triángulo para clasificación de textura del lago Tarahuín (% fango, % arena y % grava).....	98
Figura 57.	Lago Tarahuín: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.....	99
Figura 58.	Mediciones de correntometría en el tramo A y B del lago Tarahuín. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.....	100
Figura 59.	Perfiles físico-químicos (conductividad en mS/cm, oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua en los centros analizados del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).....	101
Figura 60.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en la columna de agua en los centros analizados del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).....	102
Figura 61.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).....	103
Figura 62.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Cucao, durante el invierno de 2014.....	104



Figura 63.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Cucao, durante el invierno de 2014.....	105
Figura 64.	Lago Cucao: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	107
Figura 65.	Lago Cucao: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).....	108
Figura 66.	Lago Cucao: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 corresponde a la concesión 100618.....	109
Figura 67.	Mediciones de correntometría en los tramos A y B del Lago Cucao. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.....	110
Figura 68.	Perfiles físico-químicos (conductividad en mS/cm, oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco.	111
Figura 69.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco (E1 corresponde a la concesión 100978, y E2 a 101955).	112
Figura 70.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco (E1 corresponde a la concesión 100978, y E2 a 101955).	113
Figura 71.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Ranco, durante la primavera de 2014.	114
Figura 72.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Ranco, durante la primavera de 2014.....	115
Figura 73.	Lago Ranco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	117
Figura 74.	Lago Ranco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).....	118
Figura 75.	Lago Ranco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 y E2 corresponden a las concesiones 100978 y 101955, respectivamente.....	119
Figura 76.	Mediciones de correntometría en los tramos A, B y C del lago Ranco. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.....	120
Figura 77.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.	121
Figura 78.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.	122



Figura 79.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.....	122
Figura 80.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Rupanco, durante la primavera de 2014.....	123
Figura 81.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Rupanco, durante la primavera de 2014.....	124
Figura 82.	Lago Rupanco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	127
Figura 83.	Lago Rupanco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava) ..	129
Figura 84.	Lago Rupanco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.....	130
Figura 85.	Mediciones de correntometría en los tramos A, B, C D, E, F, G, y H del lago Rupanco. Color verde= correntometría de profundidadl, color rojo= correntometría de superficie	131
Figura 86.	Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.....	132
Figura 87.	Perfiles de ortofosfato (P-PO ₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.	133
Figura 88.	Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO ₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.	133
Figura 89.	Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Puyehue, durante la primavera de 2014.	134
Figura 90.	Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Puyehue, durante la primavera de 2014.....	135
Figura 91.	Lago Puyehue: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.....	137
Figura 92.	Lago Puyehue: Gráfico de triángulo para clasificación de textura del lago Puyehue (% fango, % arena y % grava).	138
Figura 93.	Lago Puyehue: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 y E2 corresponden a las concesiones 100205 y 100578, respectivamente.....	139
Figura 94.	Mediciones de correntometría en los tramos A, B y C del lago Puyehue. Color verde= correntometría de profundidad, color rojo= correntometría de superficie.....	140
Figura 95.	Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Llanquihue.	142



Figura 96.	Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Llanquihue y sus respectivos usos de suelo.....	144
Figura 97.	Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Llanquihue.	145
Figura 98.	Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.....	146
Figura 99.	Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Llanquihue.	149
Figura 100.	Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Llanquihue.	149
Figura 101.	Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Llanquihue.	150
Figura 102.	Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.....	152
Figura 103.	Contribución de fósforo (%) según actividad.....	152
Figura 104.	Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Chapo.	156
Figura 105.	Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Chapo.	158
Figura 106.	Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Chapo.	158
Figura 107.	Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivos en el lago Chapo.....	159
Figura 108.	Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Natri.	161
Figura 109.	Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Natri.	162
Figura 110.	Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Natri.	163
Figura 111.	Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Natri.	164
Figura 112.	Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Natri.....	164
Figura 113.	Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Huillinco.	166
Figura 114.	Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Huillinco.	168
Figura 115.	Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Huillinco.	169
Figura 116.	Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Huillinco.	169
Figura 117.	Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Huillinco.	170
Figura 118.	Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Tarahuín.....	171
Figura 119.	Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Tarahuín.	173
Figura 120.	Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Tarahuín.	173



Figura 121. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Tarahuín.....	174
Figura 122. Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Tarahuín.....	174
Figura 123. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Cucao.....	176
Figura 124. Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Cucao.....	178
Figura 125. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Cucao.....	178
Figura 126. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Cucao.....	179
Figura 127. Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Cucao.....	179
Figura 128. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Rupanco.....	181
Figura 129. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Rupanco.....	183
Figura 130. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Rupanco.....	183
Figura 131. Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Rupanco.....	184
Figura 132. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Ranco.....	186
Figura 133. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Ranco.....	188
Figura 134. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Ranco.....	189
Figura 135. Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Ranco.....	189
Figura 136. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Puyehue.....	191
Figura 137. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Puyehue.....	193
Figura 138. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Puyehue.....	193
Figura 139. Aporte de P (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Puyehue.....	194



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Métodos utilizados para la clasificación de lagos coloreados	43
Tabla 2.	Lago Llanquihue: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	48
Tabla 3.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue en otoño de 2014.	51
Tabla 4.	Lago Chapo: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).	64
Tabla 5.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo en otoño de 2014, C2 invierno de 2014.....	67
Tabla 6.	Lago Natri: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	76
Tabla 7.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri en invierno de 2014.....	78
Tabla 8.	Lago Huillinco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	85
Tabla 9.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco en invierno de 2014.....	86
Tabla 10.	Lago Tarahuín: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	94
Tabla 11.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuín en invierno de 2014.....	96
Tabla 12.	Lago Cucao: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).	103
Tabla 13.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Cucao en invierno de 2014.....	105
Tabla 14.	Lago Ranco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	113
Tabla 15.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Ranco en primavera de 2014.....	115
Tabla 16.	Lago Rupanco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	123
Tabla 17.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco en invierno de 2014.....	125
Tabla 18.	Lago Puyehue: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).....	134
Tabla 19.	Abundancia de microcrustáceos en el lago Puyehue en primavera de 2014.....	136
Tabla 20.	Balance hidrológico del lago Llanquihue.....	143
Tabla 21.	Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.....	146
Tabla 22.	Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Llanquihue.....	147
Tabla 23.	Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Llanquihue.	148
Tabla 24.	Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.	151
Tabla 25.	Contenido de fósforo total en la columna de agua del lago Llanquihue	153



Tabla 26.	Balance de fósforo calculado para el lago Llanquihue.	154
Tabla 27.	Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a P) del lago Llanquihue.	154
Tabla 28.	Contenido de fósforo total en la columna de agua del lago Chapo.....	157
Tabla 29.	Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a P) del lago Chapo.	157
Tabla 30.	Contenido de fósforo total en la columna de agua del lago Rupanco	182
Tabla 31.	Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a fósforo total) del lago Rupanco.	182
Tabla 32.	Contenido de fósforo total en la columna de agua del lago Ranco	187
Tabla 33.	Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a fósforo total) del lago Ranco.....	187
Tabla 34.	Contenido de fósforo total en la columna de agua del lago Puyehue (Curva hipsográfica: elaboración propia).	192
Tabla 35.	Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a fósforo total) del lago Puyehue.	192



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Tablas

Tabla 1.	Ubicación geográfica de los lagos considerados en el estudio.....	1
Tabla 2.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Llanquihue.....	1
Tabla 3.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Chapo.....	2
Tabla 4.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Natri.....	2
Tabla 5.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Huillínco.....	2
Tabla 6.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Tarahuín.....	3
Tabla 7.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Cucao.....	3
Tabla 8.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Ranco.....	3
Tabla 9.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Rupanco.....	4
Tabla 10.	Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Puyehue.....	4
Tabla 11.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el lago Llanquihue a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Phillipi, B= Maitén, C= Frutillar, D= Rincones, E= Puerto Octay, F= Puerto Fonck, G= Bahía Ensenada, H= Bahía Volcán....	5
Tabla 12.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Chapo a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.....	8
Tabla 13.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Natri a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.....	9
Tabla 14.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Huillínco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.....	10
Tabla 15.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Tarahuín a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B.....	11
Tabla 16.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Cucao a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B.....	12



Tabla 17.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Ranco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, y C= transecto C.....	13
Tabla 18.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Rupanco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C, D= transecto D, E= transecto E, F= transecto F, G= transecto G, H= transecto H.....	14
Tabla 19.	Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Puyehue a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.....	16
Tabla 20.	Ubicación de las estaciones de sedimento en lago Llanquihue.....	17
Tabla 21.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Chapo.....	18
Tabla 22.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Natri.....	18
Tabla 23.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Huillínco.....	19
Tabla 24.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Tarahuín.....	19
Tabla 25.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Cucao.....	20
Tabla 26.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Ranco.....	20
Tabla 27.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Rupanco.....	21
Tabla 28.	Ubicación de las estaciones de sedimento lago Puyehue.....	22
Tabla 29.	Valores de variables que determinan el estado trófico en los lagos. (Fuente: Guía establecimiento Norma secundaria de calidad ambiental)	22
Tabla 30.	Listado de estudios realizados en los lagos Ranco (Ra), Puyehue (Pu), Rupanco (Ru), Llanquihue (Lla), Chapo (Cha), Cucao (Cu), Huillínco (Hui), Tarahuín (Ta), Natri (Na).....	23
Tabla 31.	Caracterización general de los lagos considerados en el estudio.....	25
Tabla 32.	Composición fitoplanctónica del lago Llanquihue.....	26
Tabla 33.	Lago Llanquihue: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	30
Tabla 34.	Lago Llanquihue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	33
Tabla 35.	Lago Llanquihue: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).....	34



Tabla 36.	Composición fitoplanctónica del lago Chapo.....	37
Tabla 37.	Lago Chapo: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm. (s/m: sin muestras).	39
Tabla 38.	Lago Chapo: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas. (s/m: sin muestra).	40
Tabla 39.	Lago Chapo: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C). (s/m: sin muestra)	41
Tabla 40.	Composición fitoplanctónica del lago Natri.....	43
Tabla 41.	Lago Natri: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	44
Tabla 42.	Lago Natri: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	45
Tabla 43.	Lago Natri: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).	46
Tabla 44.	Composición fitoplanctónica del lago Huillinco.....	47
Tabla 45.	Lago Huillinco: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	48
Tabla 46.	Lago Huillinco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	49
Tabla 47.	Lago Huillinco: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).	50
Tabla 48.	Composición fitoplanctónica del lago Tarahuín.....	51
Tabla 49.	Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Tarahuín. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	52
Tabla 50.	Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Tarahuín. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	52
Tabla 51.	Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Tarahuín.	53
Tabla 52.	Composición fitoplanctónica del lago Cucao.....	54



Tabla 53.	Lago Cucao: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	55
Tabla 54.	Lago Cucao: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas. (s/m: sin muestras).	56
Tabla 55.	Lago Cucao: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) (s/m: sin muestra).	57
Tabla 56.	Composición fitoplanctónica del lago Ranco.....	58
Tabla 57.	Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Ranco. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.....	59
Tabla 58.	Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Ranco. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	60
Tabla 59.	Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Ranco.	61
Tabla 60.	Composición fitoplanctónica del lago Rupanco.....	62
Tabla 61.	Lago Rupanco: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	64
Tabla 62.	Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	66
Tabla 63.	Lago Rupanco: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) por centro seleccionado	67
Tabla 64.	Composición fitoplanctónica del lago Puyehue.	69
Tabla 65.	Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Puyehue. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.	70
Tabla 66.	Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Puyehue. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.	70
Tabla 67.	Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Puyehue.....	71
Tabla 68.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Llanquihue....	72



Tabla 69.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Chapo.....	74
Tabla 70.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Natri.....	75
Tabla 71.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Huillínco.....	76
Tabla 72.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Tarahuín.....	77
Tabla 73.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Cucao.....	78
Tabla 74.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Ranco.....	79
Tabla 75.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Rupanco.....	80
Tabla 76.	Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Puyehue.....	82

ANEXO 2: Figuras

Figura 1.	Mapa de ubicación de los transectos (—) y los puntos seleccionados para la medición de correntometría lagrangeana en los lagos. 1= Ranco, 2= Puyehue, 3= Rupanco, 4= Llanquihue, 5= Chapo, 6= Cucao, 7= Huillínco, 8= Tarahuín, 9= Natri.....	1
Figura 2.	Distribución comparativa del número de estudios publicados en cada uno de los lagos...	2
Figura 3.	Curva hipsográfica lago Puyehue.....	3
Figura 4.	Presentación N° 1. Expositor Carolina Oyarzo.....	4
Figura 5.	Presentación N°2. Expositor Francisco Correa.....	5
Figura 6.	Presentación N°3. Expositor Nicole Pesse.....	6

ANEXO 3: Taller De Expertos En Limnología

• Programa taller de expertos en limnología “Evaluación Del Estado Ambiental De Lagos utilizados En Actividades De Acuicultura En La Zona Sur Austral De Chile, Segunda Etapa”.....	1
• Acta de trabajo taller de expertos en limnología.....	3
• Folleto Difusión Resultados del proyecto.....	7
• Lista de Asistencia Expertos	9

ANEXO 4: Base Datos y Presentaciones Congreso Limnología.



1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley N° 18.892, 1989), reconoce los impactos ambientales que puede generar la salmonicultura y la necesidad de prevenir su aparición. Por lo cual se han establecido dentro de sus actuales exigencias, mantener el equilibrio ecológico de las zonas concedidas y que los centros de cultivo operen en niveles compatibles con las capacidades de carga de los cuerpos de agua lacustres, fluviales y marítimos, y de esta forma se prevenga el surgimiento de condiciones anaeróbicas en el área de impacto. Así mismo, reconoce la fragilidad de los cuerpos de agua lacustres en los que se desarrolla la salmonicultura y la importancia de mantener en éstos, condiciones que permitan el desarrollo de la vida en general, al establecer que aquellos que presenten condiciones anaeróbicas, en tres oportunidades, serán caducados.

Ante esto, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, a través del Fondo de Investigación Pesquera (FIP), realizó estudios orientados a conocer los efectos de la salmonicultura en los lagos donde se desarrollaron y desarrollan actualmente actividades de acuicultura, estableciendo condiciones de utilización de estos cuerpos de agua y sus capacidades de carga. Estos estudios determinaron que en todos ellos, la capacidad de carga se encontraba en su punto límite o superado por los aportes generados por la industria salmonícola.

La literatura disponible referente a los estudios de capacidad de carga y de salmonicultura en lagos se encuentra poco actualizada, lo que llevó a la autoridad a realizar nuevos estudios limnológicos en los lagos Araucanos y Chilotas, a través de este proyecto y sus etapas sucesivas. Esto con la finalidad de ampliar la información con la cual la autoridad pueda establecer las exigencias según el estado ambiental de estos cuerpos de agua y, además permitir adoptar decisiones adecuadas y oportunas frente al eventual crecimiento de la industria salmonera en Chile.



2. INTRODUCCIÓN

La salmonicultura es el segundo sistema de producción animal más importante a nivel mundial (Bjørndal, 2002). Ha tenido un importante aumento de la producción en los últimos años, principalmente debido a la creciente demanda de nuevos productos alimenticios, sobre todo por la disminución de los recursos pesqueros (Demirak et al., 2006). Ha pasado de ser casi insignificante, a equipararse con la producción de la pesca en cuanto a la alimentación de la población en el mundo. Chile se ubica dentro de los principales productores acuícolas a nivel mundial, cuya producción es explicada en más de un 90% por la salmonicultura. El ciclo de cultivo de salmónidos consta de fase de agua dulce “alevinaje y smoltificación” y fase agua de mar donde se realiza la “engorda” de los peces. La etapa de alevinaje se realiza principalmente en los sistemas lacustres en las regiones de Los Ríos y de Los Lagos (Tacon & Metian 2009). El año 2010 la acuicultura mundial alcanzó un total de 60 millones de toneladas de productos animales alimenticios, con un valor total estimado de 119.000 millones de USD (FAO, 2012), lo cual supuso un aumento de un 7,5 % con respecto a los 55,7 millones de toneladas en 2009 (32,4 millones de toneladas en 2000).

Con más de 700 mil toneladas anuales de producción, Chile se ubica dentro de los principales productores acuícolas a nivel mundial. En la salmonicultura, los niveles de producción en orden decreciente corresponden a Salmón Atlántico (305 mil ton/año), Salmón del Pacífico, Plateado o Coho (111 ton/año) y Trucha (110 mil ton/año) (SalmonChile 2014a), posicionando al país en el segundo lugar de productores y exportadores de salmones a nivel mundial, luego de Noruega.

En Chile, el cultivo de salmones fue introducido en la década del 70', como una medida para diversificar la economía del país (Barton & Fløysand 2010). Representa el más importante sistema de producción animal (Bjørndal 2002) y ha sido reconocida por su éxito internacional y rápido crecimiento. Esto ha implicado una fuerte transformación de las economías locales y regionales y ha exacerbado la diferenciación social (Barton & Fløysand, 2010). Entre mediados de 1970 y mediados de 1990, el número de plantas de procesamiento de pescado creció de aproximadamente 75 a más de 400, y en la última década el sector proporcionó alrededor de 200.000 puestos de empleo directos e indirectos (Shurman 2004).

Las exportaciones de especies salmonídeas han tenido un notable incremento en el período 2003-2013, pasando de 285 mil toneladas a más de 527 mil toneladas en el año 2013, que implican ventas por un total de 3.517 millones de USD (SalmonChile 2014b). El crecimiento de la producción de salmones ha contribuido significativamente al crecimiento de la industria mundial. Esta mayor disponibilidad de productos, es responsable en gran medida de la caída de los precios de salmones y truchas en el mercado mundial. Respecto de esta tendencia a la baja en los precios internacionales, se ha planteado que se ha debido a un aumento de la oferta originada en Noruega y Chile (Achurra 1995 y 2005).



La producción de salmónidos se ha centrado en las regiones de la Araucanía, de Los Ríos, de Los Lagos y Aysén. En donde las tres primeras regiones son aquellas en donde se concentra la producción de "Smolt", específicamente en los ríos de bajo orden y lagos de la zona. Por otra parte, en los fiordos de las regiones de los Lagos y de Aysén son aquellas en donde se lleva a cabo el proceso de engorda y procesamiento de los salmones (Barton & Floysand 2010; Bustos-Gallardo 2013).

El fuerte y continuo crecimiento de la acuicultura ha generado importantes beneficios sociales e ingresos económicos, pero también ha dado lugar a diversos impactos ambientales (Holmer *et al.* 2008; David *et al.* 2009). Entre ellos destaca el aumento en el aporte de nutrientes hacia los lagos, que produce un aceleramiento del proceso de eutrofificación (Smith 2003). Este ha sido definido como el proceso de enriquecimiento de un sistema acuático producto del incremento de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno (Padisák 2003), lo que ocurre de manera lenta y natural en la historia geológica de un lago, mediante el aporte gradual de nutrientes desde la cuenca (Lampert & Sommer 2007), pero que con las actividades antrópicas este proceso se acelera y se logran condiciones eutróficas en un lapso significativamente menor.

Históricamente para el control y manejo de la eutrofificación, se ha estudiado la respuesta del sistema acuático ante la carga de nutrientes, observándose que las tasas de aporte de nitrógeno y fósforo influyen fuertemente tanto en el crecimiento algal, como de plantas vasculares (Vollenweider 1968; Hecky & Kilham 1988; Howarth 1988; Smith 1998 en Smith *et al.* 1999). El rol de los nutrientes como uno de los factores controladores de la biomasa y estructura fitoplanctónica ha sido ampliamente estudiado (Hutchinson 1957; Tilman *et al.* 1982; Margalef 1983; Wetzel 2001). Recientemente, se ha confirmado que lo que conduce a un proceso de eutrofificación es un aumento de uno más de los recursos esenciales para el crecimiento de las plantas. Aunque cada uno puede ser crítico por sí solo, el aumento en la carga de fósforo ha sido reconocido como el principal responsable de la eutrofificación (Padisák 2003). Esto puesto que es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de organismos fotosintéticos y es considerado como el elemento limitante primario que determina la productividad biológica en la mayoría de los ecosistemas acuáticos (Zohary *et al.* 2010).

La aceleración del proceso de eutrofificación producto de actividades antrópicas (e.g. acuicultura), genera una serie de efectos indeseables que repercuten en todos los niveles tróficos interfiriendo con la utilización del agua (Ryding & Rast 1993; Wetzel 2001; IETC 2001). Uno de los cambios iniciales es el aumento de biomasa fitoplanctónica disminuyendo la penetración de la luz y fotosíntesis en los estratos más profundos (Horne & Goldman 1994), así ante el aumento de la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, se produce una rápida proliferación de organismos perifíticos que suprimen a las macrófitas e indirectamente a la fauna bentónica asociada (Lampert & Sommer 2007; Guo *et al.* 2009). Cuando este material vegetal es degradado, se origina una disminución de los niveles de oxígeno disuelto, derivando en una serie de problemas secundarios como liberación de gases corrosivos y tóxicos para la fauna (Vollenweider 1989; Rabalais *et al.* 2009), mediante la amonificación del nitrato, desnitrificación, desulfuración y la formación de metano (Lampert & Sommer 2007), que puede resultar en estados avanzados de eutrofificación en la mortalidad masiva de peces y un cambio radical en las



comunidades de flora y fauna (Boyer *et al.* 2006; Guo *et al.* 2009). El detimento en la calidad de agua que conlleva la eutrofización, aumenta la incidencia de Floraciones Algales Nocivas (FAN) que pueden producir eventos de anoxia y toxicidad (*Cyanophyceae*) u obstrucción de filtros y branquias de peces (algas filamentosas). Además se generan problemas estéticos y a la salud humana, aumentando la ocurrencia de enfermedades como el tifus y el cólera (IETC 2001). Finalmente se ven afectados la mayor parte de servicios proporcionados por los ecosistemas (Carpenter *et al.* 1999; Mäler 2000) produciendo importantes pérdidas económicas.

A partir de estas problemáticas se ha desarrollado el concepto de “capacidad de carga”, el cual fue propuesto por Park & Burgess (1921), y se define convencionalmente como el máximo tamaño poblacional de una especie que puede soportar un área o ecosistema determinado, sin reducir su capacidad de sustentar a la misma especie en el futuro. Este concepto es un componente esencial de la teoría de desarrollo sostenible y relaciona a la integridad eco-ambiental con el desarrollo socio-económico (Zhong-gen *et al.* 2014). Establece límites concretos, ya sea en relación al tamaño de la población, dada la cantidad de recursos, o a la capacidad de los ecosistemas para asimilar los residuos de las actividad antrópicas (Arrow *et al.* 1995). En relación a este concepto, se han desarrollado diversos modelos que permiten estimar la capacidad de carga de ecosistemas lacustres (Dillon & Rigler 1974). Sin embargo, la mayoría se basa principalmente en la concentración de fósforo y apuntan a determinar el número máximo de individuos de una población cultivada que el ambiente puede soportar en un período, teniendo en cuenta las limitaciones de los factores físicos y ambientales (Riascos *et al.* 2012) e incluyendo aportes de fósforo desde fuentes externas puntuales o difusas. La correcta evaluación o estimación de esta cantidad permite calcular, con anterioridad, el potencial productivo de un cuerpo de agua, para su eventual uso en acuicultura y ajustar los procedimientos de operación, para evitar el deterioro de la calidad del agua (Bottom 1997; Stickney 2003).

Dentro de los modelos más utilizados en acuicultura intensiva destaca el propuesto por Vollenweider (1968), quien diseñó un modelo para la estimación de la concentración de nutrientes en el agua de los lagos, basado en el principio de conservación de la masa, y correlacionó las concentraciones de varios nutrientes con variables indicadoras de procesos de eutrofización, como cambios en Clorofila a y transparencia, entre otros. Posteriormente, Dillon & Rigler (1974) utilizaron el principio de balance de masa del fósforo de Vollenweider (1968) y definieron una serie de parámetros físicos y ambientales de más fácil medición, para hallar una expresión para la concentración de fósforo disuelto en estado estacionario. El modelo ha sido aplicado y validado, tanto en zonas templadas como en tropicales (Dillon *et al.* 1993; Buyukcapar & Alp 2006). Otro modelo ampliamente utilizado en acuicultura intensiva (e.g., Wicki & Luchini 2002; Pulatsü 2003; Rojas-Carrillo & Aguilar-Ibarra 2012) corresponde al de Beveridge (1986), basado en los modelos iniciales de Vollenweider (1968) y Dillon & Rigler (1974), donde relaciona la cantidad de peces cultivados con la concentración máxima admisible de fósforo. Más recientemente, se ha desarrollado un modelo dinámico de capacidad de carga (MDCC), basado en la fórmula de Dillon & Rigler (1974), incluyendo además la evolución temporal de la biomasa de peces y del fósforo (Riascos *et al.* 2012).



Para el manejo de la eutrofización de los lagos, es fundamental clasificar los sistemas acuáticos de acuerdo a su estado trófico, ya que este expresa la relación entre la cantidad de nutrientes del sistema y el incremento de la materia orgánica en el mismo (Ryding & Rast 1993); es la categoría de calidad que representa al estado de producción biológica, determinado por la cantidad de nutrientes, los factores físicos y químicos del sistema (CONAMA 2004). Así los lagos y embalses pueden clasificarse según su trofía en: Oligotróficos, Mesotróficos, Eutróficos e Hipereutróficos según sea la concentración de nutrientes en el sistema, y/o según manifestaciones ecológicas por la carga de nutrientes.

Las categorías de trofía de los lagos se basan generalmente en la concentración de fósforo y nitrógeno total, concentración de clorofila a (Chl-a) y en la variabilidad de la transparencia medida con disco Secchi (OECD 1982; CONAMA 2004.; Nüremberg 1996; IETC 2001). A menudo es difícil establecer límites estrictos para estas categorías debido a variaciones regionales en los rangos de parámetros limnológicos. En términos generales, los lagos y embalses oligotróficos se caracterizan por bajos aportes de nutrientes, baja concentración de Chl-a, escasa productividad primaria, alta transparencia y biota diversa (Smith *et al.* 1999; IETC 2001; CONAMA 2004). Estos lagos además de mantener su condición natural, conservando su flora y fauna nativa, ofrecen un aspecto atractivo para algunas actividades, tales como la recreación, el turismo, la acuicultura y la pesca deportiva. En contraste, los sistemas eutróficos tienen grandes aportes de nutrientes y alta productividad primaria, baja transparencia y abundante biomasa de poca diversidad de especies con mayor proporción de Cyanophyceae que las aguas oligotróficas (IETC 2001), presentan menor contenido de oxígeno, además de una zona litoral ancha y somera, plantas litorales en gran número, abundante biomasa fitoplanctónica (Ryding & Rast 1993), bentos profundo pobre en especies e inexistencia de peces estenotermos en el hipolimnion (Antimán & Martínez 2005).

El presente estudio da continuidad al proceso de actualización de información ambiental de los lagos Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo) y Chilotés (Cacao, Huillinco, Tarahuín y Natri) en los cuales se desarrollan salmonicultura, orientado a obtener información de las características limnológicas tanto de la columna de agua, como del sedimento y de las corrientes superficiales. Con estos antecedentes es posible realizar estimaciones actualizadas de capacidad de carga y estado trófico de los sistemas lacustres estudiados, para aportar con información que permita a la autoridad sectorial adoptar decisiones para resguardar los sistemas acuáticos donde se realizan las actividades de acuicultura, con miras a una acuicultura sustentable.



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el estado ambiental de los lagos de la X Región donde se desarrollen actividades de acuicultura y, obtener información actualizada de la capacidad de carga de cada uno de ellos.

3.2. Objetivos específicos

1. Recopilar la información disponible, bibliográfica y/o de proyectos referidos a estudios limnológicos de los lagos en los que se desarrollan actividades de acuicultura.
2. Realizar una campaña de monitoreo en los seis lagos de la X Región, definidos en la primera etapa del proyecto, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua.
3. Realizar una campaña de monitoreo en otros tres nuevos lagos de la X Región, donde se desarrollen actividades de acuicultura, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua.
4. Determinar la condición ambiental de los lagos estudiados y realizar análisis tendientes a determinar la capacidad de carga para los seis lagos considerados en la primera etapa del proyecto.
5. Difusión de la información generada del proyecto a través de Seminarios.



4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la zona Sur de Chile (40° - 43° S), específicamente entre las regiones de Los Ríos y de Los Lagos. En dicha zona se consideran 9 lagos donde exista presencia o haya existido actividad de acuicultura (Figura 1).

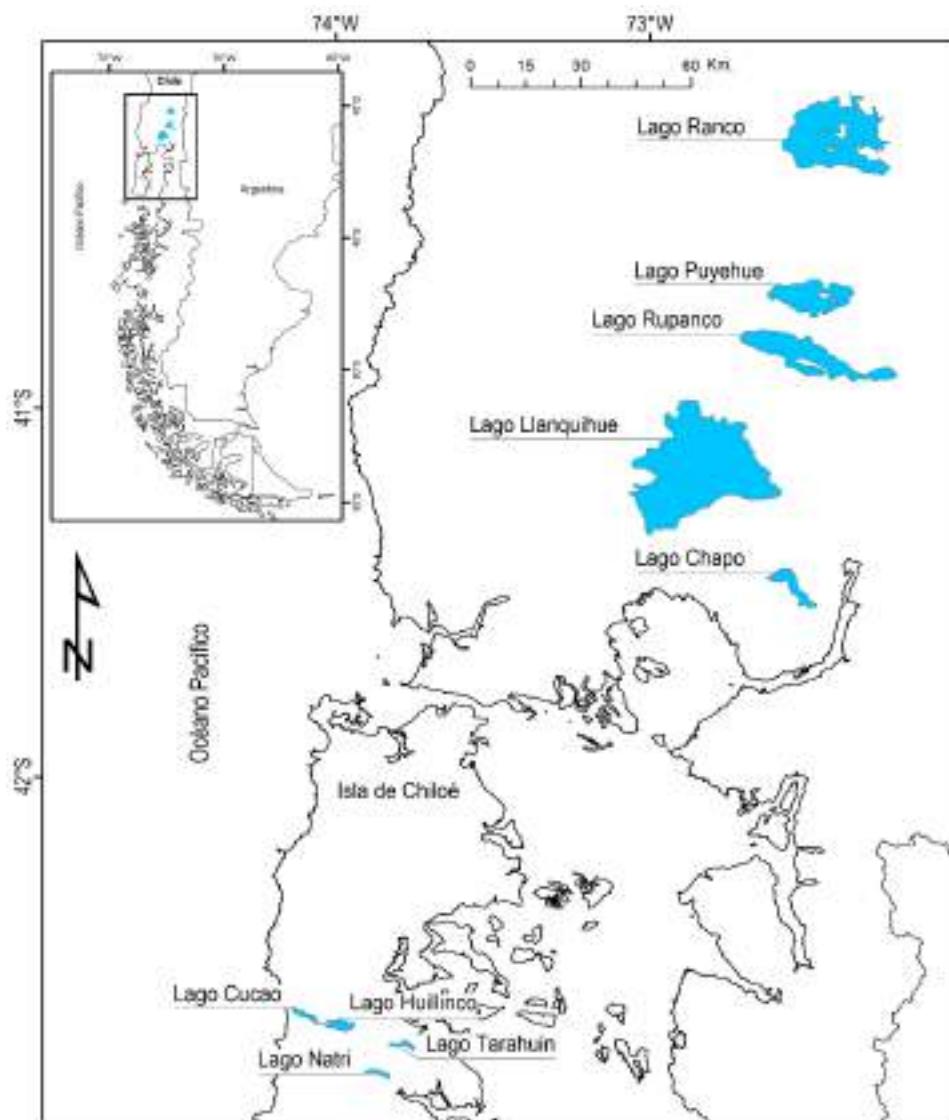


Figura 1. Ubicación general del área de estudio.



Los lagos considerados se agrupan en 2 grupos principales. En primer lugar se encuentra un conjunto de lagos denominados Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo) (Campos 1984), mientras que el otro grupo, ubicados en la Isla de Chiloé, son denominados lagos Chilotas (Cucao, Huillinco, Tarahuín y Natri) (Tabla 1 en ANEXO 1). Su diferenciación no es sólo en base a su ubicación geográfica, sino además presentan una serie de diferencias climáticas, geomorfológicas y morfométricas que implican importantes diferencias funcionales.

El clima de la zona de los lagos araucanos (40° - 42° S) se caracteriza por condiciones templadas húmedas con influencia Mediterránea, con precipitaciones promedio de 2.000 mm/año y una temperatura promedio anual que fluctúa entre 6 y 9 °C, con máximos en enero (20 °C) y mínimos en Julio (2 °C) (Parada 1973; Muñoz 1980). Por otra parte, los lagos chilotas (42° S) se emplazan en una zona con características climáticas oceánicas con influencia Mediterránea. Las precipitaciones varían en un rango de entre 2.000 a 2.500 mm/año y presenta una temperatura promedio de 10,5 °C, con mínimos de 6,9 °C y máximos de 14,2 °C (di Castri 1968; Subiabre & Rojas 1994).

4.2 Objetivo específico 1

4.2.1 Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda minuciosa de información para temáticas de: modelos de capacidad de carga, lagos coloreados o húmicos y balance hidrológico, entre otros, sistematizando información de diversas fuentes bibliográficas físicas y virtuales, tanto nacionales como internacionales.

Para obtener datos fisicoquímicos y biológicos históricos de agua y sedimento, junto con datos meteorológicos y de la cuenca de emplazamiento de los lagos, se realizó una búsqueda detallada de la literatura que tuviese relación con los lagos nueve considerados en el presente proyecto. La revisión se basó en seis fuentes principales de información: 1) Monitoreos constantes realizados por la Dirección General de Aguas (Red Nacional Mínima de Control de Lagos) y variables meteorológicas, 2) Estudios técnicos realizados por Universidades, 3) Publicaciones científicas, 4) Informes Ambientales y Sanitarios (INFA) realizados por las empresas y presentados ante la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, 5) Datos de variables ambientales red Agrometeorológica de INIA, 6) Información de usos de suelo de CONAF, y 7) Información hidrogeológica de SERNAGEOMIN. También se realizaron consultas a expertos para la obtención de información que no estuviese en formato electrónico o para la utilización de datos no publicados.



4.3 Objetivos específicos 2 y 3

4.3.1 Selección de época y puntos de muestreo

Los lagos Llanquihue y Chapo fueron estudiados en una campaña de muestreo (otoño-invierno), durante los meses de 25 de abril y 8 de agosto de 2014. Los demás lagos incluidos en la etapa anterior del proyecto (Rupanco, Tarahuín, Natri y Huillínco), fueron muestreados entre el 10 de julio y 21 de noviembre, temporada invierno - primavera de 2014. De los tres nuevos lagos (Cucao, Ranco y Puyehue) incluidos en el presente proyecto, el Cucao fue monitoreado en invierno del 2014 (22 al 24 de julio), mientras que para los lagos Ranco y el Puyehue las variables físico-químicas y biológicas de la columna de agua se registraron en primavera del 2014, y el sedimento y correntometría Lagrangiana en verano del 2014.

En cada lago se seleccionaron puntos de muestreo asociados a cada uno de los centro de cultivos, en los cuales se midieron variables fisicoquímicas desde la columna de agua y se tomaron muestras para el análisis de las comunidades de zooplancton y fitoplancton (Figura 2-10). Asociados a los mismos centros de cultivo, se seleccionaron 3 puntos de muestreo para el análisis de sedimento. También se seleccionaron sitios de referencia para la medición de variables fisicoquímicas y comunitarias desde la columna de agua en los puntos de mayor profundidad de cada lago.

Para la medición de correntometría lagrangeana se establecieron transectos, los cuales estuvieron asociados a los centros de cultivo y/o a las principales bahías. En los lagos mayores: Llanquihue, Rupanco, Ranco y Puyehue, los transectos se establecieron en aquella zona donde se comunica la boca de la bahía con el área pelágica del lago. Para los lagos pequeños: Huillínco, Natri, Tarahuín y Cucao, los transectos se establecieron perpendiculares a su eje longitudinal (Figura 1 en ANEXO 2).

Cada punto de muestreo fue georreferenciado mediante la utilización de un sistema de posicionamiento global (GPS), posteriormente se registró la profundidad y la temperatura atmosférica. En forma paralela y sólo para el lago Llanquihue, se obtuvieron datos de velocidad y dirección del viento desde bases de datos meteorológicos en línea.



Figura 2. Estaciones de muestreo en lago Ranco (E1 y E2 corresponden a estaciones de muestreo en bahías con concesiones acuícolas, 100978 y 101955 respectivamente, y E3 en las cercanías del poblado de Futrono. C2 y C1 corresponden a sitios control de máxima profundidad del lago).

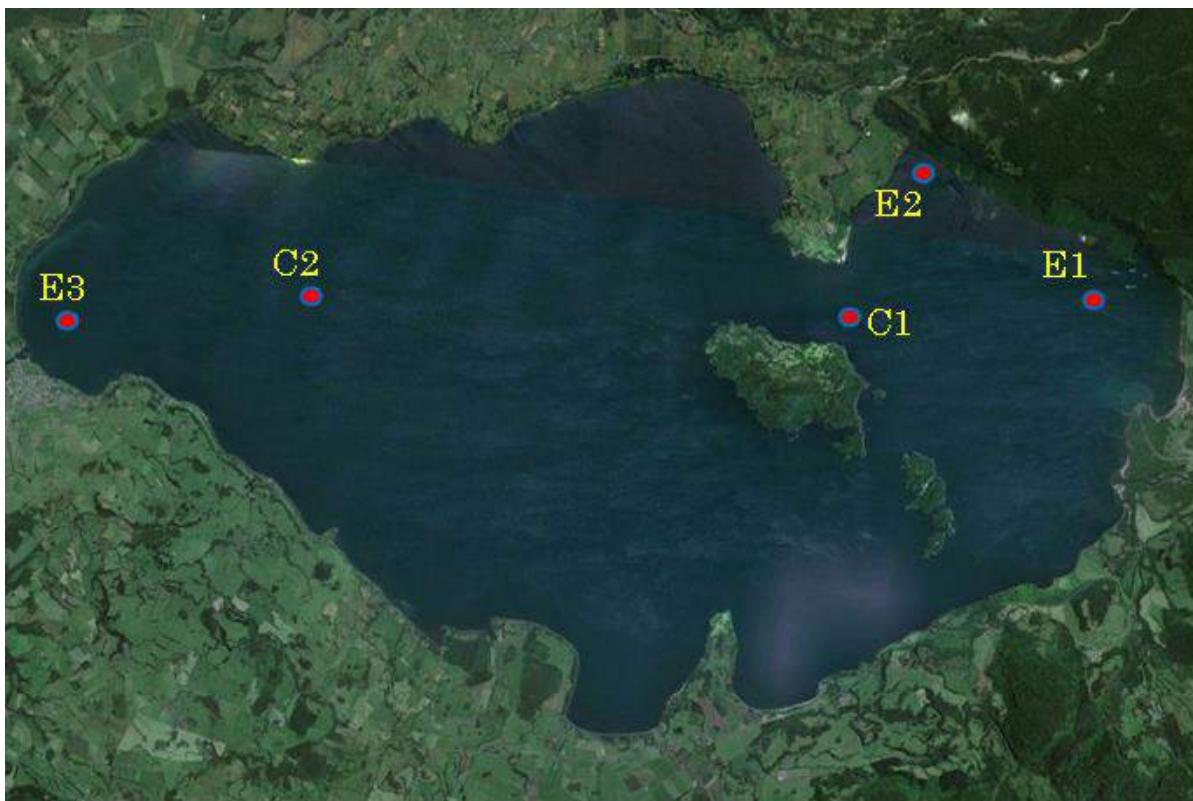


Figura 3. Estaciones de muestreo en lago Puyehue (E1 y E2 corresponden a estaciones de muestreo en bahías con concesiones de acuicultura autorizadas, 100205 y 100578 respectivamente, mientras que E3 a la Bahía cercana al poblado Entrelagos. C2 y C1 corresponden a sitios control de máxima profundidad del lago).

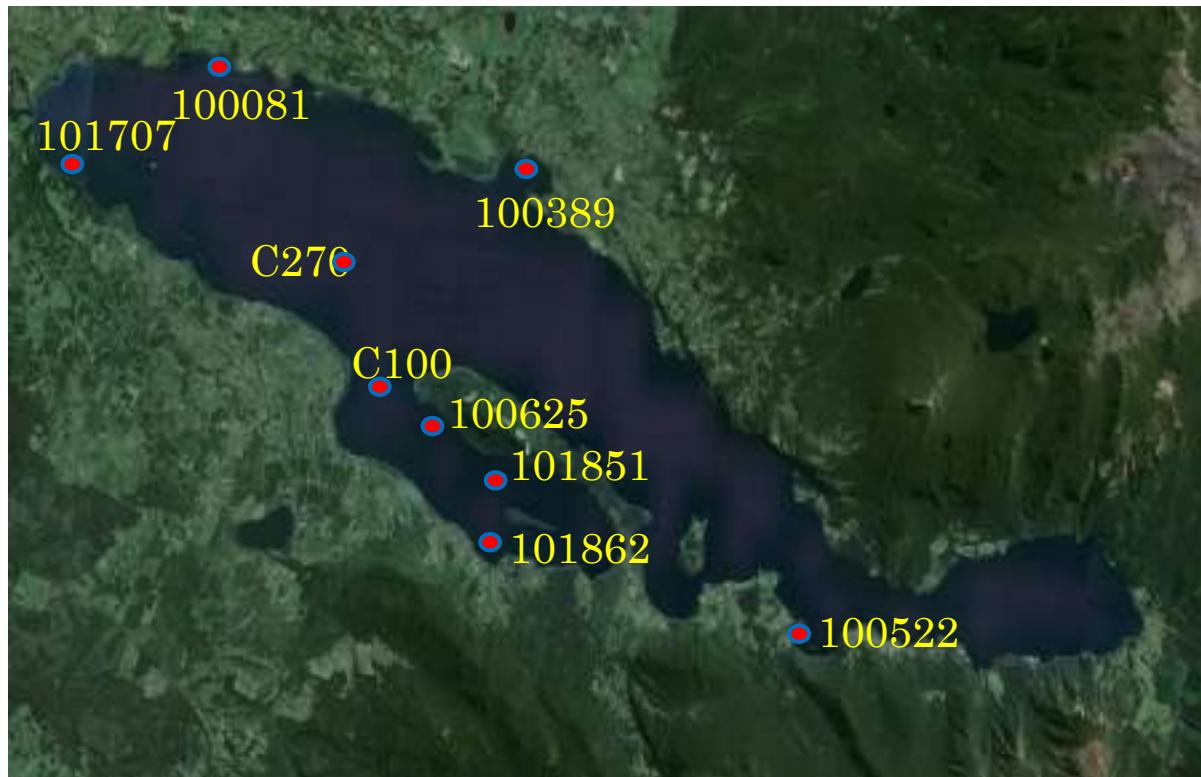


Figura 4. Estaciones de muestreo en lago Rupanco (en la figura se identifican 7 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura en donde se tomaron las muestras: 101707, 100081, 100389, 100625, 101851, 101862, 100522; además de dos sitios control de máxima profundidad, C270 y C100).

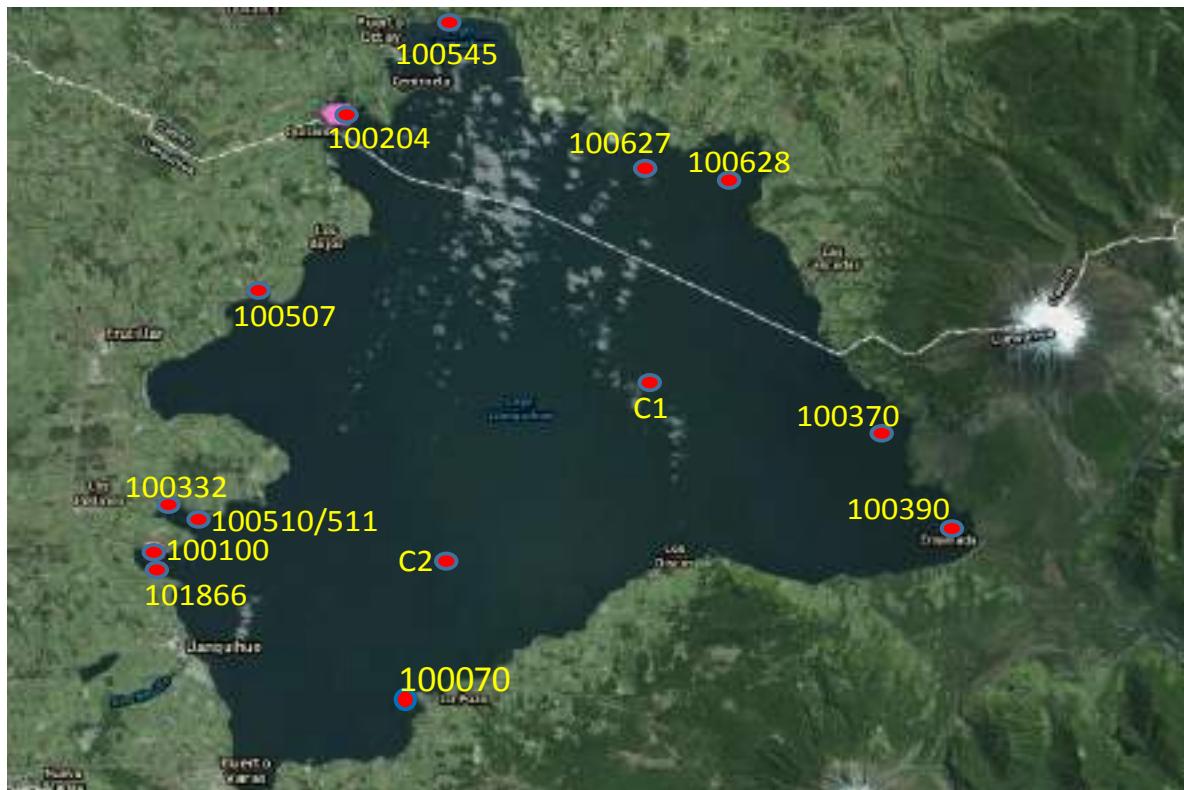


Figura 5. Estaciones de muestreo en lago Llanquihue (en la figura se identifican 13 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 101866, 100100, 100510/511, 100332, 100507, 100204, 100545, 100627, 100628, 100370, 100390, 100070; además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2).

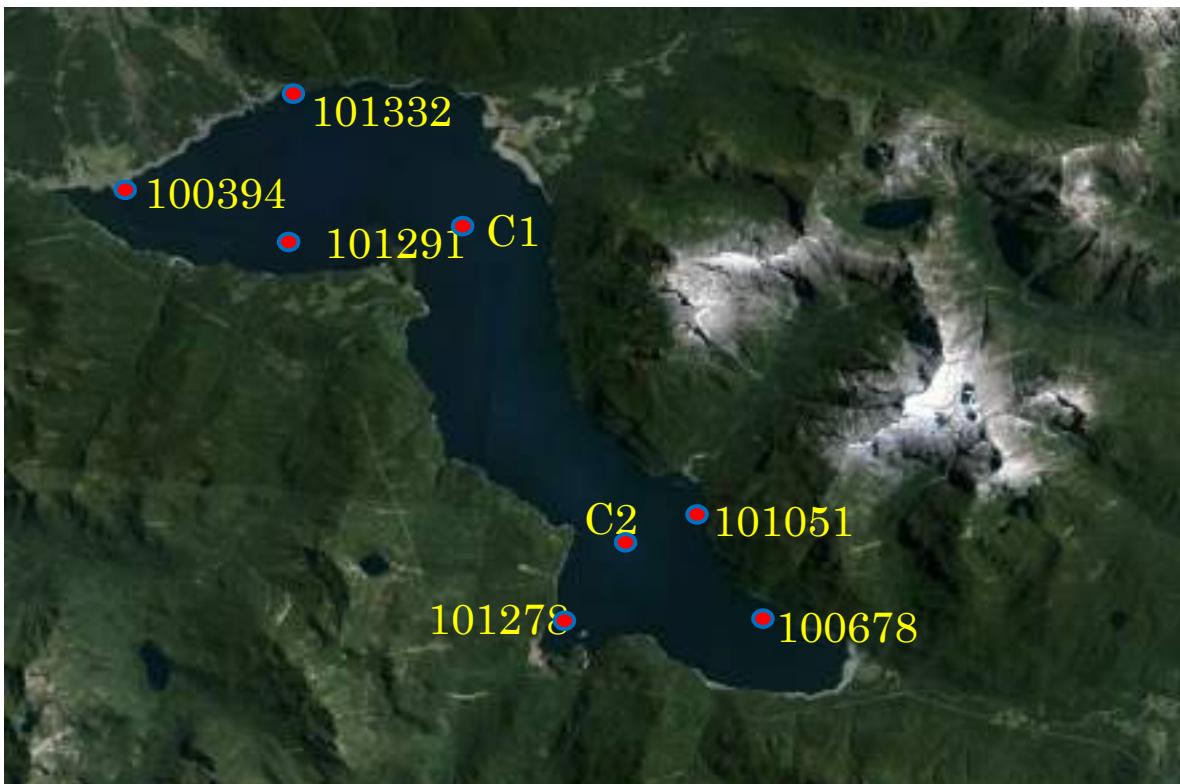


Figura 6. Estaciones de muestreo en lago Chapo (en la figura se identifican 6 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 101332, 100394, 101291, 101051, 101278, 100678; además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2).

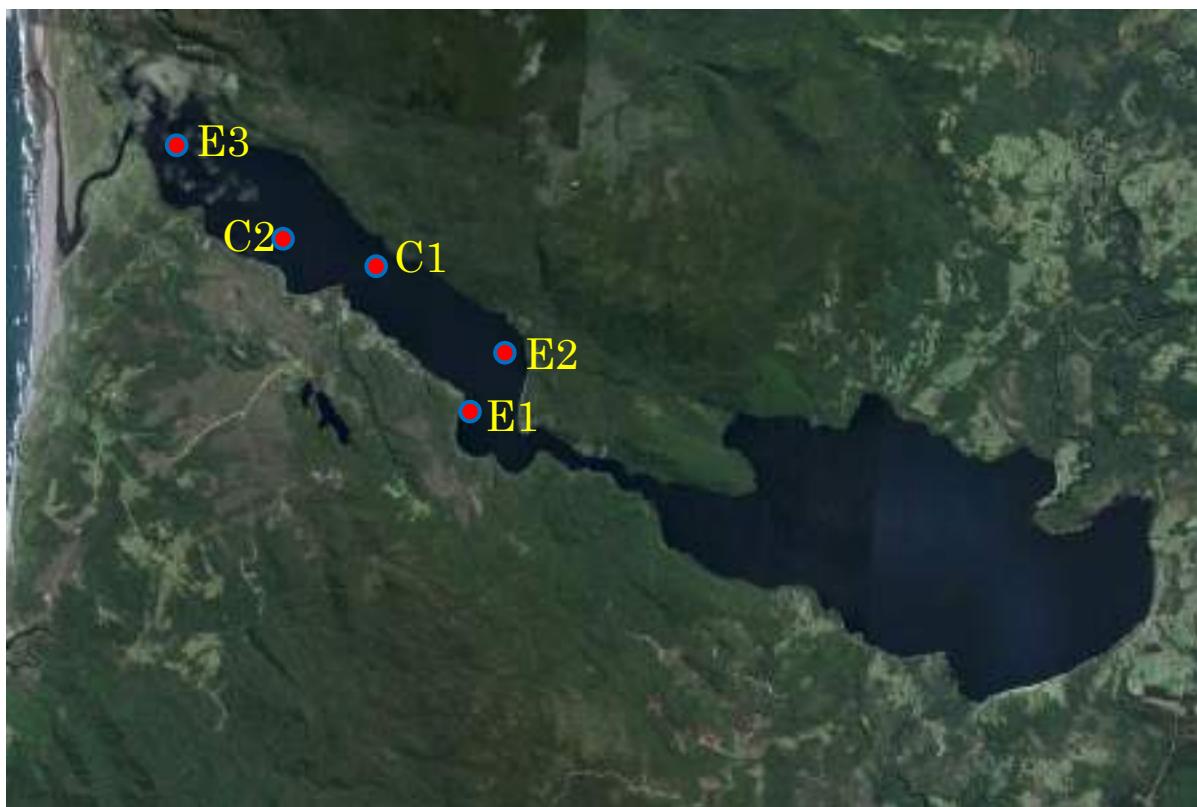


Figura 7. Estaciones de muestreo en lago Cucao (en la figura se identifican 3 estaciones de muestreo: E1 (correspondiente a la concesión de acuicultura 100618), E2 y E3, además de dos sitios control de máxima profundidad, C1 y C2).

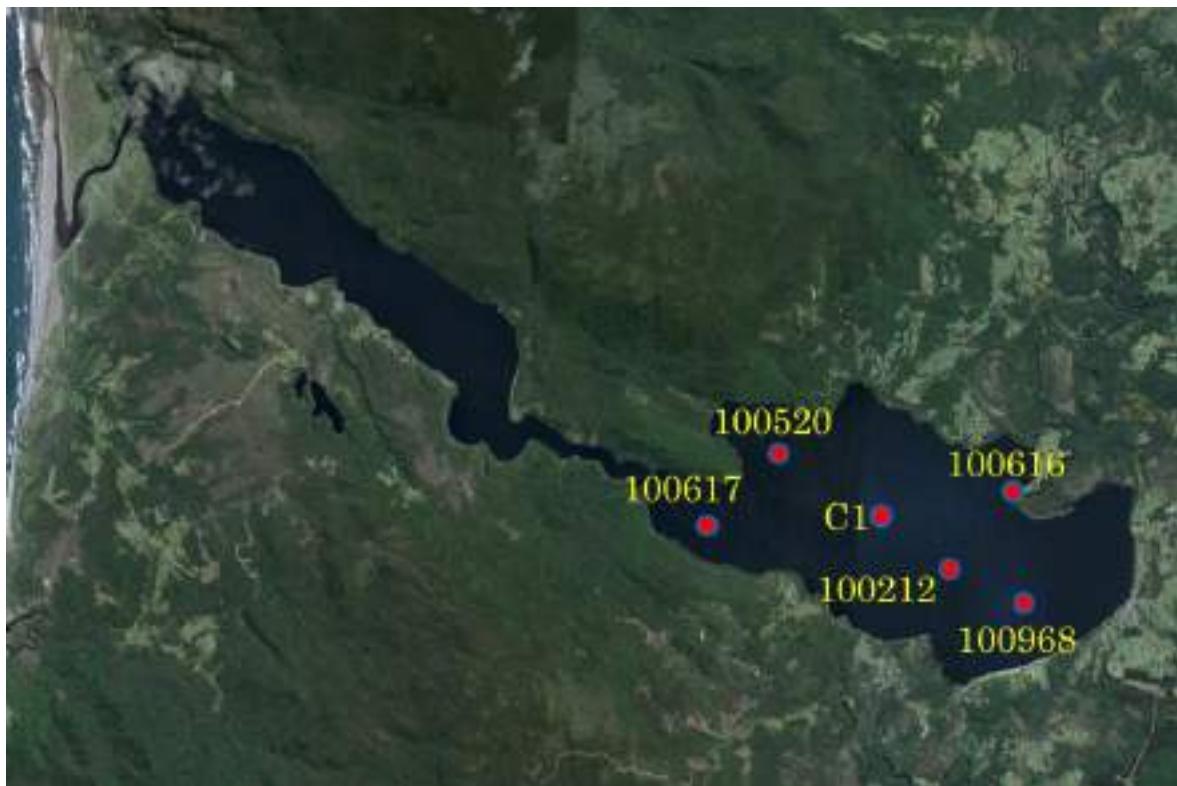


Figura 8. Estaciones de muestreo en lago Huillinco (en la figura se identifican 5 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 100617, 100520, 100616, 100212 y 100968; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).

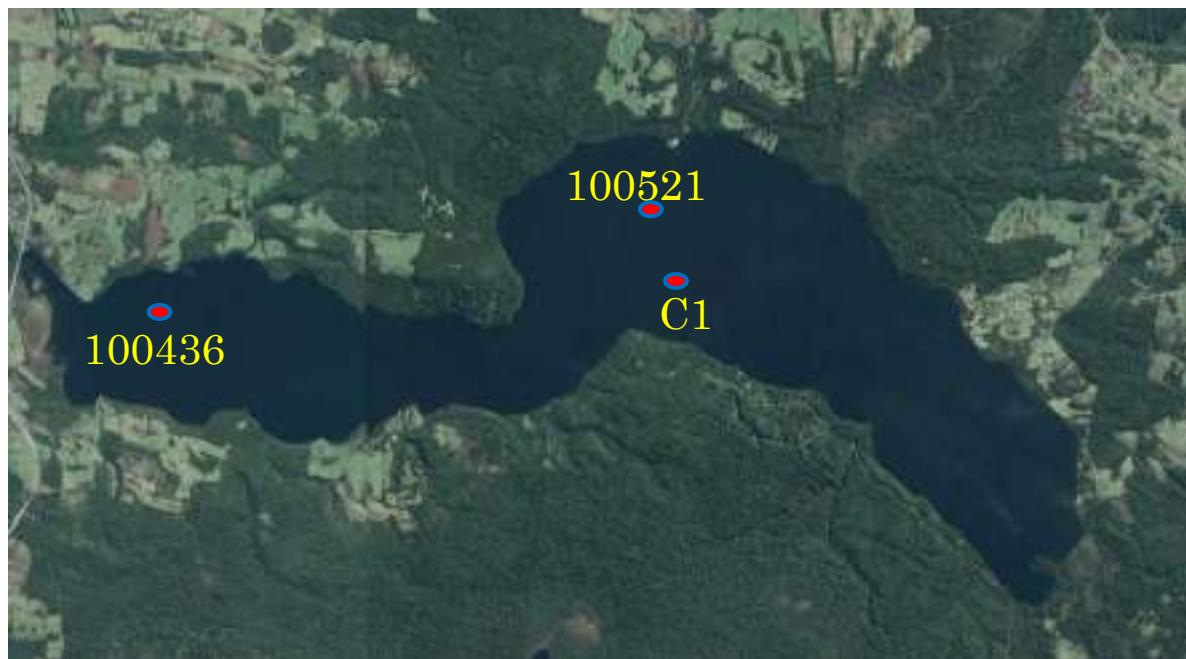


Figura 9. Estaciones de muestreo en lago Tarahuín (en la figura se identifican 2 códigos pertenecientes a concesiones de acuicultura, en donde se tomaron las muestras: 100521 y 100436; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).

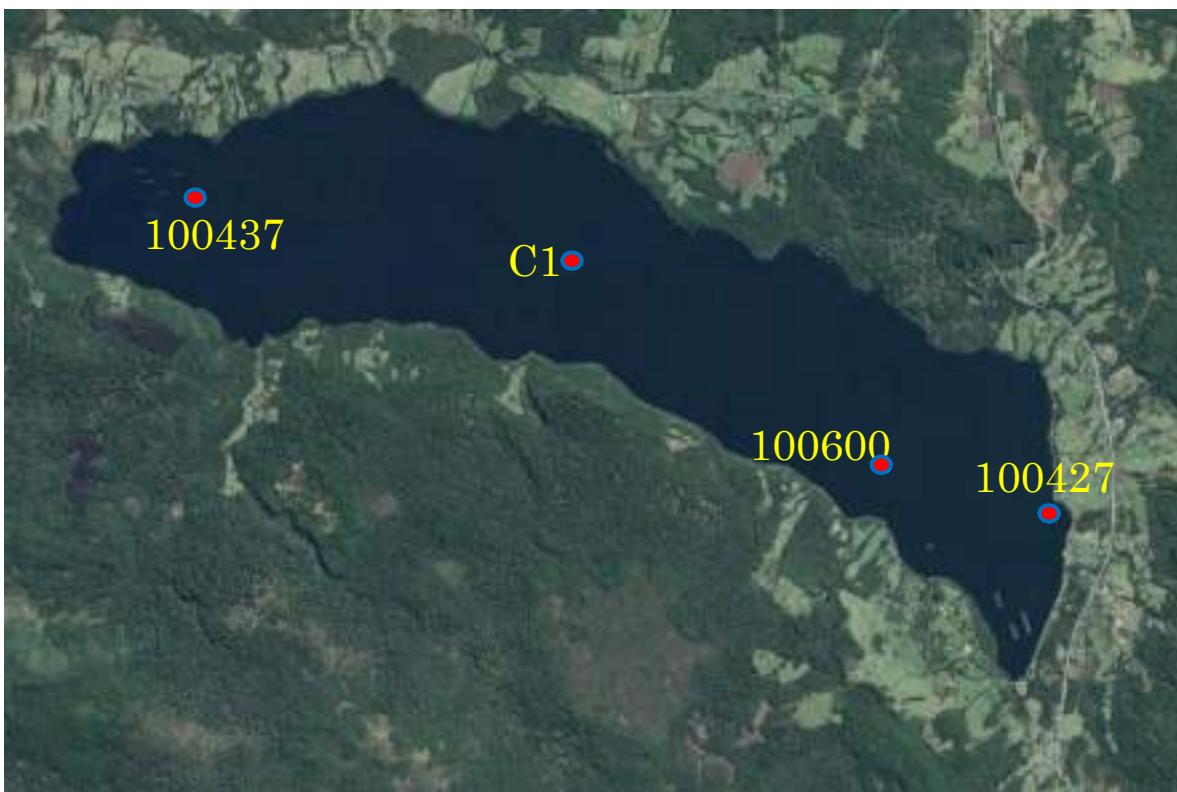


Figura 10. Estaciones de muestreo en lago Natri (en la figura se identifican 3 códigos de centros acuícolas en donde se tomaron las muestras: 100437, 100600, y 100427; además de un sitio control de máxima profundidad, C1).

4.3.2 Variables fisicoquímicas de agua

En cada lago estudiado (Llanquihue, Chapo, Natri, Huillinco, Tarahuín, Cucao, Ranco, Rupanco y Puyehue), se midió la transparencia (m) mediante la utilización de un disco Secchi y se registraron las variables de pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y oxígeno disuelto (mg/l) mediante perfiles en toda la columna de agua, utilizando una sonda CTDO (Sea Bird SBE 19 plus para el lago Chapo, Natri, Huillinco y Cucao, y Sea & Sun para los lagos Llanquihue, Tarahuín, Rupanco, Puyehue y Ranco), programada para registrar cuatro datos por segundo. Para ello se sumergió una sonda a la profundidad máxima de medición y en forma gradual se subió hasta la superficie.

En todos los lagos se tomaron muestras de agua para la realización de los análisis de fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), amonio (NH_4), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) y ortofosfato (PO_4) mediante la utilización de una botella Niskin (capacidad 5 L), de acuerdo a las profundidades establecidas en las siguientes tablas: lago Llanquihue (Tabla 2 en ANEXO 1), lago Chapo (Tabla 3 en ANEXO 1), lago Natri (Tabla 4



en ANEXO 1), lago Huillinco (Tabla 5 en ANEXO 1), lago Tarahuín (Tabla 6 en ANEXO 1), lago Cucao (Tabla 7 en ANEXO 1), lago Ranco (Tabla 8 en ANEXO 1), lago Rupanco (Tabla 9 en ANEXO 1) y lago Puyehue (Tabla 10 en ANEXO 1). En cada profundidad se extrajeron 250 ml para el análisis de fósforo total y nitrógeno total, éstos fueron almacenados a -20 °C. Además se tomaron 1.000 ml de agua, la cual fue filtrada, y de la cual se extrajeron 800 ml para el análisis de amonio, nitrito, nitrato y fósforo soluble, almacenándolos luego en envases de plástico de 125 ml cada uno a -20 °C.

El análisis de PT se realizó mediante digestión ácida y oxidación con persulfato de potasio según Koroleff (1983) y 4500-P B/5, Standard Methods Edition 2005 (LD.: 0,003 mg P/L). El análisis de NT se realizó mediante el método de digestión básica con hidróxido de sodio y persulfato de potasio según Koroleff (1983) y 4500-N/C y 4500- NO₃_E Standard Methods Edition 2005, Segmented flow analysis Modul SKALAR (L.D.: 0,015 mg N/L). El análisis de amonio se realizó mediante el método de fenato (SM 4500 NH₃ F), conocido también como la técnica colorimétrica de cuantificación del Azul de Indofenol (LD: 0.001 mg NH₄/L). Los nutrientes inorgánicos disueltos (NO₂, NO₃ y PO₄), fueron analizados mediante la técnica de Parsons *et al.* (1984) y Valderrama (1986), para lo cual se filtraron 125 ml de agua con filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F, almacenando y conservando luego lo filtrado en botellas plásticas a -20 °C hasta su posterior análisis en laboratorio (los límites de detección para los nutrientes inorgánicos disueltos corresponden a los siguientes: 0,001 mg NO₃/L; 0,005 mg PO₄/L; y 0,001 mg NO₂/L). Las unidades de concentración de fósforo total se presentaron en el texto tanto µg/L como en mg/L. Se recuerda que 10µg/L equivalen a 0,010mg/L. Para la determinación de trofía de cada lago, y clasificación del paradigma de nutriente/color en la caracterización de los lagos chilotas, se utilizó µg/L para la facilitar las comparaciones con norma secundaria de calidad ambiental y modelos utilizados. En el caso de modelo de capacidad de carga y análisis tendientes se usó la unidad mg/L.

La determinación de clorofila a (Chl a) total se realizó filtrando 1 L de agua, a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F. Los filtros fueron congelados a -18 °C hasta el momento de la extracción con acetona al 90%. Los extractos acetónicos (10 ml) fueron almacenados en oscuridad a 4 °C durante 24 horas, luego filtrados a través de filtros de fibra de vidrio Millipore de 12 mm de diámetro e inmediatamente leídos en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1203. La concentración de clorofila a se calculó según ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (1975).

En los lagos ubicados en la isla de Chiloé, Natri, Huillinco, Tarahuín y Cucao, se consideró además el análisis de Material orgánico Disuelto Coloreado (MODC) según metodología de Kirk (1986). Este análisis no estaba comprometido en las actividades de este objetivo, sin embargo se consideró necesario su realización para cuantificar los componentes absorbedores de la radiación que afecten las propiedades bioópticas y su relación con el resto de las variables físico-químicas y biológicas de cada lago. Para ello, se tomaron muestras de agua con la Botella Niskin en todas las estaciones y a cada profundidad, y almacenadas en botellas de polipropileno de 125 ml. En laboratorio fueron filtradas con filtro de 0.2 µm (Nucleopore, policarbonato) y se obtuvieron los espectros totales de estas muestras de agua filtrada en un espectrofotómetro Shimadzu UV-Visible, utilizando como



blanco agua pura (Alpha-Q, MilliQ o nanopure). El valor de la densidad óptica a 290-700 nm se restó del espectro completo como una corrección de absorción nula. La longitud de onda seleccionada como indicador de la cantidad de *glibin* presente en las muestras de agua, fue de 320 nm.

Para la medición de correntometría lagrangeana se utilizaron 4 derivadores (Brightwaters, 106D) implementados con tarjeta de sistema de posicionamiento global a 1 y 15 m de profundidad durante un máximo de 24 horas, los cuales fueron posicionados en dos puntos en cada transecto (Figura 1 en ANEXO 2, Tabla 11 a 19 en ANEXO 1). En los casos en que el derivador impactara con la zona litoral del lago, previo al límite de tiempo establecido y en condiciones de buena visibilidad, éste fue relocalizado en el mismo transecto pero en un nuevo punto (se realizó como máximo una relocalización por derivador).

4.3.3 Clorofila a

Para el muestreo de clorofila a se utilizó el mismo contenido de la botella Niskin (capacidad 5 litros) utilizada en el muestreo para variables fisicoquímicas en las mismas profundidades. Se extrajo 1 litro de agua para clorofila a (Chla). Posteriormente, la determinación de clorofila a se realizó filtrando 1 L de agua, a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F. Los filtros fueron congelados a -18 °C hasta el momento de la extracción con acetona al 90%. Los extractos acetónicos (10 ml) fueron almacenados en oscuridad a 4 °C durante 24 horas, luego filtrados a través de filtros de fibra de vidrio Millipore de 12 mm de diámetro e inmediatamente leídos en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1203. La concentración de clorofila a se calculó según ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (1975). Así también se determinó la abundancia por sedimentación en cámaras de volumen conocido según el método de Utermöhl (1958). La abundancia de cada especie se expresó como células por litro (cél/L).

4.3.4 Fitoplancton

Para el muestreo de fitoplancton se consideró obtener una muestra representativa de la diversidad florística de cada estación de muestreo. Se realizaron muestreos de fitoplancton cualitativo y cuantitativo. El muestreo de fitoplancton cualitativo se realizó en todas las estaciones de columna de agua, mediante la utilización de una red de 25 µm, la cual se sumergió hasta 40 m de profundidad, o hasta 2 m sobre el fondo cuando la profundidad fue menor, y se subió a una velocidad constante y pausada, luego se concentró la muestra eliminando el exceso de agua hasta lograr una muestra de 125 ml. La muestra fue fijada con formalina al 4% (1,3 ml) obteniendo una muestra integrada desde la superficie hasta los 40 m de profundidad (epilimnion).

Las muestras de fitoplancton cuantitativo están conformadas por muestras integradas de la columna de agua, desde la superficie hasta los 40 m de profundidad. Para ello, se colectaron sub-volumenes iguales y equidistantes en la columna de agua. De cada lance se tomaron muestras discretas de 125 ml en



superficie, 10, 20, 30 y 40 m de profundidad, respectivamente. Luego se homogeneizaron todas las submuestas en un contenedor, integrando una sola muestra. Desde este contenedor se extrajeron 125 ml y fueron fijados con 1,6 ml de lugol.

El análisis de las muestras se realizó de acuerdo al método de Mischeke *et al* (2012). La determinación de la composición específica se realizó mediante la utilización de un microscopio invertido (Leica DM1000), utilizando la siguiente literatura: 1. Bacillariophyceae (Diatomeas): Krammer & Lange-Bertalot (1991-2000), Rivera (1970), Rivera *et al.* (1973), Rivera (1974), Rivera (1983); 2. Chlorophyceae (Algas verdes): Parra *et al.* (1982a); 3. Cyanophyceae (Algas verde-azules): Parra *et al.* (1982b), y 4. Chrysophyceae: Parra *et al.* (1982c).

4.3.5 Zooplancton

Para el muestreo de zooplancton, en cada estación de muestreo de columna de agua, se utilizó una red de 80 µm (apertura: 30,5 cm), la cual se sumergió hasta 60 m o 2 m sobre la profundidad máxima cuando ésta fue menor de 60 m. La muestra se almacenó en frascos de 125 ml y se fijó con alcohol al 70%. Para conocer el volumen que filtró la red, se midió el diámetro de la boca de la red y la profundidad a la cual fue sumergida, con ello se calculó el volumen filtrado y se obtuvo la densidad de individuos por litro. Si bien no se utilizó un flujómetro para medir el flujo de agua se considera que no habría un error significativo implícito en el método, ya que la red utilizada cumplió la relación de 6:1 entre el área de la boca y el largo de la red establecida por Tranter 1968.

Las muestras fueron analizadas utilizando en lupa estereoscópica Wild M3 en la cámara de conteo de zooplancton Bogorov y se utilizaron las descripciones de Araya & Zúñiga (1985), Williamson & Reid (2001) y Wallace & Snell (2001) para la determinación de las especies, por otro lado, la determinación de los distintos estados de copepoditos se realizó según Chapman & Burns (1976), para la determinación taxonómica, cuantificando el número de individuos de cada especie y la densidad total por litro de agua filtrada.

4.3.6 Sedimento

Para el análisis de sedimento de cada lago se extrajeron muestras en cada punto ($n= 3$) (Tabla 20 – 28 en ANEXO 1) mediante la utilización de una draga de cierre hermético con ventanas abatibles controlada por un huinche. Con las muestras de sedimento se midió *in situ* las variables de temperatura, pH y potencial redox (mV) desde los primeros 3 cm del sedimento utilizando un multiparamétrico (electrodo específico). Con la ayuda de una espátula se extrajo desde una de las ventanas una muestra de sedimento desde los primeros 3 cm (100 g aprox.). El material fue depositado en botellas de 150 ml para el posterior análisis de materia orgánica. Otros 150 g fueron extraídos desde la ventana opuesta hasta los primeros 3 cm para el análisis granulométrico y textural. Todas las muestras fueron



depositadas en cajas térmicas a una temperatura máxima de 4°C, debidamente etiquetadas y trasladadas al laboratorio para su análisis.

El análisis granulométrico se realizó mediante tamizado, que permite separar los rangos texturales de los sedimentos de acuerdo a la escala de tamaños de Wentworth (1922). En el laboratorio, una vez obtenidos los pesos de cada fracción de tamaño, a partir del análisis de tamizado, fueron expresados los valores en porcentaje diferencial respecto del peso total. Posteriormente, se estimó el diámetro medio (tamaño medio) y los parámetros de dispersión (selección y asimetría) mediante análisis estadístico utilizando los criterios de Folk y Ward (1957). En la estimación del diámetro medio, los datos fueron representados en la escala logarítmica phi (ϕ) con el propósito de realizar la descripción de los datos mediante numeración entera (Folk, 1980), de acuerdo a la siguiente ecuación: $\phi = -\log_2 D$ donde, D es el diámetro de la partícula en mm. Para la clasificación de los sedimentos se aplicó el triángulo ternario de Folk *et al.* (1970) que considera la participación de la fracción psefítica (gravas). Los parámetros texturales permitirán efectuar un análisis descriptivo sobre la distribución textural de los sedimentos (triángulos texturales) y otros estadísticos (Folk y Ward, 1957) que utiliza las medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar, asimetría, curtosis y selección) para inferir las condiciones asociadas al ambiente de deposición, así como su distribución espacial principalmente en asociación con el comportamiento de las profundidades en el sector.

La materia orgánica se analizó realizando en primer lugar una homogenización de la muestra, desde la cual se tomó una submuestra de aproximadamente 10 gramos la cual fue secada a 100 °C por un periodo de 8 horas. Posteriormente se tararon los crisoles, se pesaron con las submuestras, las cuales fueron posteriormente calcinadas a 450 °C (mufla) durante 5 horas. Los crisoles con las submuestras se dejaron enfriar en un desecador, para finalmente pesar los crisoles con las submuestras calcinadas. Por diferencia de peso se obtuvo el peso de la materia orgánica total de cada submuestra (Byers *et al.* 1978).

4.4 Objetivo específico 4

4.4.1 Caracterización ambiental

La caracterización ambiental, se realizó para cada lago, de acuerdo a sus características morfológicas, a los antecedentes recopilados, más la información de variables físicas, químicas y biológicas obtenidas de la columna de agua, las condiciones del sedimento e hidrodinámicas del lugar.

Una vez obtenida la data de cada lago, se procedió a revisar los antecedentes obtenidos. En caso de presentarse valores anómalos o dudosos, se utilizaron los siguientes criterios para eliminarlos de los análisis:



- 1) Aquellos valores extremadamente elevados, mayores a los reportados en la literatura, y que al menos fueran dos órdenes de magnitud superiores a la data coherente del lago o estación en cuestión, además que no tuvieran relación con los otros parámetros evaluados en la columna de agua a la misma profundidad.
- 2) Aquellos valores de fosfato mayores a lo obtenido para el fósforo total, así como también los valores de nitrato mayores al nitrógeno total.
- 3) Aquellos valores bajo el límite de detección

Estos tres criterios fueron mayormente utilizados para la data incoherente de nutrientes disueltos.

En las tablas de datos anexas, se presentó toda la data obtenida durante la ejecución del proyecto y se indicó en las tablas los valores anómalos o incoherentes.

4.4.2 Determinación de estado trófico

Para la determinación del estado trófico actual de los lagos Llanquihue, Rupanco, Chapo, Natri, Tarahuín, Huillinco, Cucao, Ranco y Puyehue, se analizaron los datos de las variables limnológicas de la columna de agua: transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total las cuales fueron obtenidas durante el año 2014 en la ejecución de este proyecto. Estos resultados fueron contrastados con los límites establecidos en la Guía de Norma Secundaria de Calidad Ambiental (CONAMA 2005), cuyos valores se muestran en la Tabla 29 en ANEXO 1. En el caso de los lagos chilotas, se complementó el estado trófico con la metodología del paradigma-color, que explica de manera más precisa la caracterización ambiental de lagos coloreados.

4.4.3 Determinación del modelo de capacidad de carga del lago Llanquihue

4.4.3.1 Balance hidrológico anual del lago Llanquihue

Se realizó una estimación del balance hidrológico anual actualizado para el año 2014 del lago Llanquihue utilizando la siguiente ecuación:

$$R + P = S + Ev + D \pm \Delta L$$

Donde:

R = entradas ríos y/o esteros

P = Precipitaciones

S = Salidas efluente río Maullín

Ev = Evaporación del lago



D = Drenaje profundo del lago
ΔL = Variación de la reserva del lago

Primeramente, se calculó y determinó la cuenca hidrográfica del lago Llanquihue, utilizando imágenes de Radar ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM), con las cuales se procedió a realizar un mosaico del área de estudio, con el objetivo de generar un DEM (Digital Elevation Model), posteriormente se generaron análisis de Pendientes, de Dirección y Acumulación de Flujos. A partir de éstos se obtuvo la cuenca y las sub-cuenca del lago Llanquihue. Este análisis raster se vectorizó y geoprocésó para evitar errores topológicos en posteriores análisis geoespaciales.

Finalmente se trabajó con la información de uso de suelo del Censo Vegetacional de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 2007), con la cual se generaron análisis espaciales a partir de la definición de cuencas y sub-cuenca para obtener el uso de suelo por cada unidad hidrográfica definida anteriormente, utilizando el software ArcGis 10.

Una vez definidas las subcuenca, el uso de suelo, y las características y series de suelo para cada una de las subcuenca, se estimaron las entradas de agua provenientes de ríos, laderas y pequeños esteros al lago Llanquihue mediante el método de la Curva Número (Soil Conservation Service 1975). Las características de los suelos y las series de suelo se obtuvieron a partir de los mapas de SERNAGEOMIN: Mapa geoambiental de recursos Hidrogeológicos, y Mapa Geoambiental de Geología Básica y sitios propuestos de Patrimonio Geológico.

La Curva Número (CN) refleja la reacción de una superficie con un determinado uso de suelo en términos de escorrentía, según las condiciones de humedad del suelo, es decir, la CN es el porcentaje de la lluvia incidente que llega a ser escorrentía. La relación entre CN, almacenaje de agua y escorrentía es:

$$a) \quad Q = (P - 0,28 S)^2 / (P + 0,8 S)$$

El parámetro S (unidades SI, mm) se estima con la ecuación:

$$b) \quad S = (25400 - 254 CN) / CN$$

Donde,

CN = Curva número ($0 < CN < 100$)

CN es igual 100 para suelos impermeables y menor a 100 para suelos naturales.

A priori, en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), se definieron 16 subcuenca para la cuenca del lago Llanquihue. En nuestro caso, se hizo un estudio más detallado, definiendo 127 subcuenca, considerando un ajuste según la pendiente media de cada subcuenca. Luego se aplicó la CN a las 127 subcuenca definidas considerando el grupo hidrológico de suelo, de acuerdo a sus capacidades de infiltración. Para este lago se consideraron suelos de clase A y B, con alta y moderada



capacidad de infiltración respectivamente. El volumen de escorrentía para cada una de las subcuenca con distintos usos de suelo, se obtuvo calculando una CN ponderada para cada subcuenca y luego utilizando las ecuaciones a) y b).

Las precipitaciones se obtuvieron de tres estaciones meteorológicas de la red Agrometeorológica del INIA cercanas al lago (Centros meteorológicos de Puerto Octay, Ensenada y Quilanto) del año 2014.

Las salidas de agua del lago, específicamente por su único efluente, el río Maullín, se calcularon con los datos obtenidos de la estación hidrométrica de DGA en las Quemas, entre enero del 2010 y diciembre de 2013, y corregido de acuerdo al dato entregado en la primera parte del Proyecto (MMA 2010). En relación a la evaporación del lago, se utilizaron los datos promedios obtenidos de la DGAC del Aeropuerto el Tepual en los últimos 11 años. La variación de la reserva del lago se consideró igual a cero en un balance hidrológico anual.

4.4.3.2 Balance de nutrientes y capacidad de carga del lago Llanquihue

Para cuantificar las entradas, salidas del lago, y la concentración de nutrientes resultante en la columna de agua, se realizó un balance mísico de nutrientes (fósforo total).

El balance de nutrientes se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1	$d[PT]/dt *V = Jext + Jint - \sigma * [PT]*V - \rho [PT] *V$
-------------------	--------------------------------------------------------------

Donde

- [PT] : concentración de fósforo total (PT en mg/m³)
V : volumen lago (m³)
Jint : aporte fósforo total interno (mg/dt)
Jext : aporte fósforo total externo (mg/dt)
 ρ : coeficiente de tasa de recambio (1/dt)
 σ : coeficiente de tasa de sedimentación (1/dt)

Los supuestos más importantes del modelo son:

- I. El fósforo total que ingresa al lago se mezcla completamente,
- II. La concentración de fósforo total en el flujo de salida es igual a la concentración en el lago,
- III. La pérdida de fósforo total por retención en el sedimento es proporcional a su concentración en el lago,
- IV. Las fluctuaciones estacionales de la carga hidráulica y del fósforo se puede despreciar.

Para resolver el balance de nutrientes por lo tanto es necesario determinar:

- (a) la carga externa de PT al lago,
- (b) el contenido de fósforo total contenido en el lago



- (c) la descarga por el efluente
- (d) la permanencia, sedimentación, deposición y/o resuspensión de los nutrientes

a) Determinación de la carga externa

La carga externa total se calculó sumando las cargas medidas y/o estimadas en base de la literatura disponible (p.e. escorrentía de cada subcuenca de la cuenca del lago Llanquihue según uso de suelo, tipo de suelo y precipitación (CN), y coeficientes de exportación de nutrientes según uso de suelo), de la siguiente forma:

Ecuación 2

$$Jext = L_{\text{cuencas}} + L_{\text{Afluentes}} + L_{\text{prec}} + L_{\text{Hum}}$$

Donde

Jext:	aporte PT externo
L _{cuencas} :	carga PT por cuencas
L _{Afluentes} :	carga PT por ríos afluentes
L _{prec} :	carga PT por precipitaciones
L _{Hum} :	carga PT por actividades humanas

Las cargas de nutrientes ingresadas al lago a través de su cuenca de drenaje, se obtuvieron calculando el volumen de escorrentía, las áreas por uso de suelo y los índices de exportación de nutrientes para cada uso del suelo. Se utilizaron índices de exportación de nutrientes a partir de literatura nacional (Lozano 2011, Little *et al.* 2008, Oyarzún *et al.* 2007-2004-1998-1997, Godoy *et al.* 2001, entre otros).

En cuanto a la concentración de fósforo total en las precipitaciones, se utilizó el mismo valor de la primera etapa del proyecto, es decir 8,6 µg/L de PT, valor que se multiplicó por el promedio de la precipitación del año 2014 obtenido de las tres estaciones meteorológicas de la red Agrometeorológica del INIA cercanas al lago (Centros meteorológicos de Puerto Octay, Ensenada y Quilanto).

La carga de fósforo total que aportó la salmonicultura (en balsas jaula) directamente al lago, se determinó realizando un retro cálculo a partir de los datos de producción neta de peces. Se estimó que cada tonelada de peces producida aportaría 9,3 kg de fósforo total al lago (Wang *et al.* 2012) (donde la producción neta = producción bruta – abastecimiento). En consecuencia, el aporte de fósforo total muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces. Se analizaron las tablas de datos de producción de peces, entregada por SUBPESCA a partir del año 1996 hasta el primer semestre del 2014.

La carga de fósforo total aportada por la población ubicada en la cuenca del lago Llanquihue se calculó según la metodología de la primera etapa de este proyecto (misma metodología de Campos *et al.* 1991), determinando primeramente el número de casas en la cuenca de drenaje del lago, tomando en consideración el aporte por asentamientos humanos fuera del radio de las concesiones de tratamiento



de agua servidas, en un margen de 200 m sobre la ribera del lago, conteo que se realizó a través de las imágenes satelitales del Google-earth. Por casa contabilizada se consideró un núcleo familiar compuesto por 4 personas de forma permanente durante el año completo, con un aporte por persona al día de 3,75 gr de PT. La descarga directa de cada casa va dirigida a un pozo séptico, siendo el coeficiente de retención del suelo de una salida de un pozo séptico de 0.2 (CENMA 2007). Además se consideró un flujo de turistas de 20.000 personas con un tiempo de residencia de 5 días al año.

Los valores de RILES o descargas de actividades antrópicas se obtuvieron de la Superintendencia de Servicios SANITARIOS (SISS), quien proporcionó la información a través del Ministerio de Medio Ambiente. Estas descargas se calcularon para el periodo 2013-2014. En el caso de las plantas de tratamiento, como es el caso de la Planta de tratamiento de Puerto Octay, en donde no se registró información sobre el caudal y nutrientes de la descarga, se obtuvieron los datos a partir de la Declaración de Impacto Ambiental, considerándose un máximo permisible de 2 mg/L de fósforo total en el caudal. En el caso de la empresa PROSECOR (empresa relacionada al procesamiento de trigo mote y almidón), sólo se tienen registros del caudal y concentración de fósforo total del año 2013.

b) Determinación del contenido de fósforo total contenido en el lago

Para la determinación de contenido de fósforo total en el lago, se calculó el promedio geométrico de fósforo total en la columna de agua del lago por el volumen total del lago, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3	$\text{PT lago} = [\text{PT}]_{\text{geo}} * \text{Vol}$
------------	----------------------------------------------------------

Donde:

PT lago : promedio geométrico de concentración de fósforo total en la columna del lago (mg/m³)

Vol : volumen de lago (m³)

Se determinó el contenido total de fósforo en la columna de agua utilizando el volumen de agua por estrato y se calculó su fracción del volumen total del lago. Luego se multiplicó la concentración de PT con la fracción del volumen total para cada estrato. Mediante la sumatoria de estos valores se obtuvo el promedio geométrico de nutrientes. Los volúmenes de cada estrato fueron obtenidos de la curva hipsográfica, la cual indica la distribución de volumen para cada estrato.

c) Determinación de la descarga por el efluente

Se asume, según el modelo de Volllnenweider, que la concentración de nutrientes en el efluente es igual a la concentración promedio en la columna de agua del lago. La descarga o salida de agua, se obtuvo con la información de caudal del efluente del lago Llanquihue, el río Maullín (Ministerio del Medio Ambiente 2010), multiplicado por el promedio de la concentración de fósforo de la columna de agua



desde las estaciones control de máxima profundidad. No se observaron diferencias estadísticas en la concentración de fósforo total en ambas estaciones control, por lo que el PT de éstas fue promediado.

La ecuación para determinar la descarga por el afluente es la siguiente:

Ecuación 4

$$Lefl = Q_1 * [PT]_1 + Q_2 * PT_2 + \dots + Q_n * PT_n$$

Donde:

Lefl : egreso de fósforo total (p.e. en kg o ton) por efluente durante un año

Q_n : caudal promedio durante período n (m^3), p.e. un año

$[PT]_n$: promedio de concentración de fósforo total que corresponde al período n (mg/m^3), p.e. un año

d) Estimación de la carga crítica

Se utilizó el modelo conceptual de Vollenweider (1974) porque es el modelo empírico más simple. Este modelo considera en su mayoría pocos factores, principalmente la profundidad promedio del lago y el tiempo de renovación teórico del volumen del lago, con lo cual, finalmente es posible determinar además la carga crítica (permisible) para mantener un lago en un estado oligotrófico y no superar los 10 $\mu g/L$ de fósforo total. Si se sobrepasara esta concentración de fósforo total, los lagos en general entrarían a un estado eutrófico.

Se utilizó la ecuación 5 según Vollenweider para calcular la carga crítica, es decir, la carga de nutrientes que debe contener un lago para pasar del estado oligotrófico a mesotrófico. Esta ecuación es considerada actualmente por la Comunidad Europea en su directiva (78/659/EEC) para lagos temperados con una profundidad máxima entre 18 y 300 m. Como para corroborar los resultados de la ecuación 5, se utilizó también la ecuación 6 de la OECD. Según la primera parte del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), la diferencia entre las dos ecuaciones son mínimas (<15 % de diferencia) para lagos con un tiempo de renovación > 1 año. Para lagos con un tiempo de renovación < 1 año, las diferencias aumentan considerablemente (hasta factor 2 o más), siendo las diferencias independientes de la profundidad.

Ecuación 5

$$Lc = 10 qs \cdot (1 + \sqrt{Tw})$$

Ecuación 6

$$Lc = 17 \cdot (z \text{ prom} / Tw)^{0.6} \cdot z \text{ prom}^{0.4}$$

Donde:

Lc : carga crítica de fósforo total por área del lago por año ($mg/m^2 \cdot a$)

z : profundidad media (volumen/área) del lago (m)

Tw : tiempo de renovación del agua (años)

qs : carga hidráulica (z/Tw)



e) Estimación de la carga actual con modelo predictivo

En base a la concentración promedio de PT en la columna de agua se calculó la carga actual de fósforo total en la superficie del lago Llanquihue de acuerdo a las fórmulas predictivas de Vollenweider (1976). El desarrollo de esta estimación sirve para verificar si las estimaciones de las cargas externas de nutrientes en el estudio están dentro del rango esperado según los modelos predictivos. La carga actual de PT en el lago se calculó con la siguiente fórmula:

Ecuación 7	$Lc \text{ (mg/m}^2/\text{año}) = PT * z/Tw / (1-R)$
-------------------	------------------------------------------------------

Donde:

- PT : Concentración actual promedio de PT en la columna del lago
Z : profundidad media
Tw : renovación teórica del volumen del lago
R : coeficiente de retención ($R = 1/(1 + (1/\sqrt{Tw}))$)

El valor obtenido a partir de la ecuación precedente fue cotejado con la ecuación 8 de la OECD (1982):

Ecuación 8	$[PT]_{\text{lago}} = 1,55 [[PT]_{\text{in}} / (1+\sqrt{Tw})] 0,82$
-------------------	-----------------------------------------------------------------------

Con respecto a la tasa de sedimentación (coeficiente de retención R), en lagos con hipolimnium oxigenado depende ésta principalmente de Tw. Según literatura, R aumenta cuando Tw aumenta, es decir en lagos con un lento tiempo de renovación queda un mayor porcentaje de PT retenido en el lago y viceversa. Se citan en literatura diferentes fórmulas para calcular R (Nürnberg 1998, Ryding & Rast 1989, y Kalff 2002). La ecuación 10 de Prairie (1989) se utilizó para corroborar los resultados obtenidos en la Ecuación 9.

Ecuación 9	$R = 1/1*(1+1/\sqrt{Tw})$
-------------------	---------------------------

Ecuación 10	$R = (0,25+0,18*Tw) / (1+0,18Tw)$
--------------------	-----------------------------------

Donde:

- R : coeficiente de retención
Tw : tiempo de renovación

Para conocer el tiempo (T) necesario para alcanzar 90% y 95% del equilibrio de PT en un lago (según OECD 1982 citado en Kalff 2002), se calculó con las siguientes fórmulas:

Ecuación 11	$T(90\%) = 2,3 * Tw * (1-R)$
--------------------	------------------------------

Ecuación 12	$T(95\%) = 3 * Tw * (1-R)$
--------------------	----------------------------



4.4.4 Análisis tendientes de los lagos Rupanco, Natri, Chapo, Huillinco y Tarahuín

En esta segunda etapa del proyecto, correspondió realizar análisis tendientes para determinar la capacidad de carga de los lagos Rupanco, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco. Para el caso de los lagos Chapo y Rupanco monitoreados desde la primera etapa del proyecto, se calcularon estimadores de capacidad de carga, sin llevar a cabo la evaluación completa y actualizada de capacidad de carga, como se hizo para el lago Llanquihue, el cual cuenta con una mayor data histórica. Para catastrar la información disponible de cargas de nutrientes a los lagos, se solicitó información de las descargas o residuos líquidos industriales (RILES) a Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), solicitud que fue derivada a Ministerio de Medio Ambiente (MMA), ya que desde el año 2012 la data de RILES es recopilada y manejada por dicho Ministerio, por lo que esta información estará disponible para la continuación de la segunda etapa del proyecto (III Etapa). La base de datos entregada por el MMA, específicamente en los caudales de tres pisiculturas de Marine Harvest (códigos 96633780-K-2-101, 96633780-K-2-103 y 96633780-K-2-98) debió ser depurada, presumiendo que desde origen no se realizó la conversión de unidad de caudal respectiva (desde litros a metros cúbicos). Se evaluó la carga actual de PT en cada lago de acuerdo a los valores medidos en la columna de agua durante el monitoreo efectuado el 2014 y volúmenes por estrato de la curva hipsográfica, calculando la cantidad de PT contenido en la columna de agua. Por otro lado se calculó la carga crítica de acuerdo al modelo de Vollenweider 1974, propuesto en la primera etapa del proyecto. Finalmente se estimó la carga de PT de las balsas jaulas de cultivo de salmónidos, estableciendo posteriormente cuán significativa fue la carga de PT por parte de la salmonicultura respecto de la carga actual de PT en cada lago.

Para establecer análisis tendientes de capacidad de carga en los lagos chilotas, se descartó primeramente el uso del modelo de Vollenweider, ya que este modelo no es óptimo para clasificar ambientalmente este tipo de lagos, por tanto, se buscaron nuevos métodos analíticos que permitieran con mayor certeza evaluar la capacidad de carga para lagos coloreados. Según lo recopilado de trabajos asociados a estos lagos, se encontró que no hay modelos disponibles para evaluar la capacidad de carga de lagos coloreados y que por definición al contener gran cantidad de material orgánico disuelto, su capacidad de carga sería crítica. Por ello, se procedió a buscar estimadores de trofía que permitieran complementar la evaluación del estado trófico/ambiental de estos lagos, como es el caso de la metodología del Paradigma Nutriente-Color (Webster *et al.* 2008, Williamson *et al.* 1999).

En la siguiente etapa del proyecto, tercera etapa, se continuará con la búsqueda y recopilación de información actualizada necesaria para estimar la capacidad de carga de los lagos Rupanco y Chapo, además se buscarán los mecanismos para caracterizar ambientalmente de manera más exacta a los lagos chilotas o en su defecto se espera implementar una metodología de clasificación de trofía específica para lagos coloreados, de modo que sea posible mejorar el manejo de estos sistemas lacustres.



Por otra parte, y aunque no haya estado comprometido en el actual proyecto, se procedió a realizar los cálculos de capacidad de carga de igual forma para los lagos restantes.

a) Determinación del contenido de fósforo total contenido en cada lago

Para la determinación de contenido de fósforo en los lagos, se calculó el promedio geométrico de fósforo total en la columna de agua del lago por el volumen total del lago, utilizando la ecuación:

Ecuación 3

$$PT \text{ lago} = [PT]_{\text{geo}} * \text{Vol}$$

Donde:

P lago : promedio geométrico de concentración de fósforo total en la columna del lago (mg/m³)
Vo l: volumen de lago (m³)

Se determinó el contenido total de nutrientes en la columna de agua utilizando el volumen de agua por estrato y se calculó su fracción del volumen total de los lagos. Luego se multiplicó la concentración de nutrientes con la fracción del volumen total para cada estrato. Mediante la sumatoria de estos valores se obtuvo el promedio geométrico de nutrientes. Los volúmenes de cada estrato fueron obtenidos de la curva hipsográfica, la cual indica la distribución de volumen para cada estrato. Se utilizaron las curvas hipsográficas a partir de la literatura, a excepción del lago Puyehue, en donde la curva se construyó en base a las sondas obtenidas de la carta electrónica del SHOA n°7140, elaborando luego un Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona del lago Puyehue. Este DEM fue llevado a MATLAB como un archivo ASCII de extensión .xyz, para poder realizar el análisis hipsométrico de la batimetría del lago y posteriormente elaborar la curva hipsográfica.

Se asume, según el modelo de Vollenweider, que la concentración de nutrientes en el efluente es igual a la concentración promedio en la columna de agua del lago.

b) Estimación de la Carga crítica y Carga Actual con modelo predictivo

Para la estimación de la carga crítica, al igual que en la evaluación de la carga crítica del lago Llanquihue, se utilizó el modelo conceptual de Vollenweider (1974). Para ello, se utilizó la misma ecuación (ecuación 5):

Ecuación 5

$$Lc = 10 qs \cdot (1 + \sqrt{T_w})$$

Donde:

Lc : carga crítica de fósforo total por área del lago por año (mg/m²*año)
Z : profundidad media (volumen/área) del lago (m)
Tw : tiempo de renovación del agua (años)
qs : carga hidráulica (z/Tw)



El tiempo de renovación para cada lago fue extraído según literatura asociada. Con respecto a la tasa de sedimentación (coeficiente de retención R), se utilizaron dos diferentes ecuaciones empíricas (Ryding & Rast 1989, y Kalff 2002), como se describen a continuación:

Ecuación 9	$R = 1/1^*(1+1/\sqrt{Tw})$
-------------------	----------------------------

Ecuación 10	$R = (0,25+0,18*Tw)/(1+0,18Tw)$
--------------------	---------------------------------

Donde:

R : coeficiente de retención

Tw : tiempo de renovación

La carga actual se calculó en base a la concentración promedio de PT en la columna de agua (curva hipsográfica), de acuerdo a las fórmulas predictivas de Vollenweider (1976):

Ecuación 7	$Lc \text{ (mg/m}^2\text{/año)} = P_{total} * z/Tw / (1-R)$
-------------------	-------------------------------------------------------------

Donde:

PT : Concentración actual promedio de PT en la columna del lago

Z : profundidad media

Tw : renovación teórica del volumen del lago (según literatura asociada)

R : coeficiente de retención ($R = 1/(1 + (1/\sqrt{Tw}))$)

El valor obtenido a partir de la ecuación precedente fue cotejado con la ecuación 8 de la OECD (1982):

Ecuación 8	$[PT]_{lago} = 1,55 [[PT]_{in} / (1+\sqrt{Tw})] 0,82$
-------------------	---------------------------------------------------------

Para conocer el tiempo (T) necesario para alcanzar el 90% y 95% del equilibrio de PT en un lago (según OECD 1982, citado en Kalff 2002), se calculó con las siguientes fórmulas:

Ecuación 11	$T(90\%) = 2.3 * Tw * (1-R)$
--------------------	------------------------------

Ecuación 12	$T(95\%) = 3 * Tw * (1-R)$
--------------------	----------------------------

c) Clasificación paradigma nutriente-color de lagos chilotas

La clasificación de trofía de los lagos chilotas se complementó con toma de muestras de agua para análisis de Material Orgánico Disuelto Coloreado (MODC) (Ecuación 13, Kirk 1983) y fósforo total (PT) de acuerdo a metodología descrita con anterioridad, transformando los datos de MODC a unidades de color de acuerdo al método de Cuthbert & Del Giorgio (1992) (Ecuación 14), y finalmente se evaluó el estado trófico según Webster *et al.* (2008) (Figura 11).

**Ecuación 13**

$$\text{MODC} (\text{gilvin } 440) = 2,303 * \text{Absorbancia}/0,1$$

Ecuación 14

$$\text{Color Pt (mg/L)} = 18,216 * \text{gilvin } 440 + 0,209$$



Figura 11. Modelo conceptual de paradigma nutriente – color, extraído y modificado desde Williamson *et al.* (1999) y Webster *et al.* (2008).

d) Aporte de fósforo total a partir de la producción de salmonídos

Se actualizó la base de datos de producción salmonícola hasta el primer semestre del año 2014, para los lagos con actividad acuícola de las regiones de Los Lagos y de Los Ríos, utilizando información entregada por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Para ello se ordenaron los datos de producción por lago, centro y año, los cuales fueron expresados en toneladas por centro y año (ton/año). Con estos valores se realizaron las gráficas de producción acuícola para cada lago, como también se graficó el porcentaje de contribución de cada centro de cultivo, a la producción salmonícola total para cada lago (entre 1995 y primer semestre del 2014). Posteriormente, se estimó el aporte de PT por los centros acuícolas con la misma metodología empleada para el lago Llanquihue en la Primera parte del Proyecto, y en donde se menciona a Wang *et al.* (2012) que estimó un aporte de 9,3 kg PT/ton peces producidos (Figura 12).

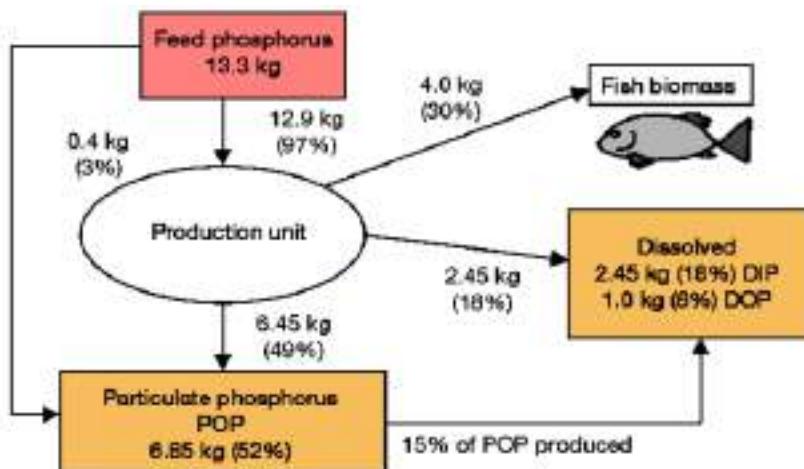


Figura 12. Flujos de P (kg PT/ton peces producidos) estimados para la salmonicultura (figura extraída del Informe final de la primera parte del proyecto).

4.5 Objetivo específico 5

4.5.1 Difusión de los resultados del proyecto

Durante el XI Congreso de la Sociedad Chilena de Limnología, se realizaron tres presentaciones orales relacionadas con el proyecto, previo acuerdo de los temas con la SUBPESCA. Posteriormente, un resumen de las presentaciones y comentarios de los investigadores fueron publicados en revistas en línea.

Posterior a la fecha de entrega del informe final se realizó el taller de difusión del proyecto, el 18 de junio de 2015, donde se presentaron todos los resultados emanados del proyecto a la comunidad científica, empresas asociadas a la actividades de: acuicultura, tratamiento y potabilización de aguas, o que descarguen RILES al lago Llanquihue y cuencas estudiadas, así como también a los entes regulatorios a nivel regional y central. Para este taller se elaborarán trípticos que incluyeron descripciones de los lagos estudiados y su estado trófico actual, más evaluación general de capacidad de carga del lago Llanquihue.

Por otro lado con el objetivo de incentivar al buen uso de los recursos hídricos y dar a conocer la realización del estudio a las comunidades locales, se utilizará una “Bolsa de Pan”, esta bolsa es de carácter reciclable y de vistosos colores, y se reparte de modo gratuito en las panaderías de Puerto Varas o Puerto Montt, desincentivando el uso de plástico y promocionando los diversos artículos que en su cubierta contiene. Se espera a más tardar en julio de 2015, que el proyecto se de a conocer en la cuenca del lago Llanquihue (Figura 13).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

SABÍAS QUE...

Sólo un 3% del agua mundial es el agua dulce. De ésta...

68,7% Glaciares y Casqueros Permanentes

31% Salinaria

0,3% Lagos e Ríos

Las lagos son fuente de vida y sustento. Para mantener una buena calidad de agua para futuras generaciones es necesario restaurar los procesos productivos y el manejo de los cuerpos lagunares.

Está en JEDO conservar los recursos naturales.

El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) está ejecutando el proyecto "Evaluación Ambiental de Lagos con Actividades de Acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile, El Huasco", cuyo principal objetivo es evaluar el estado ambiental de los lagos. Este estudio forma parte de la Asociación Integral en Pesca y Acuicultura (ASIP) que realiza IFOP en convenio con Subsecretaría de Economía y EMT.

"SÓLO CON UN MÁRTER INTENSO PODRÍA DIFERIR LAS HIDROGRÁFICAS POURRIERES. REGLAMENTARIA HUELLA PREDATORIAL."

IFOP es una empresa estatal de Estado, dedicada por más de 50 años a la ciencia aplicada en investigación y tecnología de las recuas pesqueras. Su otra misión es elaborar e implementar las autorizaciones técnicas y las bases administrativas para la regulación de la pesca deportiva y la actividad turística, así como en la conservación de las reservas de acuicultura y sus dependencias.

IFOP
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
www.ifop.cl
066 2 33 0000-01. Puerto Montt

Figura 13. Prototipo de publicidad en “Bolsa de Pan” con anuncios publicitarios locales.



5. GESTIÓN DEL PROYECTO

Desde la toma de razón el 10/06/2013 por parte del Contraloría General de la República del Convenio de Desempeño entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero aprobado por medio del Decreto N° 49, de fecha 28 de marzo de 2013, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en la gestión del proyecto se abordaron diez tópicos de relevancia para la ejecución de las acciones comprometidas en los términos técnicos de referencia.

Solicitud dirigida al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile en cumplimiento del Decreto Supremo N° 711 del 22 de agosto de 1975 relativo al “Reglamento de Control de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas afectadas en la Zona Marina de Jurisdicción Nacional”. La autorización fue aprobada el 28 de abril de 2014 mediante documento SHOA ORDINARIO N° 13270/24/288.

Suscripción de contratos

Para la ejecución del proyecto fue necesario suscribir siete subcontratos:

- 1) El primero con una experta en limnología de amplia trayectoria nacional e internacional: Dra. Irma Vila Pinto, para efectos de asesoría en la recopilación de información y en la revisión de informes.
- 2) Se suscribió un contrato con LIMNOLAB de la Universidad Austral de Chile para el análisis de nitrógeno total y fósforo total en muestras de agua dulce, de esta forma será posible mantener el mismo laboratorio de análisis de nutrientes para el modelo de capacidad de carga, que se utilizó en la primera etapa de ejecución del proyecto.
- 3) Así también se generó contrato para el análisis de zooplancton dulceacuícola con el señor Juan Pablo Oyanedel, quien posee vasta experiencia en este tema.
- 4) Para el análisis de fitoplancton dulceacuícola, se subcontrató con consultora AQUAECOS con extensa experiencia en el análisis de fitoplancton lacustre.
- 5) Se llevó a cabo subcontrato con Alakaluf empresa especialista en consultoría oceanográfica de Punta Arenas, por tres meses de arriendo de derivadores Lagrangianos.
- 6) Posteriormente, por este mismo ítem se cambió al proveedor Andrés Valderrama de Puerto Montt incurriendo en un gasto menor en el arriendo de estos equipos en ambos casos los derivadores Lagrangianos debieron ser asegurados en caso de pérdida, por ser equipos de alta tecnología los cuales deben ser dejados a la deriva por 24 horas lo que implica un alto riesgo de pérdidas.
- 7) Finalmente, se debió subcontratar a la empresa prestadora de servicios a la acuicultura INPACHIL S.A, por el ítem arriendo de embarcación, con el objetivo de finalizar los muestreos de



sedimentos y correntometría Lagrangiana de los lagos Ranco y Puyehue, ya que no se pudo contar con la lancha IFOP VI como se había considerado desde un principio.

Incremento en la dotación de personal asociado al proyecto. Durante los tres primeros meses de ejecución del proyecto, se incorporaron dos nuevos integrantes, un doctor en ciencias con perfil de limnólogo y un técnico patrón de nave menor para hacerse cargo de los muestreos, entre otros. A mediados de febrero, el Doctor contratado dejó de trabajar para el Instituto de Fomento Pesquero, por lo que se contrató nuevamente otra profesional con perfil de Limnóloga (Dra. Claudia Pérez Sáez), quien se ha involucrado y aportado en la caracterización ambiental de los lagos chilotas. Hubo que generar los contratos y capacitación para iniciar las actividades de muestreo principalmente.

Adquisición de artículos fungibles. Durante los dos primeros meses de proyecto se gestionaron las adquisiciones de material fungible relacionado con mallas, frascos, cajas, filtros y reactivos químicos relacionados con la recolección, conservación y almacenamiento de las muestras. Además de la ropa de trabajo para las actividades de terreno. Así también durante la ejecución del proyecto se han realizado compras de electrodos y artículos que se han gastado.

Adquisiciones y mantenciones de equipos.

- * Durante 2013 se realizó una revisión general de los equipos necesarios para realizar los muestreos y análisis necesarios para ejecutar el proyecto. En esta oportunidad se estableció que la embarcación IFOP VI sería la adecuada para realizar las faenas de muestreo.
- * Se realizaron reparaciones casco de la embarcación y del motor de 4 tiempos de 100 HP de la embarcación.
- * La embarcación fue utilizada para el muestreo completo del lago Llanquihue y luego trasladada al lago Rupanco a fines de agosto de 2014, posteriormente fue utilizada para el muestreo completo de la columna de agua, cuatro estaciones de sedimentos y dos correntómetras Lagrangeanas. Luego el 5 de septiembre del 2014 la lancha sufrió una falla de motor que imposibilitó seguirla usando en los muestreos. Actualmente el motor de la lancha se encuentra en reparación y la embarcación en mantención en maestranza en mantención.
- * Se adquirió un carro de arrastre adecuado para la embarcación, sin cargo a este proyecto.

*En cinco ocasiones ha sido necesario reparar la draga Petit ponar con la cual se realizó el muestreo de sedimentos, por deformación del equipo, pérdida de ventanas abatibles o mecanismo de cierre hermético de la draga. Así también se reparó una de las botellas Niskin con las que se realizó el muestreo de columna de agua, ya que se requiere contar con dos botellas para lograr tomar las muestras bajo los 220 m de profundidad.



Recalendarización de los terrenos. Durante el inicio del estudio se generaron retrasos relacionados con modificaciones realizadas al TTR posteriores a la fecha inicio de las actividades de muestreo. Esto como consecuencia que el TTR fue aprobado previo a ser recibido el informe final de la primera etapa de este proyecto, por la relevancia de las metodologías de muestreo y análisis requeridos. La versión final del TTR aceptada fue finalmente enviada por el instituto el 12 de marzo de 2014, debiendo consecuentemente recalendarizarse el muestreo.

Ejecución del proyecto.

- * Estaba comprometido el muestreo de seis de los nueve lagos en estudio durante la temporada de otoño, producto de demora en la recepción de los 4 derivadores lagrangeanos. El muestreo pudo iniciarse recién el 24 de abril de 2014 pero debido a desperfectos mecánicos y climáticos se debió suspender el muestreo hasta el 7 de mayo 2014.
- * Entre 25 de abril y 8 de agosto se realizaron los muestreos de columna de agua, sedimentos y correntometría Lagrangeana de los lagos Llanquihue, Chapo, Natri, Huillínco y Cucao. Posteriormente se continuó con el muestreo del lago Rupanco del 13 de agosto al 11 de noviembre, así también en noviembre se finalizó el proceso de muestreo del lago Tarahuín, el cual debió suspenderse por contar con una embarcación inestable para el muestreo de sedimentos, esta actividad se retomó del 20 al 21 de noviembre con un proveedor idóneo. Entre el 22 al 24 de octubre se realizó el muestreo de columna de agua del lago Ranco y del 12 al 14 de noviembre el lago Puyehue. El 9 de diciembre se terminaron las actividades de terreno del proyecto, con el muestreo del lago Puyehue.
- * En el último transecto de correntometría Lagrangeana realizado en el lago Rupanco a fines de octubre de 2014, el sector denominado localmente Cabo de Hornos, se produjo un intenso viento puelche que impidió rescatar los cuatro equipos dejados en el agua el día anterior, por lo cual debió dejarse en el agua, una vez que las condiciones climáticas lo permitieron, se procedió a buscar el derivador por todo el lago Rupanco, esta búsqueda duro siete días. Así también se procedió a dar anuncios radiales en busca del derivador perdido, siendo este el mecanismo por el cual, se obtuvo información del derivador el cual fue encontrado por pobladores de Puerto Gaviota en la cabecera del lago Rupanco.
- * Se organizó junto con contraparte técnica SUBPESCA el taller de expertos en limnología, para discutir las problemáticas emanadas de los resultados de este proyecto. De acuerdo a la carta Gantt el taller estaba programado para febrero de 2015 pero no fue posible realizarlo en la fecha establecida ya que la mayoría de las universidades y por ende los expertos connotados en limnología de Chile se encontraban de vacaciones de verano. Por ello, previa reunión con contraparte técnica de SUBPESCA se decidió aplazar la fecha para el 23 de abril pero finalmente no fue posible llevarlo a cabo, por compromisos laborales y mala conectividad aérea entre Puerto Montt y Concepción para viajes cortos de la mayor parte de los expertos invitados. Finalmente,



este taller se llevó a cabo el día lunes 1 de Junio de 2015, al cual se invitó a participar a los siguientes expertos: Irma Vila, Gladys Lara, Stefan Woelfl, Oscar Parra, Jorge Nimptzsh, Roberto Urrutia, Carlos Oyarzún, Diana Quevedo y Mariano Grandjean. De los expertos convocados asistieron al taller los señores: Stefan Woelfl, Oscar Parra, Jorge Nimptzsh, Roberto Urrutia, Carlos Oyarzún, y Mariano Grandjean, junto con la Sra. Diana Quevedo. Se adjunta el programa del taller junto con el listado de expertos e invitados que asistieron. Este taller fue de carácter cerrado, al cual asistieron 15 personas, incluidos (7) expertos, personal SUBPESCA (2) e IFOP (5) y 1 invitado de SERNAPESCA regional.

A continuación se detalla los cumplimientos de hitos por objetivo:

*El objetivo uno fue cumplido, obteniendo información bibliográfica necesaria para evaluar el estado ambiental de los lagos.

*El objetivo dos fue exitosamente terminado. Se cuenta con una base de datos con los resultados obtenidos de la campaña de muestreo de los seis lagos de la primera etapa del proyecto. Se obtuvieron para cada uno de los seis lagos resultados de perfiles de CTDO, valores de nutrientes totales y disueltos en estratos discretos de la columna de agua, valores de clorofila a, transparencia, valores de densidad y diversidad fitoplanctónica, abundancia y diversidad de zooplancton, datos de variables sedimentológicas, análisis granulométrico y de materia orgánica, más datos *in situ* de temperatura, pH y potencial redox. Así también en transectos selectos se obtuvo información de correntometría Lagrangeana. En relación al análisis de nutrientes, específicamente del nutriente inorgánico ortofosfato, cabe mencionar, que ciertos valores fueron considerados dudosos, por lo que fueron estos valores depurados de la base de datos. En la actualidad, se están tomando todos los resguardos necesarios para minimizar o anular cualquier obtención de valores erróneos en todos los procesos o actividades relacionados a los resultados de nutrientes en general.

*El objetivo tres se finalizó exitosamente. Se cuenta con una base de datos con los resultados de la campaña de muestreo de los tres lagos incluidos en esta etapa del proyecto. Se obtuvo para cada uno de los tres lagos resultados de perfiles de CTDO, valores de nutrientes totales y disueltos en estratos discretos de la columna de agua, valores de clorofila a, transparencia, valores de densidad y diversidad fitoplanctónica, abundancia y diversidad de zooplancton, datos de variables sedimentológicas, análisis granulométrico y de materia orgánica, más datos *in situ* de temperatura, pH y redox. Así también en transectos selectos se obtuvo información de correntometría Lagrangeana. Se cuenta actualmente con todos los datos y caracterización ambiental de los lagos Ranco, Puyehue y Cucao. Al igual que en el objetivo anterior, algunos valores del nutriente, específicamente el ortofosfato, fueron considerados dudosos, por lo que se procedió a depurar la base de datos. Se han tomado todas las medidas precautorias para evitar la obtención de valores erróneos.



*El objetivo cuatro, referente a determinar la condición ambiental de los lagos estudiados y realizar análisis tendientes a determinar la capacidad de carga para los seis lagos considerados en la primera etapa del proyecto. Se entrega en el presente documento, con los resultados de caracterización ambiental y estado trófico de cada lago. Respecto a la modelación de capacidad de carga del lago Llanquihue, se entrega éste actualizado para el año 2014, además de los análisis tendientes a la capacidad de carga crítica y actual con el modelo de Vollenweider (1976) de los lagos: Rupanco, Natri, Chapo, Huillinco y Tarahuín. También, se informaron las estimaciones de aportes de fósforo por la actividad salmonera para todos los lagos actualizados hasta el primer semestre del 2014. Se entregan las bases de datos y planillas de cálculo en el presente documento.

* El objetivo quinto, de la difusión del proyecto. Se ha realizado difusión de la actividad en el congreso de limnología, en diarios en línea (Figuras 3, 4 y 5, presentaciones completas en Base de Datos). Así también se valorizó y agendó la difusión local a través de la “bolsa de pan” con información de carácter básico para promover el cuidado de los sistemas acuáticos y del agua dulce. Actualmente la publicidad se encuentra lista para su publicación. Finalmente, el proyecto incluye la ejecución de un taller de difusión de los resultados del proyecto, el cual fue realizado el 18 de junio de 2015 en el Hotel Cabañas del Lago en la ciudad de Puerto Varas, al que se invitaron a participar a funcionarios de: SUBPESCA, SERNAPESCA, DGA, IFOP, SISS, MMA, DIRECTEMAR, CONAF, INIA, SERNAGEOMIN, Municipios en las cuencas de los lagos muestreados, empresas salmoneras de la zona sur, ESSAL, ENDESA-Canutillo y personas naturales que han mostrado interés y apoyo en las actividades de muestreo y obtención de información para el proyecto. En el taller de difusión se informó a cerca de los resultados de la caracterización ambiental y estado trófico de todos los lagos, más modelo de capacidad de carga del lago Llanquihue. (ANEXO 3).

Reuniones técnicas con organismos del Estado

El 20 de febrero de 2014 se realizó la primera reunión de coordinación en la que participaron profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura e Instituto de Fomento Pesquero. La reunión se efectuó por video conferencia entre Valparaíso y Puerto Montt. El objetivo principal de la reunión fue establecer la metodología de muestreo.

El 04 de julio, Nicole Pesse, jefa de proyecto, asistió a la presentación del informe final de la primera etapa de este proyecto, presentada por el Sr. Stefan Woelfl. La cual tuvo por objetivo dar a conocer los principales resultados y conclusiones del proyecto. Esta reunión se llevó a cabo en SUBPESCA Valparaíso.

El 03 de septiembre el equipo de trabajo relacionado con el proyecto, realizó la segunda reunión de coordinación, con el objetivo de presentar a SUBPESCA el estado de avance del proyecto. Se dieron a conocer las nuevas fechas de los muestreos reprogramados, el estado de avance de los análisis y



se discutió los temas de presentación al congreso de limnología chileno 2014. Así también se discutió el tema de las reuniones de expertos, quedando atentas ambas partes a organizarse para realizar esta actividad de común acuerdo.

Periódicamente se ha mantenido informado vía correo electrónico a la contraparte técnica de SUBPESCA.

Asistencia a congresos

La semana del 26 de octubre al 30 de octubre, las profesionales Nicole Pesce, Carolina Oyarzo y Francisco Correa participaron del XI Congreso de la Sociedad Chilena de Limnología. Carolina Oyarzo presentó: "Comparación histórica de las variables físico químicas del sedimento en bahías con salmonicultura del lago Llanquihue" (Figura 4 en ANEXO 2). Francisco Correa presentó "Descomposición de hojarasca en lagos con salmonicultura mediante experimentos de microcosmos" (Figura 5 en ANEXO 2). Nicole Pesce presentó "Evaluación de las variables físico químicas del lago Llanquihue y la respuesta de la producción fitoplanctónica" (Figura 6 en ANEXO 2). Posteriormente estas noticias fueron presentadas en diarios de difusión en línea del área acuícola.

Otros

El 02 de octubre se realizó una reunión con Franco Nicoletti gerente de inversiones de ESSAL, quien nos aportó con el mapa en Google Earth de las concesiones de ESSAL en el área de estudio.

El 17 de noviembre se participó en un taller de difusión de presentación de resultados "Evaluación de la Condición Trófica de la Red de Control de Lagos de la DGA", realizado en Puerto Montt. Realizado por la consultora M&W Ambientales.



6. RESULTADOS

6.1 Objetivo específico 1

6.1.1 Revisión Bibliográfica

Respecto a los estudios realizados en los lagos Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue, Chapo, Cucao, Huillínco, Tarahuín y Natri, la revisión de la literatura reporta antecedentes entre los años 1984 y 2013, los cuales se sistematizaron en la Tabla 30 (ANEXO 1). La mayor cantidad de estudios en dichos lagos se registró desde el año 2002 a la fecha, periodo donde se publicó más del 70% de los trabajos.

Los lagos más estudiados fueron el Llanquihue y Puyehue (19 estudios en cada lago), mientras que el menos estudiado fue el lago Chapo (3 estudios) (Figura 2 en ANEXO 2). La mayor parte de los estudios se basaron en muestreos puntuales (<1 año), considerando un punto dentro de cada lago. Dentro de las temáticas abordadas, destacan los estudios relacionados con paleolimnología (7), donde se profundiza en el conocimiento sobre cambios ambientales, así como también destacan completos estudios limnológicos (7), en los cuales se describen variables fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos de agua. Los principales objeto de estudio correspondieron al agua, sedimento y comunidad plantónica (Tabla 30 en ANEXO 1).

Para los lagos monomicticó templados (lagos araucanos) se obtuvieron antecedentes de trofía y capacidad de carga que reforzaron las metodologías utilizadas en este estudio para: clasificación de trofía de lagos araucanos y el modelo de capacidad de carga del lago Llanquihue. En el caso de los lagos chilotas (Natri, Huillínco, Cucao y Tarahuín), se obtuvo información referente a la clasificación de trofía de estos cuerpos de agua. Así también, no se encontró un modelo de capacidad de carga específico para lagos húmicos o coloreados. Los modelos de capacidad de carga utilizados en los estudios de los lagos chilotas no entregaron resultados concluyentes de capacidad de carga, por ello fue necesario profundizar en la clasificación de trofía de los lagos coloreados. Al respecto, estos lagos se caracterizan principalmente por poseer elevadas concentraciones de materia orgánica disuelta (MOD) altamente coloreada de origen alóctono (Wetzel 2001), compuesta por sustancias húmicas y ácidos fulvicos (Williamson *et al.* 1999). Esta materia orgánica disuelta coloreada (MODC) origina que las aguas posean una tonalidad café que reduce la penetración de la luz en la columna de agua (Villalobos *et al.* 2003a; Webster *et al.* 2008), limitando así la productividad de estos sistemas (Wetzel 2001).

Tradicionalmente la clasificación del estado trófico de lagos se ha realizado según la transparencia, concentración de clorofila y nutrientes (nitrógeno, fósforo) en el cuerpo de agua. Sin embargo, la utilización de esta clasificación en lagos coloreados puede llevar a una evaluación errónea, ya que la escasa transparencia de estos sistemas se debe a una condición natural producida por la elevada



MODC, parámetro que no es considerado en esta clasificación (Górniak 2004; Webster *et al.* 2008; Williamson *et al.* 1999).

La literatura que contempla clasificación de lagos coloreados es escasa. Además, la información es un tanto confusa, ya que no existe unificación en la terminología y criterios, ya sea en la clasificación utilizada como en las variables y unidades de medidas seleccionadas. La mayoría de los estudios son efectuados en el hemisferio norte, principalmente en lagos de Polonia, Estonia, Finlandia, Suecia y Estados Unidos. Los métodos utilizados para la clasificación de lagos coloreados son los siguientes: clasificación óptica, índice de estado trófico, índice distrófico hidroquímico, índice de estado húmico y paradigma nutriente-color (Tabla 1).

Tabla 1.
Métodos utilizados para la clasificación de lagos coloreados.

Método	Parámetros	Referencias
(1) Clasificación óptica técnica de cluster	Tr, K _d , R, PAR, MPS, MODC, Chl a	Arst & Reinart 2009; Reinart <i>et al.</i> 2003
(2) Índice de estado trófico (TSI)	Tr, PT, Chl a	Carlson 1977; Peczula 2002; Poniewozik <i>et al.</i> 2011; Zielinski <i>et al.</i> 2011
(3) Índice distrófico hidroquímico (HDI)	CE, pH, CID, COD	Chmiel 2009; Gorniak 2004; Poniewozik <i>et al.</i> 2011; Zielinski <i>et al.</i> 2011
(4) Índice de estado húmico (HSI)	Col	Hakanson & Boulion 2001; Zielinski <i>et al.</i> 2011
(5) Paradigma nutriente-color	PT, MODC	Webster <i>et al.</i> 2008; Williamson <i>et al.</i> 1999

CE: Conductividad eléctrica, Tr: Transparencia, Kd: Coeficiente de atenuación difusa, R: Reflectancia difusa espectral, PAR: Radiación activa fotosintética, PT: Fósforo Total, MPS: Material particulado suspendido, MODC: Materia orgánica disuelta coloreada, Col: Color, CID: Carbono inorgánico disuelto, COD: Carbono orgánico disuelto, Chl a: Clorofila a.

La clasificación óptica se basa en categorizar los lagos a través de propiedades ópticas del agua utilizando una técnica de cluster, incorporando las siguientes variables: transparencia, concentración de clorofila a, materia suspendida y MODC, además de incluir propiedades ópticas del agua como coeficiente de atenuación difusa, reflectancia difusa espectral y radiación activa fotosintética, determinando 5 clases ópticas de aguas: clara (C), moderada (M), turbia (T), muy turbia (V) y marrón (B) (Arst & Reinart 2008; Reinart *et al.* 2003). El índice de estado trófico permite clasificar a los lagos por medio de la transparencia del agua, concentración de clorofila o fósforo total, este índice posee una escala numérica que oscila entre 0 y 100 (Carlson 1977; Peczula 2002; Poniewozik *et al.* 2011; Zielinski *et al.* 2011). El índice distrófico hidroquímico incluye las variables de pH, conductividad, carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) del agua como parámetros



indicadores de lagos distróficos, estableciendo como valor indicador de distrofia >50 (Chmiel 2009; Gorniak 2004; Poniewozik *et al.* 2011; Zielinski *et al.* 2011). En tanto, el índice de estado húmico utiliza el color del agua para definir el estado húmico del lago, en una escala que va de hiper-húmico (HSI=100) a ultra-oligohúmico (HSI= 0) (Hakanson & Boulion 2001; Zielinski *et al.* 2011). Por último, para evaluar la trófia de lagos se ha utilizado el paradigma de nutriente-color, este es un modelo de dos ejes, que utiliza la concentración de fósforo en el eje x, y valores de un parámetro de color del agua en el eje y, ya sea MODC o color del agua (Webster *et al.* 2008; Williamson *et al.* 1999). En la mayoría de los estudios utilizan varias clasificaciones de forma complementaria para determinar las características y estado trófico de lagos.

6.1.2 Descripción general de lagos

Morfometría

En relación a las características morfométricas de los lagos, estos presentaron una superficie entre 7,8 km² (Natri) y 870 km² (Llanquihue). Los lagos Araucanos se caracterizaron por presentar mayor superficie, profundidad máxima y volumen, en comparación con los lagos Chilotas. Las características anteriores implican que este último grupo de lagos presenta tiempos de renovación más altos (0,1 - 3,5 años) en comparación con los lagos Araucanos, los cuales dado su gran tamaño y volumen, implica una renovación que alcanza los 70 años (lago Llanquihue). Respecto a las cuencas, la de mayor tamaño fue la del lago Ranco (3.554,4 km²), mientras que la del lago Cacao fue la más pequeña (33,2 km²). La relación entre el tamaño de las cuencas y el tamaño del lago no presentó un patrón claro que diferenciara a los dos grupos de lagos. Sin embargo, destaca el lago Huillinco, el cual presenta una cuenca 27 veces más grande, mientras que el lago Llanquihue presenta una superficie mayor al tamaño de su cuenca (Tabla 31 en ANEXO 1).

- i. **Lago Puyehue:** Tiene una superficie de 165 km² y una cuenca hidrográfica 8,2 veces mayor con 1344 km². Su profundidad máxima y media es solamente 123 m y 76 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es 3,4 años (Campos *et al.* 1989).
- ii. **Lago Ranco:** Tiene una superficie de 442,6 km² y una cuenca hidrográfica 8,03 veces mayor correspondiendo a 3.554,4 km². Su profundidad máxima y media es de 199 m y 122 m, respectivamente (Campos *et al.*, 1982). Su tiempo de renovación varía entre 4,1 a 6 años (Campos *et al.*, 1982 Campos *et al.* 1992).
- iii. **Lago Rupanco:** Tiene una superficie de 235 km² y una cuenca hidrográfica 4,2 veces mayor correspondiendo a 994 km². Su profundidad máxima y media es 273 m y 162 m, respectivamente (Campos *et al.* 1992). Su tiempo de renovación es 9,53 años, el que corresponde a un valor recalculado en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013) en base a los datos obtenidos del FIT-IT/93-27.



- iv. **Lago Llanquihue:** Tiene una superficie de 870 km² y una cuenca hidrográfica solamente 1,8 veces mayor, correspondiente a 1605 km². Su profundidad máxima y media es 317 m y 182 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es de 49 a 70 años según la literatura (Woelfl *et al.* 2013 y Campos *et al.* 1988, 1992, respectivamente). En el presente proyecto el tiempo de renovación calculado fue de 56 años. Las causas de las diferencias en los tiempos de renovación fueron abordadas en la sección 6.3.1.
- v. **Lago Chapo:** El lago/embalse Chapo tiene una superficie de 45 km² y una cuenca hidrográfica 6,9 veces mayor correspondientes a 310 km². Su profundidad máxima y media es 298 m y 151 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es de entre 3,4 años (FIP-IT/97-40) y 5,5 años (Wolf *et al.* 2003).
- vi. **Lago Tarahuín:** El lago Tarahuín es un lago coloreado, tiene una superficie de 7,7 km² y una cuenca hidrográfica 38,2 veces mayor. Su profundidad máxima y media es de solamente 33 m y 22,2 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es 2,7 años (Campos *et al.* 1997).
- vii. **Lago Natri:** El lago Natri es un lago coloreado de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Tiene una superficie de solamente 7,8 km² y una cuenca hidrográfica seis veces mayor correspondiente a 46,5 km². Su profundidad máxima y media es 58 m y 35 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es de 3,5 años (Campos *et al.* 1997).
- viii. **Lago Cucao:** Es un lago coloreado de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Además es un lago meromíctico (no mezcla completamente) con una estratificación química bajo 7 - 14 m de profundidad donde se ubica el monimolímnon anóxico. Tiene una superficie de 10,6 km² y una cuenca hidrográfica 3,1 veces mayor correspondiendo a 33,2 km². Su profundidad máxima y media es solamente 25 m y 12 m, respectivamente. Su tiempo de renovación se calculó en 0,062 años (22,6 días) (Campos *et al.* 1997).
- ix. **Lago Huillinco:** El lago Huillinco es un lago coloreado de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Es un lago meromíctico, es decir que no mezcla completamente hasta el fondo debido a una estratificación química bajo 10 - 15 m de profundidad donde se ubica el monimolímnon anóxico. Tiene una superficie de 19,1 km² y una cuenca hidrográfica 27,7 veces mayor. Su profundidad máxima y media es 47 m y 20,7 m, respectivamente. Su tiempo de renovación se estimó en 0,2 años (Campos *et al.* 1997). Sin embargo, se considera necesario recalcular el tiempo de renovación del lago, dado a que lo calculado por el Campos *et al.* (1997) (0,2 años) no refleja el recambio que debiera estar ocurriendo en las zonas de máxima profundidad del lago Huillinco.



6.2 Objetivos específicos 2 y 3

6.2.1 Lago Llanquihue

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

Los análisis fisicoquímicos del agua mostraron que el oxígeno disuelto se comportó de manera relativamente homogénea en el perfil vertical del lago, tanto en los sitios de control, como en los sitios asociados a los centros de cultivo. La columna de agua se mantuvo generalmente con buenas condiciones de oxigenación con valores cercanos a los 10 mg/L. Para el caso de la estación control de máxima profundidad C1 (300m), los valores de oxígeno hasta los 275 m de profundidad oscilaron entre 8 y 10 mg/L, llegando a <1mg/L bajo los 285 m de profundidad, así también en la estación 101866 (50 m) se observaron valores de oxígeno disuelto menores a 2,5 mg/L a 1 m del fondo.

Respecto a la temperatura, se observaron en la mayoría de las bahías valores cercanos a los 14° C. Los sitios de control (C1 y C2) presentaron termoclina a los 60 m, así también en las estaciones de muestreo 100390 y 100510 en torno a los 55 m de profundidad. Los demás puntos, asociados a los centros de cultivo, no registraron estratificación (Figura 14) (Tabla 68 en ANEXO 1).



Figura 14. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue.



La concentración de fósforo total en el lago Llanquihue fue homogénea en las estaciones control C1 con más de 300 m de profundidad y C2 con más de 200 m de profundidad, para ambas la concentración promedio de este nutriente fue de 0,005 mg/L. Para el caso de las bahías asociadas a concesiones acuícolas, se observó mayoritariamente una columna de agua homogénea. Cabe destacar que las mayores concentraciones de fósforo total se registraron en la concesión 100100 con 0,012 mg/L, dentro del rango de valores mesotróficos, sobre 0,0010 mg/L de PT en el agua. En el resto de las bahías, el promedio de PT fluctuó entre 0,006 y 0,008 mg/L (Figura 15) (Tabla 68 en ANEXO 1).



Figura 15. Perfiles de fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue (— PT).

Los perfiles de nitrógeno total (NT), indicaron que la concentración de este nutriente se mantuvo mayoritariamente homogénea en los perfiles verticales de la columna de agua. Así también se registraron leves diferencias de esta variable entre las estaciones de muestreo. Los valores de NT oscilaron entre 0,042 y 0,049 mg/L en las estaciones control, y entre 0,029 y 0,072 mg/L en las bahías. Todos los valores corresponden a valores oligotróficos menores a 0,250 mg/L (Figura 16, Tabla 68 en ANEXO 1).

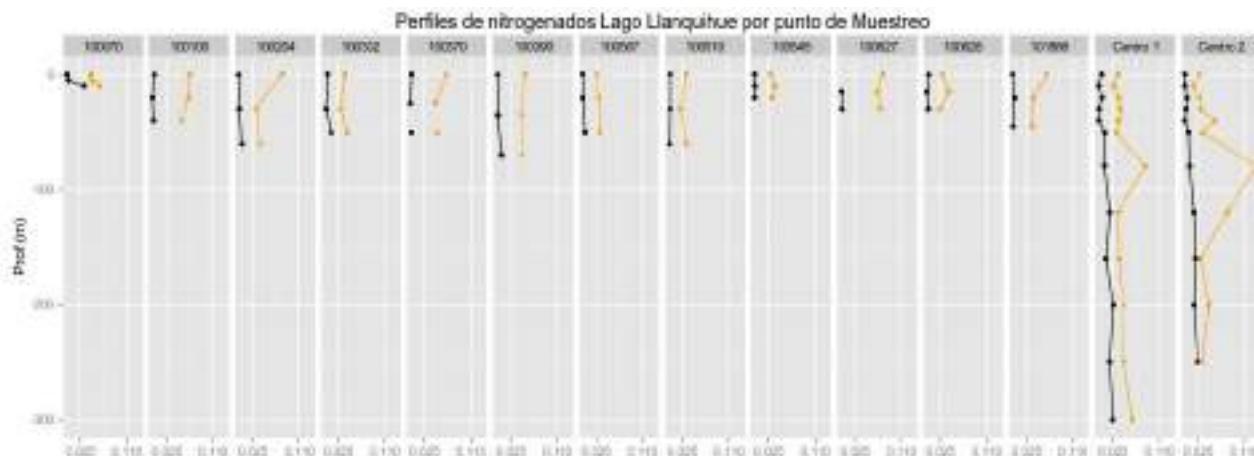


Figura 16. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO_3 en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Llanquihue (--- N-NO_3 , ----NT).

En cuanto a la profundidad del disco Secchi, la estación de muestreo de Puerto Rosales (100070) tuvo la menor visibilidad de las estaciones (11 m), y la mayor visibilidad fue en Bahía Rincones (100204) y Control 1, donde se registraron 18 m de visibilidad (Tabla 2).

Tabla 2.
Lago Llanquihue: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Código	Profundidad máxima	Transparencia (m)
Maitén A	100510	54,3	16
Maitén C	100332	70	16
Bahía Cox	100628	34,8	15
Bahía Ensenada	100370	47	16
Bahía Rincones	100204	65,8	18
Bahía Volcanes	100390	79,7	13
Monte Alegre	100627	33,2	12
Puerto Phillipi	100100	41,5	12
Puerto Phillipi 2	101866	48,8	12
Playa Magui	100507	60	15
Puerto Octav	100545	30,6	16
Puerto Rosales	100070	11,5	11
Control 1	C1	301	18
Control 2	C2	225	15

b) Análisis de parámetros biológicos

Durante el otoño de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Llanquihue registró 44 géneros de microalgas: 20 Diatomeas, 2 Crisoficeas, 15 Cloroficeas, 4 Cianoficeas, 2 Dinoficeas y 1 Criptoficea (Tabla 32, ANEXO 1). No se observaron células de especie plaga FAN *Didymosphenia geminata* en ninguna de las estaciones de muestreo. Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 51 y 100%, cloroficeas entre 0 y 10%, crisoficeas entre 0 y 20%, dinoficeas 0 a 9%, criptoficeas 0 a 3%, y cianoficeas a 46% (Figura 17).

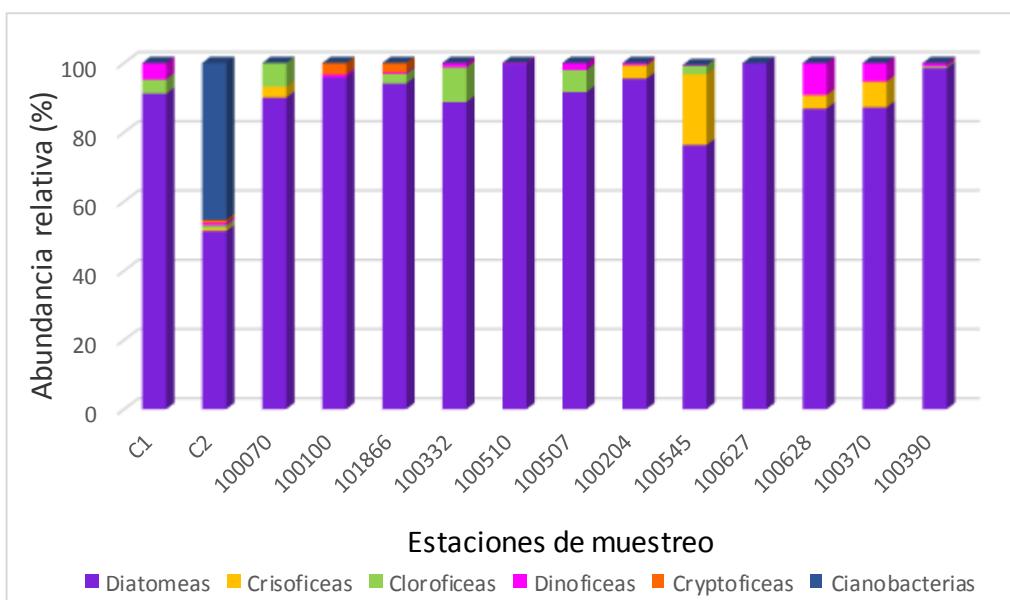


Figura 17. Abundancia relativa (%) de fitoplancton en las estaciones de muestreo del lago Llanquihue, durante el otoño de 2014.

En el lago Llanquihue la abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 4454 cél/L en la estación 100370, y 302662 cél/L en la estación 100332. Los mayores valores se registraron en las estaciones C2, 100070 y 100332 (Figura 18). En este lago se observó una gran variación de la densidad celular entre las estaciones de muestreo, lo que refleja una heterogeneidad espacial atribuible a la gran extensión del lago Llanquihue e hidrodinámica. Se observó similar densidad y composición fitoplanctónica para los sectores Este y Norte del lago. Las estaciones C1, 100370 y 100390, del área Este, presentaron bajas densidades celulares y composición fitoplanctónica similar. En el área Norte las estaciones 100628, 100627, 100545 y 100204 registraron una mayor densidad celular.



En las concesión 100100 y 101866 se registraron mayores valores de PT en la columna de agua, alcanzando inclusive niveles mesotróficos, sobre 0,01 mg PT/L (Figura 15). Ambas concesiones se sitúan en una sola bahía, bastante protegida del viento y oleaje, y de mediana profundidad (<30 m de prof.), además de presentar juncos en el borde costero. Estas características estarían eventualmente indicando que las partículas finas tienden a sedimentar en esa área, así también la estructura de la comunidad fitoplanctónica se compone de grandes microalgas consumidoras de PT, mientras que la presencia de diatomeas penadas denota que existe una mayor relación entre el bentos y la columna de agua. Se observa el alto porcentaje de abundancia relativa de Cryptophyceas, Cryptomonas que son consumidoras de materia orgánica.

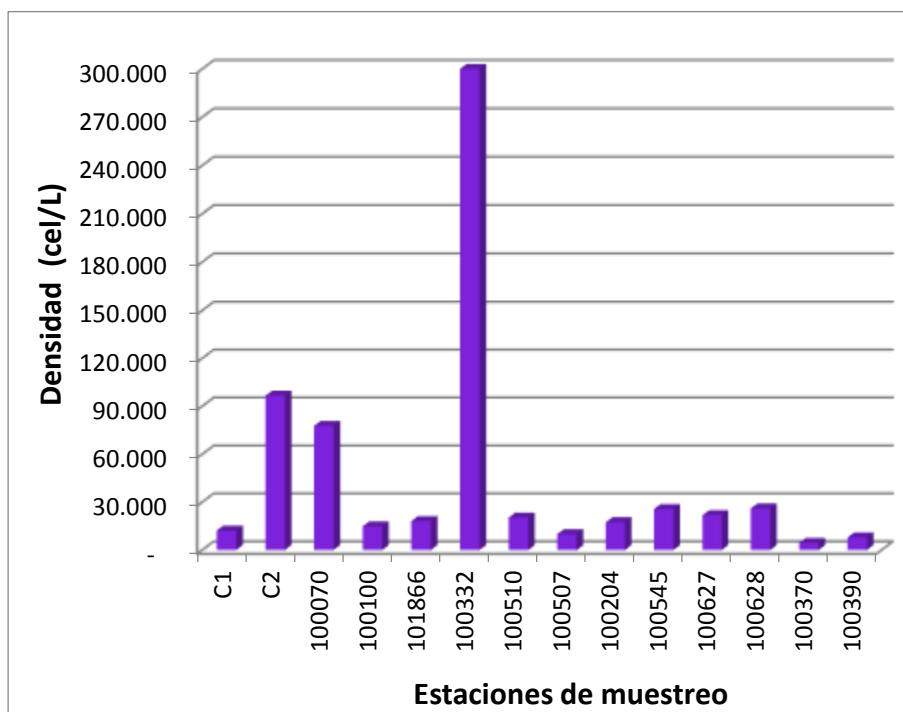


Figura 18. Abundancia fitoplanctónica (cel/L) en las estaciones de muestreo del lago Llanquihue, durante el otoño de 2014.

La composición zooplanctónica del lago Llanquihue registró 8 especies: 3 de crustáceos Maxilópodos, 4 de crustáceos Brachiópodos y 1 Rotífero Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 2 y 7 especies. La densidad por estación osciló entre 0,004 y 0,761 cél/L, registrándose el valor más alto en la estación 100070 (Tabla 3).

**Tabla 3.**

Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue en otoño de 2014.

Especies / Estación	Lago Llanquihue						
	C1	C2	100370	100390	100204	100627	100628
Crustacea/ Maxilopoda							
<i>Boeckella gracilipes</i>	0,002	0,009	0,001	0,001	0,003	0,005	0,026
♀ con huevos	0	0,0002	0	0	0,001	0	0,001
copepoditos	0,001	0,008	0	0,001	0,002	0,007	0,070
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,004	0,003	0,001	0	0,001	0,001	0,009
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0	0,001
copepoditos	0,002	0,002	0	0	0	0,003	0,002
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0,001
Nauplius	0	0,004	0	0,001	0	0,003	0,022
Crustacea/ Brachiopoda							
<i>Daphnia pulex</i>	0	0	0	0	0	0	0,001
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	0,001	0	0	0	0	0,003	0,004
<i>Bosmina chilensis</i>	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001	0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>	0	0	0	0	0	0	0
Rotifera/ Monogononta							
<i>Filinia longiseta</i>	0,006	0,006	0	0	0	0,033	0,048
Densidad Total (cél/L)	0,019	0,037	0,004	0,005	0,009	0,055	0,184
Riqueza de Taxa	5	4	3	2	3	4	6
Especies / Estación							
	101866	100070	100545	100100	100332	100507	100510
Crustacea/ Maxilopoda							
<i>Boeckella gracilipes</i>	0,015	0	0,002	0,048	0,025	0,011	0,006
♀ con huevos	0,001	0	0	0,007	0,001	0,001	0,003
copepoditos	0,014	0	0,003	0,026	0,019	0,026	0,029
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,004	0	0,001	0,007	0,003	0,001	0,002
♀ con huevos	0,0003	0	0,0005	0,001	0,001	0,0005	0,001
copepoditos	0,001	0	0	0	0,015	0,004	0,003
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0
Nauplius	0,001	0,002	0	0,001	0,012	0,003	0,004
Crustacea/ Brachiopoda							
<i>Daphnia pulex</i>	0	0	0	0	0	0,001	0
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	0,001	0	0	0,001	0,004	0,001	0,002
<i>Bosmina chilensis</i>	0,016	0,749	0,003	0,048	0,031	0,002	0,015
<i>Chydorus sphaericus</i>	0	0	0	0	0	0,0005	0
Rotifera/ Monogononta							
<i>Filinia longiseta</i>	0,005	0,010	0,001	0,011	0,027	0,006	0,015
Densidad Total (cél/L)	0,061	0,761	0,011	0,151	0,138	0,058	0,080
Riqueza de Taxa	5	2	4	5	5	7	5



c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Llanquihue se muestrearon 12 bahías ubicadas en las cercanías de centros de acuicultura. Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la (Tabla 33 en ANEXO 1). En detalle para cada concesión se registraron las siguientes características sedimentológicas: en el centro de la Bahía Domeyko, específicamente en Maitén A (100510), se observó que en las estaciones 1 y 2 predomina el fango (73,47% y 62,80% respectivamente). En la estación 3 el porcentaje de fango fue menor (23,82%), seguido de arena media con un 20,34%. En el centro Maitén C (100332) la estación 1 alcanzó altos valores de fango (81,77%), seguido por la estación 3 con un 60,67%. En el centro Bahía Cox (100628) dominó el fango en las estaciones 3 (50,12%), 2 (41,66%) y 3 (35,43%). También se registró un alto aporte de arena muy fina en la estación 2 (31,29%). En el centro ubicado en la Bahía de Ensenada (100370), en la estación 1 predominó la grava con un 40,53%, seguido por la estación 3 con 21,94%. La estación 2 presentó altos valores de arena muy fina (24,86%). En relación a lo observado en Bahía Rincones (100204), el fango fue predominante en la estación 2 (75,35%), seguido por la estación 3 con 51,12%. Los aportes de grava fueron muy bajos. En el centro de Bahía Volcán (100390), en las tres estaciones predominaron las arenas gruesas, medias y finas, observándose un bajo aporte de fango. En el centro de Monte Alegre (100627), se observó un alto porcentaje de fango en la estación 1 (47,18%), mientras que en la estación 2 predominó la grava con un 39,35%. Por otro lado, en la estación 3 dominó la arena fina (31,66%). En el centro de Puerto Phillipi I (100100), en la estación 2 se observó un alto aporte de fango (70,88%), seguido por un 42,48% en la estación 3. En la estación 1 los mayores porcentajes corresponden al fango y grava con valores similares (21,90% y 21,29% respectivamente). En el centro de Puerto Phillipi II (101866) el fango fue predominante en la estación 3 con 47,04%, mientras que en la estación 1 predominó el fango (40,30%). En la estación 2 el mayor aporte granulométrico está dado por la arena fina con 34,65%. En el centro de Playa Maqui (100507), específicamente en la estación 1 se observó que los principales aportes granulométricos están dados por la arena gruesa y media (32,64 y 38,74% respectivamente), al igual que en la estación 3 (15,75 y 22,72% respectivamente). En la estación 2 los mayores aportes están dados por el fango (39,70%). En el caso del centro ubicado en Puerto Rosales (100070), en las estaciones 1 y 2 se observaron altas predominancias de fango de 61,63% y 50,33%. En la estación 3 predominaron las arenas muy finas con un 47,32%.

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 19), se observó que los centros de cultivo 100070, 100100, 101866, 100332, 100510 se asemejaron en cuanto a las fracciones texturales de sus sedimentos, tendientes a registrarse valores mayores al 40% en fango, 50% en arena y 10% en grava. En los centros de cultivo 100204 y 100545 las fracciones de arena y fango se comportan de manera similar, registrándose escasa fracción de grava. En relación al centro de cultivo 100627, se observó en general la composición textural del sedimento fue del orden del 10% de fango, 80-98% de arena y 2-16% de grava. Sin embargo, también se registraron muestras con mayores valores de fango. Las fracciones texturales predominantes del centro de cultivo 100628 son del orden de 20 a 50% de fango, 50 a 70% de arena, y valores menores a 12% de grava. En el caso del centro 100370, el mayor porcentaje de fango en las muestras fue de 23%, mientras que el rango del porcentaje de arena fue del orden de los 20 a 97%, además de altos porcentajes de grava en algunas muestras (61%). En relación a las fracciones texturales del sedimento en el centro 100390, todas las muestras registraron valores mayores a 60% de arena, y valores menores a 20% de grava y 20% de fango.

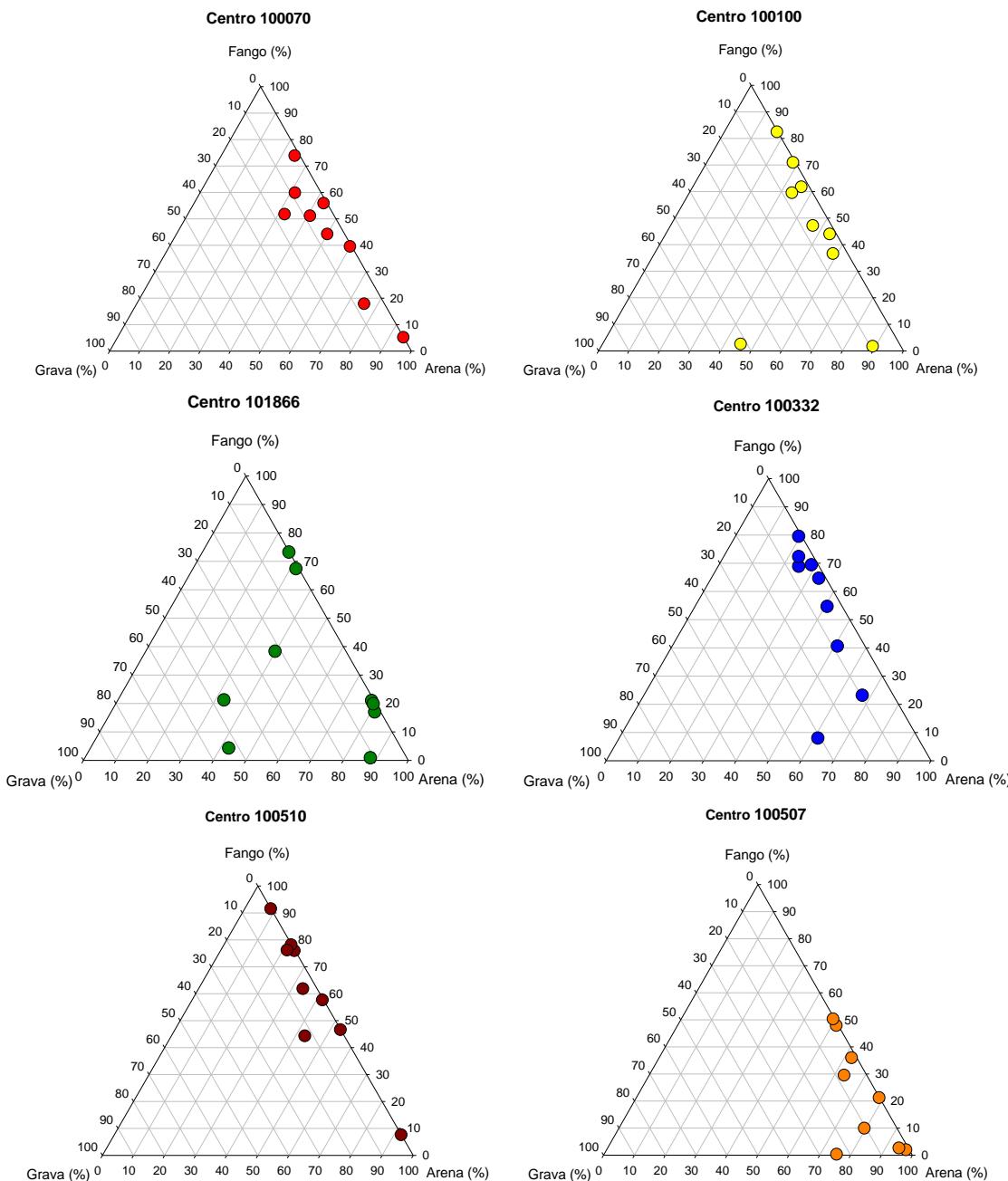
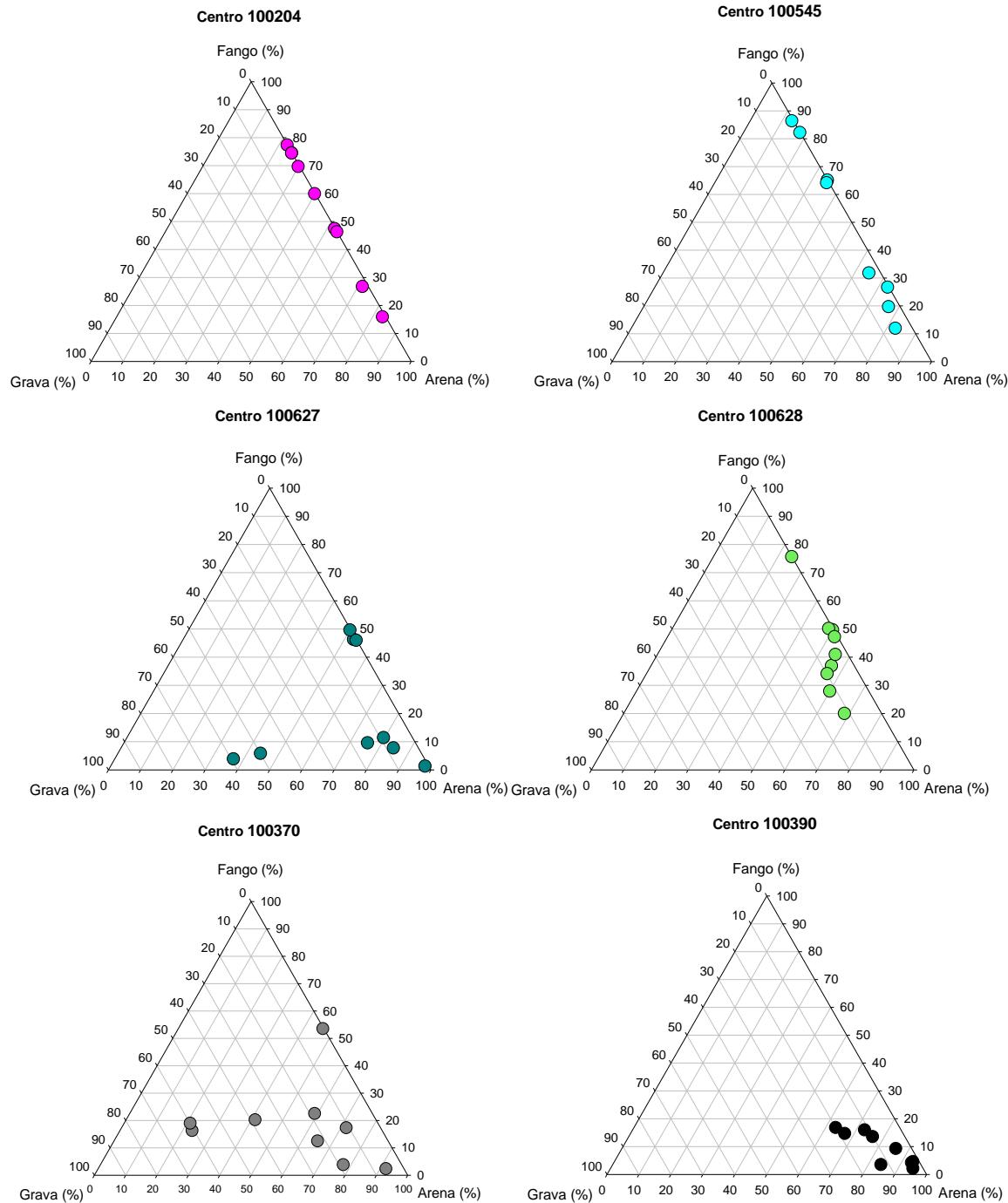


Figura 19. Lago Llanquihue: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro. Maitén A (100510), Maitén C (100332), Bahía Cox (100628), Bahía Ensenada (100370), Bahía Rincones (100204), Bahía Volcán (100390), Monte Alegre (100627), Puerto Phillipi I (100100), Puerto Phillipi 2 (101866), Playa Maqui (100507), Puerto Octay (100545) y Puerto Rosales (1000070).

Continuación Figura 19.



Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Llanquihue (Figura 20), se observó que la mayoría de las muestras contienen un alto porcentaje de arena (mayor a 60%), valores menores a 20% de grava, y un amplio rango de fango (1 a 92%).

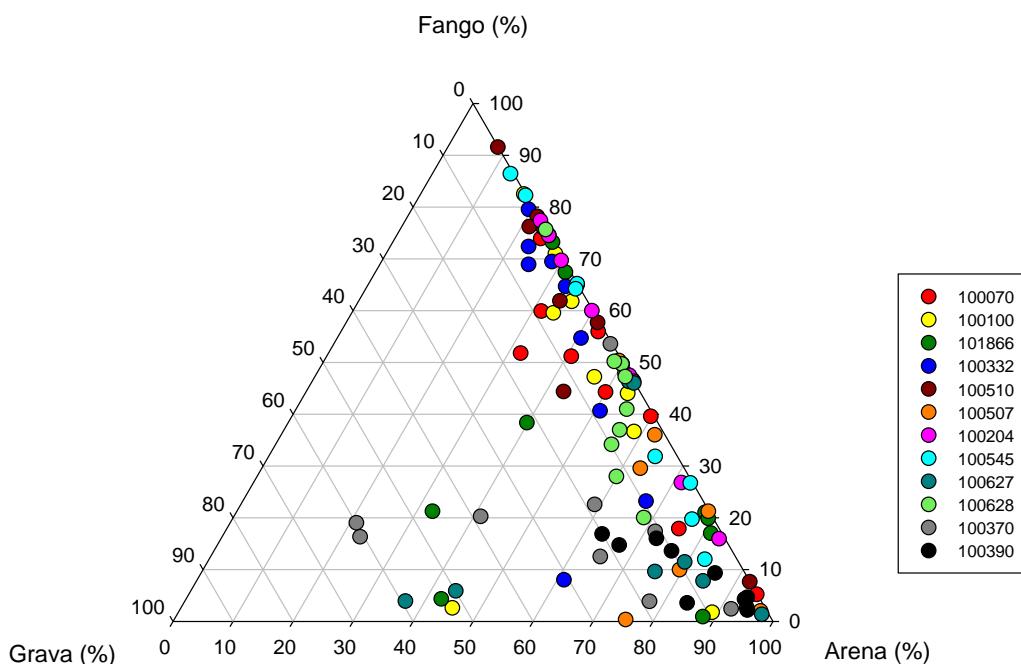


Figura 20. Lago Llanquihue: Gráfico triangular para la clasificación de textura de los sedimentos del lago Llanquihue (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Llanquihue, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 34 (ANEXO 1) y en la Figura 21. En relación a los resultados de materia orgánica, las estaciones que presentaron valores mayores a 10% fueron: estación 1 y 2 del centro Maitén C (10,37 y 10,34% respectivamente), estación 2 del centro Bahía Rincones (10,12%), estación 2 de la Playa Maqui (10,04%) y estación 2 de Puerto Rosales (15,33%). En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. El menor valor se registró en la estación 3 de Maitén C, mientras que el mayor valor se observó en la estación 3 de Bahía Ensenada (505,67 mV) (Tabla 34 en ANEXO 1). En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indicó que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas (Tabla 35 en ANEXO 1).

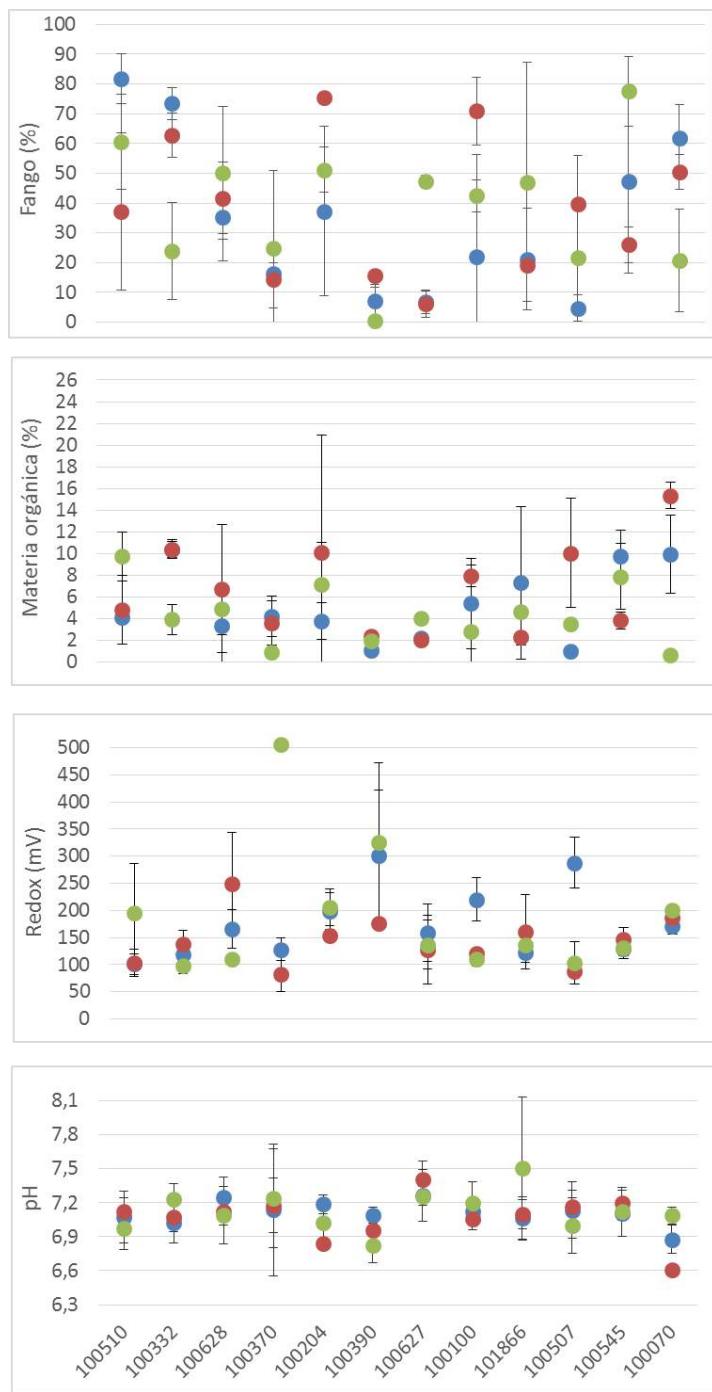


Figura 21. Lago Llanquihue: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.



d) Correntometría Lagrangeana

Respecto a la correntometría lagrangeana, en el lago Llanquihue se registraron corrientes promedios de 0,07 m/s, con valores máximos y mínimos de 0,03 m/s y 0,19 m/s respectivamente. La correntometría superficial presentó una mayor velocidad promedio (0,09 m/s) en comparación a la realizada a una profundidad de 15 m (0,05 m/s) (Tabla 11 en ANEXO 1). Respecto a la dirección de la corriente, ésta fue similar entre derivadores instalados en la misma bahía y a distintas profundidades. Sin embargo, se identificaron variaciones inter bahía, pero con una tendencia a presentar direcciones similares en aquellas bahías con igual orientación (Figura 22).

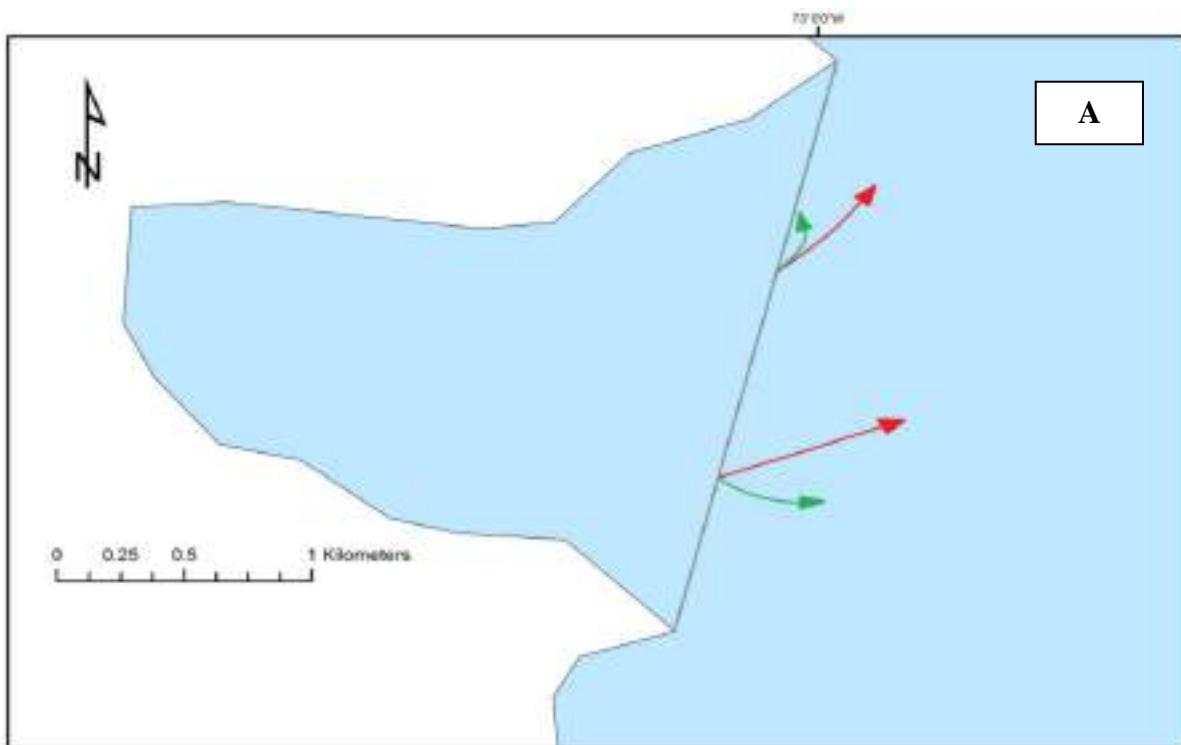
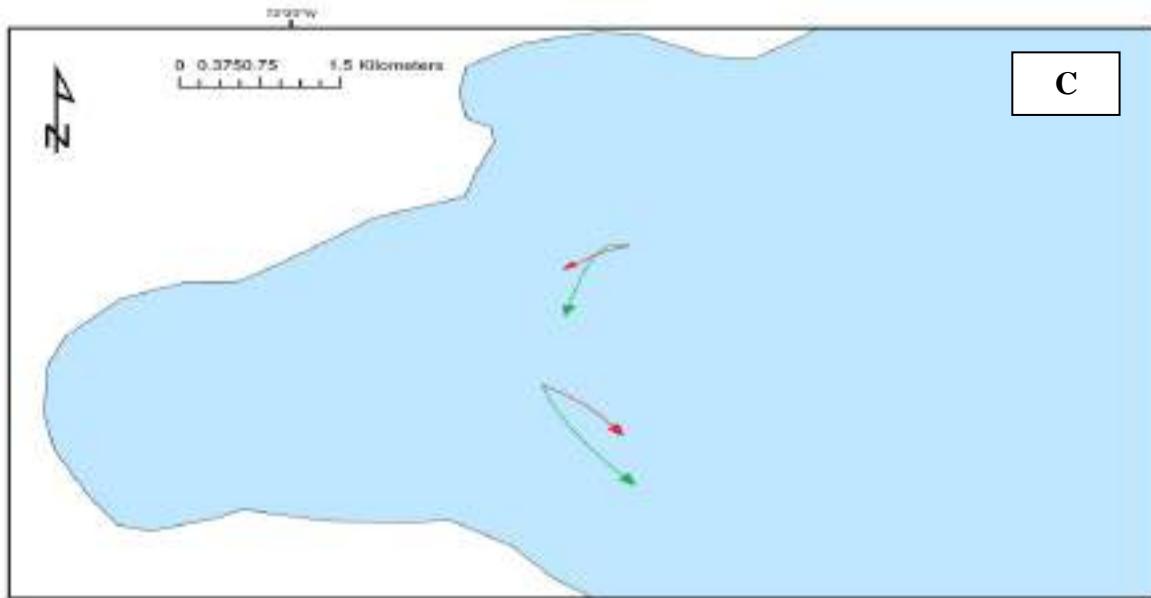
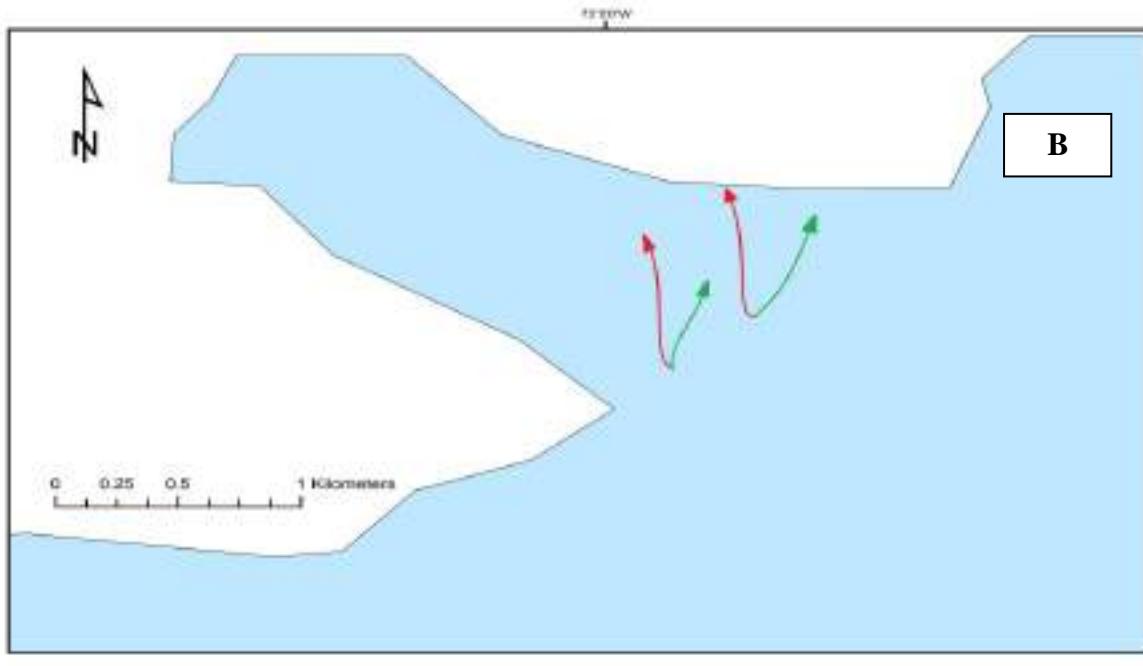


Figura 22. Lago Llanquihue: Dirección de las corrientes medidas mediante correntometría lagrangeana en cada bahía a 1 m (rojo) y 15 m (verde) de profundidad. A= Phillipi, B= Maitén, C= Frutillar, D= Rincones, E= Puerto Octay, F= Puerto Fonck, G= Bahía Ensenada, H= Bahía Volcán.

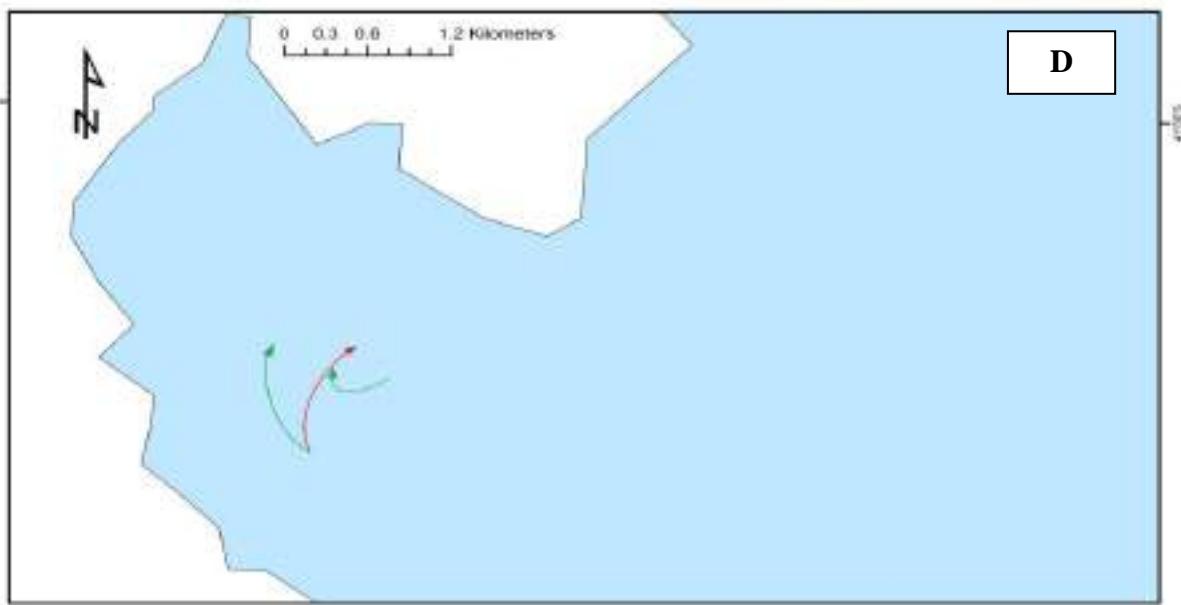


Continuación **Figura 22.**





Continuación **Figura 22.**



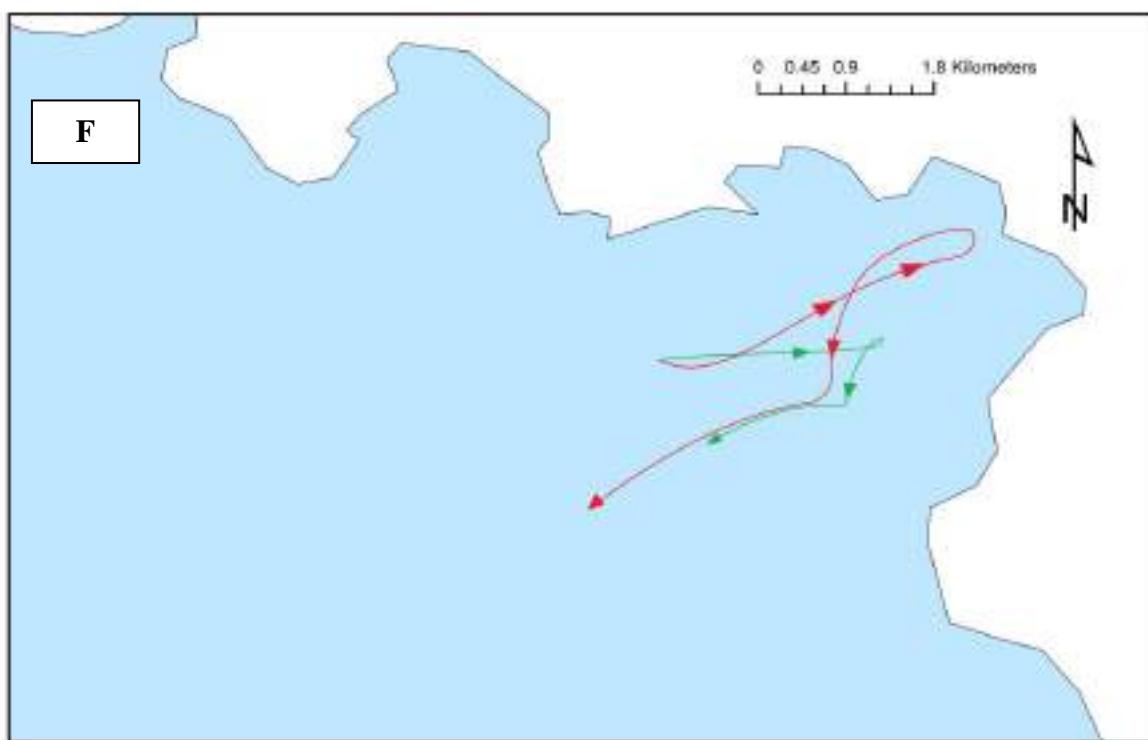
D



E

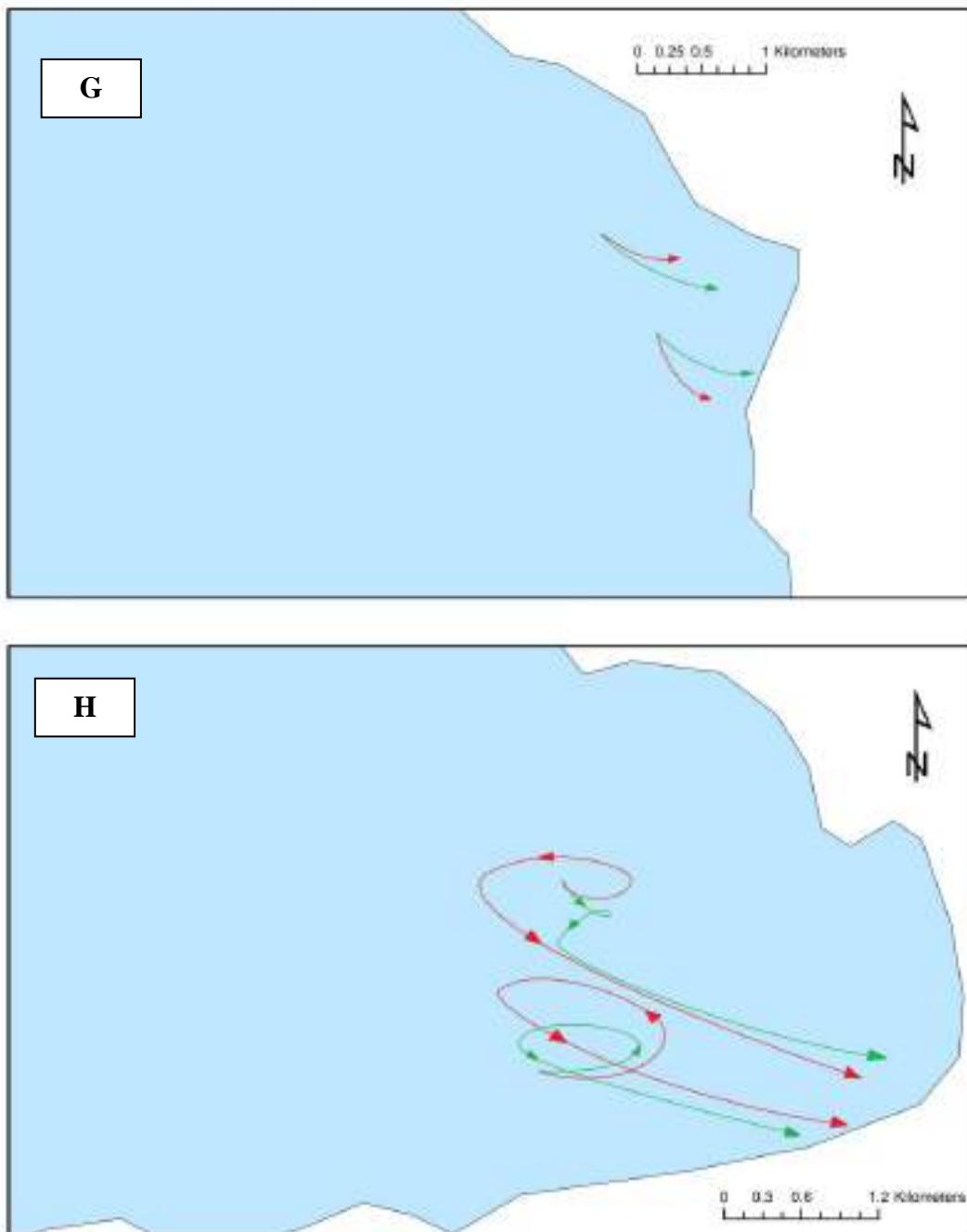


Continuación **Figura 22.**





Continuación **Figura 22.**





6.2.2 Lago Chapo

I) Caracterización ambiental

a) Análisis físicoquímico agua

En los sitios de muestreo control y centros asociados a una mayor profundidad se registraron diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo, la temperatura superficial fue cercana a los 10°C, y en profundidad disminuyó a 8°C, salvo en la estación más somera (100394) que se mantuvo en torno a los 10°C. En las estaciones 101051, C1 y C2 se observó diferencia de temperatura, sin termoclina (no se produjo una diferencia de 1°C, en 1 metro de profundidad). La concentración de oxígeno disuelto presentó una tendencia similar que la temperatura en las estaciones de mayor profundidad, observándose una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad, las diferencias entre superficie y fondo fueron leves, registrándose una columna de agua oxigenada, con valores de 8 a 10 mg/L, con excepción de las estaciones 101501 y C2 donde el oxígeno disuelto bajo los 175 m de profundidad disminuyó alcanzando valores cercanos a 6 mg/L (Figura 23) (Tabla 69 en ANEXO 1).

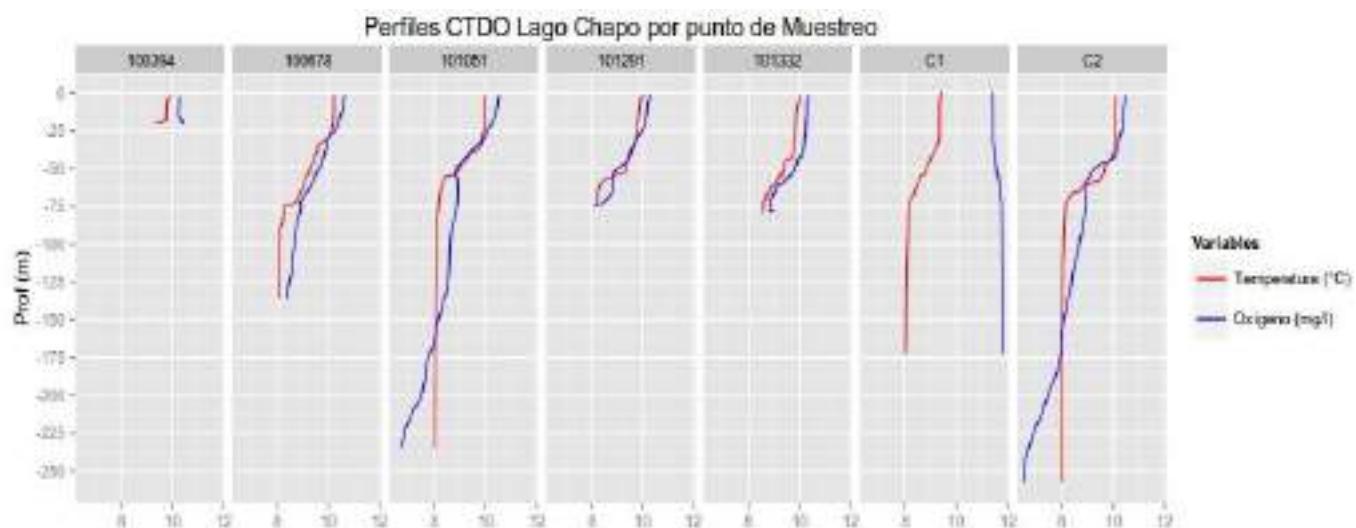


Figura 23. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Chapo.

Respecto a los nutrientes en la columna de agua, se observó una columna de agua bastante homogénea respecto de su concentración de fósforo total y ortofosfato. La concentración de fósforo total fluctuó entre 0,003 y 0,007 mg/L, el perfil de ortofosfato siguió mayoritariamente la misma tendencia que el perfil de fósforo total (Figura 24). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluídos de las figuras y tablas siguientes.

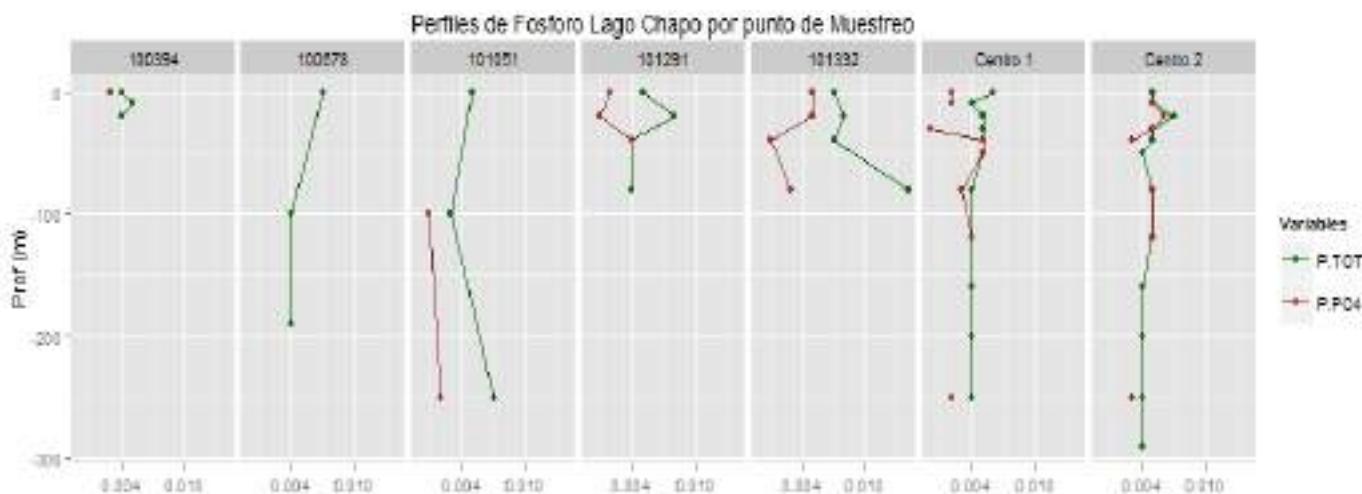


Figura 24. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Chapo (---P-PO₄; - -PT).

Los compuestos nitrogenados en la columna de agua estuvieron representados principalmente por nitrógeno total y nitrato (Figura 25), mientras que las formas amonio y nitrito presentaron bajas concentraciones por lo que sus resultados se mostraron sólo en la Tabla 69 en ANEXO 1. La concentración de nitrógeno total en el perfil vertical oscilo entre 0,04 y 0,12 mg/L, solo en las estaciones 101332 y 101501 se observó un leve aumento hacia el fondo (Figura 25).

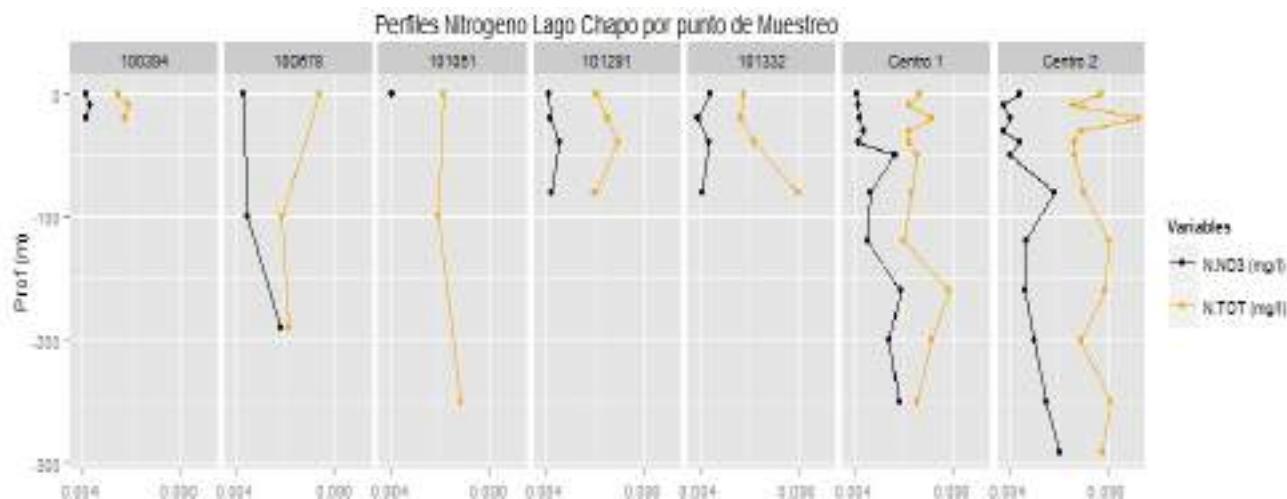


Figura 25. Perfiles compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L, NT en mg/L) en los centros analizados del lago Chapo (---N-NO₃; ----NT).

La transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 4 y 7 m (Tabla 4).

Tabla 4.
Lago Chapo: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
100394	6	4
101291	80	5
100678	140	6
101051	281	7
101332	120	6
C1	250	5
C2	300	6



b) Análisis de parámetros biológicos

Durante la otoño – invierno de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Chapo registró 20 géneros de microalgas: 8 Diatomeas, 8 Clorofíceas, 1 Cianofícea y 1 Criptofícea (Tabla 36 en ANEXO 1), con una mayor abundancia ditoplactónica en la estación C2 y 101291 (Figura 26). Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 89,1 y 100%, clorofíceas entre 0 y 10,9%, Criptofíceas 0 a 0,3 % (Figura 27).

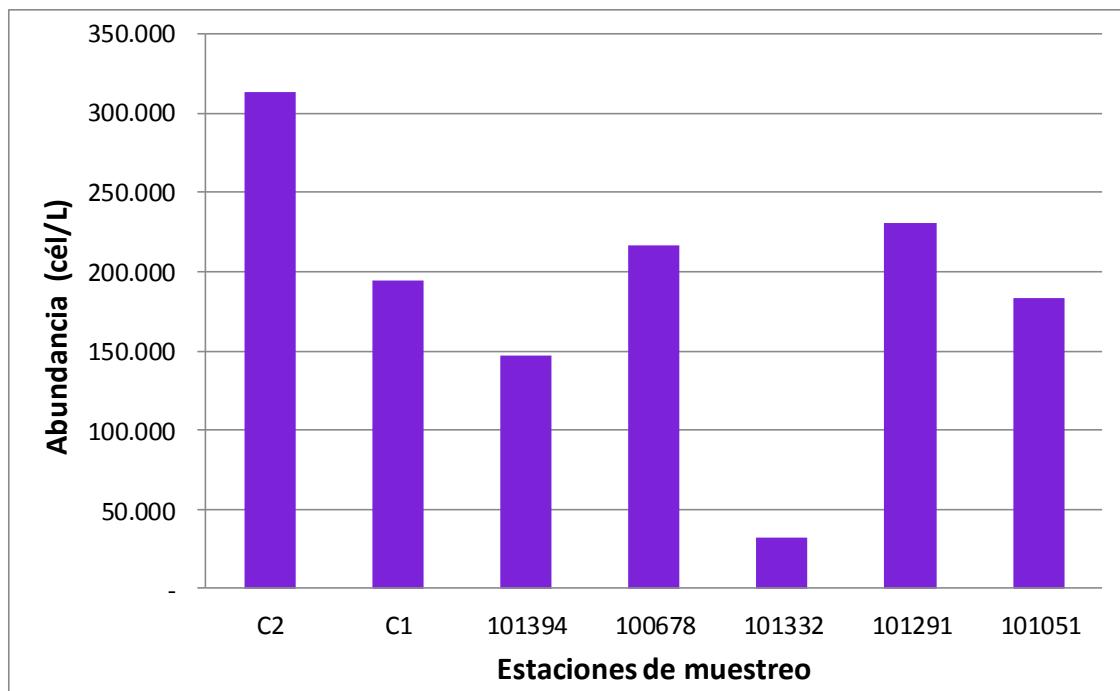


Figura 26. Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Chapo, durante el otoño-invierno de 2014.

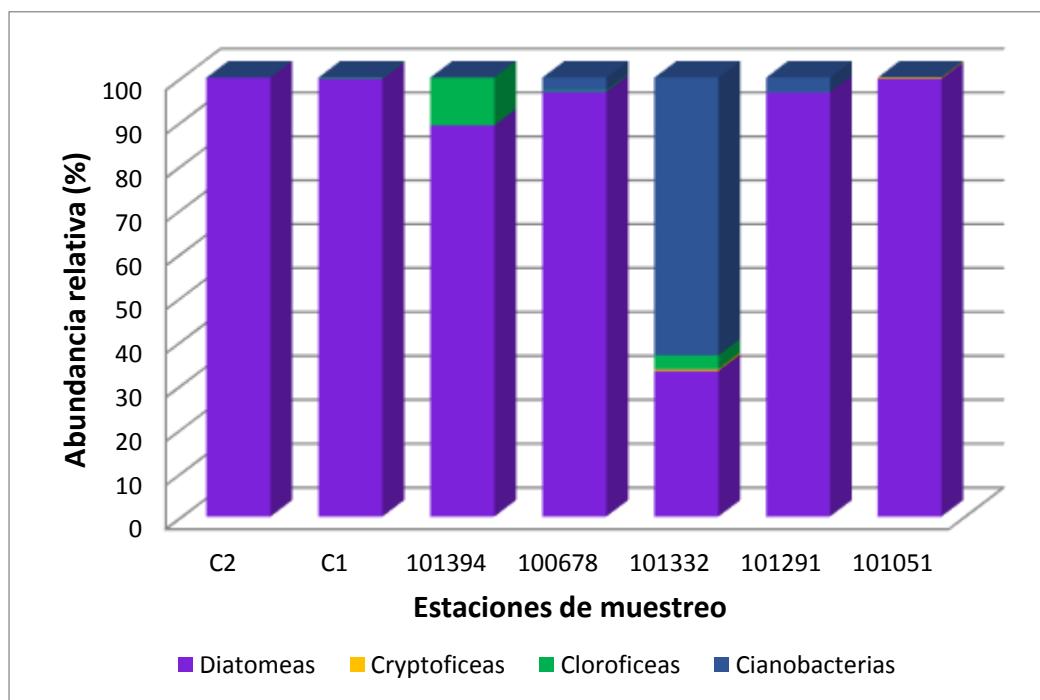


Figura 27. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Chapo, durante el otoño de 2014.

Durante el otoño-invierno 2014, en la composición zooplanctónica del lago Chapo se registraron 10 especies: 3 de crustáceos Maxilipodos, 6 de crustáceos Brachiópodos y 1 rotíferos Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 4 y 8 especies. La densidad por estación osciló entre 0,037 y 0,89 cel/L, registrándose el valor más alto en la estación 100678 (Tabla 5).



Tabla 5.

Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo en otoño de 2014, C2 invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Chapo						
	C1	C2	101332	101394	100678	101051	101291
Crustacea/ Maxilopoda							
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,013	0	0,036	0,005	0,064	0,003	0,053
♀ con huevos	0,001	0	0,002	0,001	0	0,005	0,004
copepoditos	0,002	0,009	0,020	0,017	0,082	0,002	0,016
<i>Metacyclops mendocinus</i>	0,003	0	0,010	0,001	0	0,018	0,011
♀ con huevos	0	0	0,002	0	0	0	0,004
copepoditos	0,004	0,005	0,014	0,004	0	0,003	0,002
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0,002	0	0	0
<i>Nauplius</i>	0,009	0,005	0,114	0,112	0,091	0,018	0,126
Crustacea/ Brachiopoda							
<i>Daphnia pulex</i>	0	0,009	0,005	0,003	0,374	0,011	0,002
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	0,004	0,015	0,029	0,027	0,182	0,004	0,009
<i>Bosmina chilensis</i>	0,003	0,001	0,009	0,007	0,100	0,008	0,004
<i>Macrothrix sp</i>	0	0	0	0,002	0	0	0
<i>Alona cambuoei</i>	0	0	0	0,005	0	0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>	0	0	0	0	0	0	0,0002
Rotifera/ Monogononta							
<i>Conochilus unicornis</i>	0	0	0,009	0	0	0	0,007
Densidad Total	0,037	0,044	0,250	0,185	0,894	0,071	0,238
Riqueza de Taxa	4	5	6	8	5	5	6

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Chapo se muestrearon 6 bahías ubicadas en las cercanías de centros de acuicultura, tales como: Desagüe 1 (centro 100394), Desagüe 2 (centro 101291), Colulí (centro 100678), Pitote (centro 101051), Río sur (centro 101332), y Centro 101278. Los resultados del análisis granulométrico (Tabla 37 en ANEXO 1) indican que en el Centro 100394, específicamente en la Estación 1 los mayores aportes provienen de la arena media (31,6%), seguido por la arena fina (27,34%). En la estación 2 predomina las arenas muy finas (32,02%), mientras que en la estación 3 el fango (43,54%). En el Centro 101291, en la Estación 1 como en la Estación 2, el fango es la fracción dominante del sedimento (43,68% y 32,28% respectivamente). En el Centro 100678, los mayores porcentajes de la Estación 1 y 2 corresponden a la arena muy fina (23,82% y 18,46% respectivamente, mientras que en la estación 3 los mayores porcentajes están dados por la grava (32,16%). En el Centro 101051, la fracción predominante en la Estación 1 y 2 es la grava (30,74% y



39,08% respectivamente). En el caso de la estación 3, predomina la arena fina (20,07%). En el Centro 101332, en las estaciones 1 y 2, el mayor porcentaje de la fracción sedimentaria está dada por el fango (39,32% y 53,13% respectivamente), mientras que en la estación 3 domina la grava (41,11%). En el Centro 101278, en las estaciones 1 y 2, los mayores aportes están dados por el fango (55,5% y 84,78% respectivamente), mientras que para la estación 3 predominó la arena muy fina (20,51%).

Al analizar los parámetros de textura por bahía con acuicultura (Figura 28), se observa que en el Centro 101278, la mayoría de las muestras presentan porcentajes de fango mayores al 46%, mientras que la arena presenta una amplia distribución (0-51%). El porcentaje de grava no supera el 13%. Sin embargo dos muestras presentan un alto porcentaje de arena (88,5% y 91%) y bajo porcentaje de fango (11,5 % y 9%). Las muestras del Centro 100394 presentan un alto aporte de la arena (48-98%), le sigue el fango con muestras de hasta un 51%, mientras que el aporte de la grava es escaso. En relación al Centro 101332, el mayor número de muestras aportan entre un 38 a 69% de arena, y entre 26 a 61% de fango. Se excluyen del comportamiento general dos muestras con un alto aporte de grava (58% y 62,5%), y una tercera muestra con una dominancia del 91% de fango. En el Centro 101051, el aporte del fango en todas las muestras es menor al 19%, mientras que los porcentajes de arena y grava se distribuyen ampliamente (19-99% y 0-81% respectivamente). La distribución de la fracción sedimentaria en el Centro 100678, está dominada por la arena (60-85%), mientras que el fango va desde los 8-31%, y la grava 0-31%. En el caso del centro 101291, se observa predominancia de la arena (48-79%), seguido por el fango (18-50%) y escasa participación de la grava (menor a 8%).

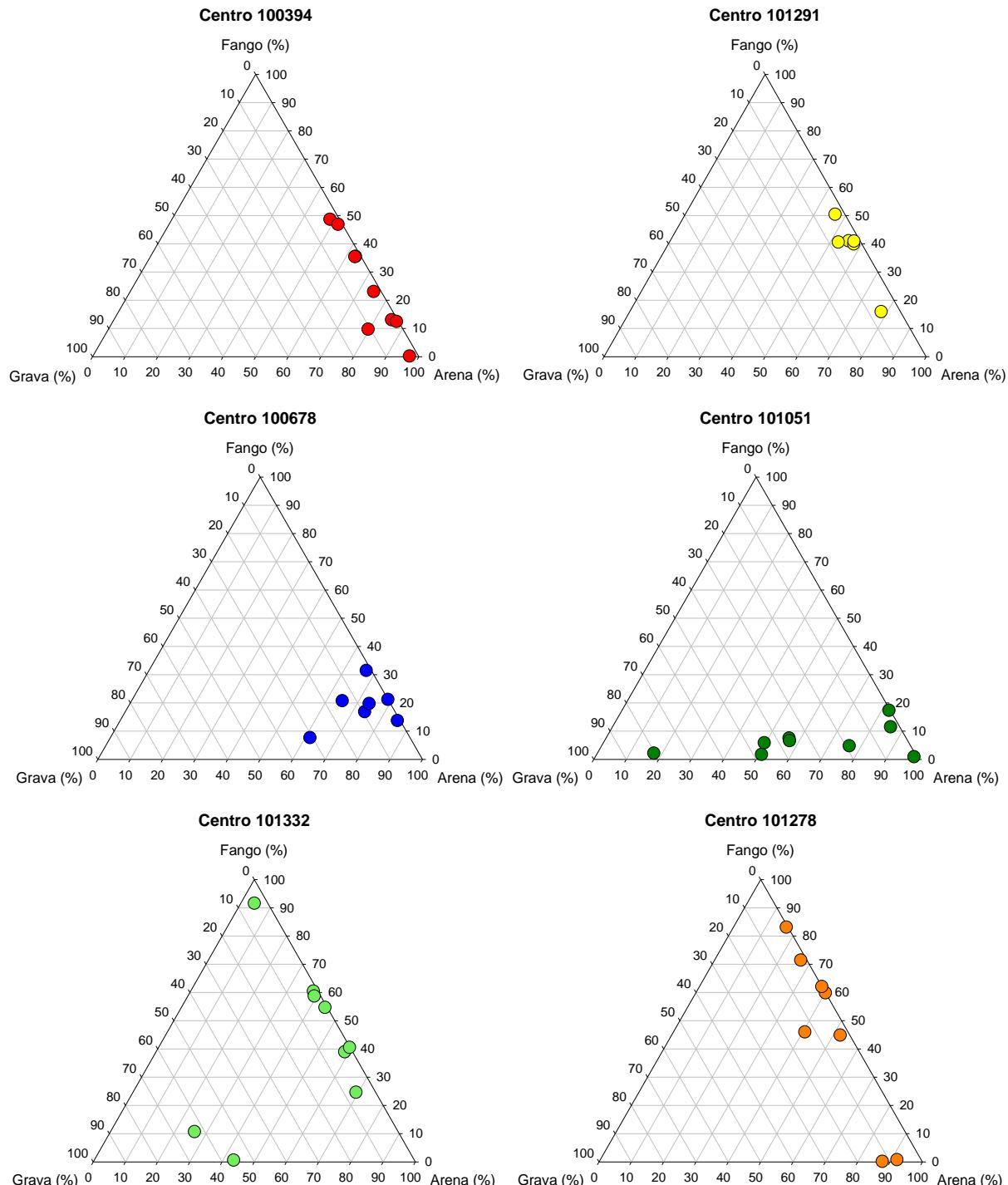


Figura 28. Lago Chapo: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

Al realizar un análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Chapo (Figura 29), se observó que las muestras difieren en dos grupos; por un lado un grupo con aportes menores a 10% de grava, amplio porcentaje de la distribución del fango (0-99%) y arena (0-100%). Por otro lado, el comportamiento sedimentario del segundo grupo presenta valores de fango menores al 10%, amplio porcentaje de distribución de la arena (18-99%) y grava (1-81%).

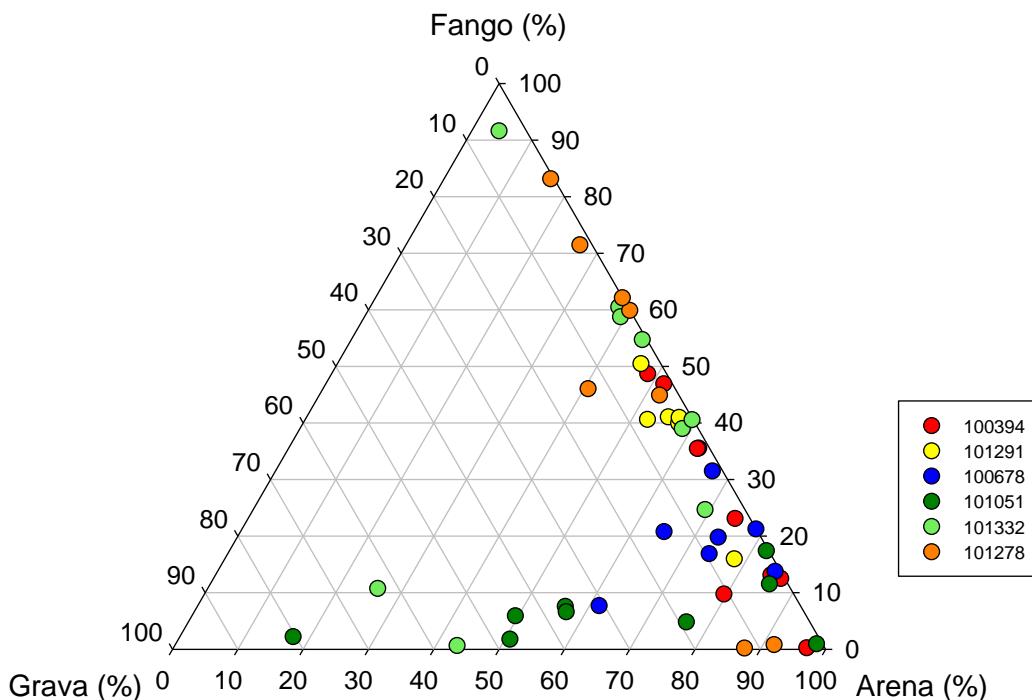


Figura 29. Lago Chapo: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Chapo, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 38 en ANEXO 1, y en la Figura 30. En relación a los resultados de Materia orgánica, las estaciones que presentaron valores mayores a 10% fueron las estaciones 1 y 2 del Centro 101291 (12,64 y 16,7% respectivamente), estación 2 del Centro 100678 (15,95%), Estación 3 del Centro 101051 (15,01%) y todas las estaciones del Centro 1012978 (Estación 1 con 21,39%, estación 2 con 23,13%, y estación 3 con 17,68%).

En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV.



En cuanto a los valores de pH, sólo la estación 1 del Centro 100394 presenta un pH dentro del límite de aceptabilidad (7,19). Mientras que el resto de los valores indican un pH ácido, siendo el más ácido de todos, la estación 3 del Centro 101278 con un valor de 5,85 (Figura 30).

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 39 en ANEXO 1.

d) Correntometría Lagrangeana

Respecto a la correntometría lagrangeana, en el lago Chapo se registraron corrientes promedios de 0,009 m/s, 0,034 m/s, y 0,039 m/s en los transectos 1, 2 y 3 respectivamente. En los transectos 1 y 2, la correntometría superficial presentó mayor velocidad promedio (0,014 m/s en transecto 1, y 0,044 m/s en transecto 2), en comparación a la realizada a una profundidad de 15 m (0,045 m/s y 0,023 m/s en transecto 1 y 2 respectivamente). En el transecto 3, las velocidades de la corriente son similares en ambas profundidades. Respecto a la dirección de la corriente, ésta fue similar entre derivadores instalados en la misma bahía y a distintas profundidades. Sin embargo, se identificaron variaciones inter bahía, pero con una tendencia a presentar direcciones similares en aquellas bahías con igual orientación (Figura 31). Las direcciones de viento que mayormente predominaron provienen del nor-este y nor-oeste.

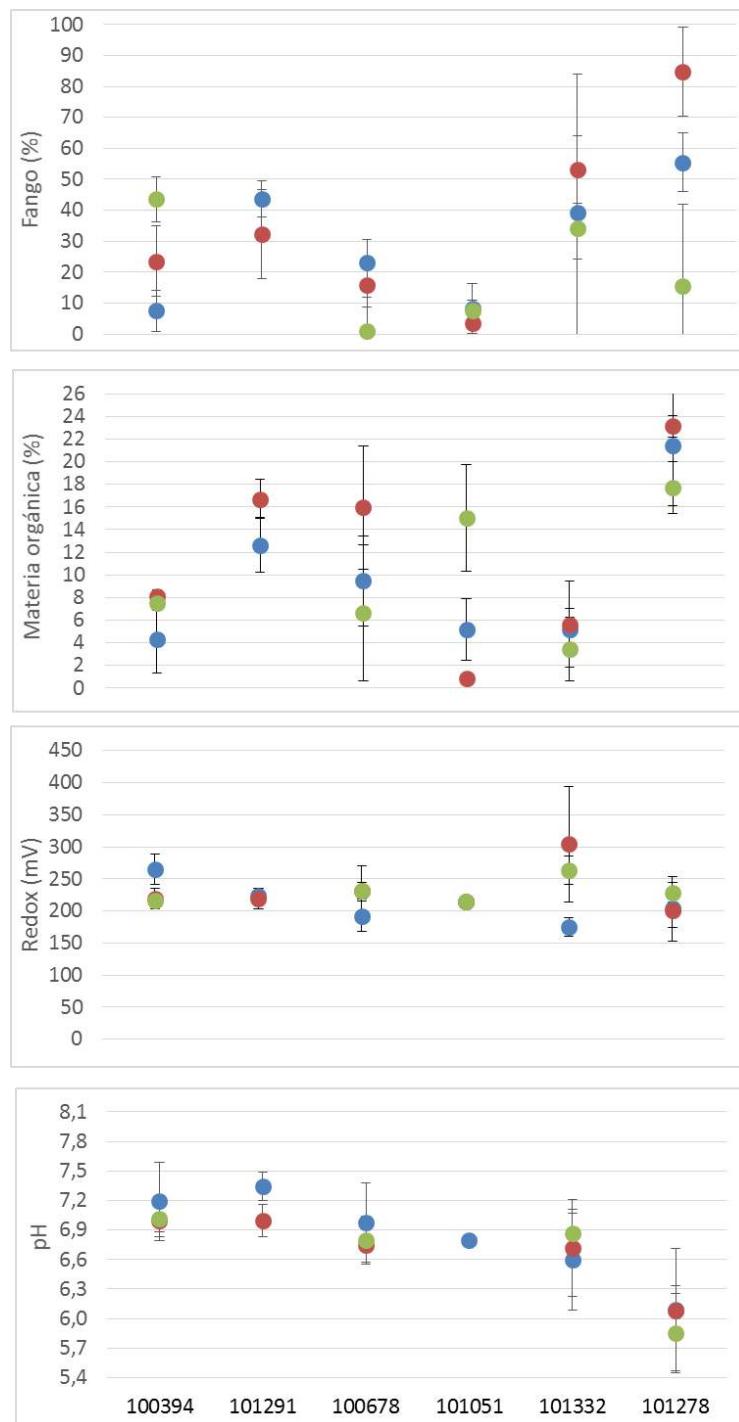


Figura 30. Lago Chapo: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.

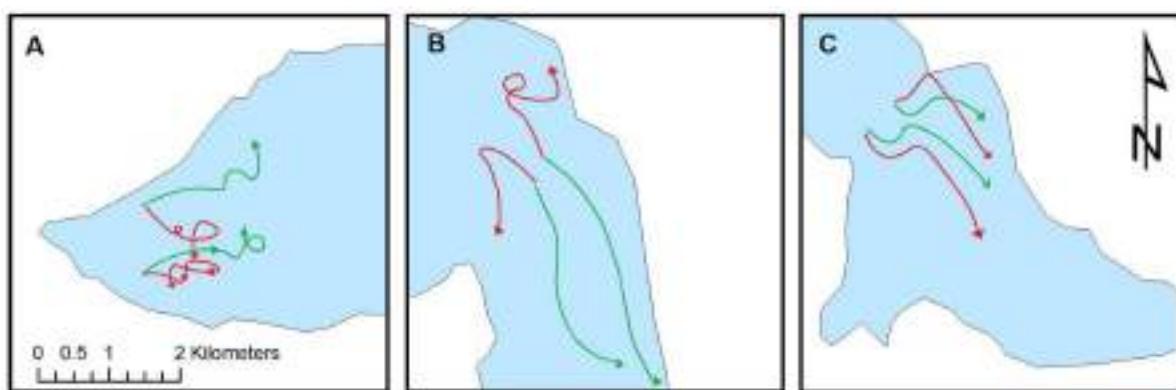


Figura 31. Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Chapo. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.



6.2.3 Lago Natri

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

Los perfiles de temperatura y oxígeno disuelto del lago Natri, indicaron homogeneidad en los valores en toda la columna de agua (Figura 32). La temperatura en todos los centros analizados se mantuvo alrededor de los 10°C, mientras que los valores de oxígeno indicaron que la columna de agua estuvo bien oxigenada (Tabla 70 en ANEXO 1).

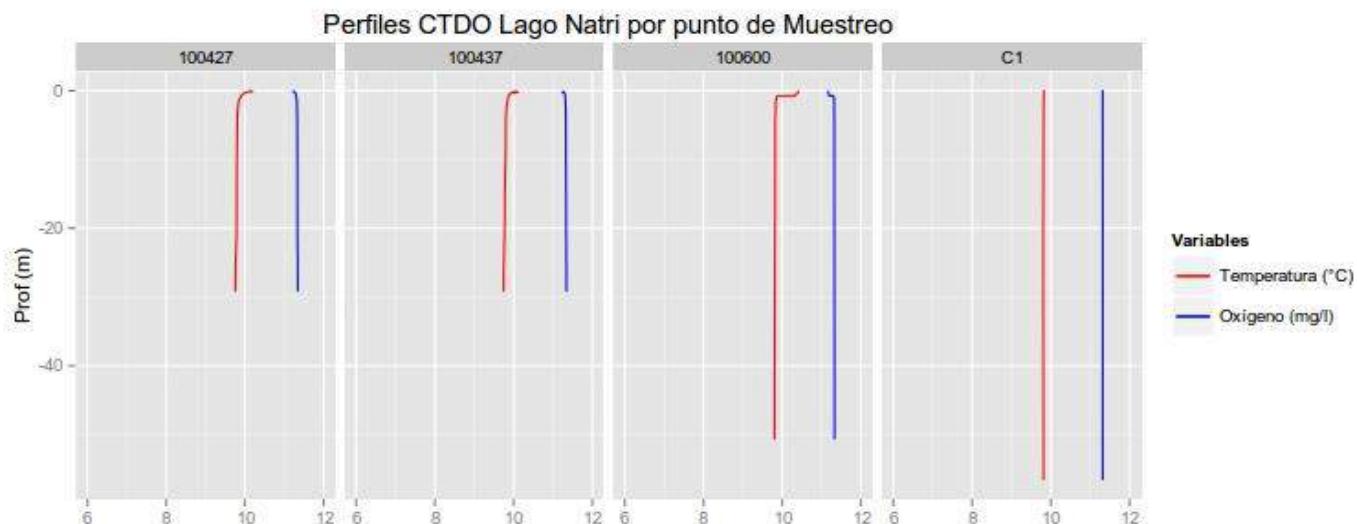


Figura 32. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.

Respecto de los niveles de nutrientes, la concentración de fósforo total (PT) en la columna de agua presentó variaciones en el perfil, las mayores concentraciones del nutriente se registraron en profundidad, no observándose una tendencia clara. Los valores de fósforo total 0,006 y 0,012 mg/L mayormente, salvo en el centro 100437 que presentó 0,545 mg/L de PT a los 30 m (Figura 33). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluidos de las figuras y tablas siguientes.

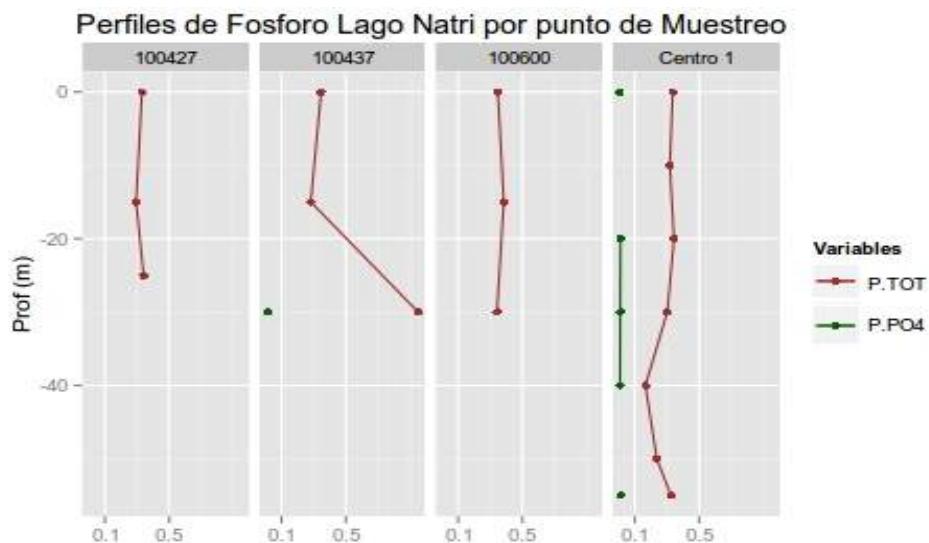


Figura 33. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.

Los compuestos nitrogenados que se registraron principalmente en la columna de agua fueron el nitrato y nitrógeno total (Figura 34), mientras que los niveles de amonio y nitrito mayoritariamente no fueron detectados por lo que esto se registra solamente en la Tabla 70 en ANEXO 1. La concentración de nitrógeno total (NT) presentó valores entre 0,2 y 0,4 mg/L, salvo en la estación 100437 que registro 0,950 mg/L de NT (Figura 34).

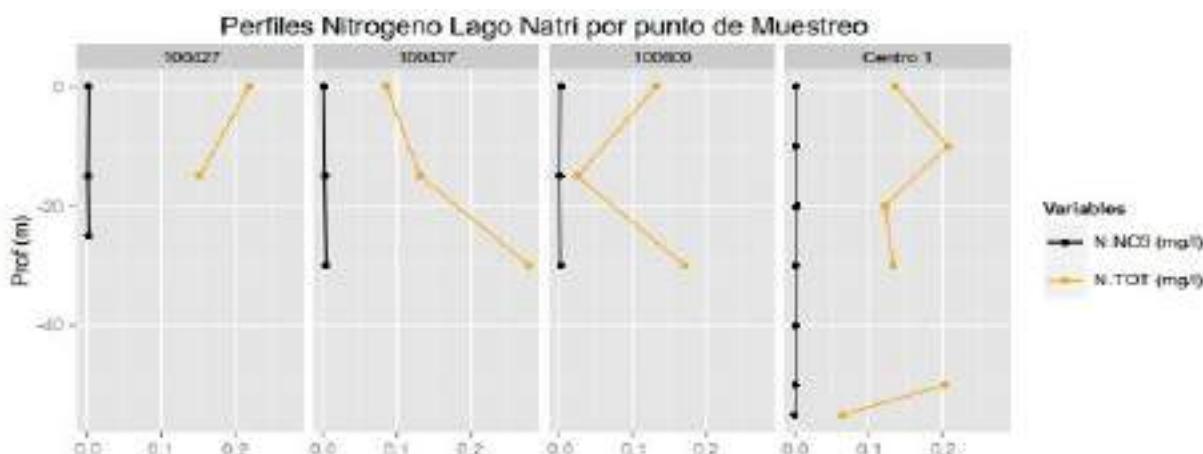


Figura 34. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Natri.



La transparencia del disco Secchi osciló entre 3 a 5 m (Tabla 6).

Tabla 6.
Lago Natri: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
100437	34,4	5
100427	29,7	3
100600	35,6	4
C1	60	4

b) Análisis parámetros biológicos

Durante el invierno de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Natri registró 18 géneros de microalgas: 10 Diatomeas, 6 Clorofíceas, 1 Cianofícea y 1 Dinofícea (Tabla 40 en ANEXO 1).

Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 5,4 y 64%, clorofíceas entre 34,7 y 94,5%, Dinofíceas 0 a 0,1 % (Figura 35).

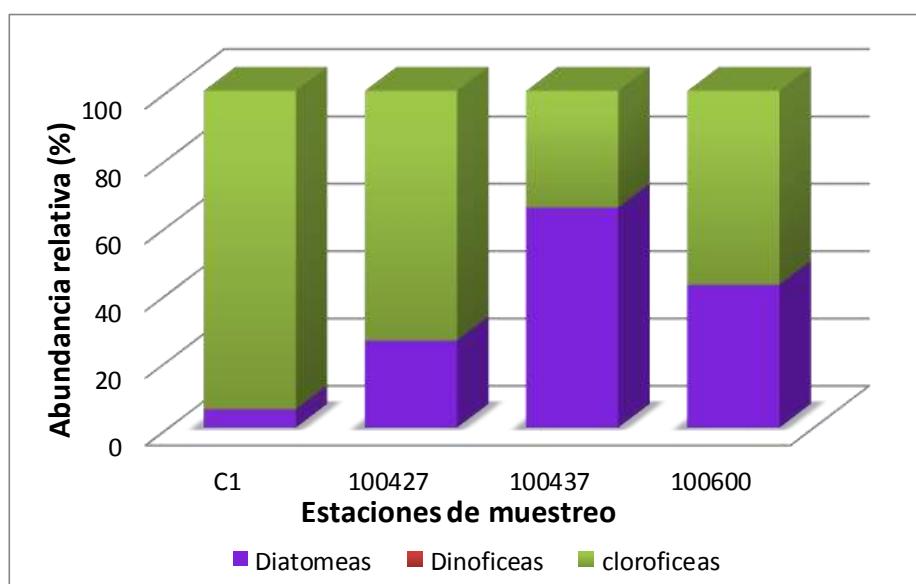


Figura 35. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Natri, durante el invierno de 2014.



La abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 2.641 y 1.057.038 cél/L. Los mayores valores se registraron en la estación C1 (Figura 36). La gran diferencia en las abundancias entre estaciones está dada mayoritariamente por efectos de las abundantes colonias de *Volvox* encontradas en la estación C1, a diferencia de las otras estaciones, donde no se registró esta especie. Se registró *Ceratium hirundinellala* cual ha sido descrita como una especie asociada a acuicultura en sistemas acuáticos continentales. No se encontró *Dydimosphaenia geminata*.

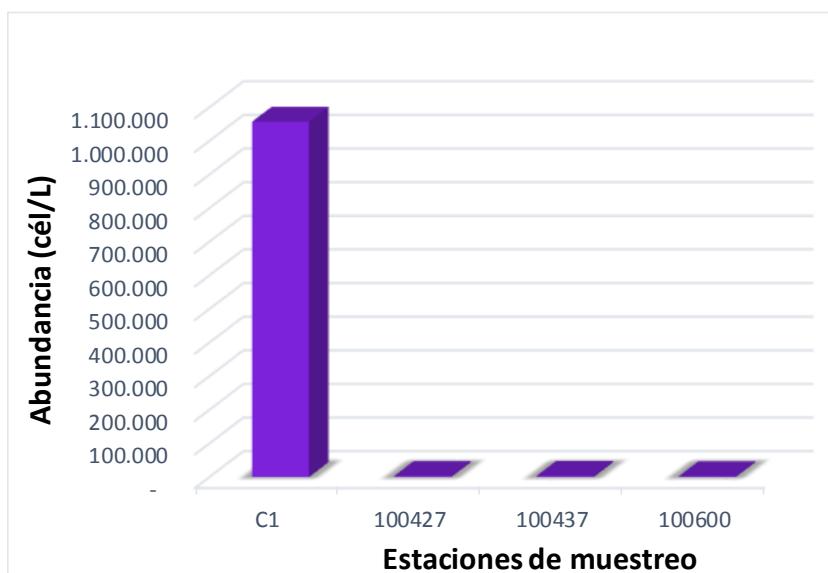


Figura 36. Abundancia fitoplanctonica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Natri, durante el invierno de 2014.

Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Natri se registraron 11 especies: 5 de crustáceos Maxilipodos, 4 de crustáceos Brachiópodos y 2 rotíferos Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 4 y 8 especies. La densidad por estación osciló entre 0,36 y 6,36 cel/L, registrándose el valor más alto en la estación 100427 (Tabla 7).



Tabla 7.

Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri en invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Natri			
	C1	100427	100437	100600
Crustacea/ Maxilopoda				
<i>Boeckella gracilipes</i>	0,012	0	0	0,172
♀con huevos	0,001	0	0	0
copepoditos	0,011	0	0	0,131
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,003	2,650	1,771	0,244
♀con huevos	0	0	0	0
copepoditos	0	3,397	2,672	0,208
<i>Mesocyclops sp.</i>	0	0,130	0,114	0
♀con huevos	0	0	0	0
copepoditos	0	0,170	0,126	0
<i>Metacyclops mendocinus</i>	0,045	0	0,107	0,099
♀con huevos	0,001	0	0	0
copepoditos	0,064	0	0,151	0,170
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0
Nauplius	0,156	0	0,034	0,041
Crustacea/ Brachiopoda				
<i>Diaphanosoma chilense</i>	0,021	0	0	0
<i>Diaphanosoma sp</i>	0	0	0,014	0,021
<i>Daphnia pulex</i>	0,003	0,007	0,004	0,073
<i>Bosmina hagmani</i>	0,007	0,005	0	0
Rotifera/ Monogononta				
<i>Brachionus caliciflorus</i>	0,033	0	0	0
<i>Keratella cochlearis</i>	0,004	0	0	0
Densidad Total	0,361	6,359	4,992	1,158
Riqueza de Taxa	8	4	6	5

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Natri se muestrearon 3 sectores ubicadas en las cercanías de los centros de acuicultura, tales como el centro 100437, Centro 100427 y Centro 100600. De los resultados del análisis granulométrico que se presenta en la Tabla 41 en ANEXO 1, se desprende que en el centro 100437, específicamente en la estación 1, el mayor aporte corresponde a la arena media con un 40,47%, en la estación 2 la arena muy gruesa predomina con un 26,29%, mientras que en la estación 3 la grava hace su mayor aporte con 40,61%. En el Centro 100427, se observa que en la estación 1 y 2 la

arena muy fina predomina (29,62% y 18,96% respectivamente), mientras que en la estación 3 la principal aportante es la arena media con 29,67%. En el Centro 100600, en la estación 1 la arena fina hace su mayor aporte con 50,19%, mientras que en la estación 2 predomina el fango (26,39%), y en la estación 3 la grava (22,63%).

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 37), se observa que el centro 100437 presenta altos valores de arena (mayor a 38%), porcentajes bajos de fango (menor a 22%), y grava en un amplio rango (1-54%). En todas las muestras del centro 100427 se registraron elevados porcentajes de arena (mayor a 72%), escasa participación del fango (menor a 21%) y grava (menor a 18%). La mayoría de las muestras del centro 100600 tienden a registrar altos porcentajes de arena (mayor al 50%), aporte menor al 50% de grava, y bajos porcentajes de fango (menor a 11%).

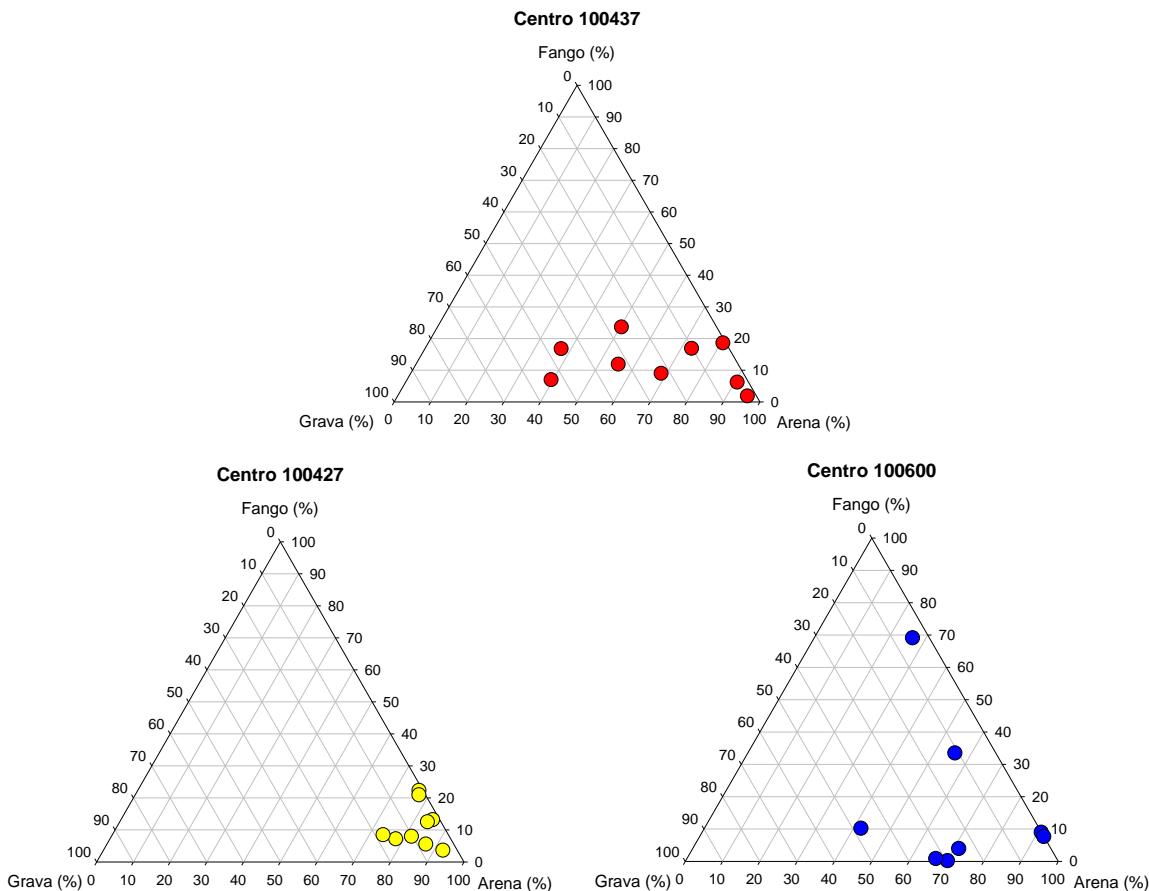


Figura 37. Lago Natri: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Natri (Figura 38), se observó que en general el mayor aporte está dado por la arena con porcentajes superiores al 38%, mientras que el rango de distribución de la grava es amplio en todas las muestras (0-53%), y los aportes del fango en la mayoría de las muestras es inferior al 20%.

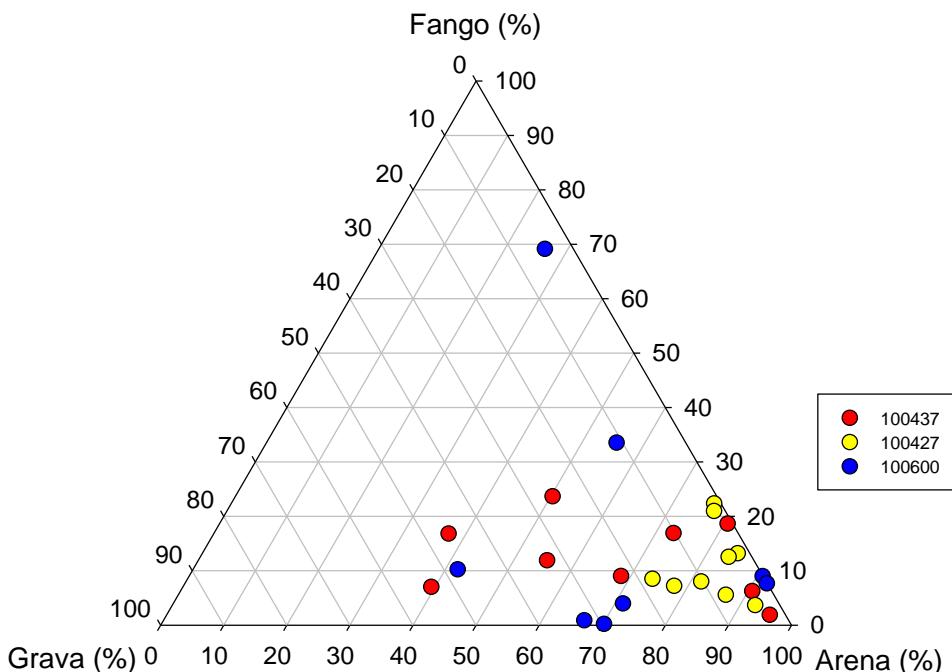


Figura 38. Lago Natri: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Natri, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 42 en ANEXO 1 y en la Figura 39. En relación a los resultados de Materia orgánica, las estaciones que presentaron valores mayores a 10% fueron: la estación 2 y 3 del Centro 100437 (39,12% y 24,81% respectivamente), y las estaciones 1, 2 y 3 del Centro 100427 (16,89%, 29,79% y 14,94% respectivamente).

En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV.

En cuanto al pH, se observan valores de pH ácidos, llegando hasta 6,61 en la estación 1 del Centro 100427.

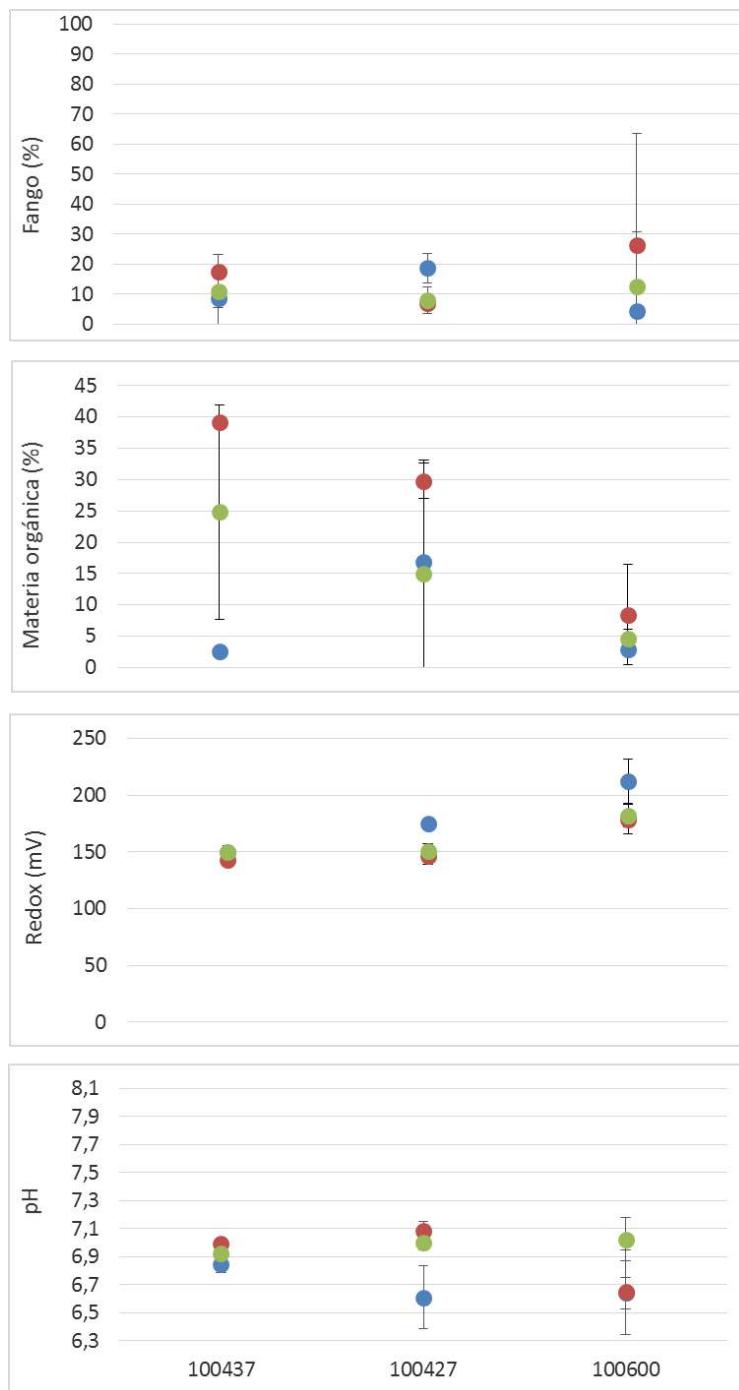


Figura 39. Lago Natri: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, la mitad de las muestras presentan un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección), mientras que en la otra mitad se obtuvo un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 43 en ANEXO 1.

d) Correntometría Lagrangeana

Respecto a la correntometría lagrangeana, en el lago Natri se registraron corrientes promedios de 0,009 m/s, 0,015 m/s y 0,015 m/s en los transectos A, B y C respectivamente. Sólo en el transecto C se observa que las velocidades de las corrientes son menores a mayor profundidad, no así en el transecto A y B en donde se observa una relación positiva entre la velocidad de la corriente y la profundidad ($>$ velocidad de la corriente a $>$ profundidad). Respecto a la dirección de la corriente, ésta fue similar entre derivadores instalados en la misma bahía y a distintas profundidades. Sin embargo, se identificaron variaciones inter bahía, pero con una tendencia a presentar direcciones similares en aquellas bahías con igual orientación (Figura 40). Las direcciones de viento predominantes según transecto fueron: nor-oeste en el transecto C, suroeste en el transecto B y sureste en el transecto A.

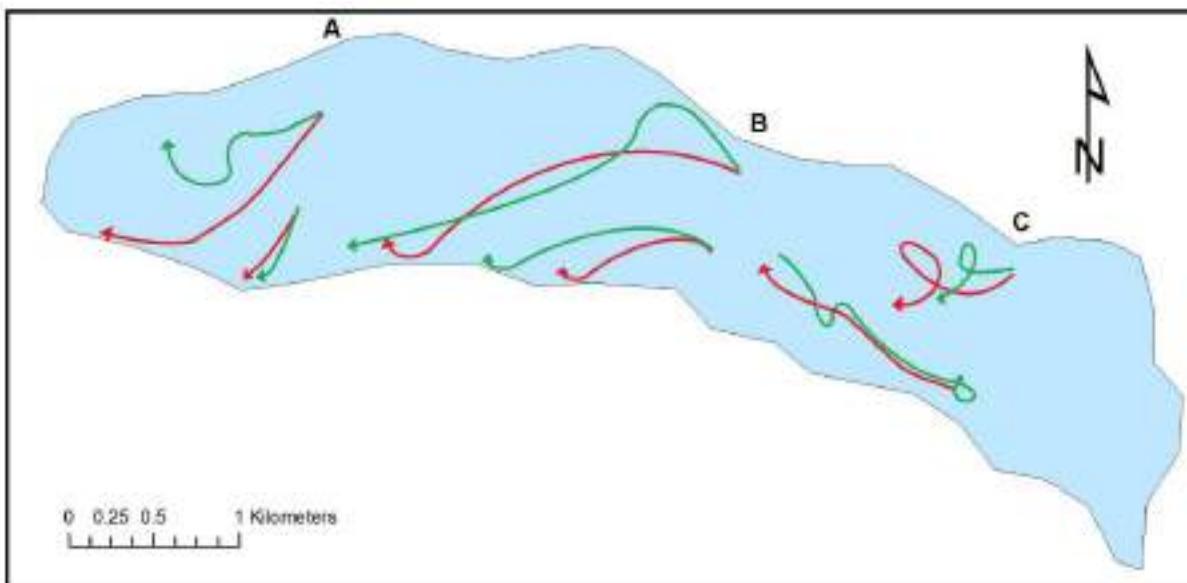


Figura 40. Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Natri. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.



6.2.4 Lago Huillinco

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

Se observó la columna de agua estratificada. A 8 m de profundidad se registró la picnoclina, para las estaciones con más de 8 m de profundidad máxima. La conductividad superficial se mantuvo en torno a los 0,3 mS/cm y sobre 20 mS/cm hacia el fondo. La temperatura superficial fue de 8°C y bajo los 10 m de profundidad subió a 14°C. Se encontraron aguas bien oxigenadas, en superficie los valores de oxígeno disuelto se mantuvieron en torno a los 12mg/L y bajo los 10 m de profundidad disminuyó a 9 mg/L (Figura 41) (Tabla 71 en ANEXO 1).

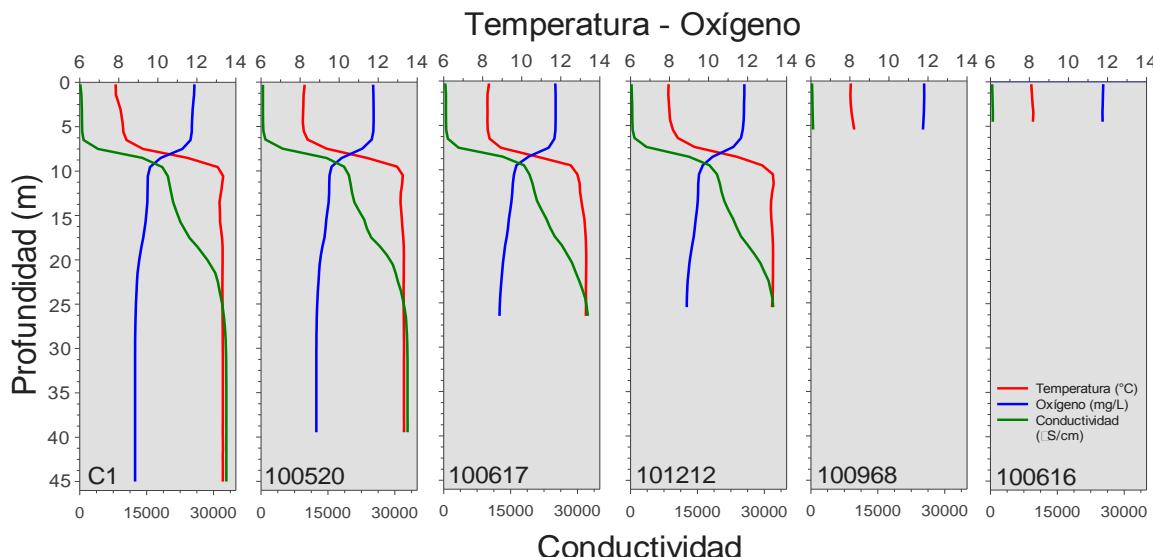


Figura 41. Perfiles físico-químicos (conductividad en mS/cm, oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados del lago Huillinco.

Respecto a la concentración de nutrientes en la columna de agua, las menores concentraciones de fósforo total se produjeron en la superficie aumentando hacia la profundidad, así mismo ocurrió con el ortofosfato, esta tendencia se observó tanto en las estaciones control que poseen mayor profundidad como en los centros más someros. La concentración superficial de fósforo total se mantuvo en torno a los 0,010 mg/L y bajo los 20 m de profundidad los valores obtenidos estuvieron mayoritariamente sobre 0,040 mg/L (Figura 42). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluidos de las figuras y tablas siguientes.

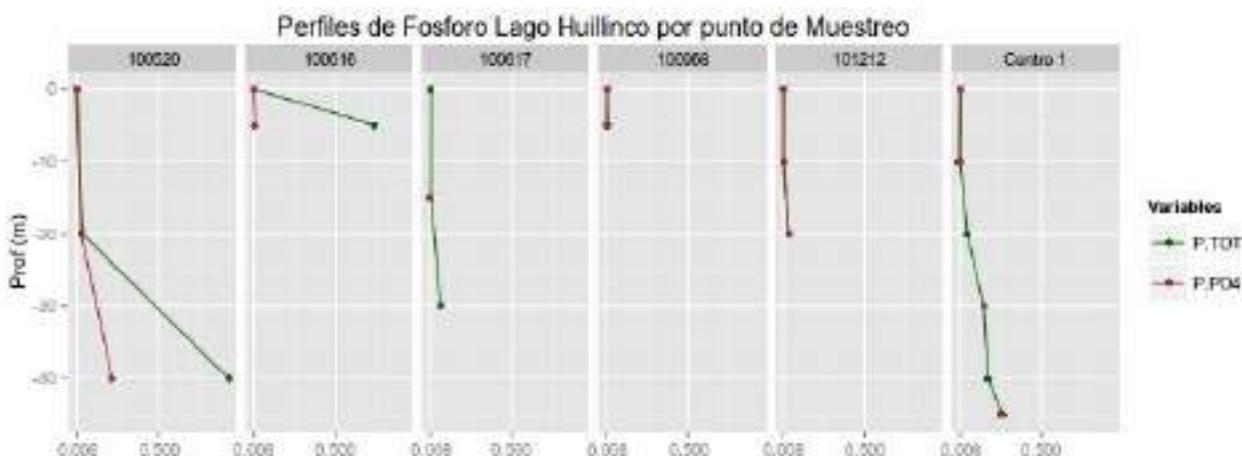


Figura 42. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en los centros analizados del lago Huillinco.

Para el nitrógeno total se observó una tendencia al aumento hacia el fondo, en todas las estaciones de muestreo (Figura 43). De los compuestos nitrogenados disueltos el más abundante fue el nitrato entre 0,02 y 0,1 mg/L. Las concentraciones de amonio registradas estuvieron bajo los 0,02 mg/L. El amonio presentó mayoritariamente valores bajos, por lo que los resultados fueron graficados y presentados solamente en la Tabla 71 en el ANEXO 1.

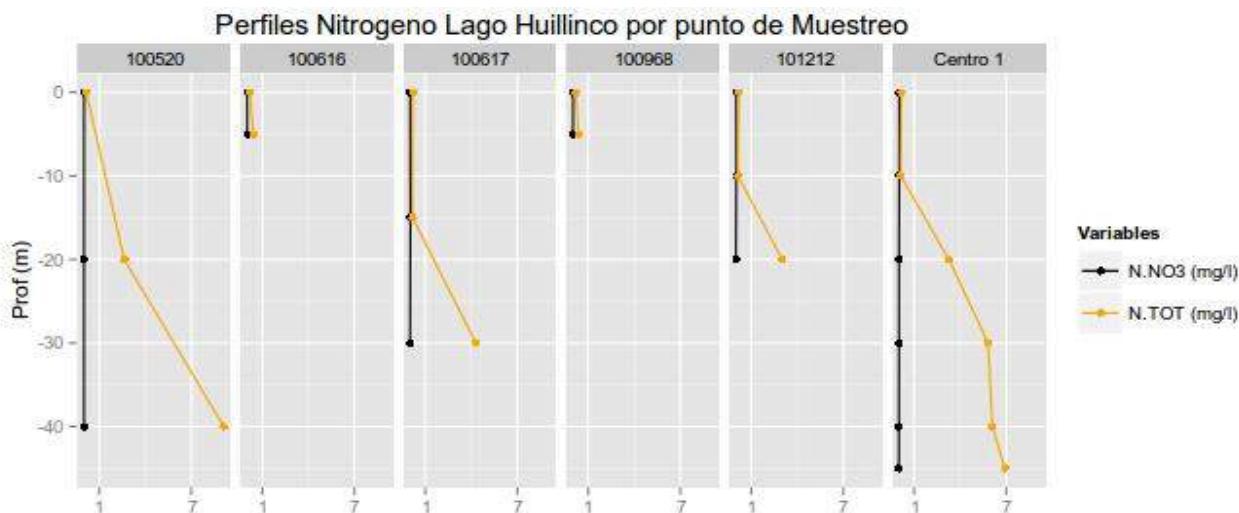


Figura 43. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L, y NT en mg/L) en los centros analizados del lago Huillinco.



La Transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 1,5 y 2,5 m (Tabla 8).

Tabla 8.
Lago Huillinco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
100520	40	1,5
100616	5,2	1,5
100617	28	1,6
100968	7,4	2
101212	23	2,5
C1	46	1,8

b) Análisis de parámetros biológicos

Durante el invierno de 2014, la composición fitoplancónica del lago Huillinco registró 11 géneros de microalgas: 9 Diatomeas y 2 Clorofíceas (Tabla 44 en ANEXO 1). Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas 100% en todas las estaciones, las dos especies de clorofíceas registradas en la muestra de fitoplancton cualitativo, no se encontraron en las muestras cuantitativas, por tanto sólo se registró su presencia y no su abundancia (Figura 44).

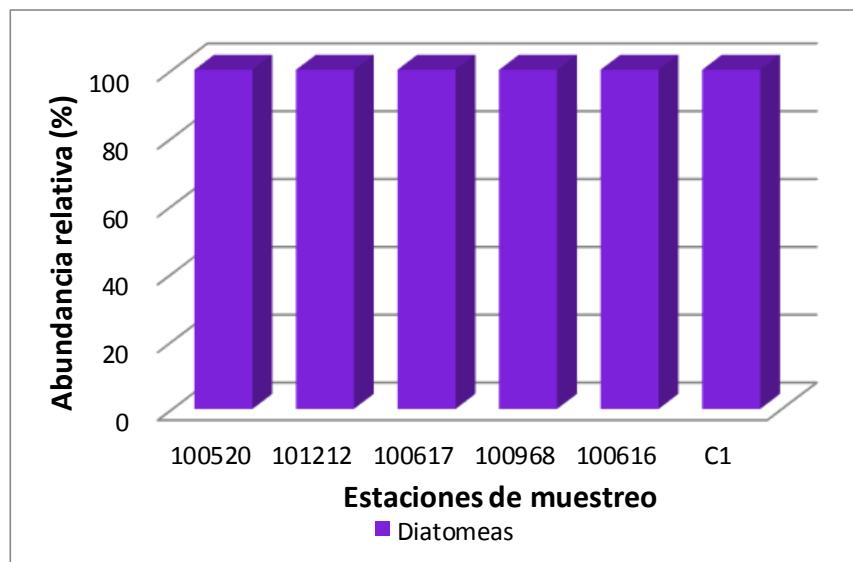


Figura 44. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Huillinco, durante el invierno de 2014.



La abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 850 y 24.968 cél/L. Los mayores valores se registraron en la estación 100698 (Figura 45), exclusivamente compuesto de *Urosolenia* sp. No se registraron especies FAN.

Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Huillinco se registraron 4 especies: 3 de crustáceos Maxilipodos y 1 de crustáceos Brachiópodos. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 2 y 3 especies. La densidad por estación osciló entre 0,10 y 15,2 cel/L, registrándose el valor más alto en la estación 100968 (Tabla 9).

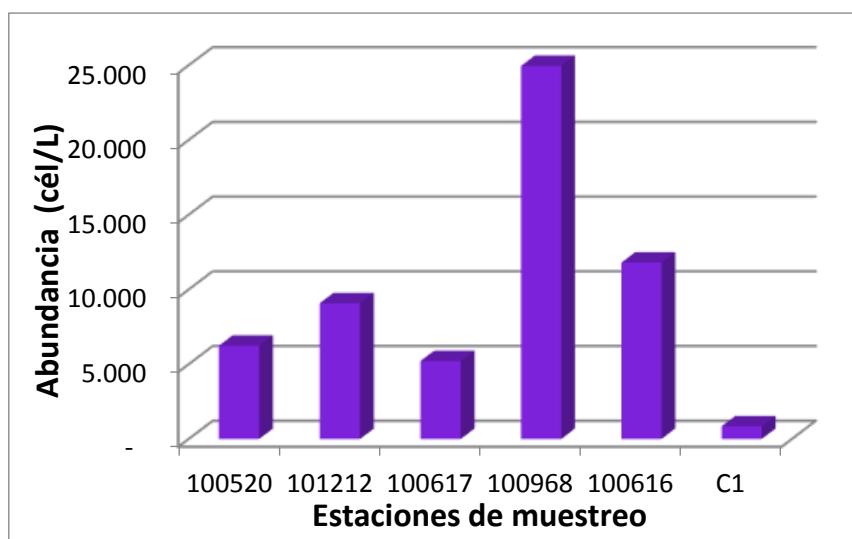


Figura 45. Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Huillinco, durante el invierno de 2014.

Tabla 9.
Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco en invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Huillinco					
	100616	100520	C1	100617	100968	101212
Crustaceal/ Maxilopoda						
<i>Boeckella gracilipes</i>	0,641	1,067	0,083	0,028	6,939	1,742
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0
copepoditos	0,537	0,984	0,131	0,026	2,817	1,904
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0	0,076	0,020	0,019	2,833	1,014
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0
copepoditos	0	0,036	0,026	0,025	2,691	0,665
<i>Attheyella</i> sp	0,003	0	0	0	0	0
Nauplius	0	0,059	0	0	0	0
Crustacea/ Brachiopoda						
<i>Bosmina logirostris</i>	0,008	0,001	0,002	0,003	0	0,002
Densidad Total	1,188	2,223	0,262	0,102	15,280	5,326
Riqueza de Taxa	3	3	3	3	2	3



c) Análisis fisicoquímicos del sedimento

En el lago Huillinco se muestrearon 5 sectores ubicados en las cercanías en donde alguna vez se realizó el cultivo de salmonidos (Centro 100520, Centro 100616, Centro 100617, Centro 100968 y Centro 101212). Sin embargo, estos centros se encuentran en estado de abandono, inclusive las instalaciones ya fueron desinstaladas y retiradas.

Del análisis granulométrico (Tabla 45 en ANEXO 1), se desprende que en la Estación 100520, el fango es la fracción sedimentaria que domina en todas las estaciones (77,81% en estación 1; 32,13% en estación 2 y 54,92% en estación 3). En el Centro 100616, predomina la arena muy fina en la estación 1 (32,23%), mientras que en la estación 2 el fango (52,48%), y en estación 3 la arena media (38,38%). En el Centro 100617, la fracción que registró los mayores aportes fue el fango en todas las estaciones (69,41% en estación 1; 73,97% en estación 2, y 64,72% en estación 3). En el caso del Centro 100968, específicamente en la estación 1, los principales aportes están dados por la arena fina (38,88%) y arena muy fina (37,90%), mientras que en la estación 2 el fango (51,62%), y en la estación 3 arena muy fina (29,12%) y fango (27,46%). En el centro 101212, el fango predominó en todas las estaciones (33,72% en la estación 1; 56,88% en la estación 2, y 73,49% en la estación 3).

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 46), se observa que en todos los Centros la proporción de grava es escasa, llegando a algunos casos a ser nula. Los centros 100520, 100617 y 101212 se comportan de manera similar, presentándose en la mayoría de las muestras altos porcentajes de fango. En los Centros 100616 y 100968, la arena es la principal aportante (mayor a 50%).

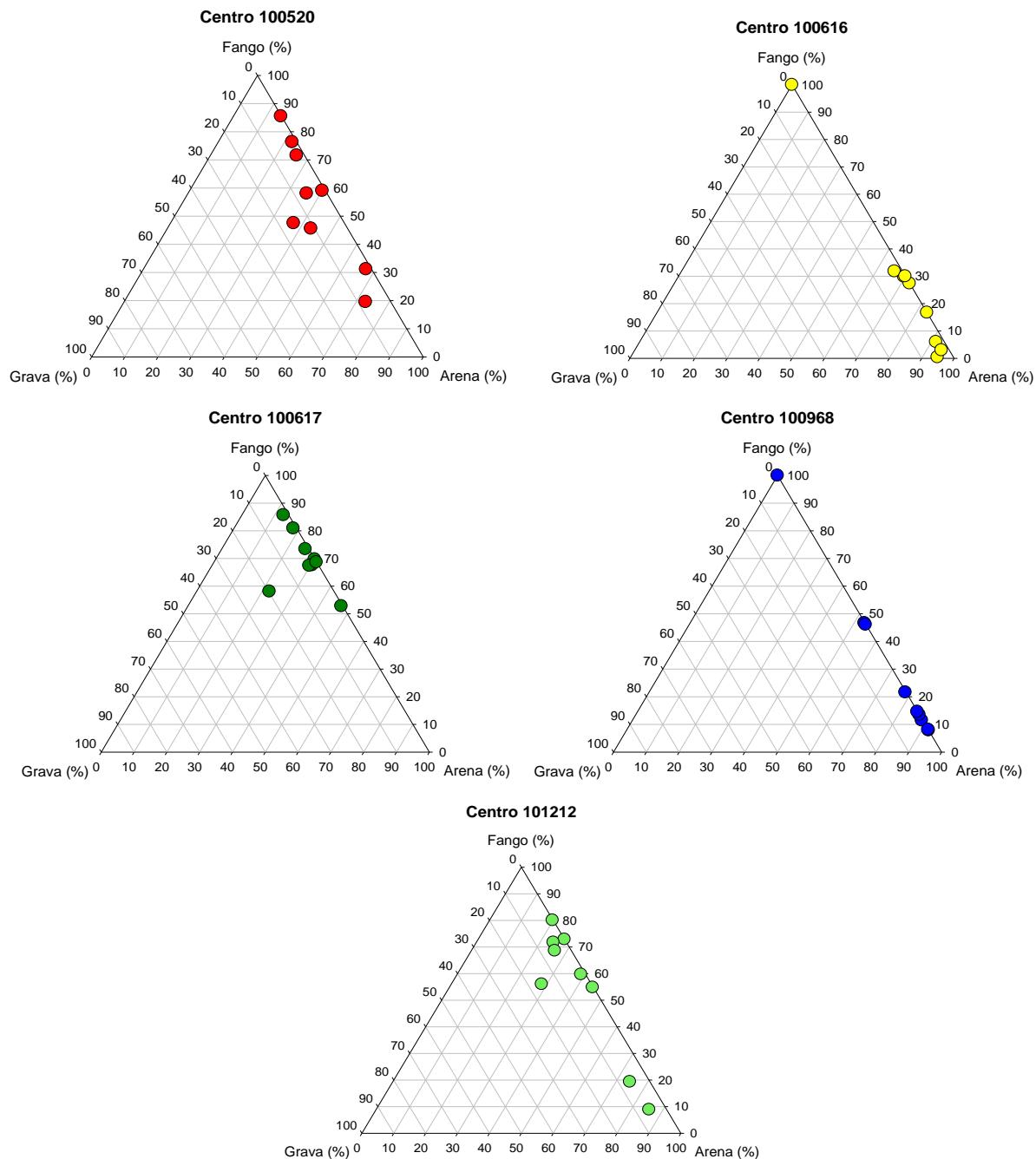


Figura 46. Lago Huillinco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Huillinco (Figura 47), se observó en general que el aporte proveniente de la grava es escaso o nulo. Por otro lado, un grupo de las muestras correspondientes a la mitad de las muestras presentan altos porcentajes de arena con un rango entre 65-96%, mientras que en la otra mitad de las muestras es el fango el predominante con valores superiores a 48% alcanzando incluso el 100%.

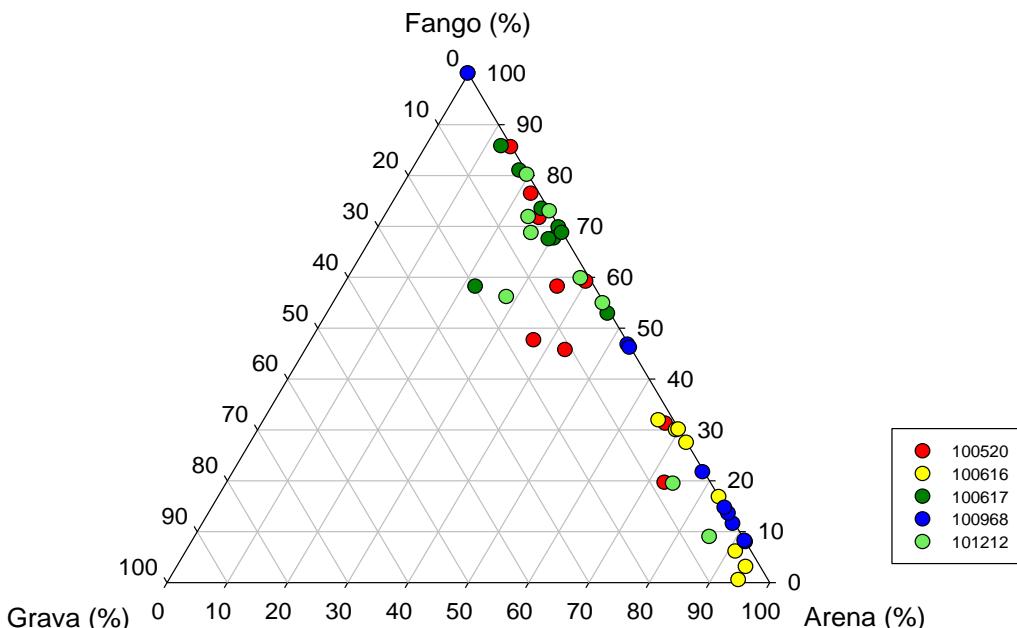


Figura 47. Lago Huillinco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Huillinco, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 46 en ANEXO 1, y en la Figura 48. En relación a los resultados de Materia orgánica, sólo dos estaciones que presentaron valores que se consideran dentro del límite de aceptabilidad (menor a 10%), correspondientes a la estación 2 (10%) y estación 3 (2,75%) del centro 100616. El resto de las estaciones presentaron elevados porcentajes de materia orgánica, alcanzando inclusive la estación 2 del centro 101212, 39,22%.

En relación al potencial redox, sólo 5 estaciones se encuentran dentro del límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV (estación 2 y 3 del centro 100616, estación 1 del centro 100617, y estación 1 y 2 del centro 100968). En el resto de las estaciones se registran valores que están fuera del límite de aceptabilidad, obteniéndose en la estación 3 del centro 101212 un valor de -124.67mV (Figura 48).

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 47 en ANEXO 1.

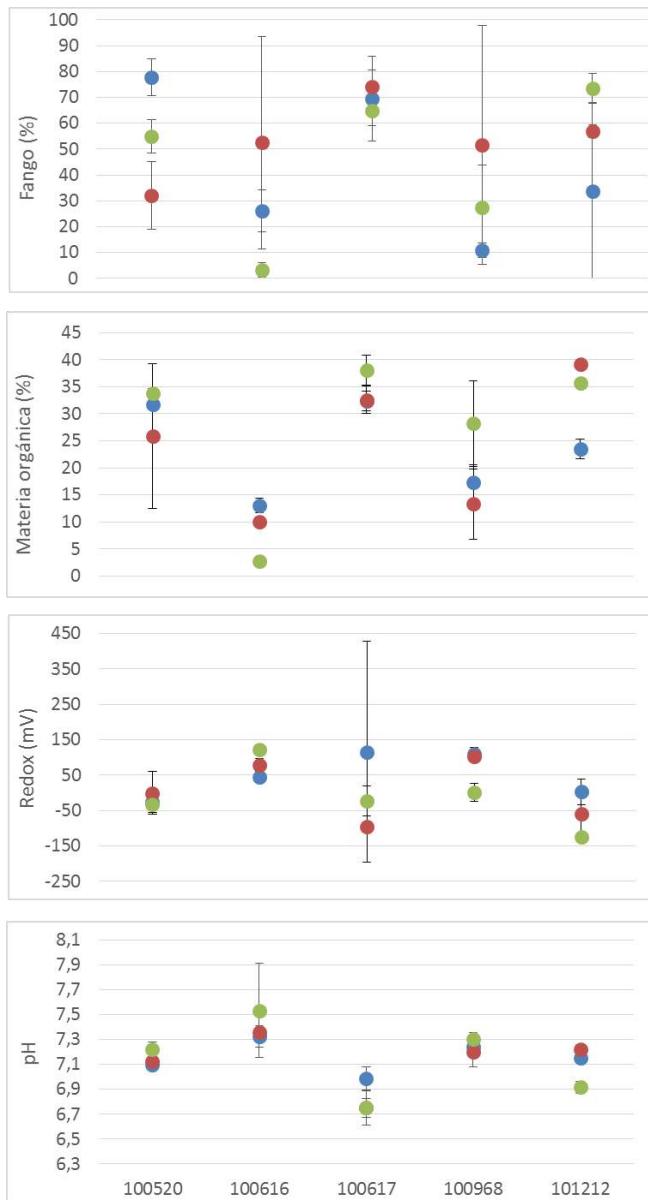


Figura 48. Lago Huillinco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.

d) Correntometría Lagrangeana

Se registraron corrientes promedios de 0,032 m/s, 0,031 m/s, y 0,038 m/s en los transectos A, B y C respectivamente. Se observó que en todos los transectos, las velocidades de las corrientes son mayores en superficie. En los transectos A y B se registraron en superficie corrientes de retorno, proveniente del nor-oeste a una velocidad de 0,1 a 0,15m/s. En el transecto C, las corrientes superficiales se movilizan mayormente a velocidades de 0,05 a 0,15 m/s con dirección al poniente. Las corrientes a mayor profundidad (7 m de profundidad) registraron menor velocidad de corrientes, con periodos de calma (<0,05m/s) mayores al 90% (Figuras 49).

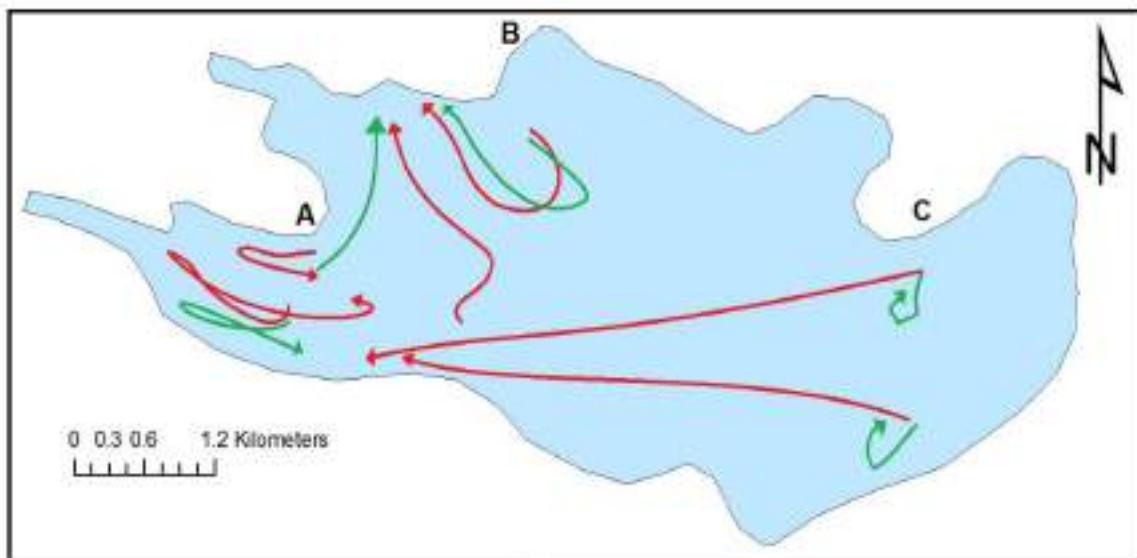


Figura 49. Mediciones de correntometría en el tramo A, B y C del lago Huillinco. Color verde= correntometría de profundidad, color rojo= correntometría de superficie.



6.2.5 Lago Tarahuín

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímico agua

En relación a la temperatura, no se registró una termoclina, obteniéndose valores homogéneos en la columna de agua, cercanos a 9°C en todos los centros. Se encontraron aguas bien oxigenadas, con valores entre 10mg/L y 12mg/L. En superficie los valores de oxígeno disuelto fueron levemente mayores que en profundidad, salvo en el Centro 1 en donde a 30 m de profundidad el oxígeno disuelto disminuyó drásticamente a 5 mg/L, así también la estación 100436 presentó una menor concentración de OD en el fondo, pero con valores sobre 8 mg/L a 1 m del fondo. (Figura 50) (Tabla 72 en ANEXO 1).



Figura 50. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Tarahuín.

Respecto a la concentración de nutrientes en la columna de agua, se registraron valores promedios de fósforo Total de 0,016 mg/L, 0,017 mg/L y 0,016 mg/L (Centro 1, 100436, y 100521 respectivamente). Las menores concentraciones de fósforo total se produjeron en general en superficie aumentando hacia la profundidad (Figura 51). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluidos de las figuras y tablas siguientes.

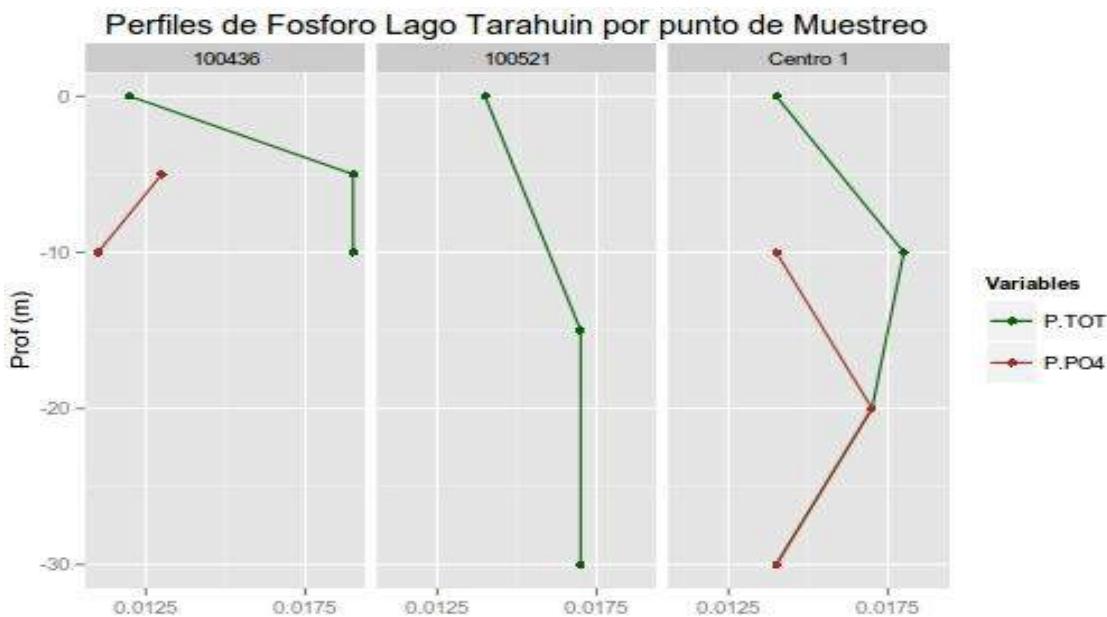


Figura 51. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en los centros analizados en el lago Tarahuín.

El nitrógeno total, específicamente en el Centro 100436, tendió a aumentar a mayor profundidad, mientras que en el Centro 1 ocurre inversamente (disminuye el NT a mayor profundidad). En el centro 100521, los mayores valores se registraron en superficie y fondo (0,250 mg/L a 30 m de profundidad) (Figura 52). De los compuestos nitrogenados disueltos el más abundante fue el nitrato entre 0,081 mg/L, 0,055 mg/L, y 0,057 mg/L (Centro 1, 100436 y 100521 respectivamente). Las concentraciones de amonio registradas estuvieron bajo los 0,02 mg/L, por lo que estos resultados se muestran solamente en la Tabla 72 del ANEXO 1.

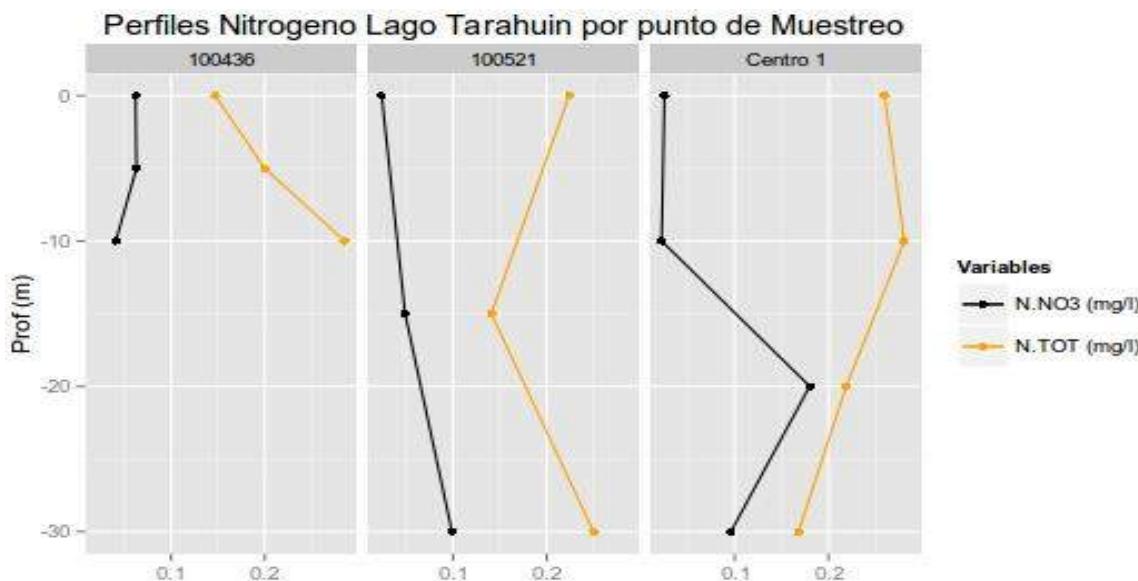


Figura 52. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) en los centros analizados en el lago Tarahuín.

La Transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 5 y 4 m (Tabla 10).

Tabla 10.
Lago Tarahuín. Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
Control 1	32	5
100521	32	5
100436	35,6	4

b) Análisis de parámetros biológicos

Durante el invierno de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Tarahuín registró 17 géneros de microalgas: 9 Diatomeas, 5 Cloroficeas, 1 Cianoficea, 1 Criptoficea, 1 Dinoficea (Tabla 48 en ANEXO 1). Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas 17 y 77%, Dinoficeas entre 0 y 4%, Cianoficeas entre 22 y 79% (Figura 53).

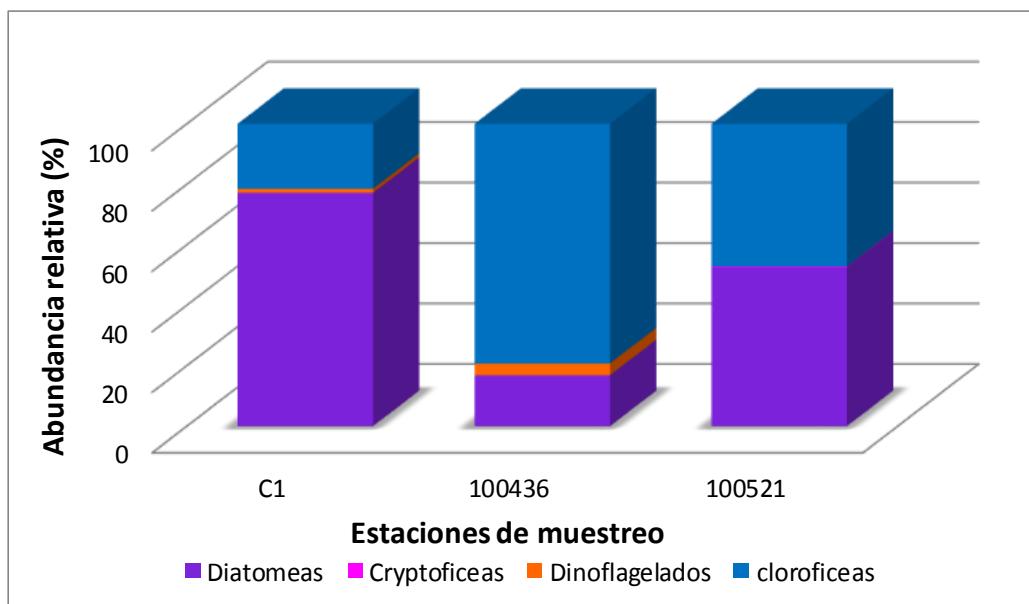


Figura 53. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Tarahuín, durante el invierno de 2014.

La abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 333.887 y 704.934 cel/L. Los mayores valores se registraron en la estación 100521 (Figura 54), compuesto por *Aulacoseira spp* y *Fragillaria crotensis* mayoritariamente. No se registraron especies FAN.

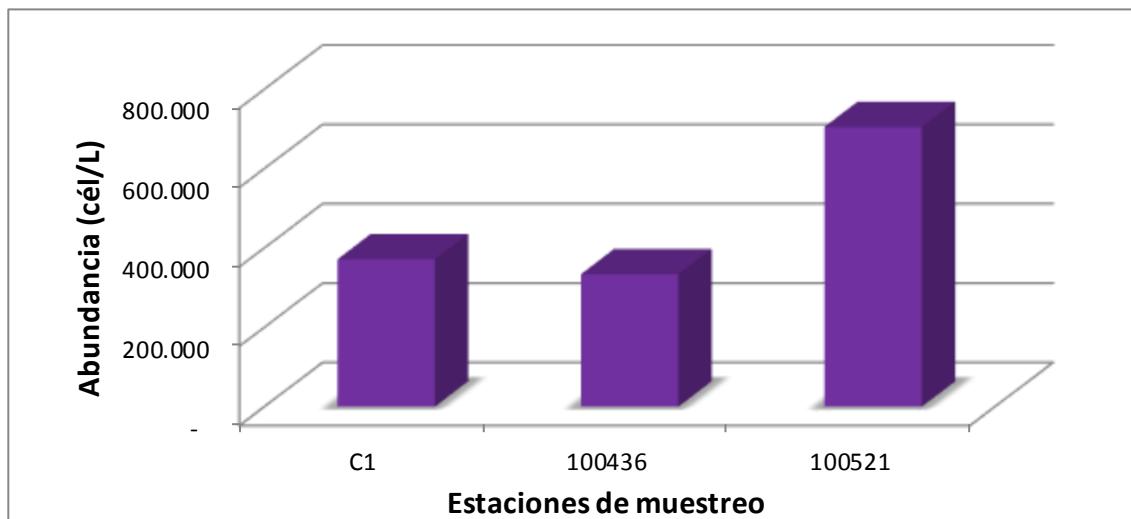


Figura 54. Abundancia fitoplancónica (cel/L) en las estaciones de muestreo del lago Tarahuín, durante el invierno de 2014.



Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Tarahuín se registraron 6 especies, 4 de crustáceos Maxilipodos y 2 de crustáceos Brachiópodos. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 3 y 5 especies. La densidad por estación osciló entre 0,62 y 2,41 cél/L, registrándose el valor más alto en la estación 100521 (Tabla 11).

Tabla 11.

Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuín en invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Tarahuín		
	C1	100436	100521
Crustacea/ Maxilopoda			
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,055	0,104	0,619
♀con huevos	0,001	0,022	0,044
copepoditos	0,011	0,443	1,232
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,044	0,003	0,022
♀con huevos	0	0	0
copepoditos	0,011	0,001	0
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0,001	0	0
♀con huevos	0	0	0
copepoditos	0	0	0
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0,011
Nauplius	0,033	0	0
Crustacea/ Brachiopoda			
<i>Diaphanosoma sp</i>	0,001	0	0
<i>Bosmina hagmani</i>	0,471	0,334	0,564
Densidad Total	0,628	0,907	2,491
Riqueza de Taxa	5	3	4

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Tarahuín se muestrearon 2 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, tales como los Centros 100521 y 100436. En la Tabla 49 en ANEXO 1 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto se observa que en el Centro 100521, específicamente en la Estación 1, la arena media domina con un 56,24%. En tanto, en las estaciones 1 y 2, predomina ampliamente el fango con 68,44 y 99,19% respectivamente. En el Centro 100436, en la estación 1 la arena media es la principal aportante con un 40,81%, mientras que en la estación 2 y 3 el fango domina con un 94,11 y 67,27% respectivamente.

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 55), se observa que las muestras del Centro 100436 están compuestas mayormente de fango (> 46%), a excepción de tres muestras con altos porcentajes de arena (> 78%). En el centro 100521, la mitad de las muestras presentan altos porcentajes de fango, con porcentajes cercanos al 99%, mientras que en la otra mitad se observa altos porcentajes de arena, con porcentajes cercanos también al 99%.

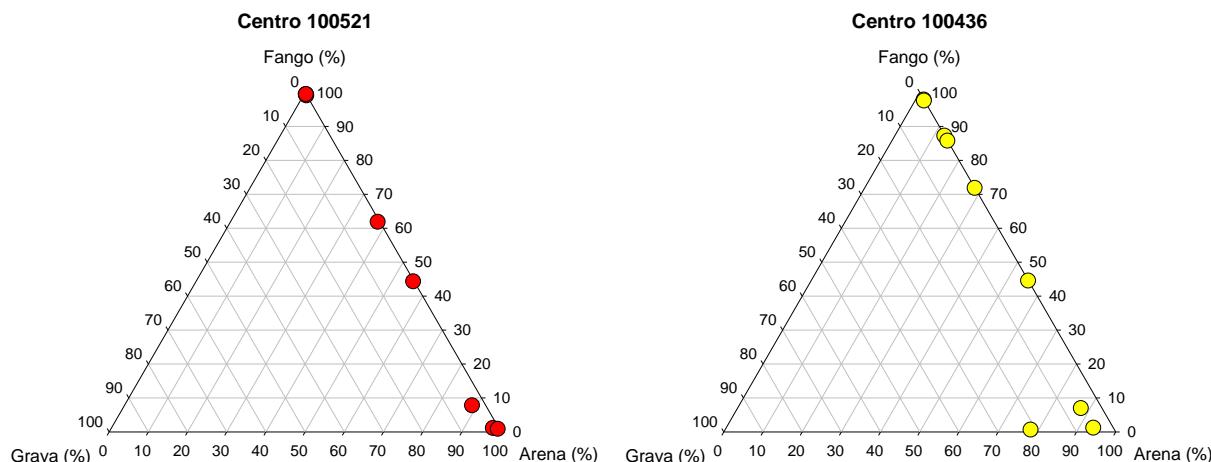


Figura 55. Lago Tarahuín: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Tarahuín (Figura 56), se observó que una parte de las muestras tienden a presentar altos porcentajes de fango, mientras que en las restantes la arena predomina. La componente grava es escasa o nula en los centros analizados del lago Tarahuín.

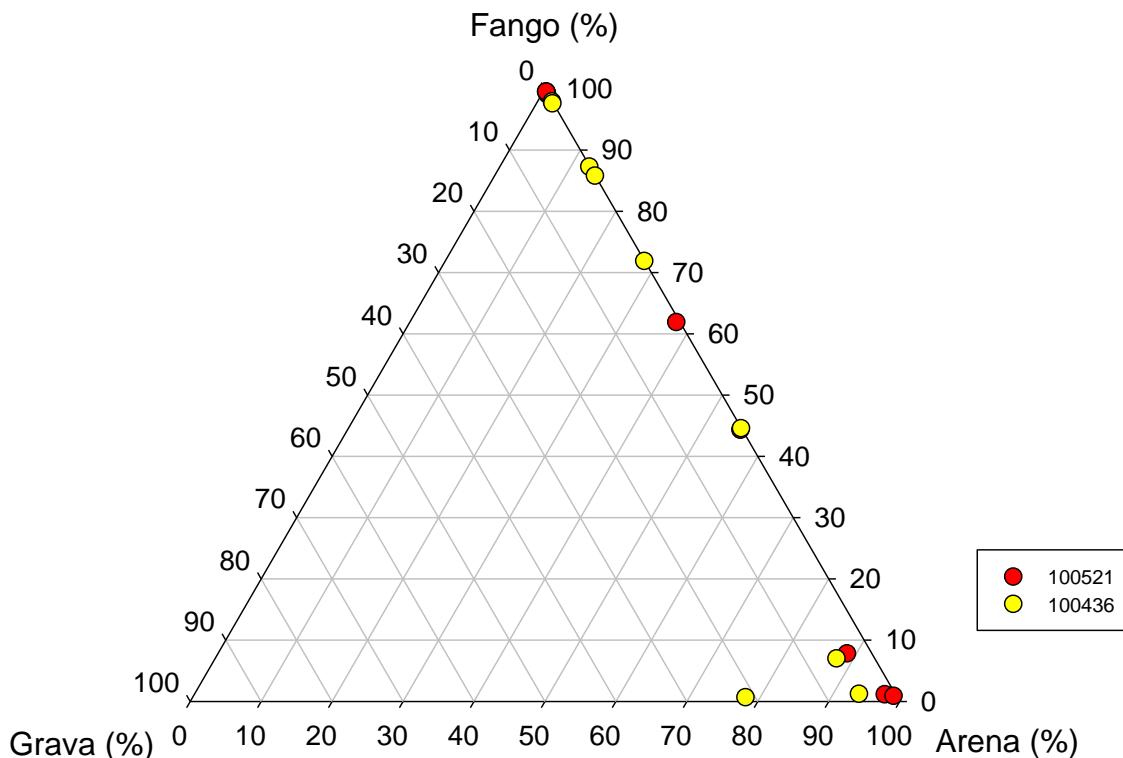


Figura 56. Gráfico de triángulo para clasificación de textura del lago Tarahuín (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Tarahuín, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 50 en ANEXO 1 y en la Figura 57. En relación a los resultados de materia orgánica, todas las estaciones que presentaron valores mayores a 10%, con porcentajes de hasta 31,66%, a excepción de dos estaciones de muestreo (estación 1 del centro 1 y centro 2) con valores de 2,11% y 1,79% respectivamente.

En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad de Eh edox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. En cuanto al pH, en general presentan valores dentro del límite de aceptabilidad ($\geq 7,1$), a excepción de la estación 2 y 3 del Centro 2 con valores de 7,05 y 7,02 respectivamente (Figura 57).

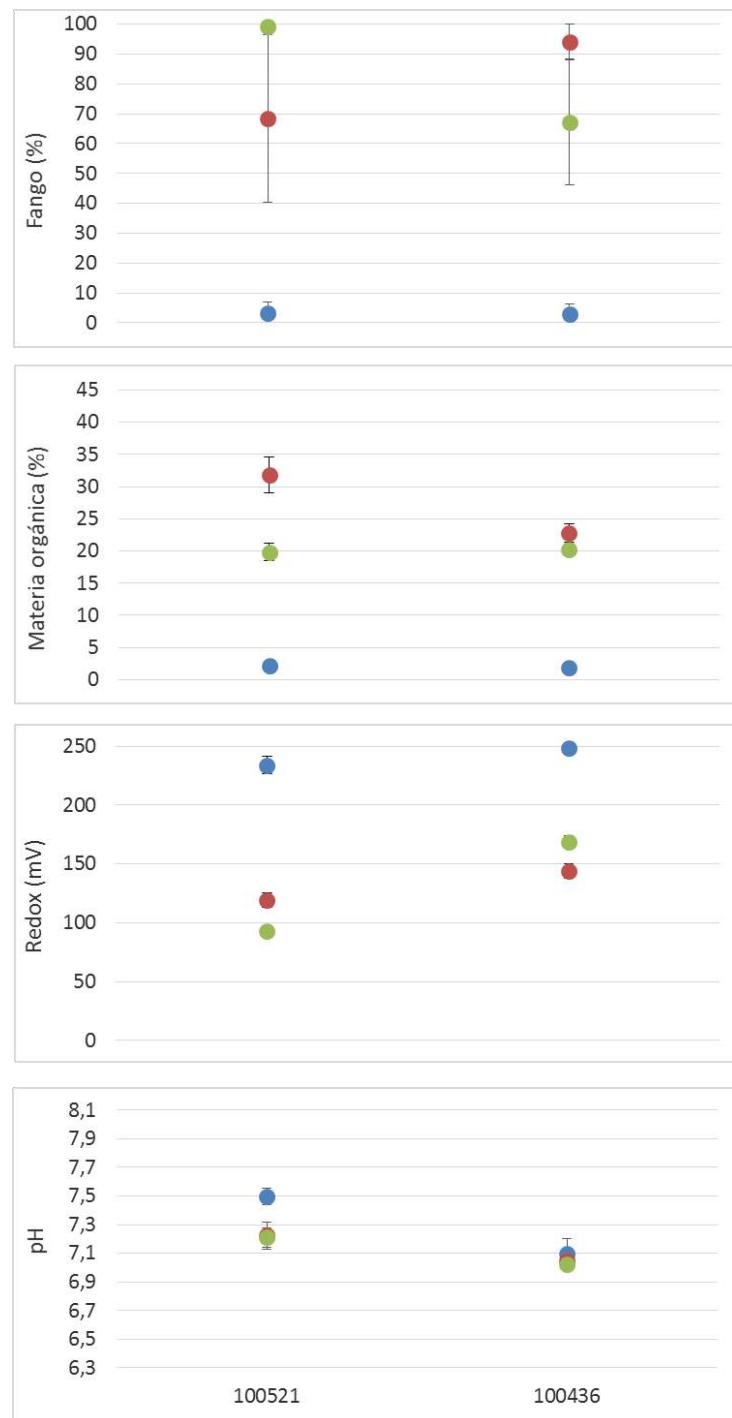


Figura 57. Lago Tarahuín: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo.

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 52 en ANEXO 1.

d) Correntometría Lagrangeana

Respecto a la correntometría lagrangeana, en el lago Tarahuín se registraron corrientes promedios de 0,026 m/s, 0,042 m/s, y 0,015 m/s en los transectos A, B y C respectivamente. En general (transecto A y B), la velocidad de la corriente es mayor en superficie. La velocidad de la corriente en el transecto C tiende a la homogeneidad en la columna de agua. Respecto a la dirección de la corriente, ésta fue similar entre derivadores instalados en la misma bahía y a distintas profundidades (transecto C y D), dirigiéndose la corriente hacia el sur. La corriente del transecto B se moviliza hacia el sur-oeste, mientras que el transecto A mayoritariamente hacia el oeste (Figura 58).

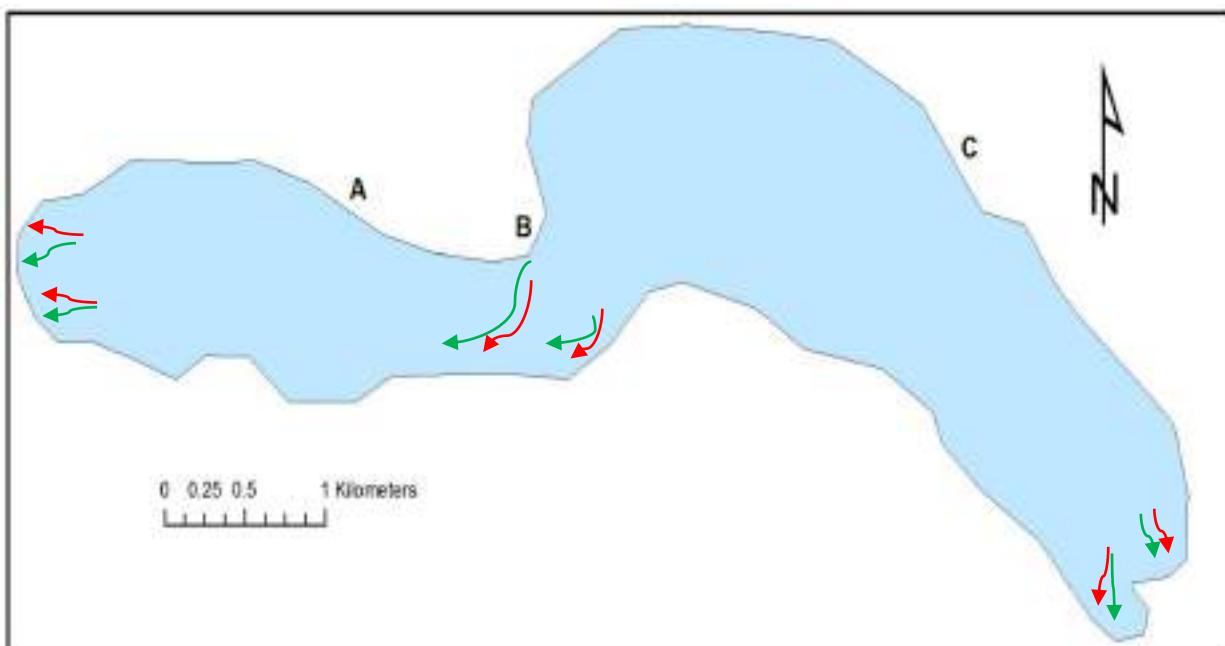


Figura 58. Mediciones de correntometría en el tramo A y B del lago Tarahuín. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.



6.2.6 Lago Cucao

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

Se observó estratificación química, en todas las estaciones con más de 10 m de profundidad. La columna de agua presentó picnoclina con una conductividad entre de 0,3 a 0,6 mS/cm en superficie y mayor a 20 mS/cm desde los 10 m de profundidad hasta el fondo (Figura 59). La temperatura del agua fue aumentando hacia el fondo, registrándose valores superficiales en torno a los 10°C y en el fondo de 12°C. Sólo en la estación más somera (E3) no se registró estratificación química, pero sí se observó un aumento de la conductividad hacia el fondo. Se observaron buenas condiciones de oxigenación en toda la columna del agua. La concentración de oxígeno disuelto bordeó los 11 mg/L en superficie y descendió a 9 mg/L en profundidad (Figura 59, y Tabla 73 en ANEXO 1).

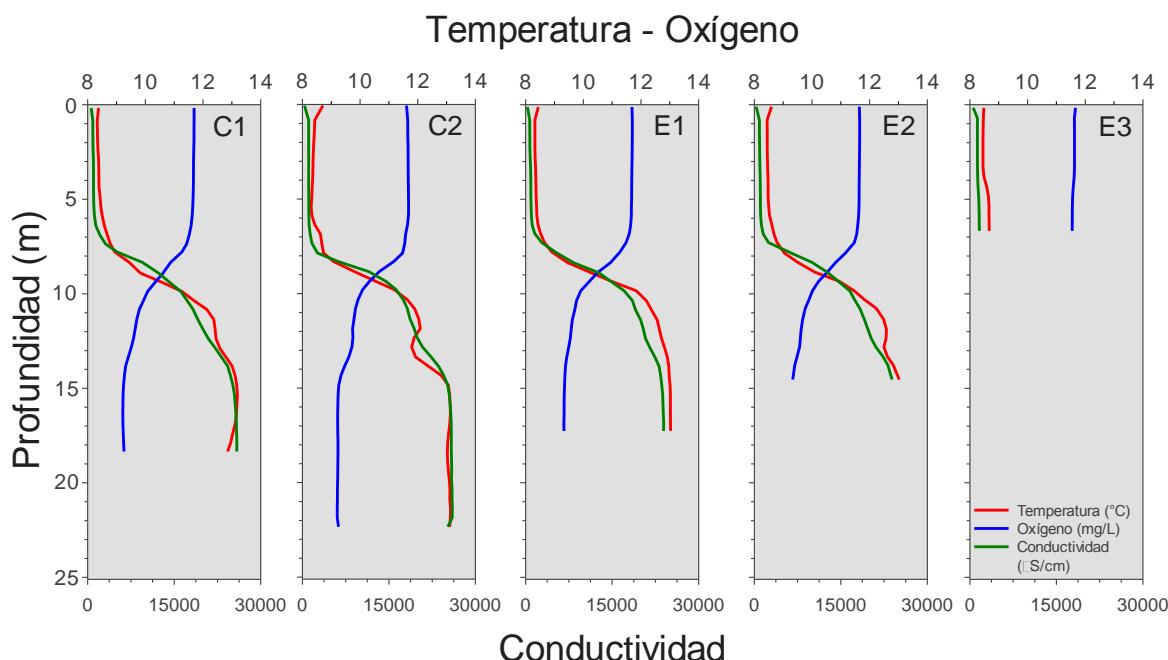


Figura 59. Perfiles físico-químicos (conductividad en mS/cm, oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua en las estaciones analizadas del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).

Respecto al fósforo total en la columna de agua, se observó en las estaciones control una leve tendencia el aumento de la concentración hacia lo profundo y luego volvió a disminuir, encontraron valores de fósforo total en torno a los 0,004 y 0,215 mg/L (Figura 60). Aun cuando el rango fue amplio, el dato más elevado de fósforo total concordó con un aumento de nitrógeno total y de concentración de clorofila a. Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluídos de las figuras y tablas siguientes.

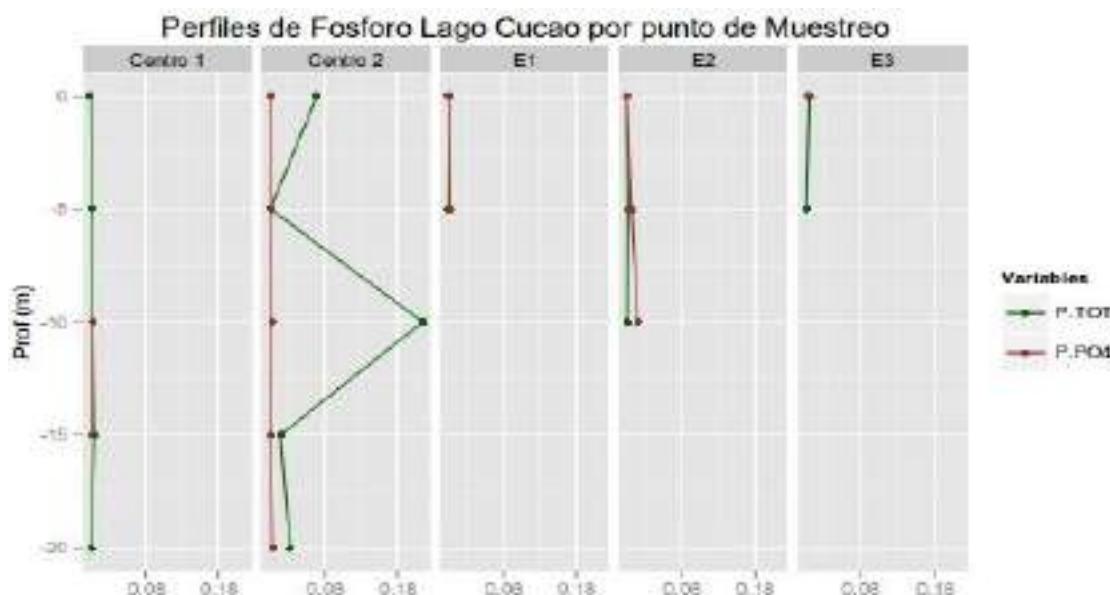


Figura 60. Perfiles de ortofosfato ($P-PO_4$ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) en la columna de agua en los centros analizados del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).

Respecto al nitrógeno total en la columna de agua, se observó en las estaciones control una leve tendencia el aumento de la concentración hacia los estratos más profundos, los niveles de nitrógeno total entre fluctuaron entre 0,154 mg/L y 0,944 mg/L (Figura 61). Los niveles de amonio fueron mayoritariamente bajos, valores que se documentan en la Tabla 73 del ANEXO 1.

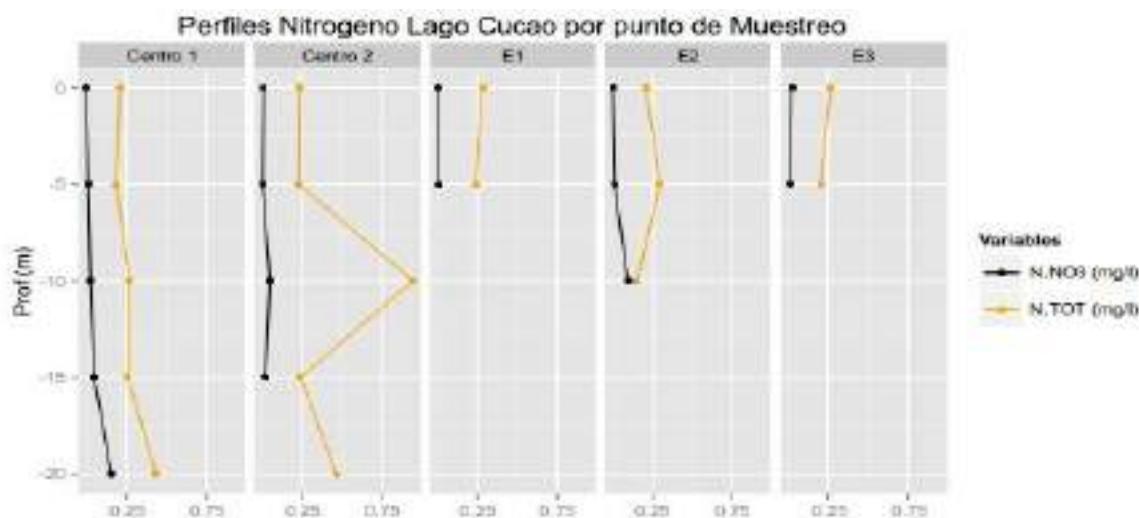


Figura 61. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Cucao (E1 corresponde a la concesión 100618).

La transparencia (disco de Secchi) se mantuvo en todas las estaciones en 2 m (Tabla 12).

Tabla 12.
Lago Cucao: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
Estación 1	16	2
Estación 2	14	2
Estación 3	6	2
C1	20	2
C2	20	2



b) Análisis de parámetros biológicos

Durante el invierno de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Cucao registró 9 géneros de microalgas: 8 Diatomeas y 1 Clorofíceas (Tabla 52 en ANEXO 1). No se registraron especies FAN. Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas 100%, las Clorofíceas estuvieron representadas por el género *Staurastrum*, exclusivamente en las muestras cualitativas, no registrándose en los análisis cuantitativos (Figura 62).

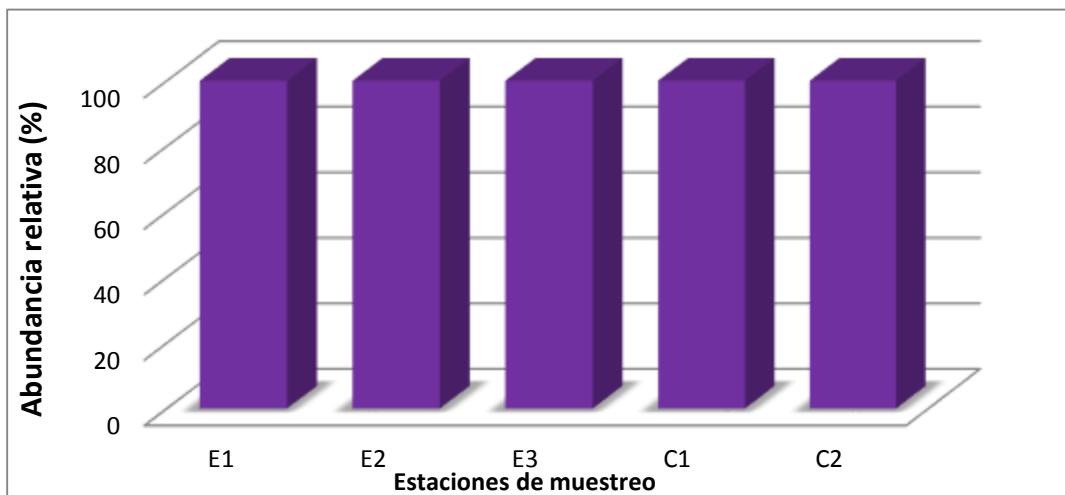


Figura 62. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Cucao, durante el invierno de 2014.

La abundancia fitoplancótica fluctuó entre 1.498 y 9.987 cél/L. Los mayores valores se registraron en la estación E1, E3 y C2 (Figura 63).

Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Cucao se registraron 6 especies, 3 de crustáceos Maxiliipodos, 2 de crustáceos Brachiópodos y 1 Rotífero Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 2 y 3 especies. La densidad por estación osciló entre 0,11 y 4,84 cél/L, registrándose el valor más alto en la estación E2 (Tabla 13).

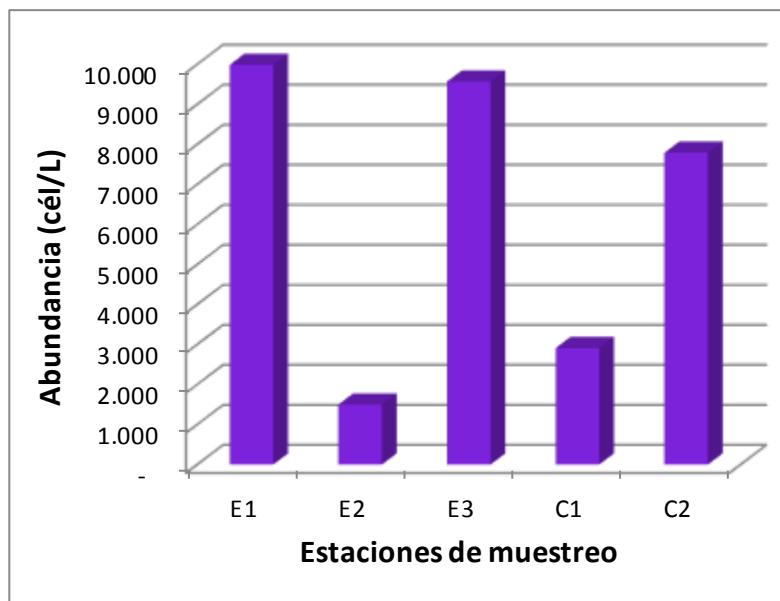


Figura 63. Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Cucao, durante el invierno de 2014.

Tabla 13.
Abundancia de microcrustáceos en el lago Cucao en invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Cucao				
	C1	C2	E1	E2	E3
Crustacea/ Maxilopoda					
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,134	0,025	0,250	2,124	0,007
♀ con huevos	0	0	0	0,004	0
copepoditos	0,131	0,047	0,375	2,703	0,007
<i>Mesocyclops sp.</i>	0	0,002	0	0	0
♀ con huevos	0	0	0	0	0
copepoditos	0	0,004	0	0	0,005
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0	0
Nauplius	0,004	0,010	0	0	0
Crustacea/ Brachiopoda					
<i>Daphnia pulex</i>	0	0	0	0	0,007
<i>Bosmina hagmani</i>	0,019	0,029	0,015	0,012	0
Rotifera/ Monogononta					
<i>Filinia longisetata</i>	0,001	0	0	0	0
Densidad Total	0,290	0,117	0,641	4,844	0,025
Riqueza de Taxa	3	3	2	3	3



c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Cucao se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías en donde alguna vez se realizaron cultivo de salmónidos (Centro 1, Centro 2 y Centro 3). Sin embargo, estos centros se encuentran en estado de abandono, inclusive las instalaciones ya fueron desinstaladas y retiradas.

Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la Tabla 53 en ANEXO 1. Al respecto, en el Centro 1, en las estaciones 1 y 2, el fango representa el mayor aporte de la fracción sedimentaria con un 64,82 y 30,87% respectivamente. En la Estación 3, la grava predomina con un 36,47%, seguido por el fango (32,42%). En el Centro 2, en todas las estaciones el mayor aporte a la fracción sedimentaria está dada por el fango (48,12 % en la estación 1, 59,80% en la estación 2 y 45,61% en la Estación 3). En el centro 3, el fango es la fracción predominante en la estación 2 (80,68%) y estación 3 (46,50%), mientras que en la estación 1 la arena fina domina con un 40,62%.

Al analizar los parámetros de textura por bahía (Figura 64), se observa que en el Centro 1, las muestras presentan valores mayores al 21% de fango, mientras que los rangos de distribución de la arena es de 12-50%, y de la grava 10-46%. En el centro 2, se observa que 50% de las muestras presentan valores de fango mayores a 60%, porcentajes de grava cercanos al 20% y aportes de arena entre 7 y 20%. El resto de las muestras tienden a menor porcentaje de fango (menor a 37%), aportes de arena entre 36 a 85%, y un amplio rango de distribución de la grava (0-54%). En la estación 3, todas las muestras presentan porcentajes de fango entre 10% a 88%, una amplia distribución de fracción sedimentaria de la arena (5-88%), y porcentajes de grava de hasta 41%.

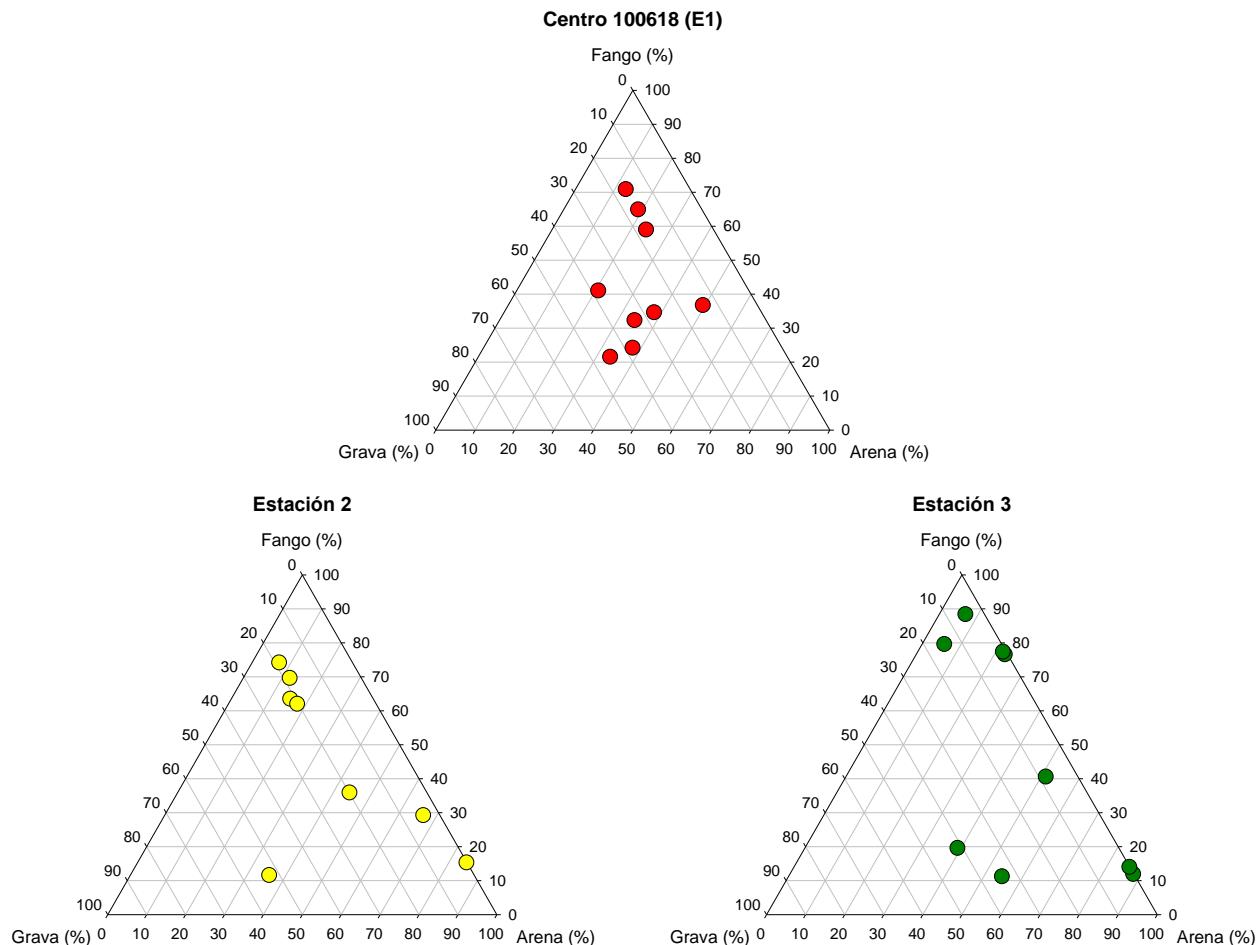


Figura 64. Lago Cucao: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

A partir del análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas (Figura 65), se observa una tendencia a la conformación de dos grupos: por un lado el grupo con porcentajes de fango que van desde el 11 al 42%, arena entre 21- 88%, y grava entre 0-54%. El segundo grupo presenta porcentajes de fango altos (mayor a 59%), porcentajes menores de grava (menores a 22%) y arena (menor a 22%).

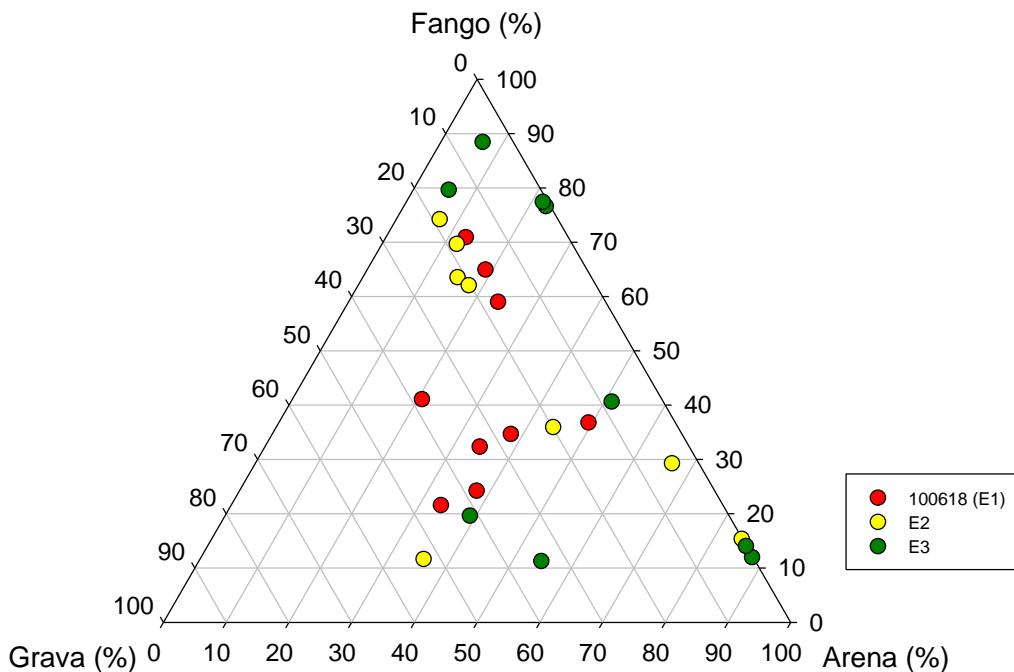


Figura 65. Lago Cucao: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a las concesiones de acuicultura otorgadas en el lago Cucao, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 54 en ANEXO 1, y en la Figura 66. En relación a los resultados de materia orgánica, la mayoría de las estaciones presentaron valores mayores a 10%, alcanzando incluso las estaciones 2 del centro 1 y centro 2, 36,42 y 36,23% respectivamente. Sólo la estación 1 y 2 del Centro 3 se encuentran dentro del límite de aceptabilidad.

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). El resto de las estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 55 en ANEXO 1.

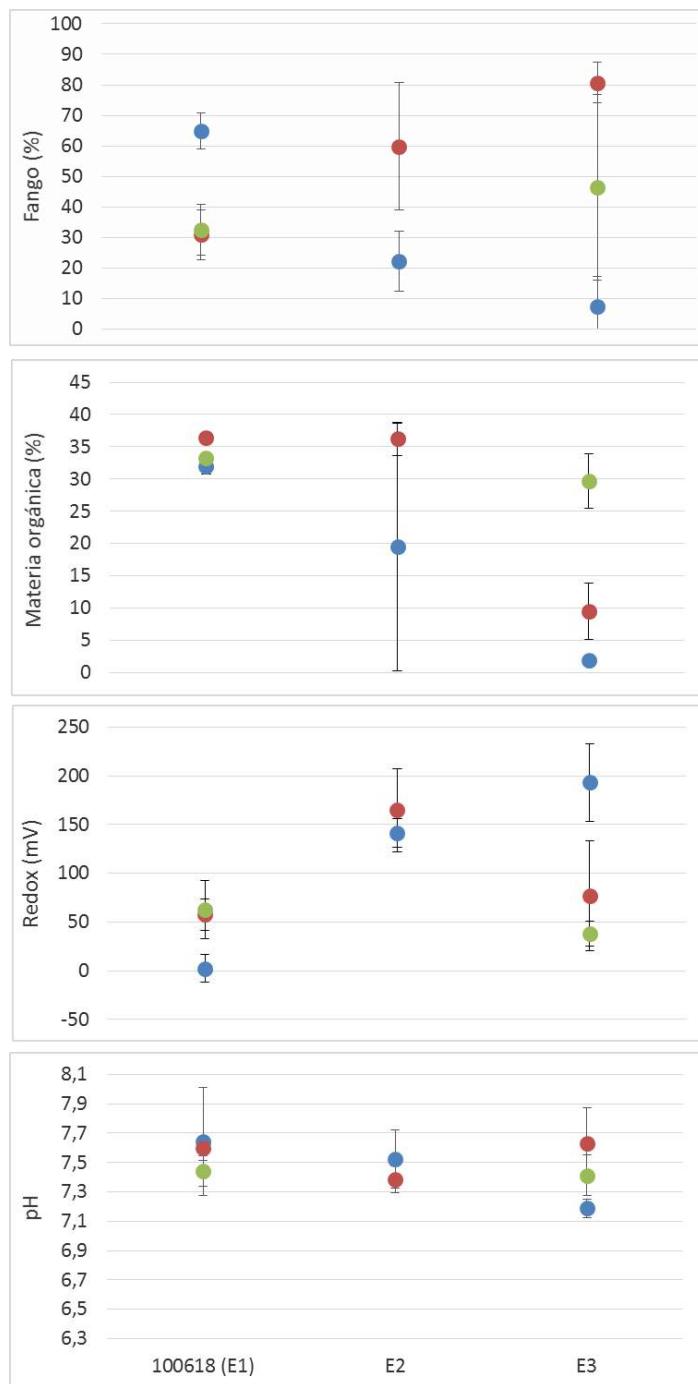


Figura 66. Lago Cucao: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 corresponde a la concesión 100618.



En relación al potencial redox, sólo la estación 1 del Centro 1 (2,33mV), y estación 3 del Centro 3 (38mV), presentaron valores bajo el límite de aceptabilidad considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. Los valores de ph se encuentran dentro del límite de aceptabilidad considerado por el CPS e INFA ($\geq 7,1$).

d) Correntometría Lagrangeana

En el lago Cucao se registraron corrientes promedios de 0,045 m/s, y 0,021 m/s en los transectos A, y B respectivamente. En el transecto A se registró una mayor velocidad de la corriente en superficie, a diferencia del transecto B, en donde las velocidades de las corrientes son similares en toda la columna de agua (0,020 m/s en superficie y 0,022 m/s a 7 m de profundidad). En el transecto A, en superficie predominan las velocidades del orden de 0,05 a 0,15 m/s, mientras que en profundidad los períodos de calma (velocidades menores a 0,05 m/s) sobrepasan el 95%. La dirección de la corriente predominante en este transecto proviene del norte. En tanto, en el transecto B, las velocidades de las corrientes en superficie como en profundidad, van desde los 0,05 a 0,1 m/s, con una orientación hacia el sur-este (Figuras 67).

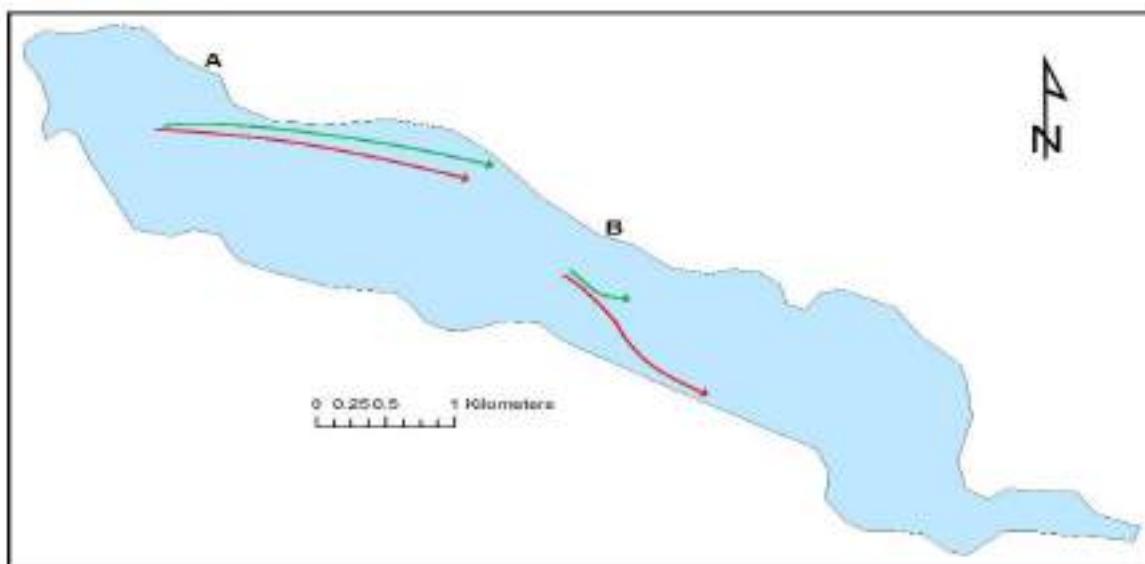


Figura 67. Mediciones de correntometría en los tramos A y B del lago Cucao. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.



6.2.7 Lago Ranco

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímico agua

En todos los sitios de control y centros se registraron diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo, la temperatura superficial fue cercana a los 14°C en sitios más someros (E2 y E3), y 13°C en sitios más profundos (Control 1, Control 2, y E1), disminuyendo en profundidad a 11°C (sitios someros), y a 10°C (sitios de mayor profundidad). La concentración de oxígeno disuelto, presentó una tendencia similar a la temperatura en las estaciones de mayor profundidad, observándose una disminución en la concentración en función de la profundidad, las diferencias entre superficie y fondo fueron leves, registrándose una columna de agua bien oxigenada, con valores de 8 a 11 mg/L (Figura 68, y Tabla 74 en ANEXO 1).



Figura 68. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco (E1 corresponde a la concesión 100978, y E2 a 101955).

Respecto a los nutrientes en la columna de agua, se observó una columna de agua bastante homogénea respecto de su concentración de fósforo total y ortofosfato, salvo en la estación 2 en donde se obtuvo un valor de 0,086 mg/L a 40 m de profundidad. La concentración de fósforo total fluctuó entre 0,004 y 0,086 mg/L (Figura 69). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluidos de las figuras y tablas siguientes.

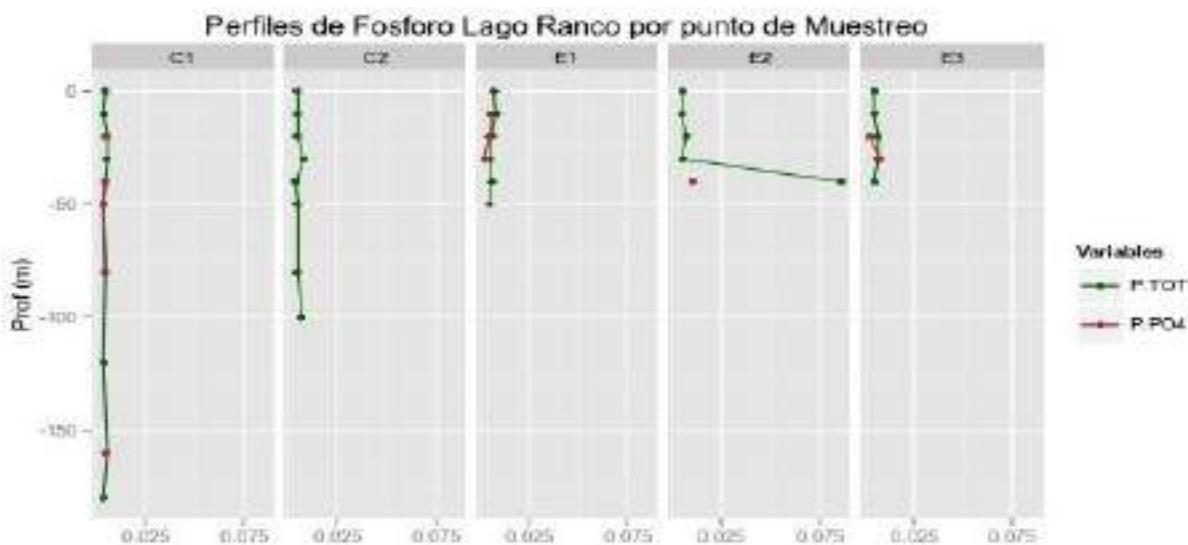


Figura 69. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco (E1 corresponde a la concesión 100978, y E2 a 101955).

Los compuestos nitrogenados en la columna de agua estuvieron representados principalmente por nitrógeno total y nitrato (Figura 70), mientras que las formas amonio y nitrito presentaron bajas concentraciones (Tabla 74 en ANEXO 1). La concentración de nitrógeno total fluctuó enormemente en la columna de agua en todas las estaciones estudiadas, registrándose el máximo valor promedio de 0,101 mg/L en el Control 2. Los valores de nitrógeno total oscilaron entre 0,030 y 0,174 mg/L (Figura 70).

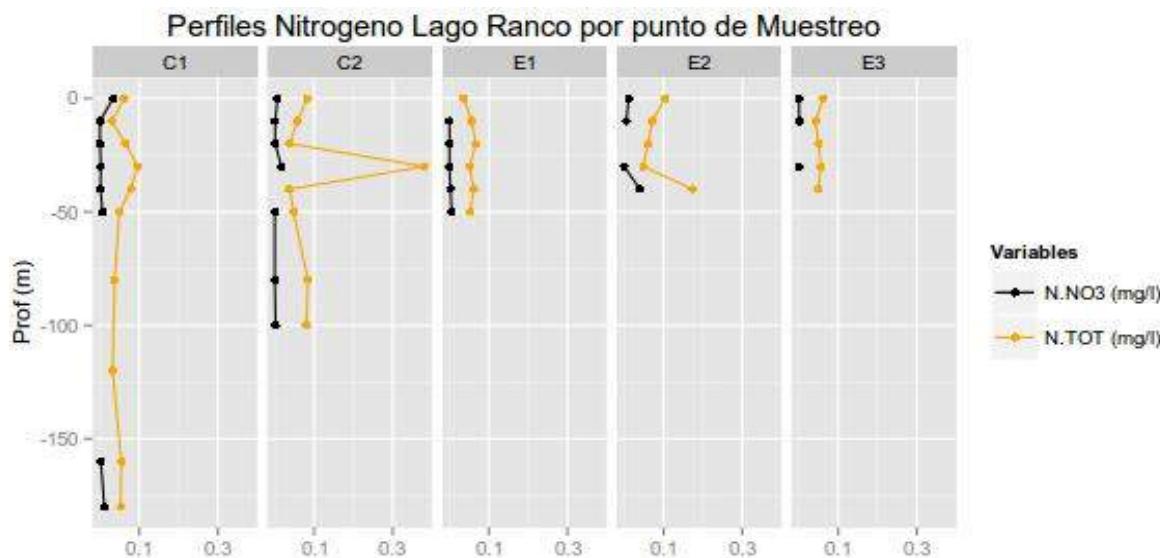


Figura 70. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados en el lago Ranco (E1 corresponde a la concesión 100978, y E2 a 101955).

La transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 8 y 9 m (Tabla 14).

Tabla 14.
Lago Ranco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
Control 1	180	8
Control 2	100	8
E1	55	8
E2	40	9
E3	40	8

b) Análisis de parámetros biológicos

Durante el primavera de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Ranco registró 34 géneros de microalgas: 20 Diatomeas, 10 Clorofíceas, 1 Crisofícea, 2 Dinofíceas y 1 Criptofícea (Tabla 56 en ANEXO 1).

Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 76,81 y 98,57%, Clorofíceas entre 0 y 0,9%, Dinofíceas entre 0 y 1,14%, Cryptoficeas entre 0 y 0,4 y Crisoficeas entre 0,86 y 22,51% (Figura 71).

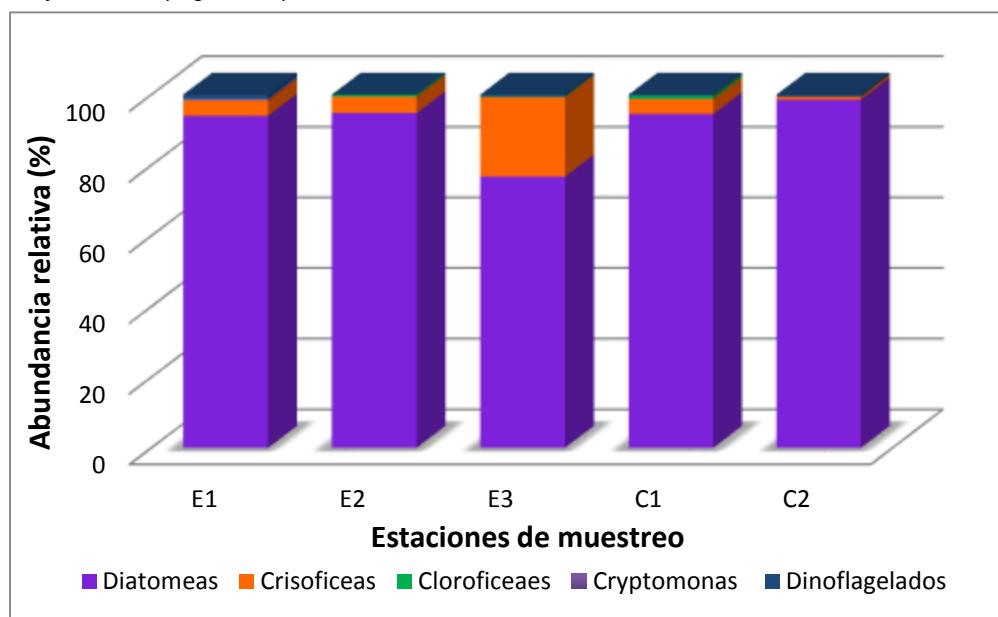


Figura 71. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Ranco, durante la primavera de 2014.

En el lago Ranco la abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 28.039 y 302.296 cél/L. Los mayores valores se registraron en la estación E2, seguido por E1 y E3 respectivamente, donde las grandes diatomeas *Aulacoseira spp* y *Melosira varians* fueron las especies más abundantes (Figura 72). Se registró *Ceratium hirundinella*, especie potencialmente nociva.

Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Puyehue se registraron 6 especies: 3 de crustáceos Maxilípodos, 2 de crustáceos Brachiópodos y 1 Rotífero Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 3 y 5 especies. La densidad por estación osciló entre 0,13 y 1,4 cel/L, registrándose el valor más alto en la estación C2 (Tabla 15).

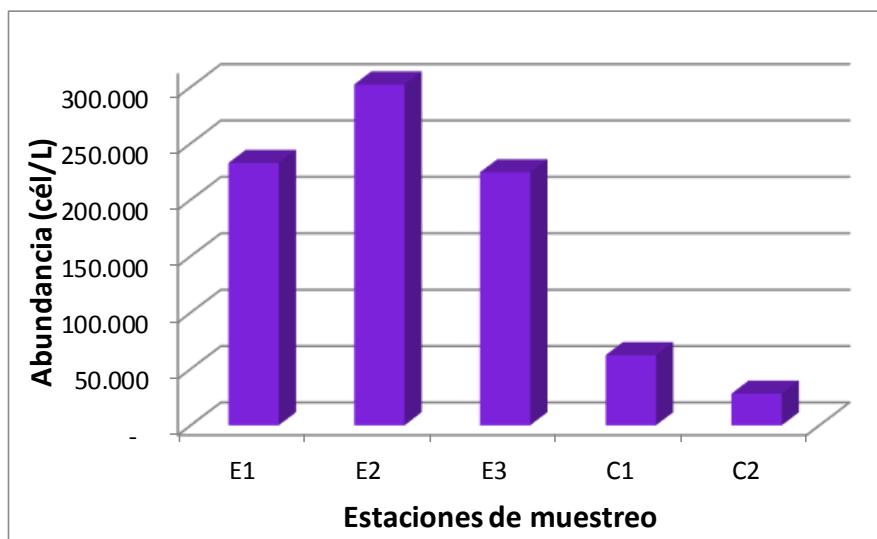


Figura 72. Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Ranco, durante la primavera de 2014.

Tabla 15.
Abundancia de microcrustáceos en el lago Ranco en primavera de 2014.

Especies / Estación	Lago Ranco				
	C1	C2	E1	E2	E3
Crustaceal Maxilopoda					
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,178	0,222	0,010	0,018	0,030
♀ con huevos	0	0	0	0	0
copepoditos	0,199	0,567	0,069	0,033	0,119
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,337	0,285	0,024	0,018	0,037
♀ con huevos	0	0	0	0	0
copepoditos	0,459	0,359	0,052	0,043	0,085
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0	0	0	0	0,004
♀ con huevos	0	0	0	0	0
copepoditos	0	0	0	0	0
Crustacea Brachiopoda					
<i>Bosmina chilensis</i>	0,001	0,001	0	0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>	0	0	0	0	0
Rotifera Monogononta					
<i>Filinia longiseta</i>	0	0,001	0,010	0,021	0,008
Densidad Total	1,175	1,435	0,165	0,132	0,284
Riqueza de Taxa	4	4	4	3	5



c) Análisis físico-químicos del sedimento

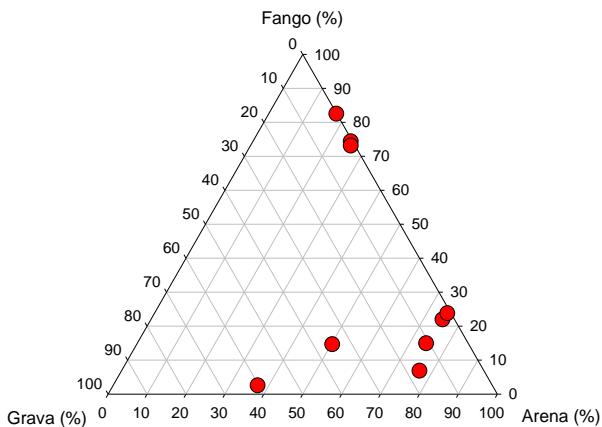
En el lago Ranco se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, denominadas Centro 1, Centro 2 y Centro 3.

En la Tabla 57 en ANEXO 1 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto, se observa que en el Centro 1, en la estación 1 el máximo aporte está dado por la grava con un 37,26%, mientras que en la estación 2 la arena fina domina con 27,72%, y en la estación 3 el fango con 76,55%. En el Centro 2, la máxima fracción sedimentaria está dada por la arena fina y muy fina (14,89 y 14,79%), mientras que en la estación 2 y 3 el fango domina sobre las muestras con un 38,91% y 57,85% respectivamente. En el centro 3, en todas las estaciones dominó el fango, alcanzando incluso un porcentaje de 94% en la estación 3.

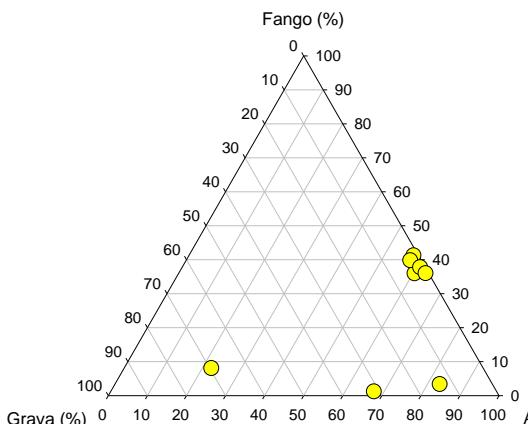
Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 73), se observó que en la mayoría de las muestras del estación 1 predomina la arena, a excepción de dos muestras con altos porcentajes de fango (>70%). En el Centro 2, gran parte de las muestras presentan valores de fango cercanos al 40%, y 60% de arena, a excepción de 2 muestras con altos porcentajes de arena (>68%), y una muestra con 69% de grava. En el Centro 3, el fango en las todas muestras es mayor al 35%, arena menor a 65%, y grava menor al 15%.

Del análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas (Figura 74) se observó una tendencia a la conformación de dos grupos: un grupo con predominancia de arena (>50%) sobre el fango (< 50%), mientras que el otro grupo se comportó de manera inversa, es decir dominó el fango sobre la arena. Se registraron sólo dos muestras con altos valores de grava (60 y 69% respectivamente).

Centro 100978 (E1)



Centro 101955 (E2)



Estación 3

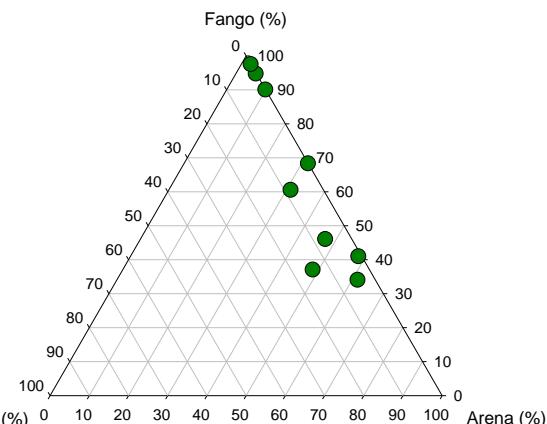


Figura 73. Lago Ranco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

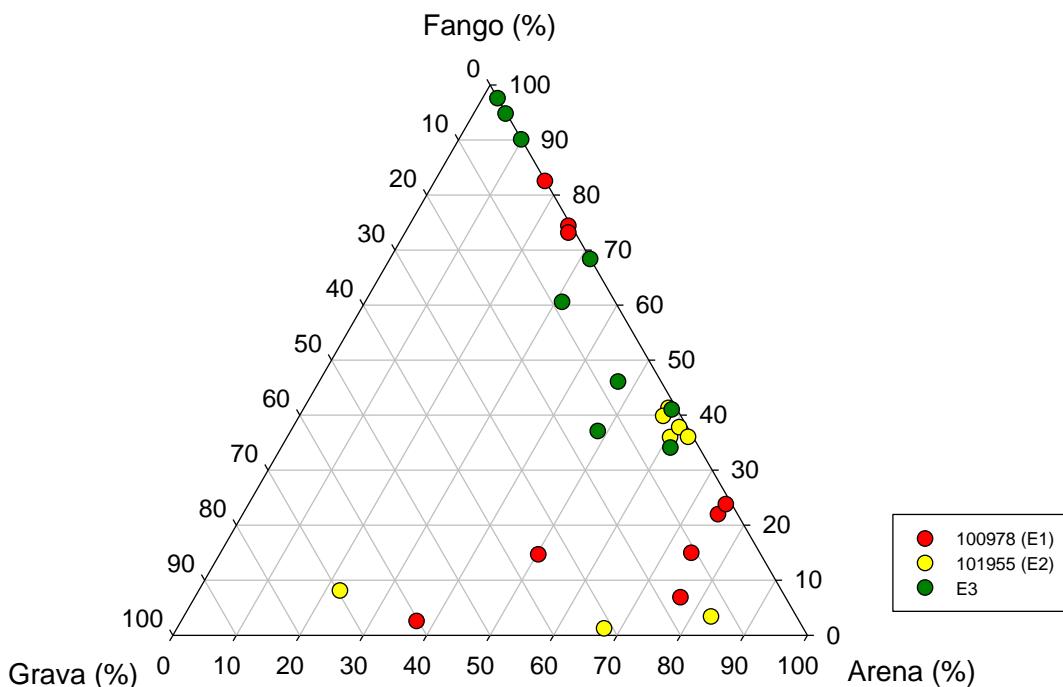


Figura 74. Lago Ranco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 59 en ANEXO 1.

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Ranco, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 58 en ANEXO 1, y en la Figura 75. En relación a los resultados de materia orgánica, las estaciones que presentaron valores mayores a 10% fueron: la estación 3 del Centro 1 (11,82%), estación 2 del Centro 2 (18,88%) y estación 3 del Centro 3 (11,44%).

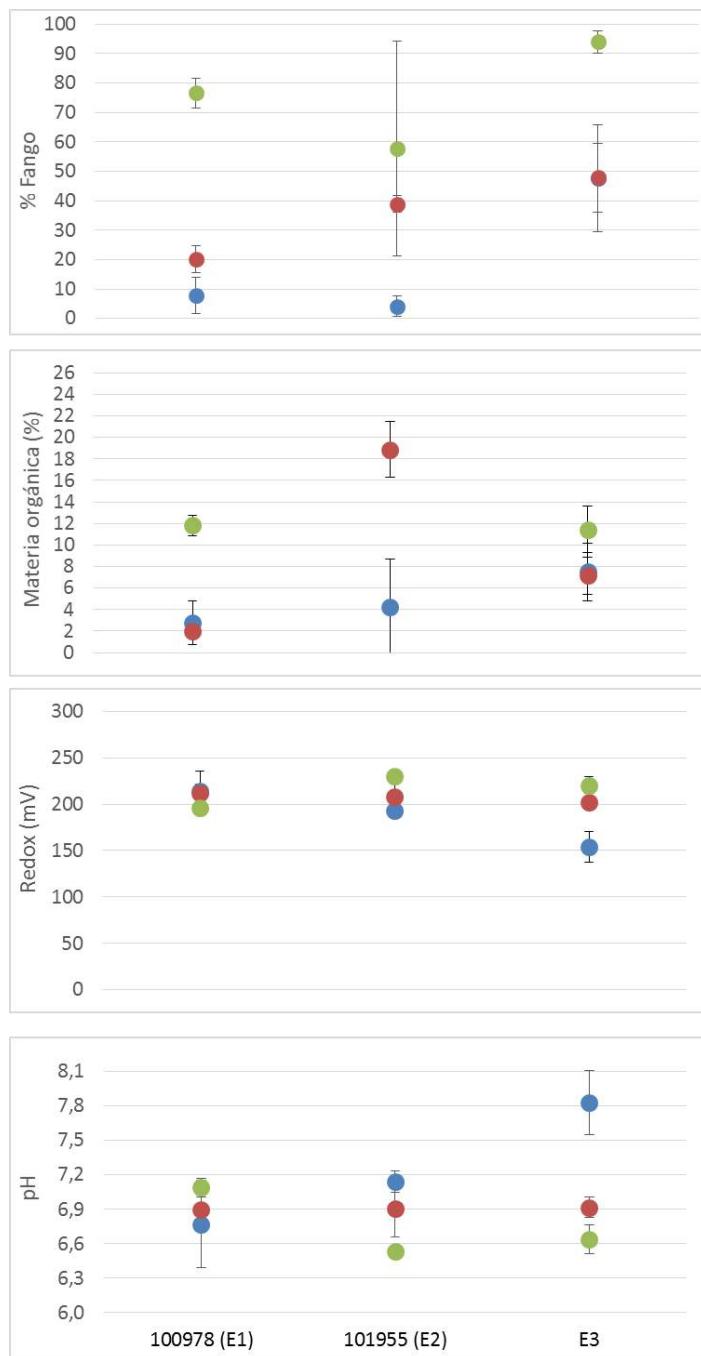


Figura 75. Lago Ranco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 y E2 corresponden a las concesiones 100978 y 101955, respectivamente.



En relación al potencial redox, en todas las estaciones el valor está sobre el límite de aceptabilidad considerado por la CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. Según los resultados del pH, se observa un pH ácido en la mayoría de las muestras, además, los valores registrados se encuentran fuera del límite de aceptabilidad (> 7,1).

En la Figura 75 se aprecian los porcentajes de fango, materia orgánica, potencial redox y pH, medidos en todas las muestras de sedimento. Estos parámetros ya fueron descritos con anterioridad.

d) Correntometría Lagrangeana

En el lago Ranco se registraron corrientes promedios de 0,011 m/s, 0,037 m/s, y 0,043 m/s en los transectos A, B, y C respectivamente. En general, las velocidades de las corrientes son similares en toda la columna de agua. En el transecto A, predominan las velocidades menores del orden de 0,008 a 0,013 m/s, en el transecto B se registraron mayores velocidades entre 0,036 m/s a 0,039 m/s, y en el transecto C entre 0,034 m/s y 0,069 m/s. En cuanto a la dirección de la corriente se observa similitud en los transectos con igual orientación de la bahía (tramo A y B), predominando el noroeste. En el transecto C, cuya orientación de la boca de la bahía es hacia el sur, la dirección de la corriente se dirige hacia el norte (Figuras 76).

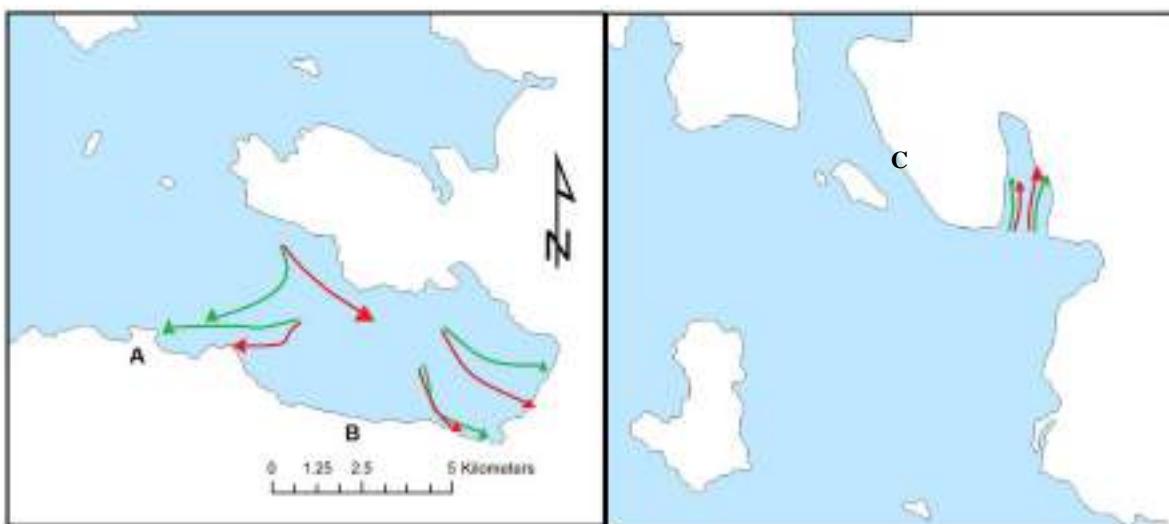


Figura 76. Mediciones de correntometría en los tramos A, B y C del lago Ranco. Color verde= correntometría de superficie, color rojo= correntometría de profundidad.



6.2.8 Lago Rupanco

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

En ambos sitios de control (Control 1 y 2) y los centros 100081, 100625, 101851, y 100389 se registró leve disminución de la temperatura en superficie en relación al fondo. En general, la temperatura se mantuvo cercano a los 10°C en todas las estaciones estudiadas. La concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 12 y 9 mg/L generalmente, así también se registró una disminución de esta variable en torno a los 100 y 250 m de profundidad, alcanzando valores menores a 2,5 mg/L tanto en las bahías con más de 50 m de profundidad, (salvo la estación 100625), como en las estaciones control (Figura 77, y Tabla 75 en ANEXO 1). (Figura 77, y Tabla 75 en ANEXO 1).



Figura 77. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L y temperatura en °C) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.

Respecto a los nutrientes en la columna de agua, se observó una columna de agua bastante homogénea respecto de su concentración de fósforo total y ortofosfato, salvo en la estación 100389, 100522, y 101707 en donde el PT aumenta en profundidad, alcanzando valores de 0,038 mg/L. La concentración de fósforo total fluctuó entre 0,004 y 0,038 mg/L (Figura 78). Los resultados de nutrientes considerados dudosos, fueron depurados de la base de datos, y excluidos de las figuras y tablas siguientes.



Figura 78. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.

Los compuestos nitrogenados en la columna de agua estuvieron representados principalmente por nitrógeno total y nitrato (Figura 79), las formas amonio y nitrito presentaron bajas concentraciones (Tabla 75 en ANEXO 1). La concentración de nitrógeno total fluctuó en la columna de agua en todas las estaciones estudiadas, oscilando entre 0,018 y 0,090 mg/L (Figura 79).

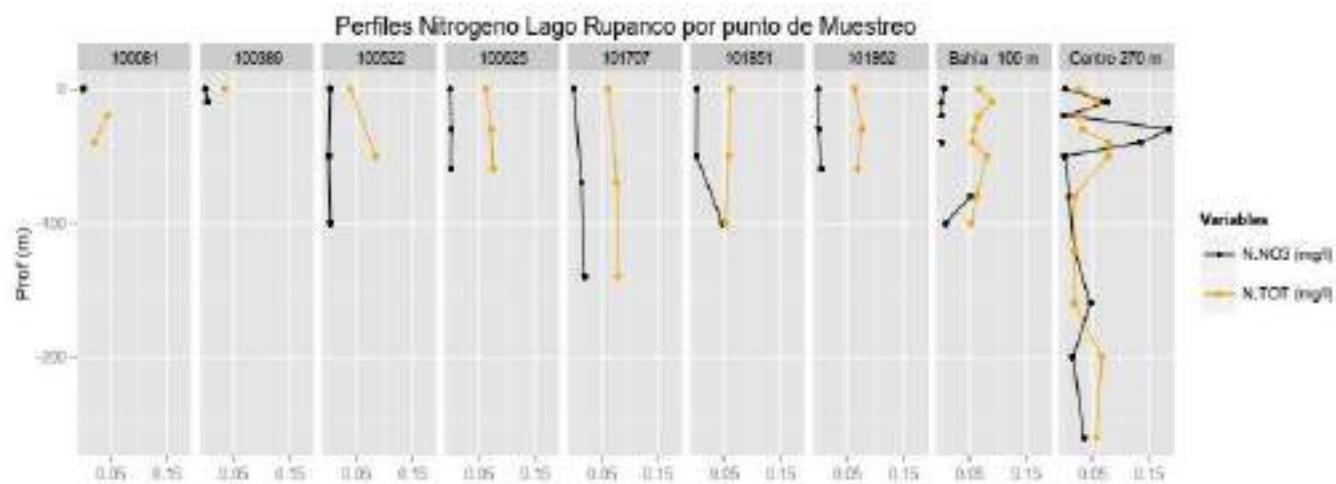


Figura 79. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Rupanco.



La transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 7 y 13 m (Tabla 16).

Tabla 16.
Lago Rupanco: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
Control 1	103,2	13
Control 2	270	13
100522	104,3	13
101707	137,6	12
100081	48,6	13
100389	18	13
101862	50	9
101851	103	7
100625	54	12

b) Análisis de parámetros biológicos

Durante la primavera de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Rupanco registró 28 géneros de microalgas: 19 Diatomeas, 7 Clorofíceas, 2 Dinofíceas (Tabla 60 en ANEXO 1). Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 94,2 y 100%, clorofíceas entre 0 y 9,34%, dinofíceas 0 a 0,23 %, (Figura 80). No se registraron especies FAN.

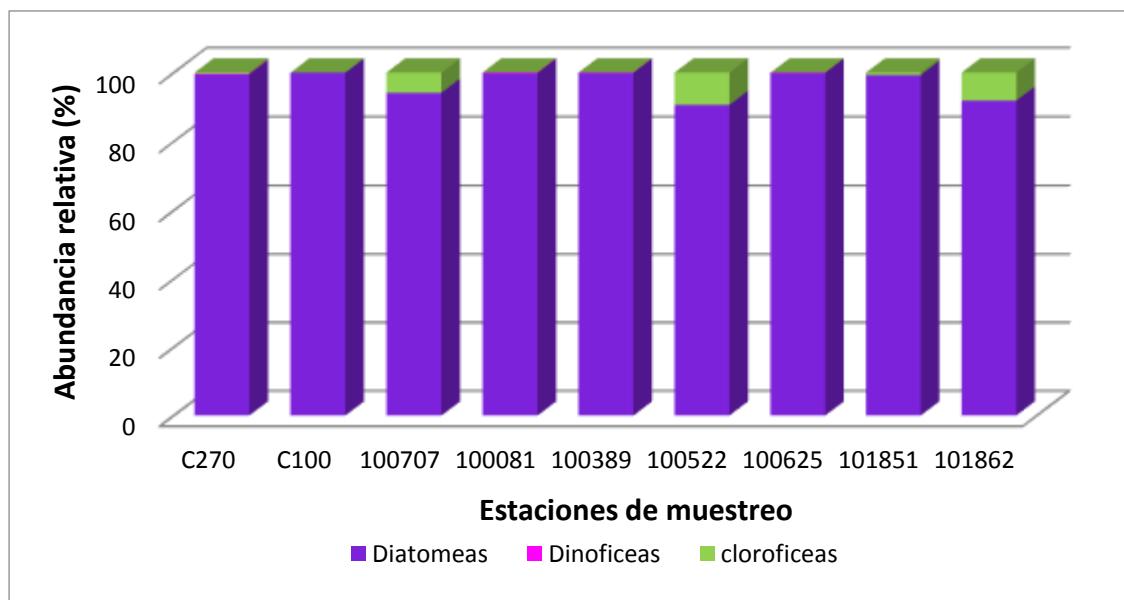


Figura 80. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Rupanco, durante la primavera de 2014.



En el lago Rupanco la abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 158.954 y 486.336 cél/L. Los mayores valores se registraron en las estaciones C100 y 100707 (Figura 81).

Durante la primavera de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Rupanco se registraron 7 especies: 5 de crustáceos Maxiliipodos, 2 de crustáceos Brachiópodos, con ausencia de rotíferos Monogononta (Tabla 16). La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 5 y 7 especies. La densidad por estación osciló entre 0,016 y 0,283 cél/L, registrándose el valor más alto en la estación 100389 (Tabla 17).

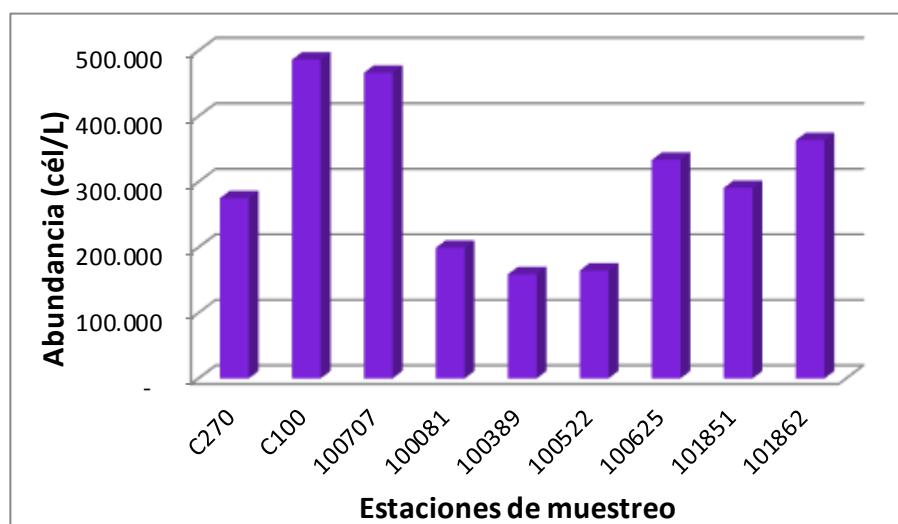


Figura 81. Abundancia fitoplanctónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Rupanco, durante la primavera de 2014.



Tabla 17.

Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco en invierno de 2014.

Especies / Estación	Lago Rupanco								
	C270	C100	100522	101851	101862	100625	101707	100081	100389
Crustacea/ Maxilopoda									
<i>Boeckella gracilipes</i>	0	0,002	0,004	0,003	0,008	0,002	0,001	0	0,015
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,003
copepoditos	0,003	0,005	0	0,001	0,005	0,002	0,008	0	0,036
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0	0,003	0
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
copepoditos	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,003	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001	0,003	0,003	0,006
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
copepoditos	0,007	0	0	0,001	0,003	0,007	0,005	0,002	0,021
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0,002	0
♀ con huevos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
copepoditos	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nauplius	0	0	0,001	0,001	0	0,004	0,002	0	0,003
Crustacea/ Brachiopoda									
<i>Daphnia pulex</i>	0,031	0,104	0,021	0,012	0,040	0,037	0,029	0,002	0,186
<i>Bosmina hagmani</i>	0,010	0,003	0	0	0,013	0,002	0,002	0,001	0,012
Densidad Total (cél/L)	0,055	0,116	0,034	0,022	0,075	0,056	0,052	0,016	0,283
Riqueza de Taxa	5	5	7	7	5	7	6	5	6

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Rupanco se muestrearon 7 bahías ubicadas en las cercanías de centros de acuicultura, tales como: Centro 101707, Centro 100081, Centro 100389, Centro 100522, Centro 100625, Centro 101851, Centro 101862. Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la Tabla 61 en ANEXO 1. Al respecto, en el centro 101707, se observa que en todas las estaciones de muestreo el fango es la componente principal del sedimento, registrándose valores de 67,01% (Estación 3), 47% (Estación 1), y 26,31% (Estación 2). En el Centro 100081, específicamente en la Estación 1 y Estación 3 dominaron las arenas más finas, además del fango. En tanto, la Estación 2 tendió a una distribución similar en los porcentajes de la fracción sedimentaria. En el Centro 100389, en la Estación 1 y 3, se observó un alto aporte de fango (35,28% y 30,16% respectivamente), mientras que en la Estación 2 la arena media fue la dominante (38,58%). En relación a lo observado en el Centro 100522, en todas las estaciones los mayores porcentajes corresponden al fango, con valores



de 24,12% (Estación 1), 40,01% (Estación 2), 22% (Estación 3). En el Centro 100625, el fango es predominante en la Estación 1 (24,12%), mientras que en la estación 2 la arena media (23,83%), y en la Estación 3 la arena fina (23,51%). En el Centro 101851, en la Estación 1 como en la Estación 3, los principales aportes granulométricos provienen del fango (48,53% y 43,28% respectivamente), mientras que en la Estación 2 la arena media y fina predominan (28,18% y 26,37% respectivamente). En relación a la fracción sedimentaria en el Centro 101862, el fango predomina con un 37,24% en la Estación 1, mientras que en la estación 2 la arena fina aporta mayormente con un 24,98%. En la Estación 3 dominó la arena muy fina (29,73%).

Al analizar los parámetros de textura por bahía con acuicultura (Figura 82), se observó que la mayor parte de los sedimentos en todos los centros estudiados, están compuestos por altos porcentajes de arena y fango. En cada uno de ellos, se observó una tendencia a la presencia de dos grupos, predominando los porcentajes de arena en un grupo, mientras que en el otro el fango. En el centro 101707 el mayor número de muestras presenta altos valores de fango (mayor a 50%), sin embargo algunas muestras presentaron porcentajes de arena muy altos (82%), registrándose escasa participación de la grava. En el centro 100081, se registran muestras con altos porcentajes de arena (40-96%), mientras que los porcentajes del fango van desde 4-60%. En el centro 100389, los aportes provienen mayormente de la arena (60-98%), y excepcionalmente una muestra con un porcentaje de fango de 51%, con casi nula fracción de grava. El centro 100522 muestra claramente que la mayor parte de las muestras presentan altos porcentaje de arena (38-76%), además de un reducido número de muestras con elevados porcentajes de fango (66-87%). En el centro 100625, en su mayoría predomina la arena (50-86%), sin embargo también se registraron muestras con altos valores de fango (63-80%). En relación al análisis textural del sedimento en el centro 101862, predomina la arena (67-90%), registrándose también altos porcentajes de fango (53-55%).

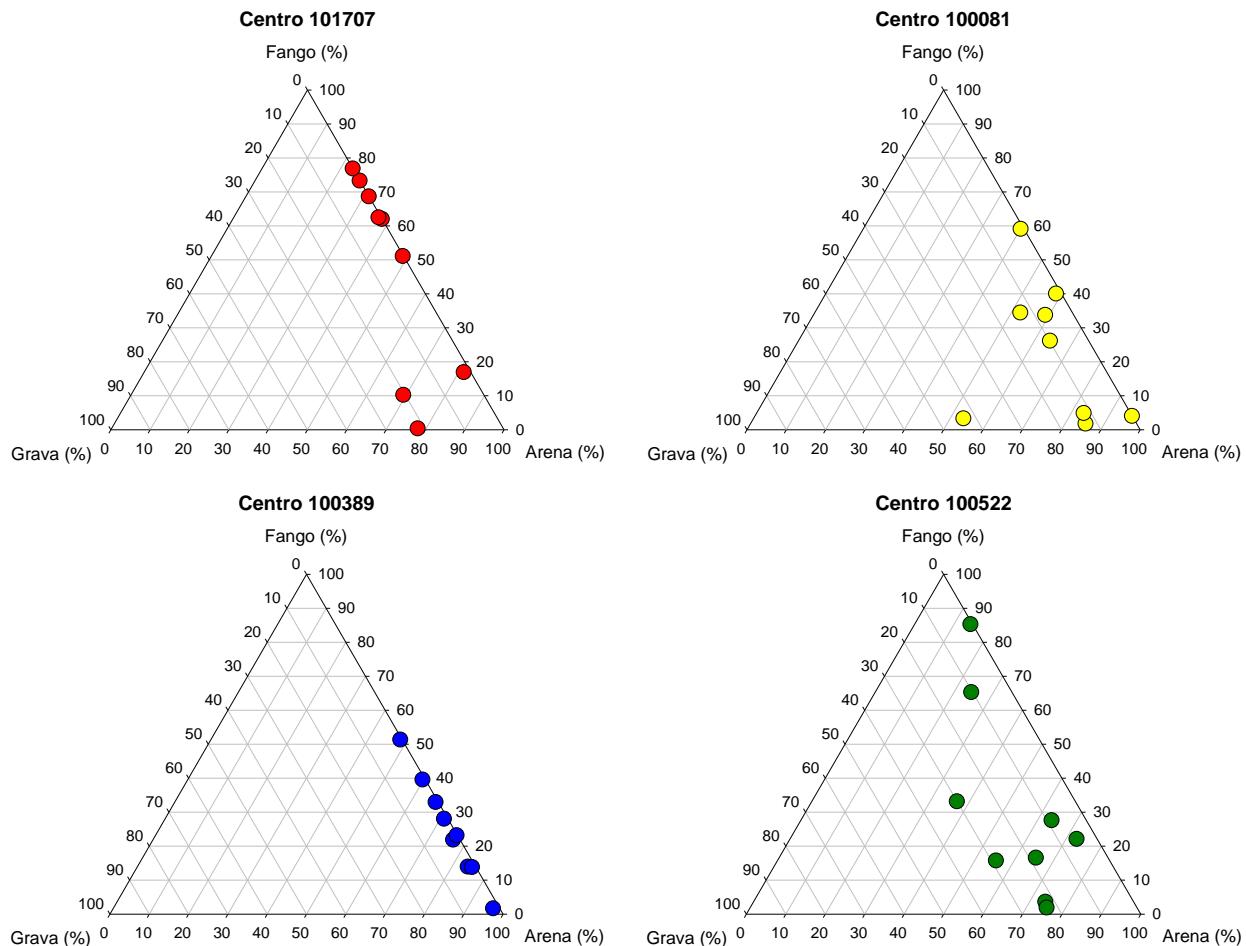
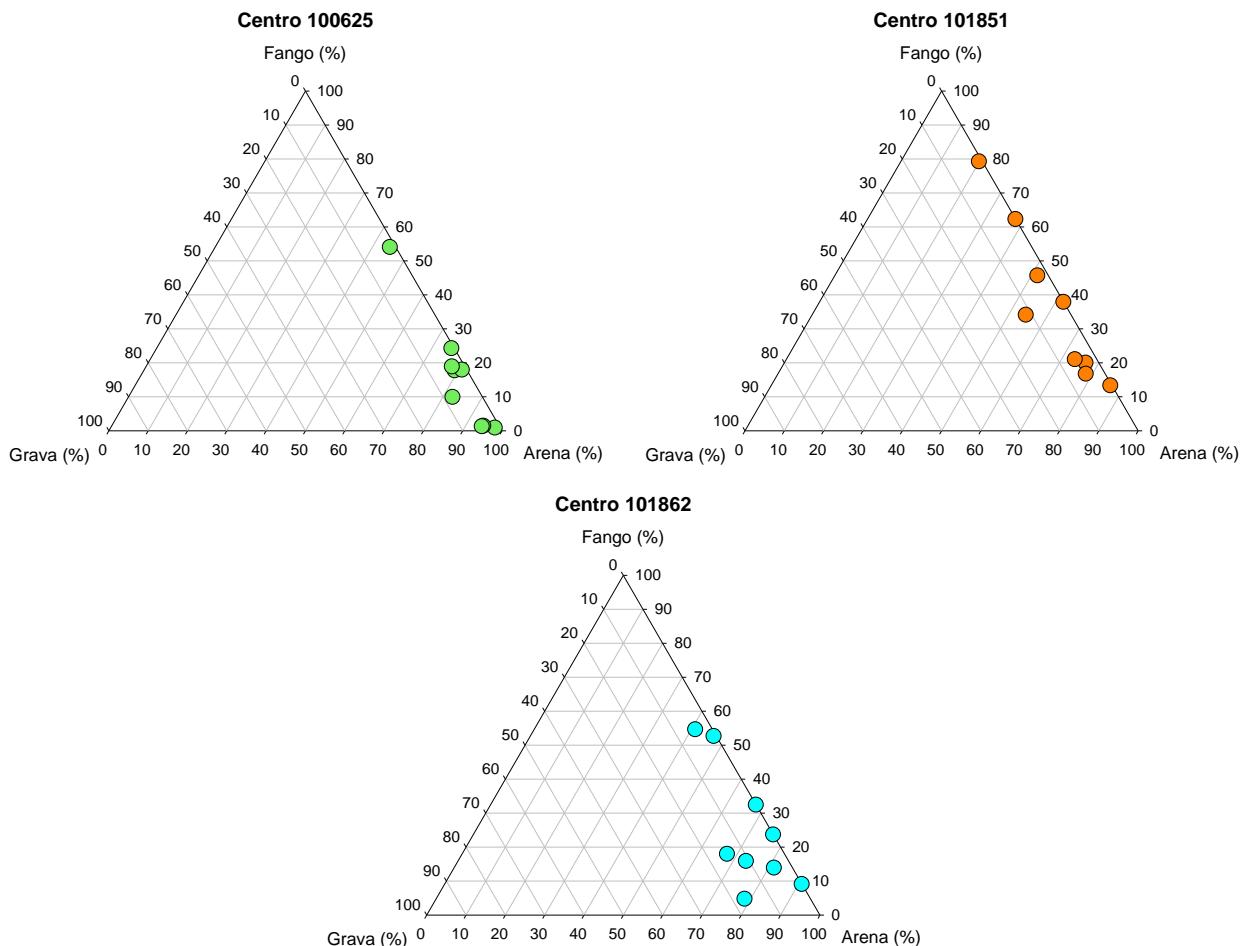


Figura 82. Lago Rupanco: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

Continuación **Figura 82.**



Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Rupanco (Figura 83), se observó la tendencia de conformarse dos grupos: en el primer grupo, y en donde la mayoría de las muestras se encuentra, se observa mayor contribución de arena sobre el fango, mientras que en el segundo grupo el fango predomina sobre la arena. En ambos grupos la representatividad de la grava es baja.

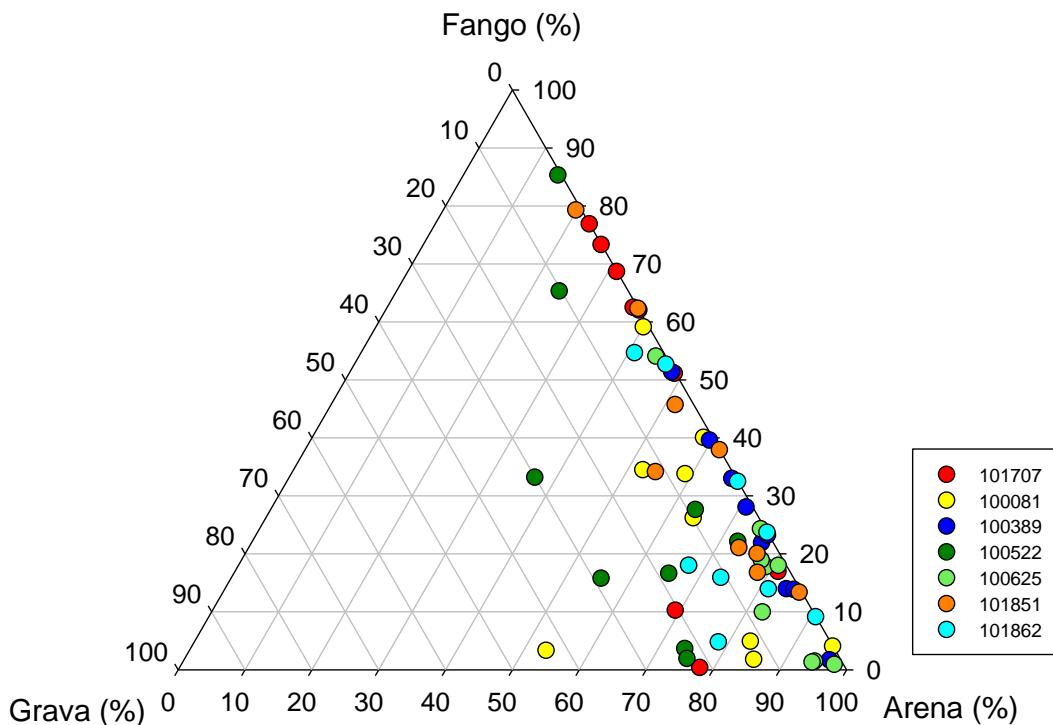


Figura 83. Lago Rupanco: Gráfico de triángulo para clasificación de textura (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Rupanco, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 62 en ANEXO 1, y en la Figura 84. En relación a los resultados de materia orgánica, las estaciones que presentaron valores mayores a 10% fueron: estación 3 del Centro 101707 (11,12%), estación 3 del Centro 100081 (13,83%), estación 1 y 2 del Centro 101851 (10,76% y 12,01% respectivamente).

Con respecto al potencial redox, en todas las estaciones se registran valores sobre el límite de aceptabilidad considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. El menor valor se registró en la estación 1 del Centro 101707 (101,33 mV), mientras que el mayor valor se observó en la estación 1 del Centro 100522 (307 mV). En relación al pH, gran parte de las estaciones presentan valores menores al límite de aceptabilidad (≥ 7).

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 63 en ANEXO 1.

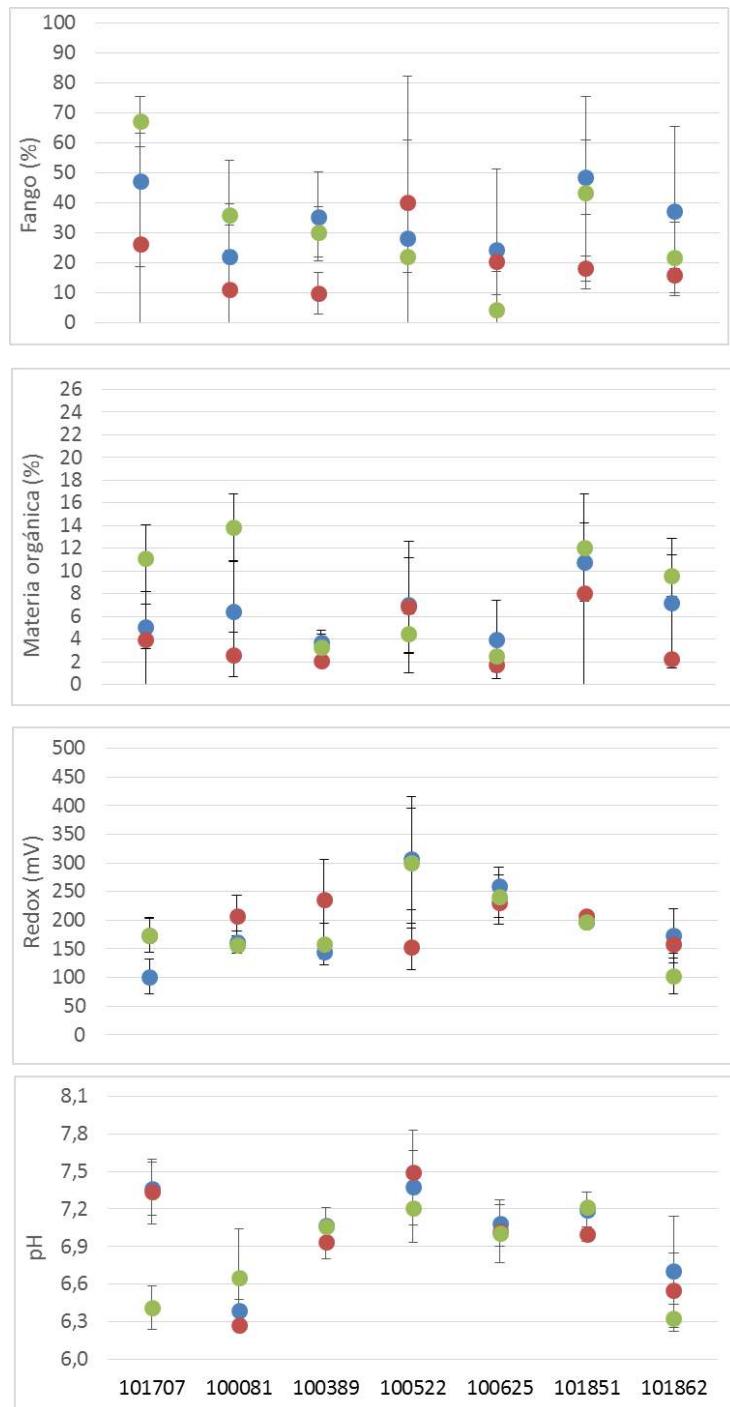


Figura 84. Lago Rupanco: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo

d) Correntometría Lagrangeana

En el lago Rupanco se registraron corrientes promedios de 0,022 m/s, 0,028 m/s, 0,020 m/s, 0,010 m/s, 0,029 m/s, 0,012 m/s, 0,015 m/s, y 0,028 m/s en los transectos A, B, C, D, E, F, G, y H respectivamente. Las velocidades de las corrientes en los transectos C, D, E, G y H son mayores en superficie. En resto de los transectos, la velocidad de la corriente tiende a ser similar en toda la columna de agua (transecto A), como también registrar mayor velocidad en profundidad (transecto B y F). , las mayores velocidades de las corrientes se registraron en los En el transecto A, predominan las velocidades menores del orden de 0,008 a 0,013 m/s, en el transecto B se registraron mayores velocidades entre 0,036 m/s a 0,039 m/s, y en el transecto C entre 0,034 m/s y 0,069 m/s. En cuanto a la dirección de la corriente en cada transecto se obtuve que: el transecto A se direcciona hacia el norte; el transecto B las corrientes superficiales tienden al norte mientras que las de mayor profundidad hacia el sur; el transecto C y G hacia el oeste; el transecto D hacia el noreste, salvo una corriente superficial que se dirige hacia el este-sur; el transecto E hacia el este; las corrientes de profundidad del transecto F se dirigen hacia el sur, mientras que las dos corrientes superficiales se mueven hacia el este y oeste respectivamente; y el transecto H indica corrientes que se direccionan hacia el este-norte (Figuras 85).

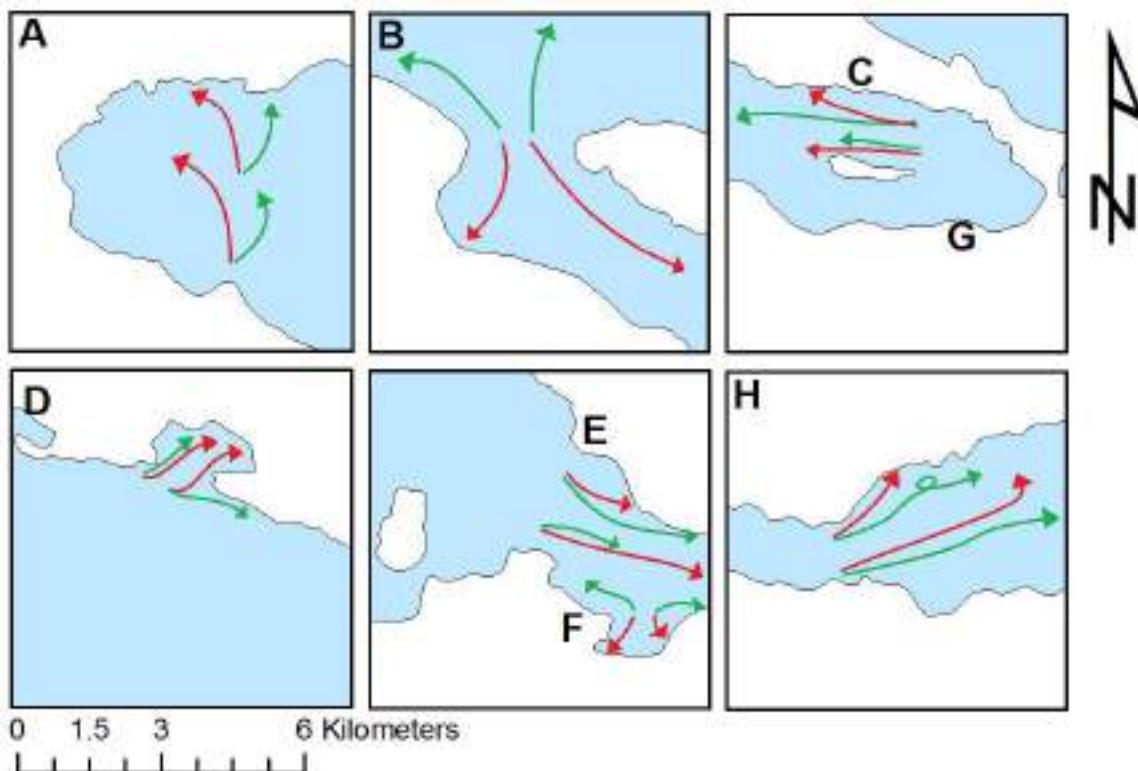


Figura 85. Mediciones de correntometría en los tramos A, B, C D, E, F, G, y H del lago Rupanco. Color verde= correntometría de profundidad, color rojo= correntometría de superficie.



6.2.9 Lago Puyehue

I) Caracterización ambiental

a) Análisis fisicoquímicos agua

En todos los sitios se registró una disminución de la temperatura a mayor profundidad. En general, la temperatura se mantuvo cercana a los 14°C en superficie y 10°C bajo los 15 m de profundidad. La concentración de oxígeno disuelto fue registrada sólo para el Control 1 y la Estación 3, obteniendo ambas un valor promedio en torno a los 10 mg/L (Figura 86, y Tabla 76 en ANEXO 1).



Figura 86. Perfiles físico-químicos (oxígeno en mg/L, y temperatura en °C) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.

Respecto al fósforo total en la columna de agua, se observó una columna de agua bastante homogénea en los dos sitios de control, no así en los sitios E1, E2, y E3, en donde los valores de PT son bastante fluctuantes, aumentando generalmente a mayor profundidad. La concentración de fósforo total fluctuó entre 0,004 y 0,016 mg/L (Figura 87). En relación a los resultados de P-PO₄, dado a que ciertos valores se consideraron dudosos, se debió depurar la base de datos y excluir estos resultados de las figuras y tablas siguientes, por lo que en la Figura 87 se grafican escasos valores de P-PO₄, lo que dificulta concluir en relación a lo obtenido.



Figura 87. Perfiles de ortofosfato (P-PO₄ en mg/L) y fósforo total (PT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.

Los compuestos nitrogenados en la columna de agua estuvieron representados principalmente por nitrógeno total y nitrato (Figura 88), las formas amonio y nitrito presentaron bajas concentraciones (Tabla 76 en ANEXO 1). La concentración de nitrógeno total fluctuó en la columna de agua en todas las estaciones estudiadas, oscilando entre 0,030 y 0,116 mg/L (Figura 88). Los datos de N-NO₃ considerados dudosos, se excluyeron de la Figura 88 y Tabla 76.

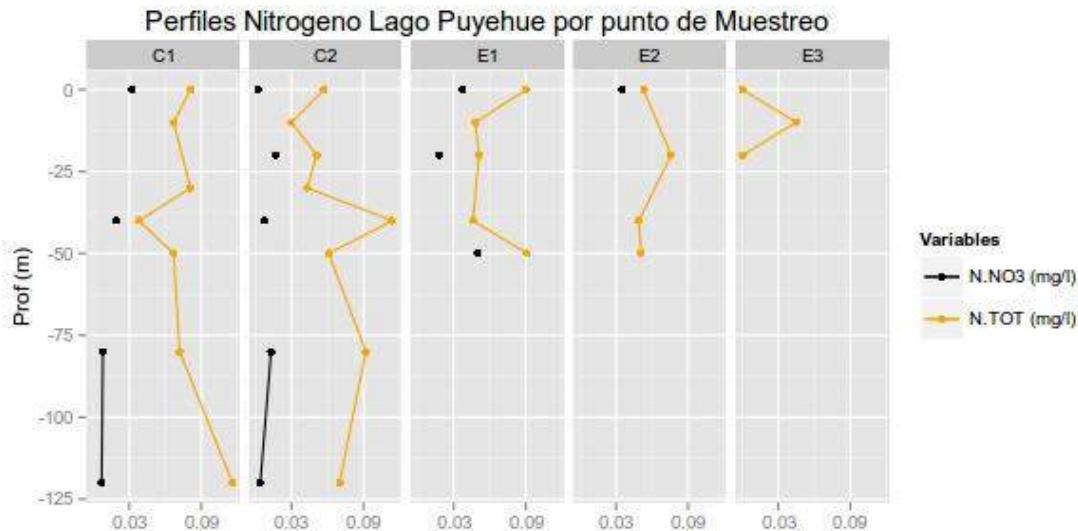


Figura 88. Perfiles de compuestos nitrogenados (N-NO₃ en mg/L y NT en mg/L) de la columna de agua de los centros analizados en el lago Puyehue.



La transparencia del disco de Secchi fluctuó entre 9 y 12 m (Tabla 18).

Tabla 18.

Lago Puyehue: Profundidad máxima por estación y transparencia (m).

Centro	Profundidad máxima (m)	Transparencia (m)
Control 1	140	12
Control 2	100	11,5
E1	110	9
E2	70	10
E3	14	9

b) Análisis parámetros biológicos

Durante el primavera de 2014, la composición fitoplanctónica del lago Puyehue registró 20 géneros, de microalgas: 12 Diatomeas, 7 Clorofíceas, 1 Dinofícea y 1 Cianofícea (Tabla 64 en ANEXO 1). Los valores de abundancia relativa por clase fueron los siguientes: Diatomeas entre 1 y 100%, Clorofíceas entre 0 y 89%, Dinofíceas entre 0 y 5% y Cianofíceas entre 0 y 10% (Figura 89).

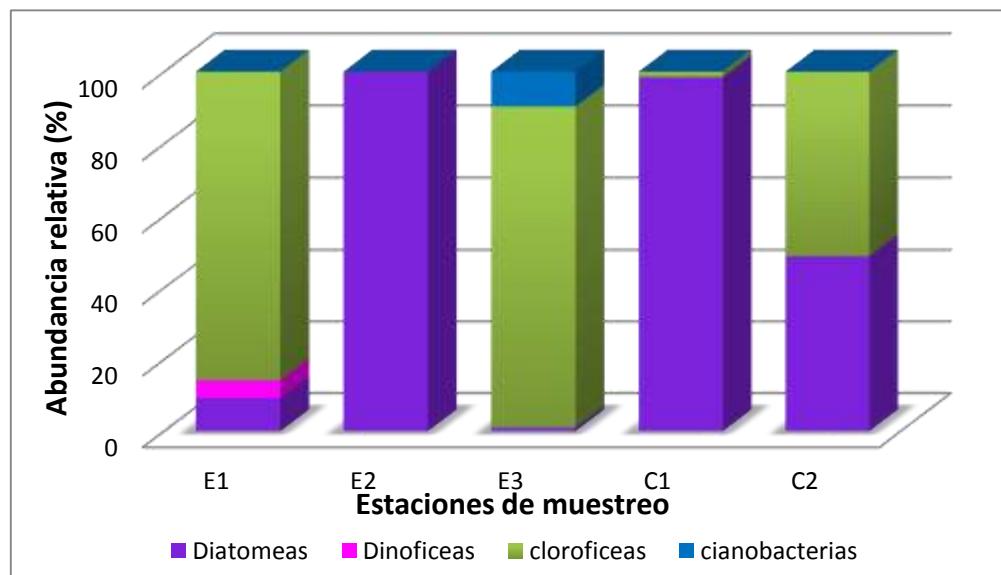


Figura 89. Abundancia relativa (%) en las estaciones de muestreo del lago Puyehue, durante la primavera de 2014.



En el lago Puyehue la abundancia fitoplanctónica fluctuó entre 2.441 y 55.000 cél/L. Los mayores valores se registraron en la estación E2, donde la abundancia se dio exclusivamente por *Aulacoseira spp* y *Melosira varians* (Figura 90). Se registró *Ceratium hirundinella*, especie potencialmente nociva.

Durante el invierno de 2014, en la composición zooplanctónica del lago Puyehue se registraron 6 especies: 4 de crustáceos Maxilípodos, 1 de crustáceos Brachiópodos y 1 Rotífero Monogononta. La riqueza de especies varió dependiendo de la estación de muestreo, entre 5 y 6 especies. La densidad por estación osciló entre 1,15 y 4,11 cel/L, registrándose el valor más alto en la estación E2 (Tabla 19).

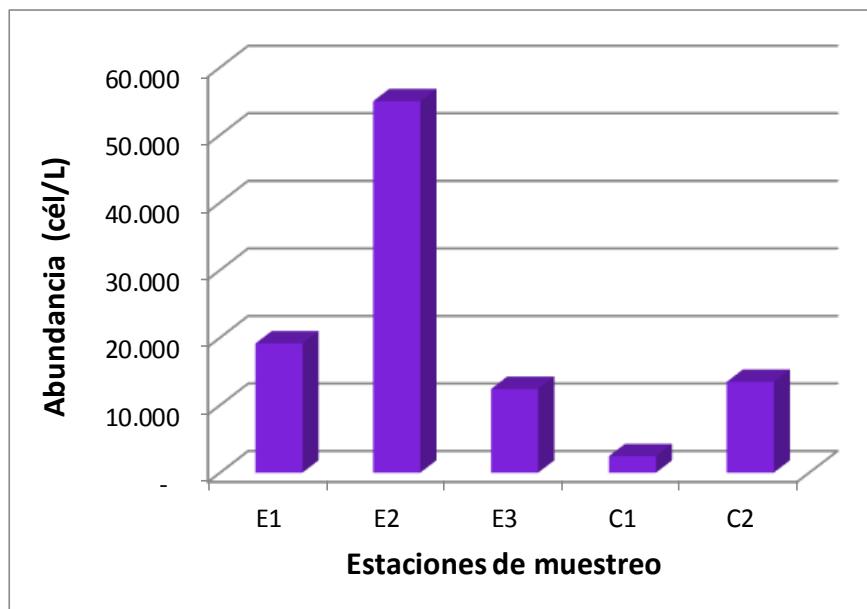


Figura 90. Abundancia fitoplancónica (cél/L) en las estaciones de muestreo del lago Puyehue, durante la primavera de 2014.



Tabla 19.

Abundancia de microcrustáceos en el lago Puyehue en primavera de 2014.

Especies / Estación	Lago Puyehue				
	C1	C2	E1	E2	E3
Crustacea/ Maxilopoda					
<i>Boeckella gracilipes</i>	0,073	0,029	0	0,352	0
♀con huevos	0	0	0	0	0
copepoditos	0,105	0,042	0	0,545	0
<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	0,452	1,214	0,316	0,532	0,134
♀con huevos	0,007	0,005	0,007	0,010	0
copepoditos	0,359	0,798	0,442	0,593	0,168
<i>Mesocyclops sp.</i>	0,122	0,671	0,171	0,173	0,049
♀con huevos	0	0	0,005	0	0
copepoditos	0,146	0,849	0,204	0,350	0,104
<i>Attheyella sp</i>	0	0	0	0	0
Nauplius	0,407	0,130	0,081	0,215	0,088
Crustacea/ Brachiopoda					
<i>Daphnia pulex</i>	0,226	0,090	0,044	1,344	0,352
Rotifera/ Monogononta					
<i>Filinia longiseta</i>	0,130	0	0,039	0	0,263
Densidad Total (célL-1)	2,028	3,828	1,309	4,113	1,158
Riqueza de Taxa	6	5	5	5	5

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Puyehue se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, los que se denominaron Centro 1, Centro 2 y Centro 3. En la Tabla 65 en ANEXO 1, se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto, se observa que en el centro 1 predomina en todas las estaciones muestreadas el fango con porcentajes muy altos de hasta un 83,47% en la estación 1. En el centro 2, específicamente en la estación 1, las muestras están compuestas mayormente de arena media (37,76%), mientras que en la estación 2 y 3, el fango es la fracción dominante (60,84% y 23,78% respectivamente). En el centro 3, en las estaciones 1 y 3, la arena fina es la fracción dominante con un 40,86% y 45,71% respectivamente, mientras que en la estación 2 la grava es la componente principal (33,21%).

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 91), se observó que en el centro 1 predominó la arena entre 42 y 63%, seguido por el fango con un 38-57%, a excepción de tres muestras con altos porcentajes de fango (71-98%). En el centro 2, también predomina mayormente la componente arena, seguido por el fango, a excepción de dos muestras en donde se

observan altos porcentajes de fango (68 y 71%). En el centro 3, notoriamente predomina la arena con porcentajes mayores a 57%, a excepción de una muestra con un alto porcentaje de grava (58%).

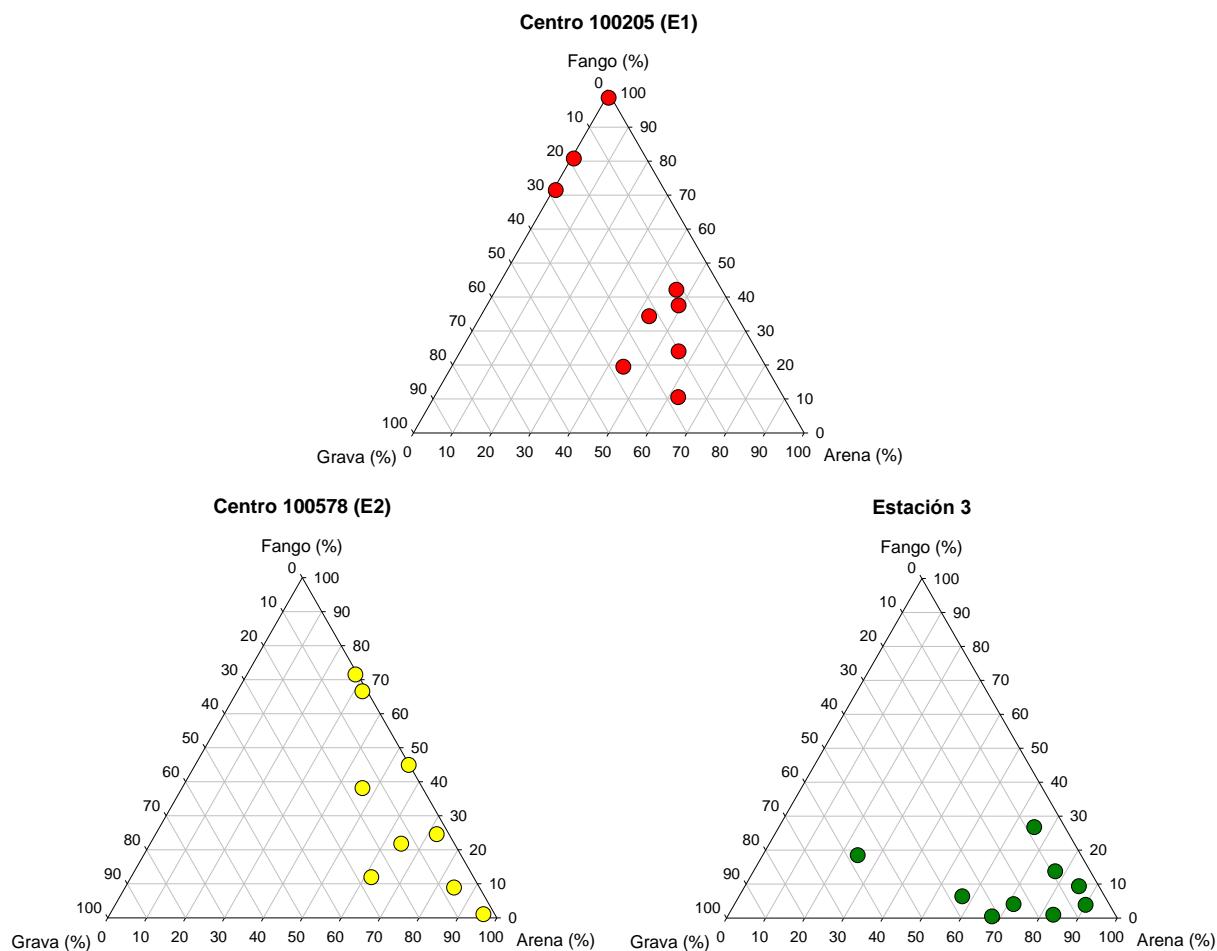


Figura 91. Lago Puyehue: Fracciones texturales (% fango, % arena y % grava) representadas en un gráfico de triángulo para cada centro.

En el análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Puyehue (Figura 92), se observó que las muestras están mayormente representadas por arena (sobre 42%).

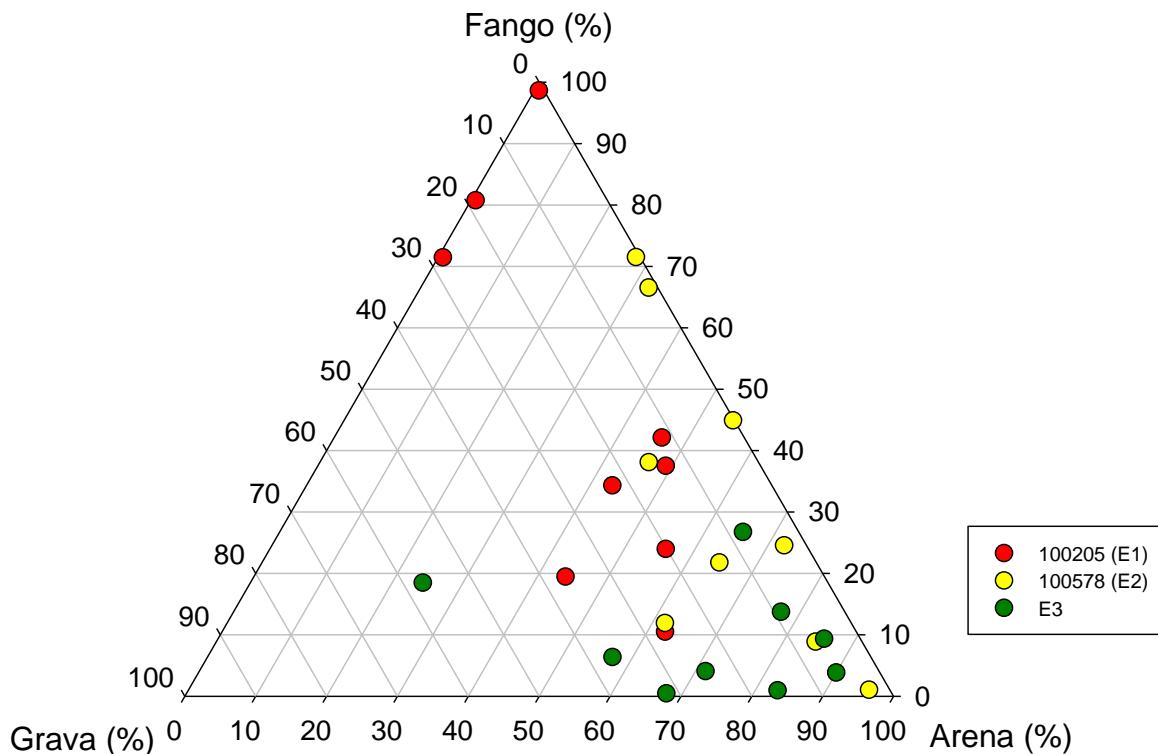


Figura 92. Lago Puyehue: Gráfico de triángulo para clasificación de textura del lago Puyehue (% fango, % arena y % grava).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Puyehue, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 66 en ANEXO 1, y en la Figura 93. En relación a los resultados de materia orgánica, todas las estaciones presentaron valores menores a 10%. El potencial redox está sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. Los valores de pH se encuentran dentro del límite de aceptabilidad considerado por la CPS e INFA ($\geq 7,1$), a excepción de una estación 3 del centro 2 que presentó un valor de 7,02.

En cuanto a la asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano, en la mayoría de los casos de observó un valor negativo lo que indica que el extremo grueso está más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indica mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como es el caso por ejemplo de la estación 3 del Centro 1 (Tabla 67 en ANEXO 1).

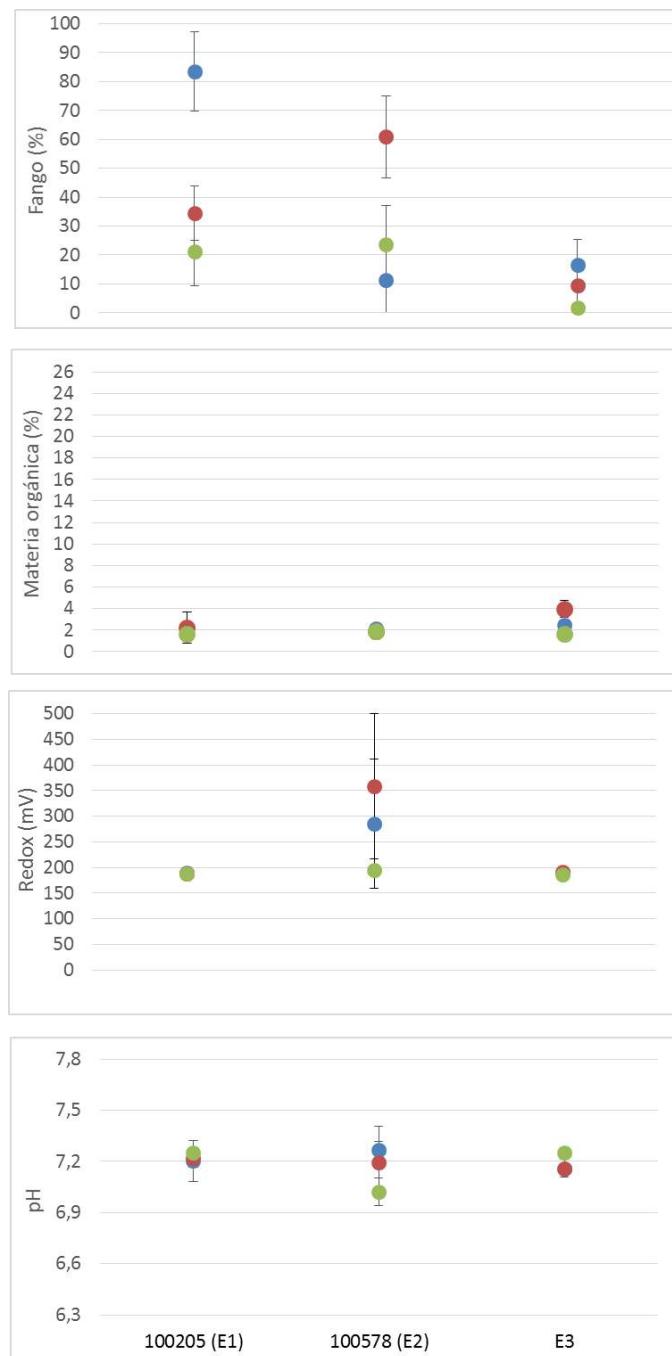


Figura 93. Lago Puyehue: valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en sedimentos para las diferentes estaciones de muestreo. E1 y E2 corresponden a las concesiones 100205 y 100578, respectivamente.

d) Correntometría Lagrangeana

En el lago Puyehue se registraron corrientes promedios de 0,005 m/s, 0,013 m/s, y 0,009 m/s en los transectos A, B y C respectivamente. En los transectos A y B, las velocidades de las corrientes son similares en ambas profundidades, mientras que en el transecto C la correntometría superficial presentó mayor velocidad promedio (0,018 m/s), en comparación a la realizada a una profundidad de 15 m (0,09 m/s). Respecto a la dirección de la corriente, la corriente medida en el transecto A se dirigió mayormente hacia el noroeste, mientras que el transecto B y C hacia el este, salvo una corriente de profundidad del Transecto B que luego se dirigió hacia el sur (Figura 94).

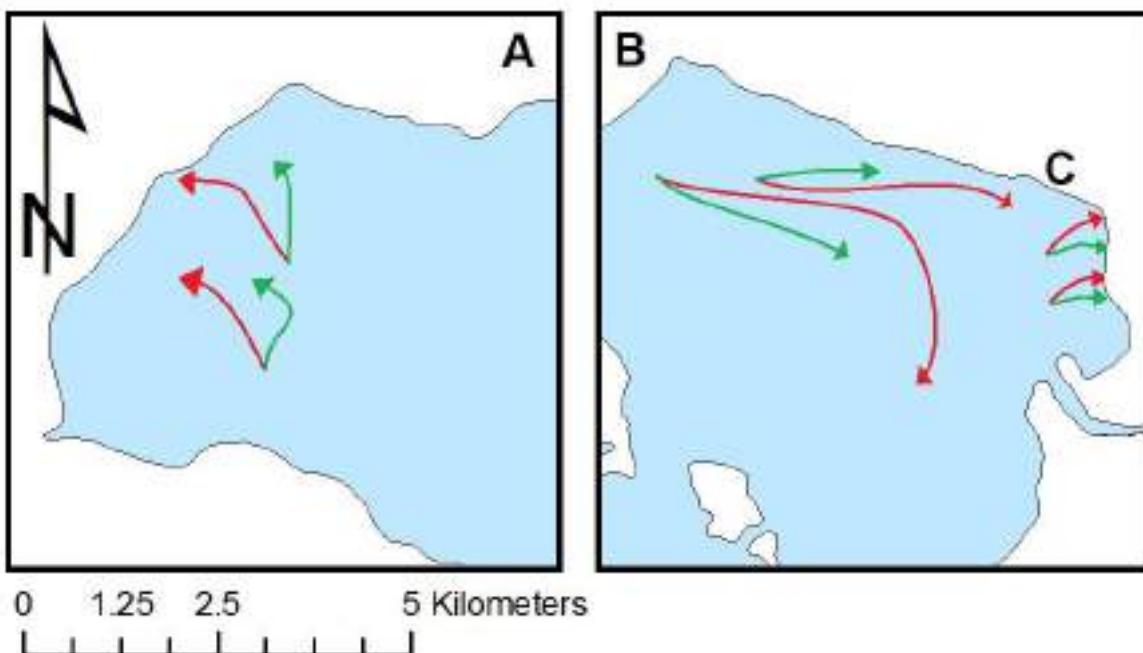


Figura 94. Mediciones de correntometría en los tramos A, B y C del lago Puyehue. Color verde= correntometría de profundidad, color rojo= correntometría de superficie.



6.3 Objetivo específico 4

6.3.1. Lago Llanquihue

I) Determinación de estado trófico del lago Llanquihue

La figura 95 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Llanquihue de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), indicando su evaluación trófica según los colores de cada celda. Los resultados de la transparencia, nitrógeno total y fósforo total, indicaron que el lago se encuentra en estado de oligotrofia, a excepción de PT en el centro 100100 donde se presentó como mesotrófico. En general, los resultados de la clorofila a se encontraron dentro del rango característico para condiciones ultraoligotróficas. Cabe destacar que las concentraciones de nitrógeno total establecidas en la literatura y utilizadas para el rango oligotrófico son altas, respecto de las concentraciones de esta variable que se han registrado en los lagos araucanos.

II) Estimación del Balance hidrológico

Como ya se ha mencionado con anterioridad, para la estimación de entradas de agua, vía escorrentía, se utilizó la metodología de la Curva Número, en donde se calculó para las 127 subcuencas según el tipo y características del suelo, el uso de suelo, la pendiente promedio de cada subcuenca, y precipitación, el escurrimiento de agua hacia el lago. Para la estimación de las entradas vía precipitación, se obtuvieron datos a partir de 3 estaciones de monitoreo de la red agrometeorológica del INIA del año 2014. Con respecto a la cantidad de precipitación, se registró que es mayor en la parte oriental del lago, seguida por la zona norte del lago (Puerto Octay), mientras que la parte occidental del lago el valor de la precipitación es menor. Por tanto, para los cálculos de la CN para cada subcuenca se selecciónó la estación meteorológica más cercana a ella. Para estimar la evaporación del lago se promediaron los datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, de los últimos 11 años.

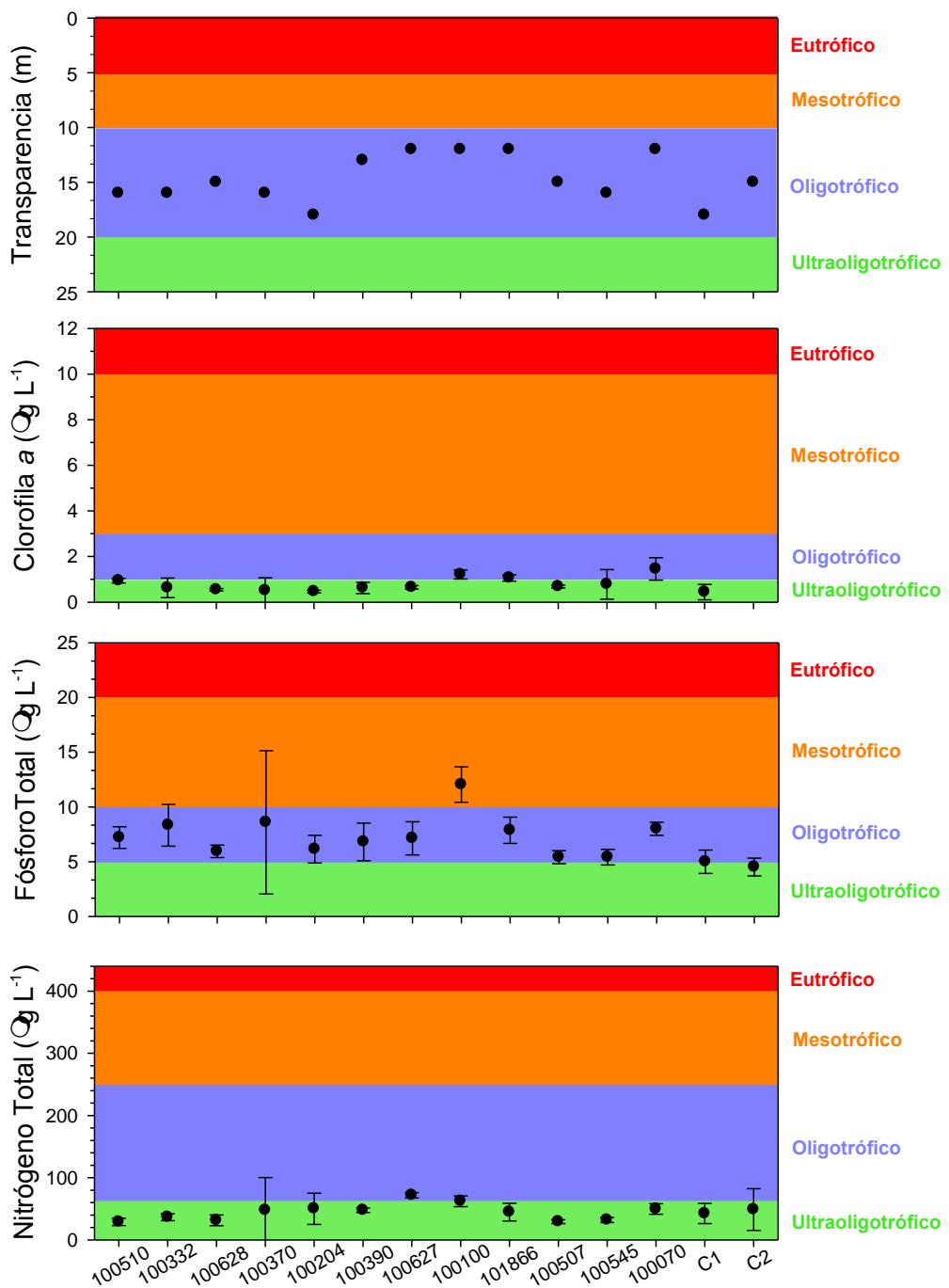


Figura 95. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Llanquihue.



El balance hidrológico anual (año 2014) es el siguiente:

Tabla 20.
Balance hidrológico del lago Llanquihue.

Balance hidrológico lago Llanquihue		km ³ /año
Entradas	Ríos	1,368
	Precipitación	1,482
	Total entradas	2,850
Salidas	Efluente río Maullín	2,242
	Evaporación Lago	0,497
	Total salidas	2,739
	Drenaje profundo	0,111
	Variación reserva	0

De acuerdo al balance hidrológico, el tiempo de renovación teórica del volumen del lago Llanquihue calculado es 56 años. Campos *et al.* 1992 calculó un tiempo de renovación de 70 años aprox., mientras que en la primera etapa del proyecto se calcularon 49 años. El resultado obtenido en el presente proyecto, difiere a lo calculado por Campos *et al.* 1992, cuyo balance hidrológico no incluyó otro tipo de salidas de agua, como por ejemplo el drenaje profundo y la evaporación del lago, mientras que en la Primera etapa del proyecto, la diferencia está dada por utilizarse menores valores de precipitación y de caudales por cada subcuenca en relación al presente proyecto. Cabe señalar, que en la Primera etapa del proyecto se delimitaron 16 subcuencas para la cuenca del lago Llanquihue, mientras que en el actual estudio se realizó una minuciosa delimitación, identificando 127 subcuencas, por lo que el nivel de detalle es mayor.

III) Estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga del lago Llanquihue

a) Uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue

Las figuras 96 y 97 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue durante el 2014, predominando el bosque nativo (44,1%), praderas (35,7%), y los matorrales (10,3%). En la figura 88 se observa que la mayor parte del bosque nativo se encuentra en la zona sur y oriental del lago, específicamente en los faldeos del Volcán Calbuco y Osorno.

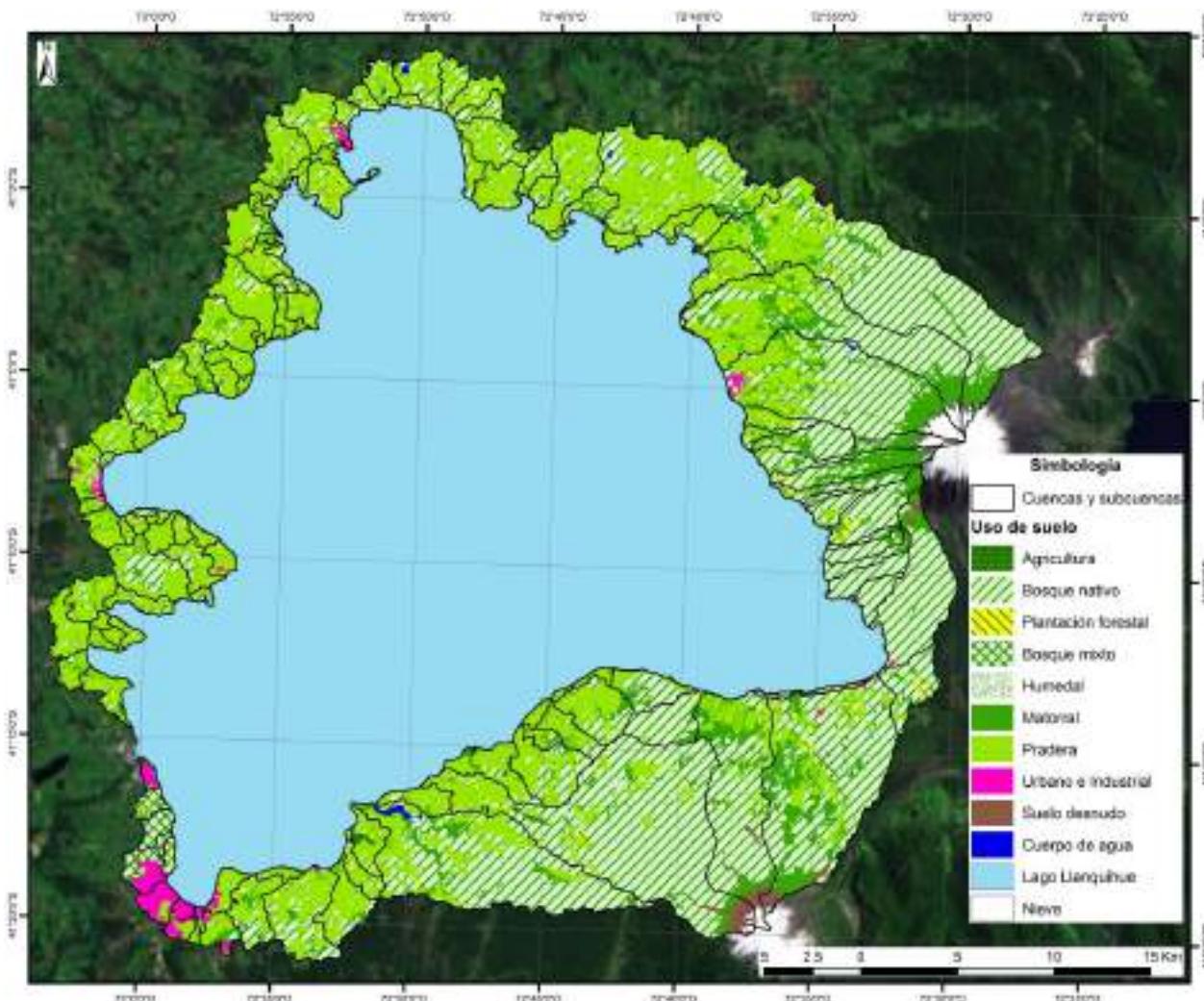


Figura 96. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Llanquihue y sus respectivos usos de suelo.

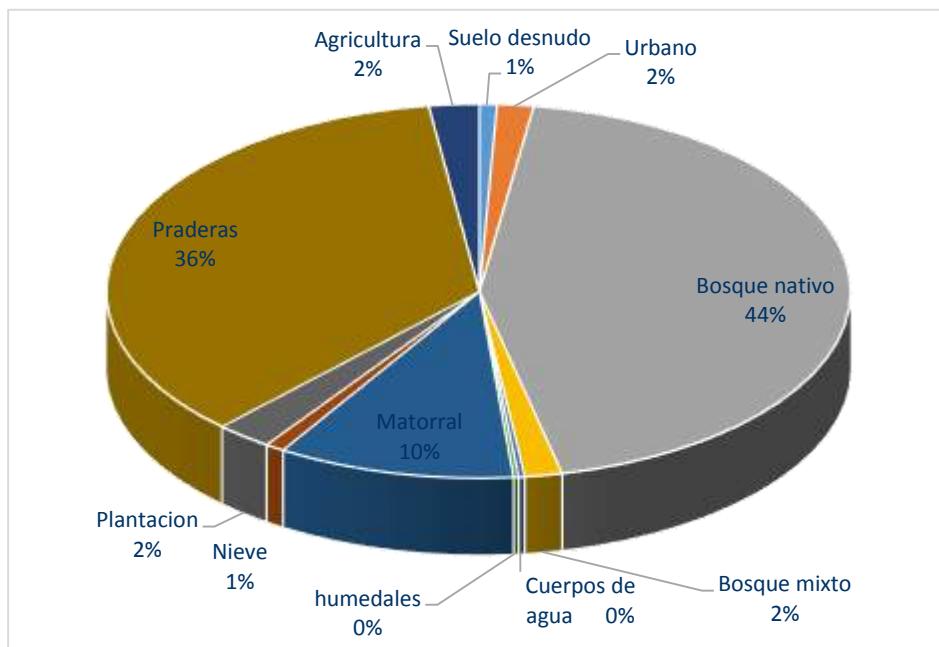


Figura 97. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Llanquihue.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 127 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 21). En cuanto al aporte de PT proveniente de la precipitación, se promedió la precipitación del periodo 2014, multiplicándolo por la concentración de 8,6 µg/L PT en la precipitación (Godoy *et al.*, 2001) y el área del lago Llanquihue. El mayor aporte de PT lo registró la precipitación (12,75 ton/año), seguido de las praderas (11,88 ton/año) (Figura 98). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).



Tabla 21.
Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0,08
Bosque nativo	3,30
Bosque mixto	0,22
Cuerpos de agua	0,02
Humedales	0,02
Matorral	2,35
Nieve	0,86
Plantacion	0,18
Praderas	11,88
Precipitaciones	12,75
Suelo desnudo	0,78
Urbano	2,69
Total	35,13

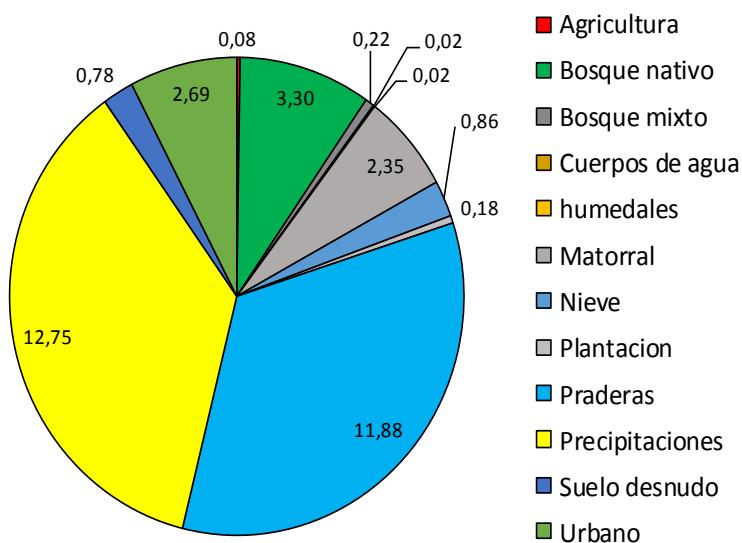


Figura 98. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.



a) Evaluación de las descargas directas al lago Llanquihue

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Llanquihue, información actualizada en su mayoría al año 2014. La información de RILES fue obtenida de la SISS a través del MMA, en el caso de no registrarse datos de monitoreo se calculó la carga a partir del caudal indicado en la DIA con un límite permisible de PT de 2 mg/L. La mayoría de las empresas que descargan sus RILES a la cuenca son pisciculturas y algunas empresas de procesamiento de alimentos, así como también una planta de tratamiento de aguas servidas (Planta tratamiento Puerto Octay). El resultado de la Carga directa de PT (ton/año) por fuente fue calculado en base al caudal mensual y las concentraciones de PT (Tabla 22).

Tabla 22.
Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Llanquihue.

Fuente	Carga ton/año
Prosecor Ltda.	0,0
Lacteos Pt. Octay	0,2
Novartis Chile S.A	0,2
Planta tratamiento Pt. Octay	0,5
Pingüino Ltda.	0,001
Población	9,502
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 1	0,309
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 2	0,008
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 3	0,437
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 4	0,260
Salmones Llanquihue	5,987
Salmones Multiexport Pt. Fonck	0,014
Aguas Claras	4,705
Fiordo Blanco	5,968

Para la estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Llanquihue, se actualizó la información entregada en la primera parte del proyecto, estimaciones que se realizaron en base a la metodología de Campos *et al.* 1991, descrita con anterioridad. Se consideró como descarga mínima la sumatoria de la carga de PT (ton/año) de los pozos sépticos, mientras que la carga máxima sería la proveniente de las descargas directas, tanto para los turistas como la población permanente (Tabla 23). En cuanto al número de turistas, se utilizó idéntico valor (20.000 personas) de la primera parte del



proyecto, cifra que en su momento se consideró conservadora por la falta de antecedentes recientes (Tabla 23).

Tabla 23.

Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Llanquihue.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	Descarga directa	Pozo séptico	Descarga directa
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
Nº viviendas franja 200m	-	-	1142	-
Nº personas	20000	-	4568	-
Nº personas Ensenada	-	-	1400	-
Nº personas Cascadas	-	-	700	-
Nº días residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,08	0,38	1,83	9,13
		Total ton/año	Mín.	1,90
			Máx	9,50

Estimación del Aporte de PT por centros de cultivo

En primera instancia se evaluó la producción de 15 concesiones de acuicultura en el lago Llanquihue. Dentro de las cuales hasta el primer semestre del año 2014, doce reportaron producción. Las concesiones 100546 y 100070 se encuentran sin movimiento desde el año 2010 y 2011 respectivamente, mientras que la concesión 100204 no está produciendo smolts a partir del año 2013. En la Figura 99 se observa la evolución en el tiempo de la producción bruta anual para el lago Llanquihue, la cual disminuyó abruptamente el año 2013 a 360 ton, para luego reapuntar y registrar el máximo de producción histórica en el lago Llanquihue de 10.743 ton (se recalca que los datos de producción del año 2014 son solamente lo registrado durante el primer semestre).

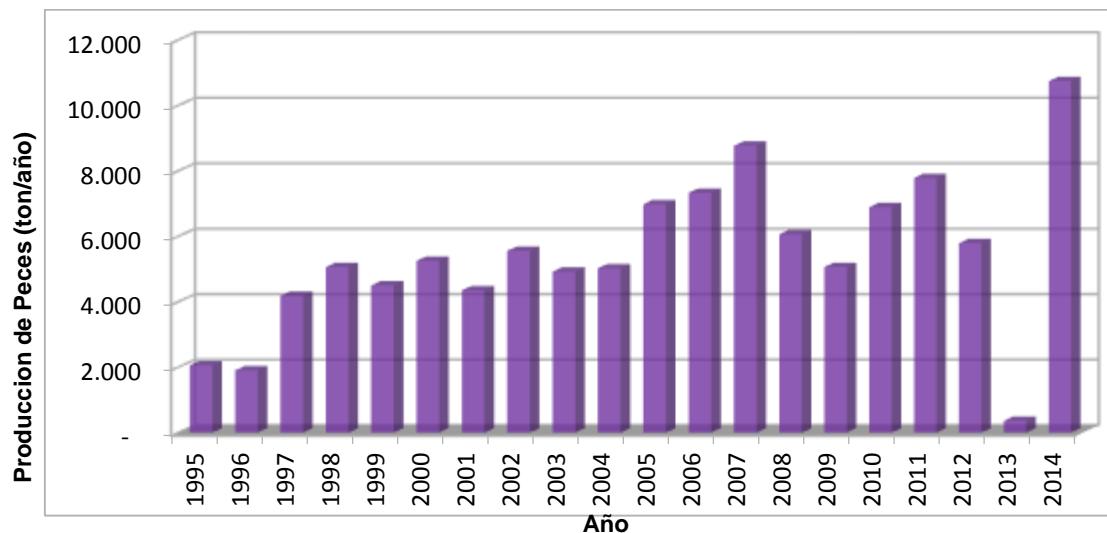


Figura 99. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Llanquihue.

De los 15 centros de cultivo presentes en el lago Llanquihue, los que han contribuido mayormente a la producción histórica de salmonidos han sido el 100100 (22%) y el 101866 (19%). Los mayores valores de producción se registraron en la Bahía Phillipi I y II respectivamente, ubicada en la comuna de Llanquihue. Las concesiones restantes presentaron producción entre un 8% y 2% (Figura 100).

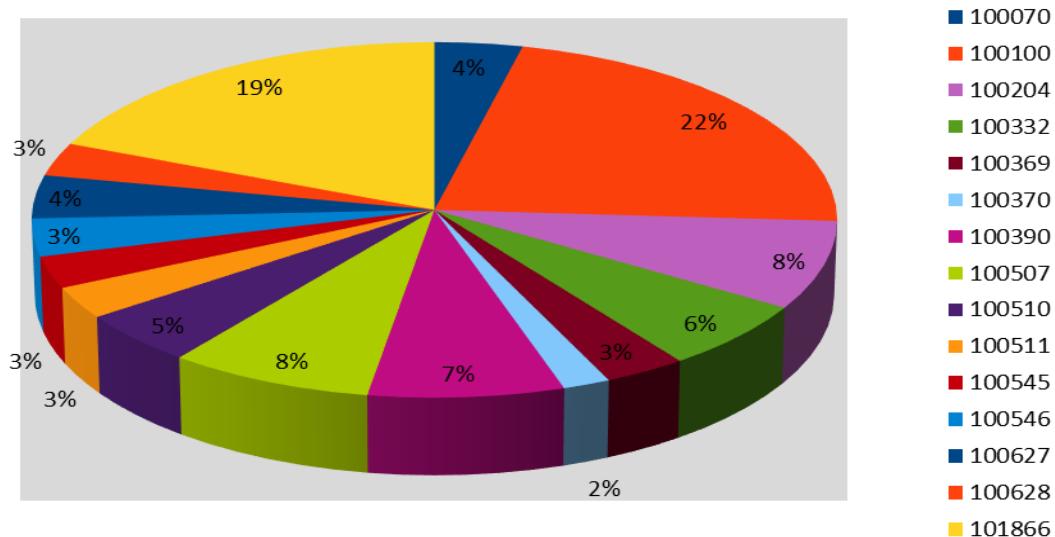


Figura 100. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Llanquihue.



Así también, siguiendo la misma tendencia que la producción salmonícola, el aporte de fósforo total calculado disminuyó de 50 toneladas aprox. el año 2012 a 3,4 toneladas durante el año 2013, volviendo a aumentar drásticamente el primer semestre del 2014 a 100 toneladas de PT (Figura 101).

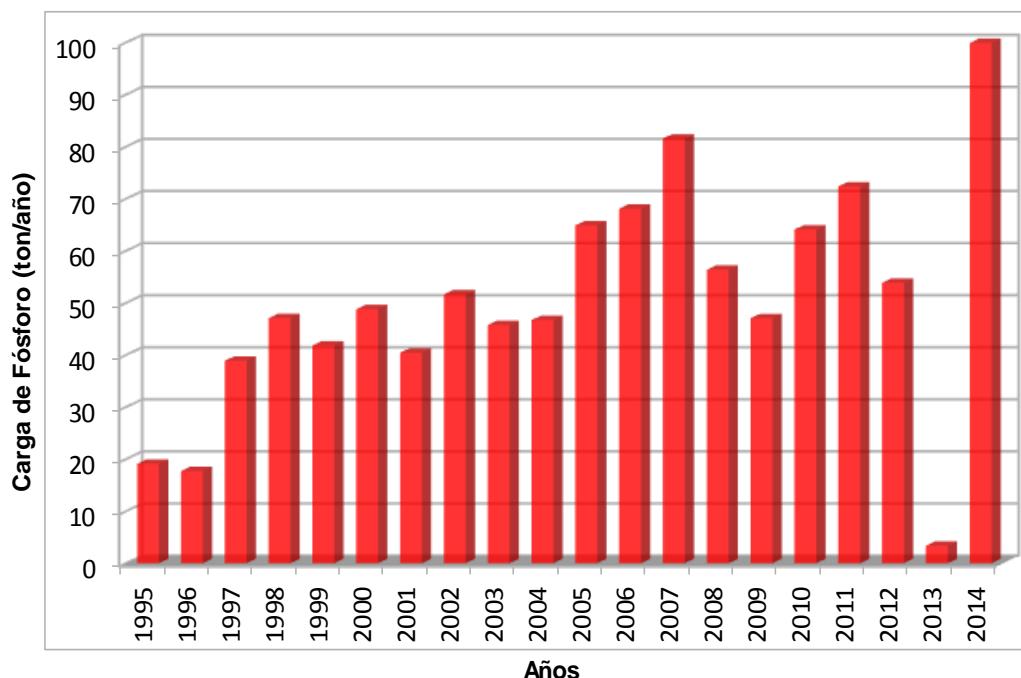


Figura 101. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Llanquihue.

Carga (sumatoria) de P al lago Llanquihue

En la Tabla 24 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Llanquihue. En total se estimó una carga total de PT de 121,3 ton/año que ingresaría al lago Llanquihue.

**Tabla 24.**

Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga PT ton/año
Prosecor Ltda.	0,0
Lacteos Pt. Octay	0,2
Novartis Chile S.A	0,2
Planta tratamiento Pt. Octay	0,5
Pinguino Ltda.	0,0
Población	9,5
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 1	0,3
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 2	0,0
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 3	0,4
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 4	0,3
Salmones Llanquihue	6,0
Salmones Multiexport Pt. Fonck	0,0
Aguas Claras	4,7
Fiordo Blanco	6,0
Balsas jaulas (2002-2014)	58,1
Afluentes/ uso de suelo	22,4
Precipitación (2013-2014)	12,7
Carga total	121,4

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 102-103), se obtuvo que las balsas jaulas representan el mayor aporte de PT al lago con un 47,9%, seguido por el uso de suelo (18,4%) pisciculturas (14,6%) y la precipitación (10,5%).

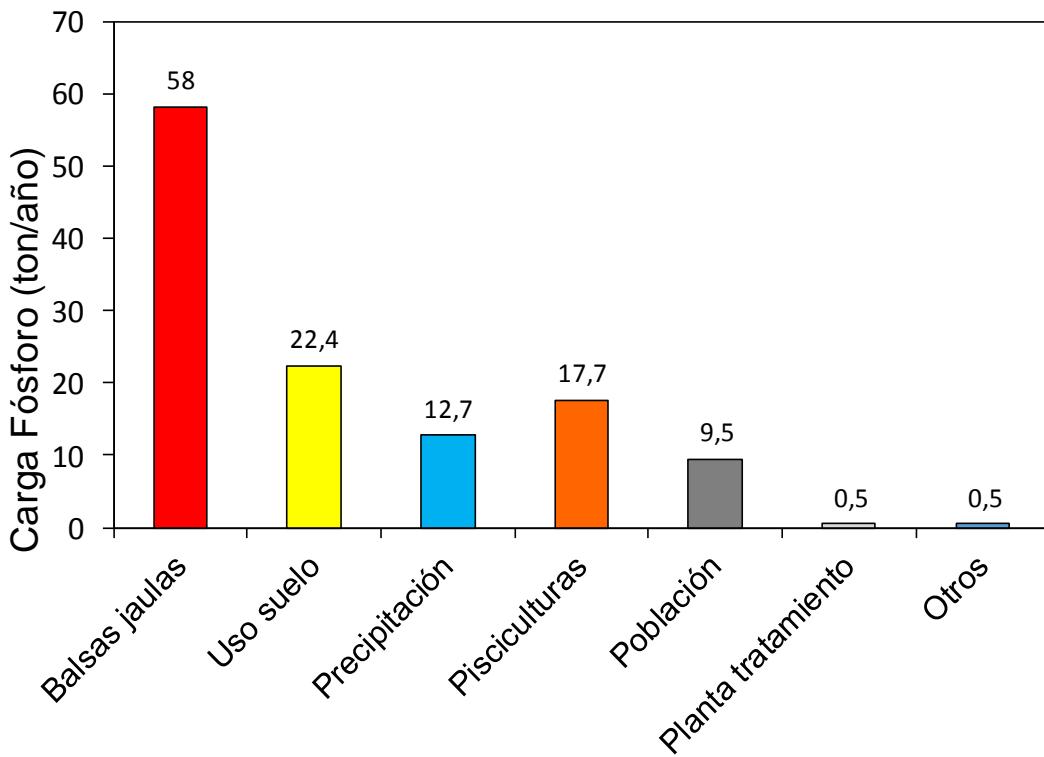


Figura 102. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

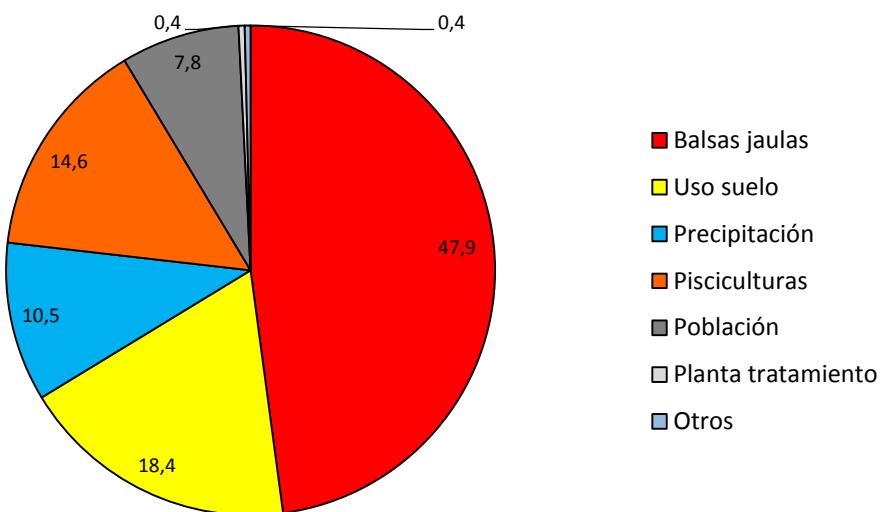


Figura 103. Contribución de fósforo total (%) según actividad.



Determinación del contenido de PT en el lago

Utilizando la curva hipsográfica del lago Llanquihue se calculó el volumen de agua para cada estrato de la columna de agua. La masa total de fósforo por estrato se calculó multiplicando la concentración promedio de fósforo obtenida con el volumen de cada estrato. Finalmente se sumó la masa total de fósforo para el lago Llanquihue obteniendo un valor de 924,16 ton/L. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Llanquihue fue 0,0058 mg/L (Tabla 25).

Tabla 25.

Contenido de PT en la columna de agua del lago Llanquihue.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km ³) / estrato	Vol. estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT / estrato
0	“0-10	8,6	5,4	0,0065	55,6
10	“10-20	8,4	5,3	0,0063	52,7
20	“20-30	8,2	5,2	0,0063	51,5
30	“30-40	8,0	5,0	0,0062	49,3
40	“40-50	7,8	4,9	0,0061	47,5
50	“50-80	22,1	14,0	0,0063	138,7
80	“80-120	26,5	16,7	0,0060	159,0
120	“120-160	22,7	14,3	0,0053	119,4
160	“160-200	18,6	11,7	0,0048	88,8
200	“200-250	17,0	10,7	0,0053	89,3
250	“250- fondo	10,9	6,9	0,0066	72,3
	Total	158,6	100,0		924,2
				Promedio (mg/L)	0,0058

Determinación de la descarga por el efluente

Se calculó la descarga de fósforo total por el efluente utilizando el valor promedio de fósforo en el columna de agua (0,0058 mg/L) multiplicándolo por el caudal anual del río Maullín.

La descarga anual del efluente calculada fue de ~ 13,065 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (m³/año): 2,2422096
Concentración de PT (mg/L): 0,0058
Descarga de PT (ton/año): 13,065



Balance de masas y capacidad de carga del lago Llanquihue

El balance de fósforo total calculado para el lago Llanquihue se presenta en la Tabla 26. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 924,2 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 121 ton, mientras que el egreso fue de 13 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (108 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 89%, mismo valor calculado en la primera etapa del proyecto.

Tabla 26.
Balance de Fósforo total calculado para el lago Llanquihue.

PT en Columna de agua (ton)	Ingreso PT (ton)	Egreso PT (ton)	Sedimentación PT (ton)	Tasa de sedimentación (%)
924,2	121	13	108	89

Se calculó la carga crítica del lago Llanquihue, con un tiempo de renovación de 56 años. Se ha identificado que para lagos oligotróficos, el límite máximo deseado de PT es 10 µg/L. Por tanto, según el tiempo de renovación calculada (56 años), la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico, ($PT > 10 \mu\text{g/L}$), es de 241 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (5,827 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 141 ton/año (Tabla 27). Según nuestros cálculos, el aporte externo del lago, tanto directo como indirecto, sería 121,3 ton/año, sin embargo, considerando que se necesita más que una década para que PT alcance el 95% de equilibrio, este lago pudiera encontrarse en constante fase de acumulación de fósforo total. Por tanto, la carga actual puede estar subestimada, dado a que están ingresando continuamente nutrientes de las diversas actividades antropogénicas, así también como las de origen natural, como es el caso de la erupción del Volcán Calbuco.

Tabla 27.
Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Llanquihue.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tiempo de renovación (años)
10	241	56
5,827	141	56



6.3.2. Lago Chapo

I) Determinación de estado trófico

La figura 104 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Chapo de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de nitrógeno total y fósforo total, indican que el lago se encuentra en estado de oligotrofia. La transparencia indicaría un estado de mesotrofia, salvo el centro 100394 que presentó condiciones de eutrofización para este parámetro. En general, los resultados de la clorofila a fueron características para condiciones ultraoligotróficas.

II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

Para cumplir con esta actividad se calculó primeramente el contenido de fósforo total en la columna de agua del lago (ton/lago), mediante la curva hipsográfica (Tabla 28). Luego, con el modelo de capacidad de carga de Vollenweider se calculó la carga actual y carga crítica del lago (Tabla 28), utilizando el tiempo de renovación de la literatura. También se identificó el aporte de fósforo total proveniente de los centros de cultivo en el lago.

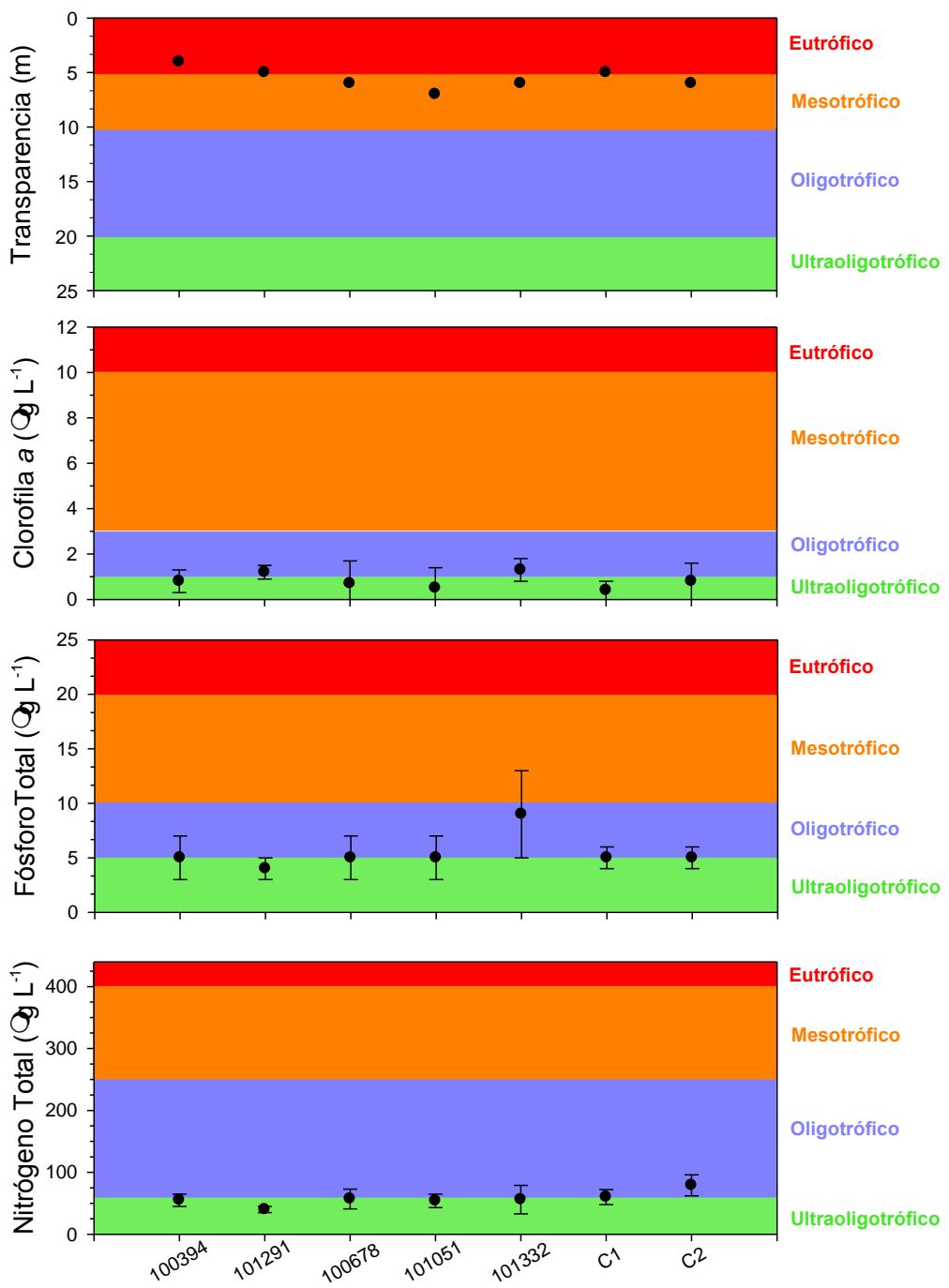


Figura 104. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Chapo.

**a) Determinación del contenido de P en el lago****Tabla 28.**

Contenido de PT en la columna de agua del lago Chapo.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km ³) / estrato	Vol estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT / estrato
0-10-20-30-40	0-50	1,9	27	0,0054	10,1
50-80-100	50-100	1,6	23	0,0055	8,8
100-120	100-150	1,2	18	0,0041	5,1
160	150-200	1,1	16	0,0041	4,5
200-250	200-250	0,6	9	0,0047	2,9
290	250-300	0,5	7	0,0044	2,1
	Total	6,9	100		33,5
				Promedio (mg/L)	0,0047

b) Cálculo de la carga crítica y carga actual del lago

Se calculó la carga crítica del lago Chapo, con una tasa de renovación de 6 años. Se ha identificado que para lagos oligotróficos, el límite máximo deseado de PT es 10 µg/L. Por tanto, según esta tasa de renovación, la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico (PT > 10 µg/L) es de 42 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (5,2 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 20 ton/año (Tabla 29).

Tabla 29.

Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Chapo.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tasa de renovación (años)
10	42	6
5,2	20	6

c) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

Hasta el año 2009 la producción de peces en el lago Chapo mostró una tendencia al alza, luego declinó hasta el 2013, en donde no se registró producción. En el primer semestre del año 2014 se registró nuevamente un alza, alcanzando la máxima producción histórica del lago cercana a los 4.200 ton (Figura 105).

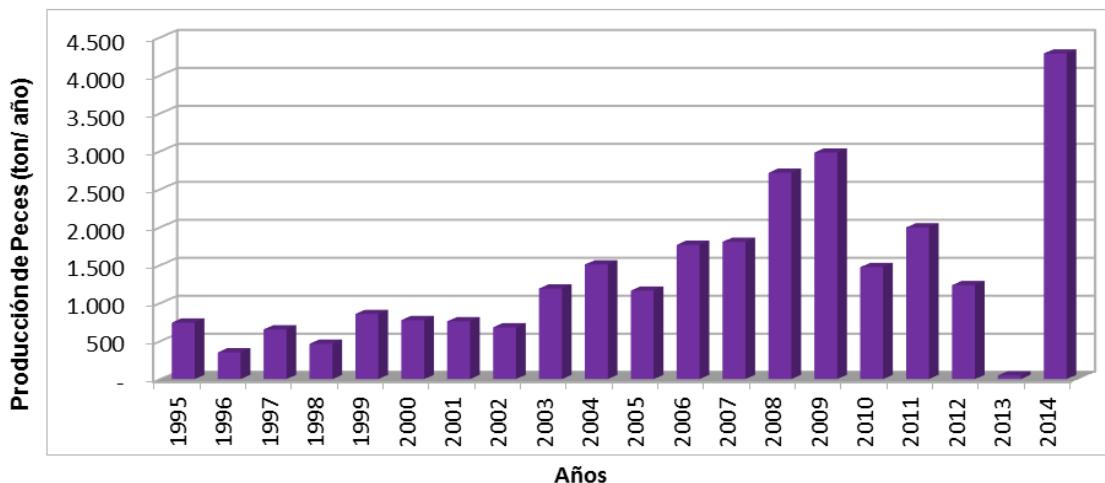


Figura 105. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Chapo.

En el lago Chapo, existen 6 concesiones de acuicultura, de las cuales la que ha contribuido mayormente a la producción total histórica de peces ha sido la concesión 101291 (44%), seguido por la 101051 con un 23% (Figura 106). Las concesiones 100678 y 100278 dejaron de producir desde el año 2010, mientras que el centro 100332 desde el año 2013.

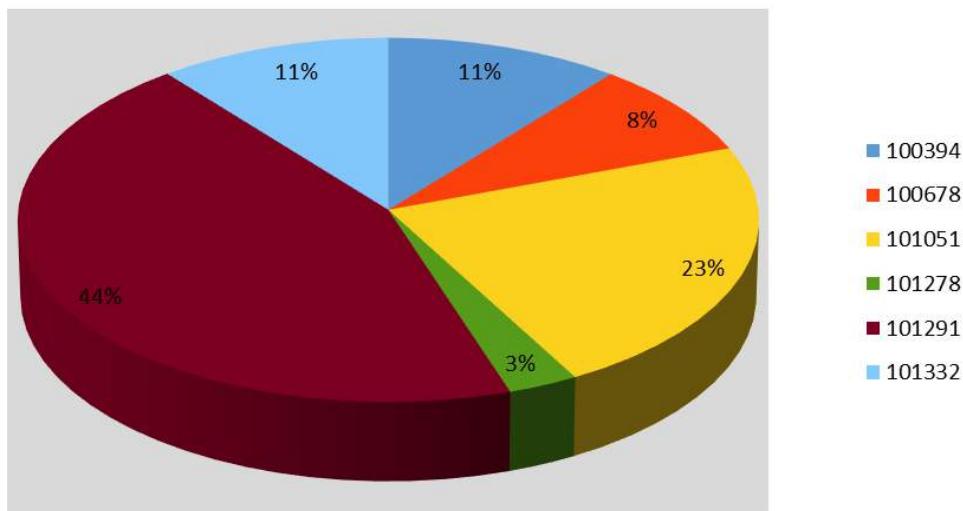


Figura 106. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Chapo.



Las cargas de fósforo total estimadas se comportan obviamente de igual forma que la producción de peces, observándose un alza histórica desde el comienzo de la producción en el lago hasta el año 2009. Posteriormente, la carga disminuye, hasta alcanzar 0,4 ton de carga de fósforo total el año 2013. Sin embargo, durante el primer semestre del año 2014 se observó la máxima carga histórica de fósforo total en el lago, alcanzando un aporte de PT cercano a las 40 ton (Figura 107).

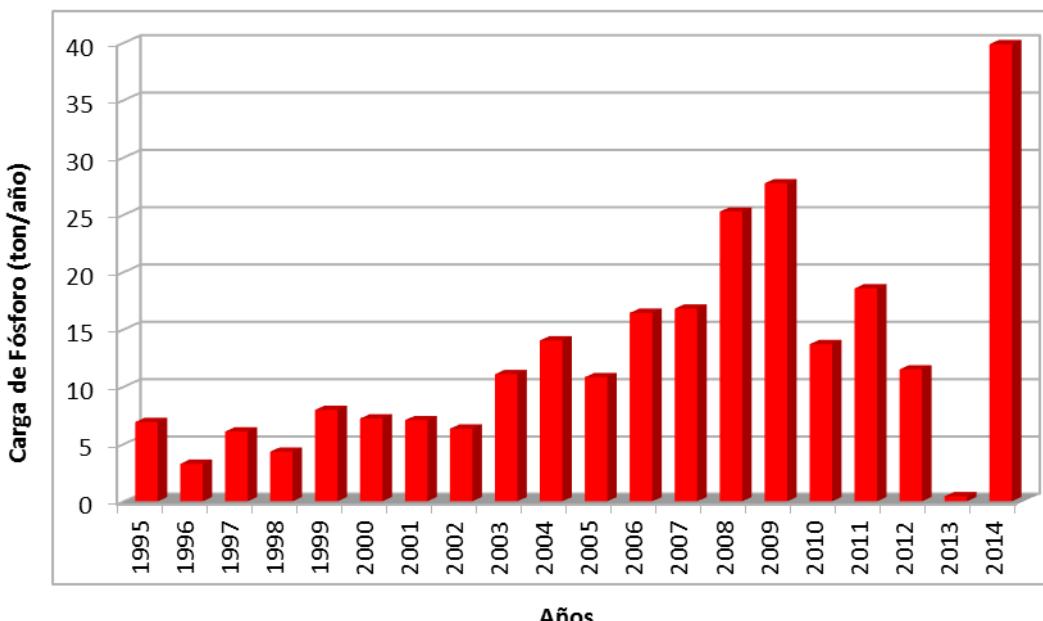


Figura 107. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Chapo.

Como se observa en las figuras anteriores, sólo durante el primer semestre del año 2014 la producción de peces registró su máximo a nivel histórico en este lago, lo que obviamente hace incrementar la carga de fósforo total. Según el modelo predictivo de la capacidad crítica, se calculó el ingreso de 42 toneladas para no sobrepasar el límite de 10 ug/L, mientras que la salmonicultura durante el año 2014 debiera haber aportado según su producción 40 ton de PT al sistema lacustre. Como bien se sabe, el aumento de la carga de fósforo total en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga. Por tanto, al calcular el tiempo de equilibrio de P al 90% y 95%, se obtuvo un tiempo de equilibrio de 4,1 años y 5,4 años respectivamente. Este resultado estaría indicando que en 4 a 5 años más, podríamos ver el efecto de la descarga de la salmonicultura durante el año 2014.



6.3.3. Lago Natri

I) Determinación del estado trófico

La Figura 108 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Natri de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. La transparencia mostró que en general el lago se encuentra en proceso de eutrofización, a excepción del centro 100437 que presentó condiciones mesotróficas. Los resultados de nitrógeno total y fósforo total, indicaron que el lago en general se encuentra en estado de mesotrofía, se excluye de esta condición el centro 100437 que presentó condiciones eutróficas. Los resultados de la clorofila a fueron características para condiciones ultraoligotróficas.

II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga.

a) Determinación del contenido de PT en el lago

Campos *et al.* (1997) ha sido el único estudio que ha realizado una batimetría en el lago Natri, sin embargo, no pudimos acceder a esta base de datos, lo que nos imposibilitó realizar el cálculo de la curva hipsográfica, y por ende posterior determinación del contenido actual de fósforo total en el lago. Por tanto, se considera necesario la realización de una nueva batimetría que nos permita determinar de forma certera el contenido de fósforo total en el lago Natri.

b) Cálculo de la carga crítica y carga actual del lago.

Como se ha mencionado con anterioridad, dado a que no se pudo realizar el cálculo de la curva hipsográfica del lago Natri, no se generó posteriormente el cálculo para obtener la carga crítica ni actual del lago. Por otro lado, como bien es sabido, no se justifica el desarrollo de un modelo de capacidad de carga en lagos húmicos que presenten condiciones similares a las de un lago eutrófico, por lo que se consideró tanto por el comité de expertos como por el grupo de trabajo, caracterizar de mejor manera el estado trófico de estos lagos por medio de alguna variable óptica, como se describe a continuación.

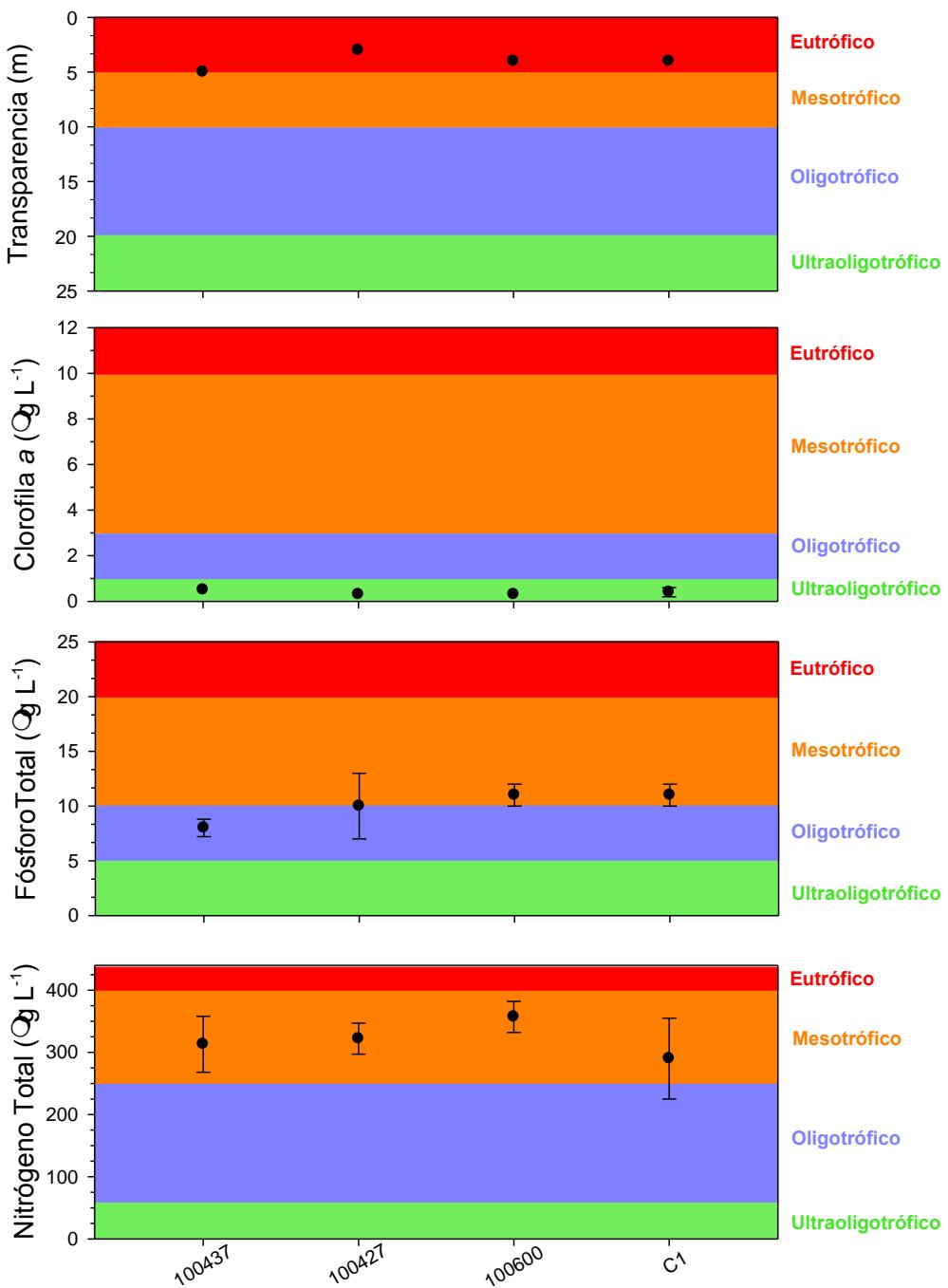


Figura 108. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Natri.



c) Clasificación paradigma nutriente-color para caracterización lagos chilotas

Este paradigma permite diferenciar la trofía de lagos utilizando como indicadores tróficos la concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) y el color del agua (Pt mg/L). Las clases utilizadas para el fósforo total son los establecidos por CONAMA (2005): ultraoligotrófico ($< 1 \mu\text{g/L}$), oligotrófico (1 a 10 $\mu\text{g/L}$), mesotrófico (10 a 20 $\mu\text{g/L}$) y eutrófico ($> 20 \mu\text{g/L}$) (Tabla 29 ANEXO 1). En tanto para el color fue establecido el límite de 20 Pt mg/L para bajo y elevado color (Williamson *et al.* 1999, Webster *et al.* 2008), incorporando el estado distrófico y mixotrófico en su clasificación. En la Figura 109 se encuentran plasmados los rangos establecidos para ambas variables en conjunto con los valores de fósforo total y color en las diferentes estaciones del lago Natri a todas las profundidades muestreadas. La concentración de fósforo total en el lago Natri osciló entre 7 y 13,6 $\mu\text{g/L}$. Los valores de color del lago fueron todos superiores a 20 Pt mg/L , entre 33,8 a 58,9 Pt mg/L . Por lo tanto, según la concentración de fósforo el lago Natri tendría una condición que oscila de oligotrófico a mesotrófico; y de acuerdo al color la condición del lago Natri sería distrófico.

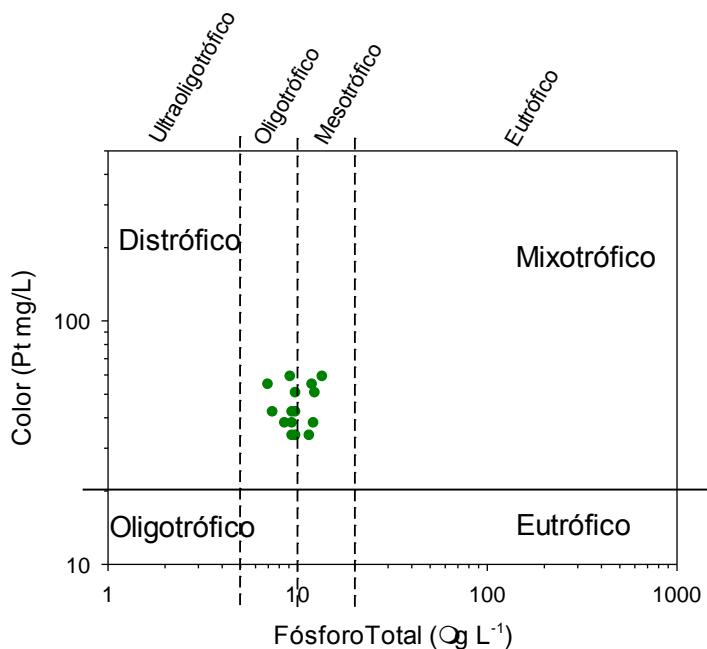


Figura 109. Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Natri.



d) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

Actualmente en el lago Natri, fue el único de los lagos chilotas muestreados, donde se mantenían actividades de acuicultura. En los resultados de producción de peces, se observó dos máximos productivos, uno el año 1995 y el otro durante el año 2011, disminuyendo considerablemente el año 2013 a 64,4 toneladas. Durante el primer semestre del 2014 se observó nuevamente un alza de la producción con valores cercanos a 1000 ton (Figura 110).

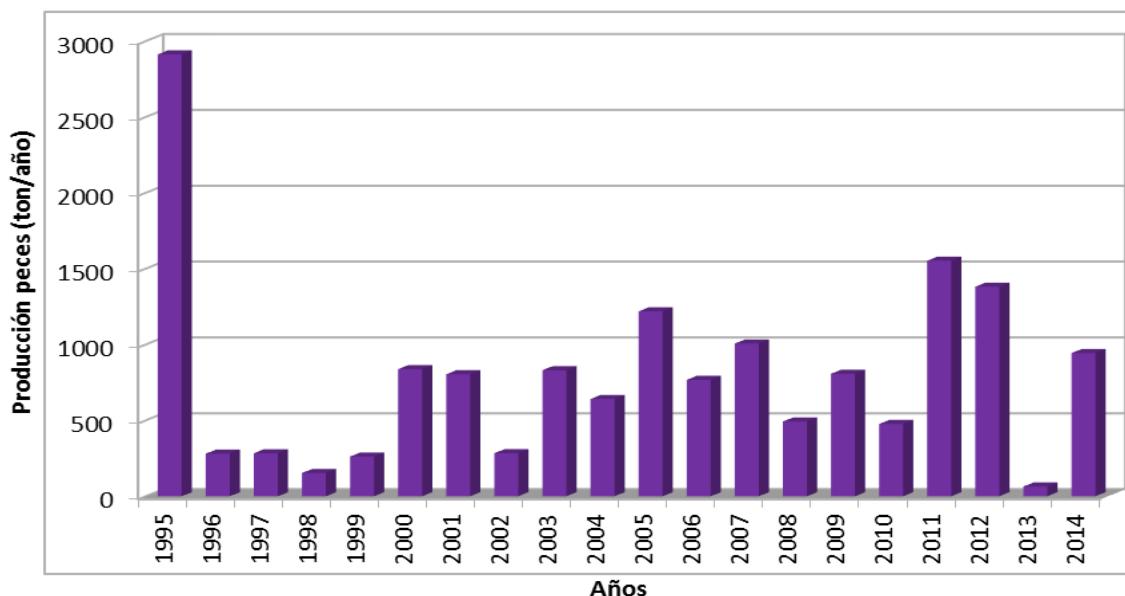


Figura 110. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Natri.

De los tres centros de cultivo localizados en el lago Natri, la mayor contribución histórica en relación a la producción de peces estuvo dado por el centro 100427 (49%), seguido por 100437 (31%) (Figura 111).

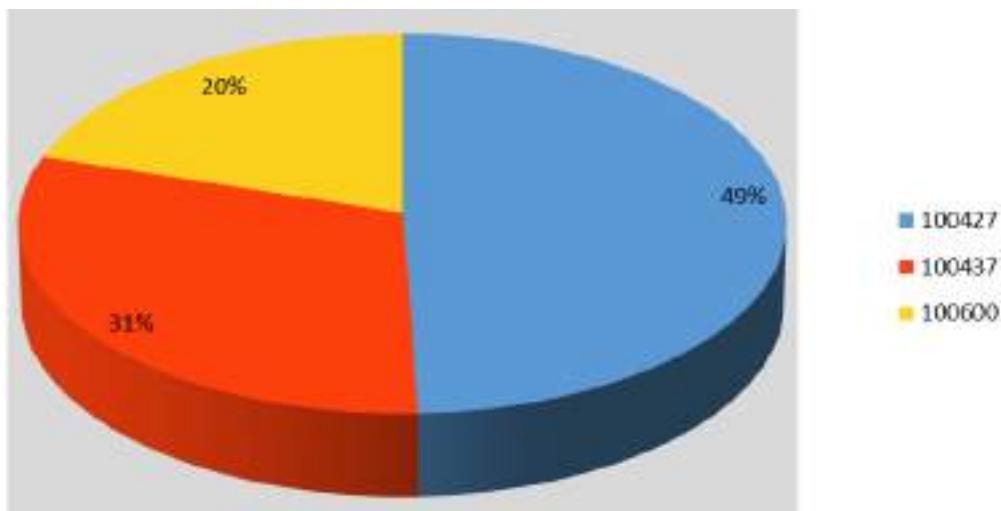


Figura 111. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Natri.

En relación a la carga de fósforo total aportada por la salmonicultura el mayor aporte fue dado durante el año 1995, cercano a las 27 toneladas. En los años siguientes el aporte no ha superado las 14 toneladas por año (Figura 112).

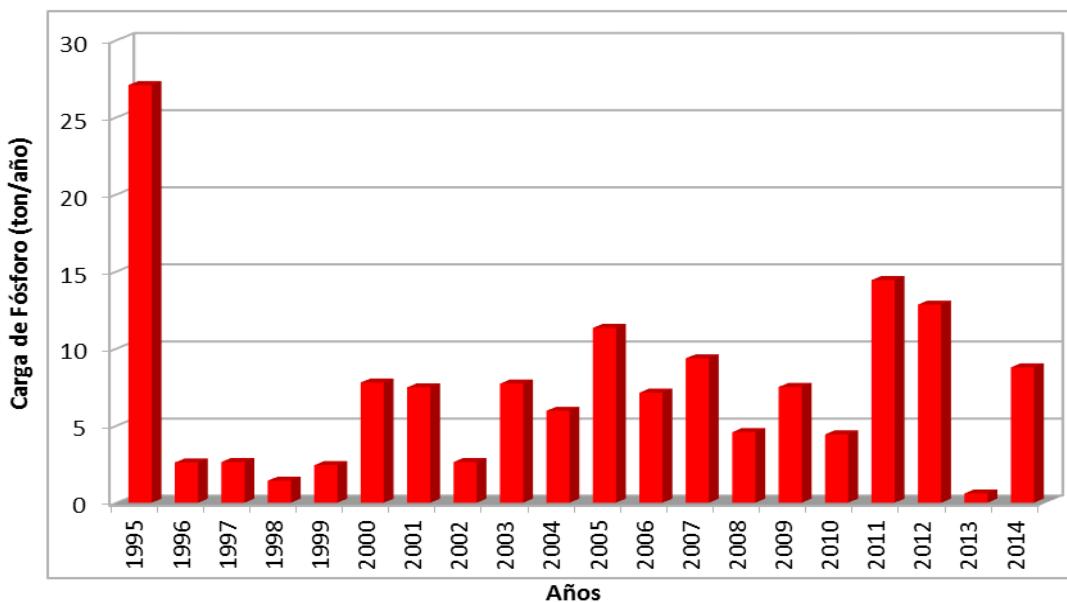


Figura 112. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Natri.



En este lago aún existe actividad acuícola, aportanto solamente durante el primer semestre del año 2014, 8 toneladas de PT al sistema. Bien se sabe, que el aumento de la carga de fósforo en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga. Si bien, se calculó el tiempo de equilibrio de PT al 90 y 95% en 3,2 y 4,2 años respectivamente, se considera erróneo el cálculo, dado a que no se conoce como el fósforo total se comporta con la concentración de ácidos húmicos presentes en este lago.

6.3.4. Lago Huillinco

I) Determinación de estado trófico

La Figura 113 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Huillinco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. La transparencia mostró que el lago se encuentra eutrófico, de igual forma lo indicaron los resultados obtenidos de NT y PT en la mayoría de los centros (se excluye el centro 100968 que presentó condiciones mesotróficas). En general, los resultados obtenidos para la clorofila a indicaron características ultraoligotróficas, salvo el centro 101212 que tendió al estado oligotrófico.

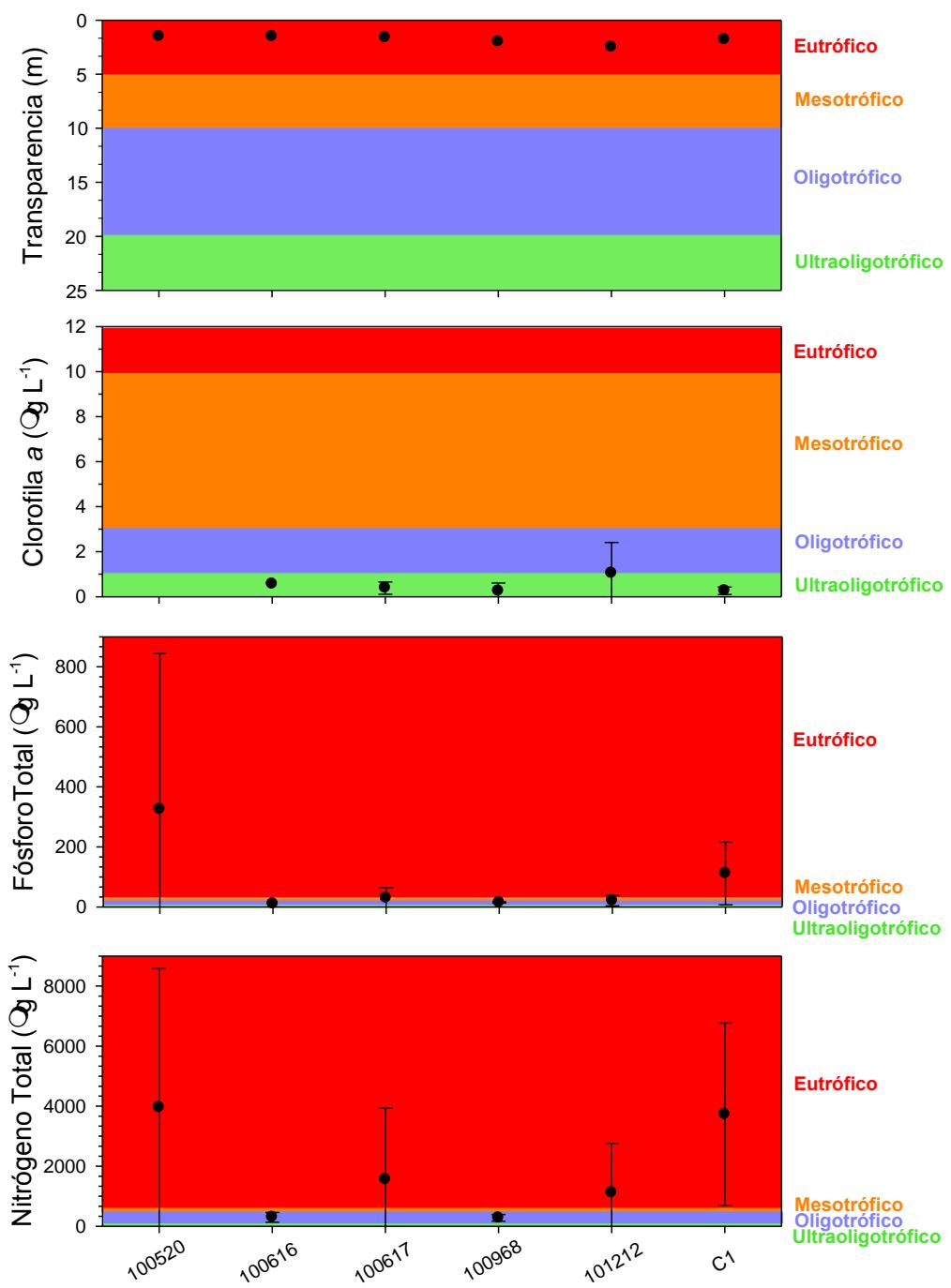


Figura 113. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Huillinco.



II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

a) Determinación del contenido de P en el lago

Campos *et al.* (1997) ha sido el único estudio que ha realizado una batimetría en el lago Huillinco, sin embargo, no pudimos acceder a esta base de datos, lo que nos imposibilitó realizar el cálculo de la curva hipsográfica, y por ende la posterior determinación del contenido de fósforo total en el lago. Por tanto, se considera necesario la realización de una nueva batimetría que nos permita determinar de forma certera el contenido de fósforo total en el lago Huillinco.

b) Cálculo de la carga crítica y carga actual del lago

Como se ha mencionado con anterioridad, dado a que no se pudo realizar el cálculo de la curva hipsográfica del lago Natri, no se generó posteriormente el cálculo de la carga crítica ni actual del lago. Por otro lado, como bien es sabido, no se justifica el desarrollo de un modelo de capacidad de carga en lagos húmicos que presenten condiciones similares a las de un lago eutrófico, por lo que se consideró tanto por el comité de expertos como por el grupo de trabajo, caracterizar de mejor manera el estado trófico de estos lagos por medio de alguna variable óptica, como se describe a continuación.

c) Clasificación paradigma nutriente-color para caracterización lagos chilotes

Este paradigma permite diferenciar la trofía de lagos utilizando como indicadores tróficos la concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) y el color del agua (Pt mg/L). Las clases utilizadas para el fósforo total son los establecidos por CONAMA (2005): ultraoligotrófico ($< 1 \mu\text{g/L}$), oligotrófico (1 a 10 $\mu\text{g/L}$), mesotrófico (10 a 20 $\mu\text{g/L}$) y eutrófico ($< 20 \mu\text{g/L}$) (Tabla 29 en ANEXO 1). En tanto para el color fue establecido el límite de 20 Pt mg/L para bajo y elevado color (Williamson *et al.*, 1999, Webster *et al.*, 2008), incorporando el estado distrófico y mixotrófico en su clasificación. Los rangos establecidos para ambas variables en conjunto con los valores de PT y color en las diferentes estaciones de muestreo en el lago Huillinco se muestran en la Figura 114. La trofía del lago Huillinco según la concentración de PT muestra una condición mesotrófica y eutrófica, con concentraciones que oscilaron entre 9 y 923,2 $\mu\text{g/L}$. Los valores de color del lago fueron todos superiores a 20 Pt mg/L , entre 50,6 a 432,3 Pt mg/L , sugiriendo una tendencia de distrófico a mixotrófico.

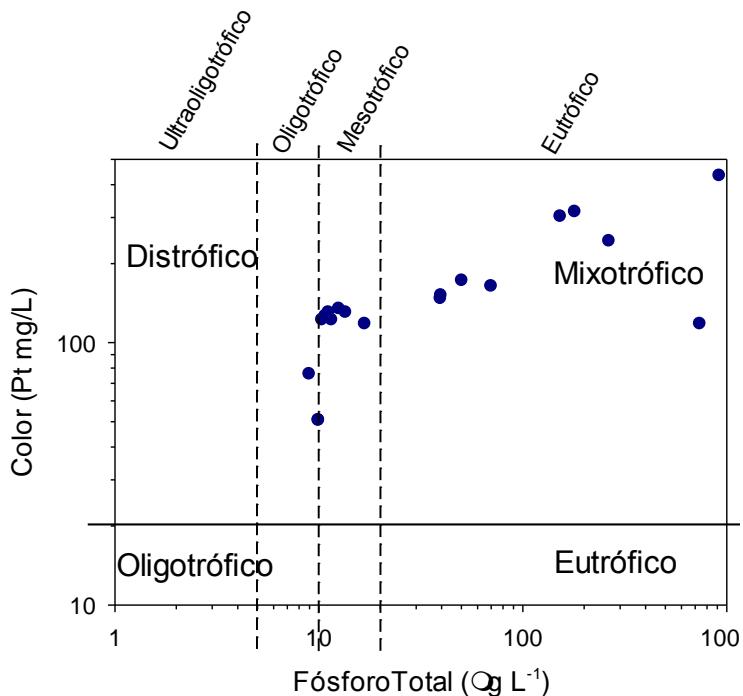


Figura 114. Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Huillinco.

d) Estimación del aporte de fósforo de centros de cultivo

Se muestra en la Figura 115 a partir del año 1995 la producción de peces en el lago Huillinco fue en aumento hasta el año 2000 (1700 ton producción de peces). Desde aquel año, la producción tendió a disminuir, hasta que a partir del año 2013 no se registró producción en ninguno de los centros.

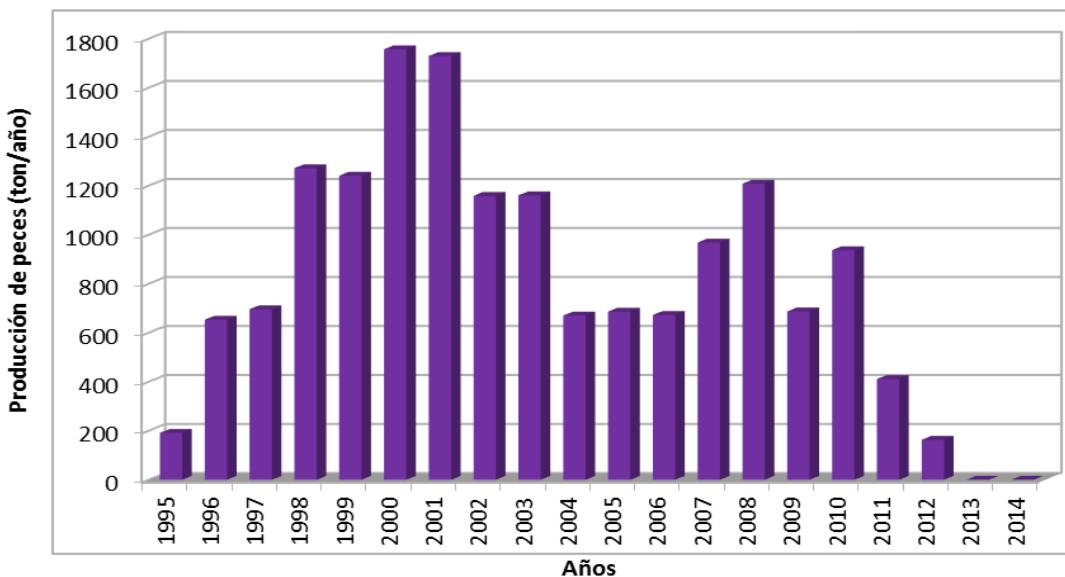


Figura 115. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Huillinco.

A nivel histórico, de las 5 concesiones otorgadas, los centros 100617, 100520, y 100968 registraron los mayores aportes a la producción (31%, 29% y 22% respectivamente) (Figura 116).

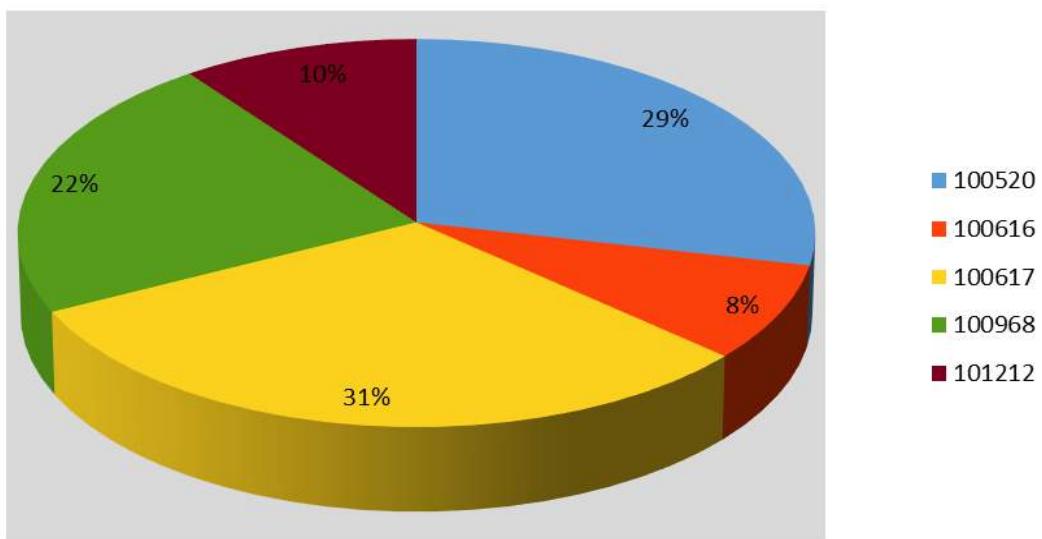


Figura 116. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Huillinco.



La máxima carga de fósforo total se presenció entre los años 2000-2001, estimando un aporte de 16 ton/año (Figura 117).

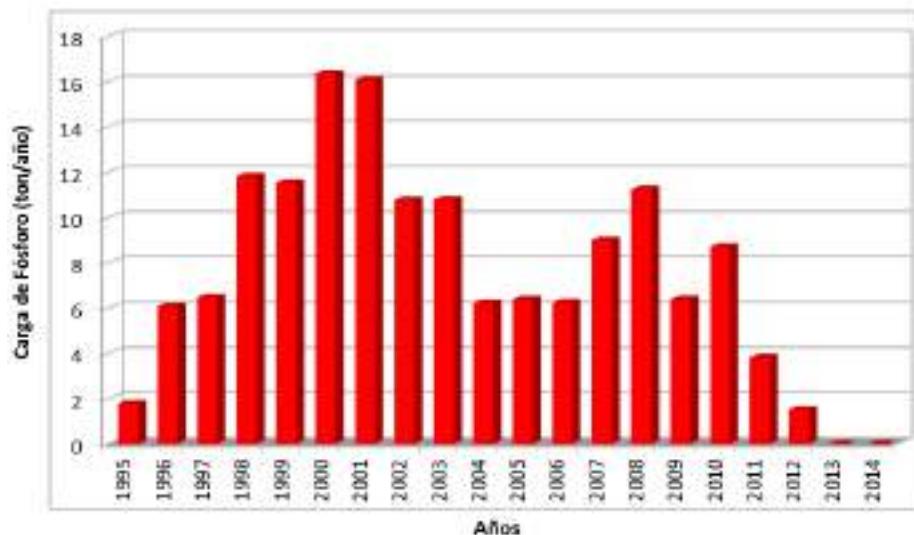


Figura 117. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Huillinco.

Bien se sabe, que el aumento de la carga de fósforo total en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga. Si bien, se calculó el tiempo de equilibrio de PT al 90 y 95% en 0,3 y 0,4 años respectivamente, se considera erróneo el cálculo, dado a que no se conoce como el fósforo total se comporta con la concentración de ácidos húmicos presentes en este lago. Además, el tiempo de renovación utilizado según literatura se considera dudoso (Campos *et al.* 1997), ya que se desconoce cómo fue la inclusión de las mareas en este estudio. Se considera necesario realizar un buen balance hidrológico para conocer de manera más exacta el comportamiento ambiental de los cuerpos lacustres del Huillinco y Cacao.

6.3.5. Lago Tarahuín

I) Determinación de estado trófico

La Figura 118 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Tarahuín de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. La transparencia mostró que el lago se encuentra en proceso de eutrofización, de igual forma lo indicaron los resultados obtenidos de NT y PT en la mayoría de los centros (se excluye el centro 100968 que para este parámetros presenta

condiciones mesotróficas). En la mayoría de los centros, se observó que los resultados de la clorofila presentaron características ultraoligotróficas, a excepción del centro 101212 tendiente a un estado oligotrófico.

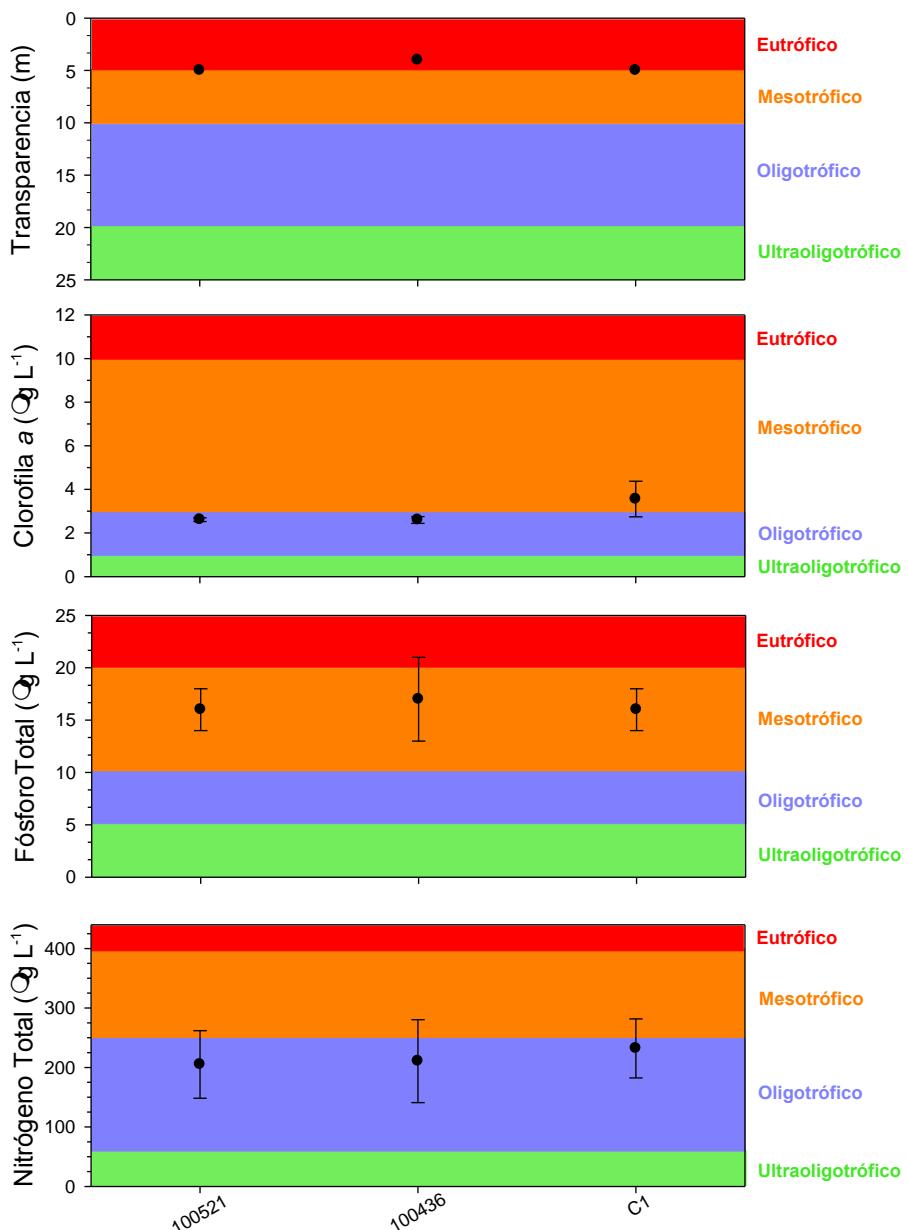


Figura 118. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Tarahuín.

**II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga****a) Determinación del contenido de PT en el lago**

Campos *et al.* (1997) ha sido el único estudio que ha realizado una batimetría en el lago Tarahuín, sin embargo, no pudimos acceder a esta base de datos, lo que nos imposibilitó realizar el cálculo de la curva hipsográfica, y por ende la posterior determinación del contenido de fósforo total en el lago. Por tanto, se considera necesario la realización de una nueva batimetría que nos permita determinar de forma certera el contenido de fósforo total en el lago Tarahuín.

b) Cálculo de la carga crítica y carga actual del lago

Como se ha mencionado con anterioridad, dado a que no se pudo realizar el cálculo de la curva hipsográfica del lago Natri, no se generó posteriormente el cálculo para obtener la carga crítica ni actual del lago. Por otro lado, como bien es sabido, no se justifica el desarrollo de un modelo de capacidad de carga en lagos húmicos que presenten condiciones similares a las de un lago eutrófico, por lo que se consideró tanto por el comité de expertos como por el grupo de trabajo, caracterizar de mejor manera el estado trófico de estos lagos por medio de alguna variable óptica, como se describe a continuación.

c) Clasificación paradigma nutriente-color para caracterización lagos chilotas

Este paradigma permite diferenciar la trofía de lagos utilizando como indicadores tróficos la concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) y el color del agua (Pt mg/L). Las clases utilizadas para el fósforo total son los establecidos por CONAMA (2005): ultraoligotrófico ($< 1 \mu\text{g/L}$), oligotrófico (1 a 10 $\mu\text{g/L}$), mesotrófico (10 a 20 $\mu\text{g/L}$) y eutrófico ($> 20 \mu\text{g/L}$) (Tabla 29 en ANEXO 1). En tanto para el color fue establecido el límite de 20 Pt mg/L para bajo y elevado color (Williamson *et al.*, 1999, Webster *et al.*, 2008), incorporando el estado distrófico y mixotrófico en su clasificación. Los rangos establecidos para ambas variables integrado con los valores de PT y color en las estaciones del lago Tarahuín a todas las profundidades se encuentran en la Figura 119. Las concentraciones de PT (13,8 y 18,9 $\mu\text{g/L}$) en el lago mostraron una condición mesotrófica de todos los puntos. En relación al color, la mayoría de los valores estuvieron bajo el rango 20 Pt mg/L , oscilando de 17 a 218,4 Pt mg/L . De acuerdo al color del lago Tarahuín la mayoría de los puntos de muestreos presentan una condición de oligotrófica, sin embargo otros lugares presentan un estado distrófico.

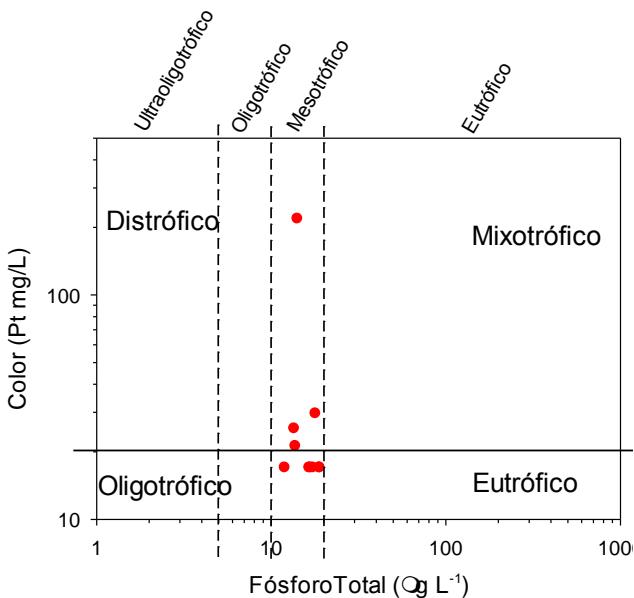


Figura 119. Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Tarahuín.

c) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

En cuanto a la producción de peces, se registraron dos peaks, uno en el año 2000 y el otro en el periodo 2007-2008, alcanzando una producción de 900 toneladas. A partir del segundo peak, la producción disminuyó hasta 2012 (Figura 120). Posteriormente, no existen registros de producción salmonícola en el lago.

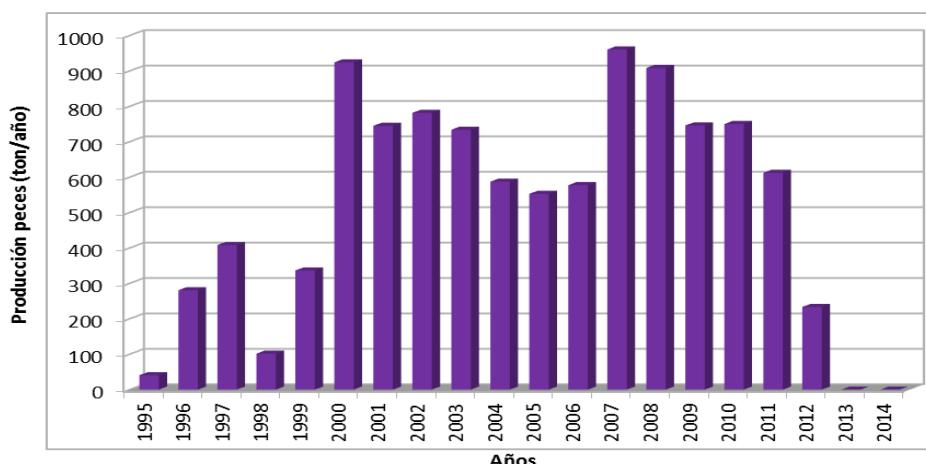


Figura 120. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Tarahuín.



De las dos concesiones otorgadas para el lago Tarahuín, el centro 100521 fue que mayormente aportó a la producción histórica con un 70% (Figura 121).

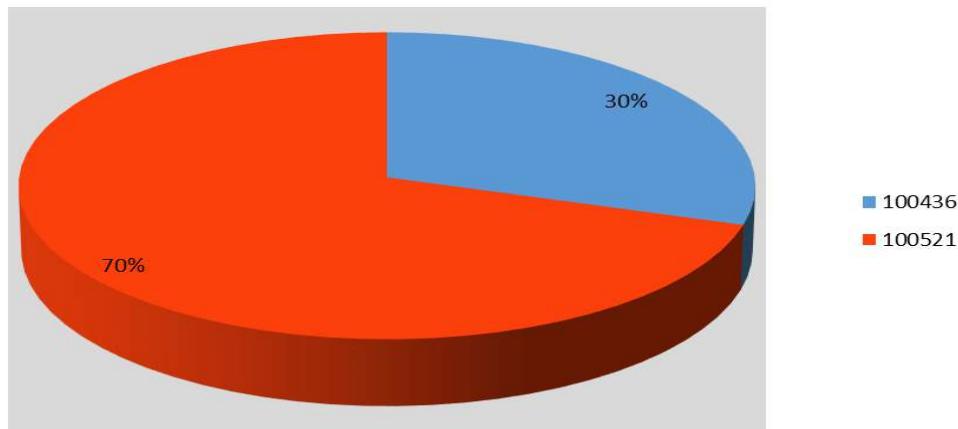


Figura 121. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Tarahuín.

Las máximas cargas de fósforo total por parte de la industria salmonera se obtuvieron durante el año 2000, 2007 y 2008 con un aporte estimado de P de 8 toneladas. A partir del año 2013 no existe registro de producción, por tanto el aporte de fósforo total por parte de la actividad salmonera en dicho lago es nulo (Figura 122).

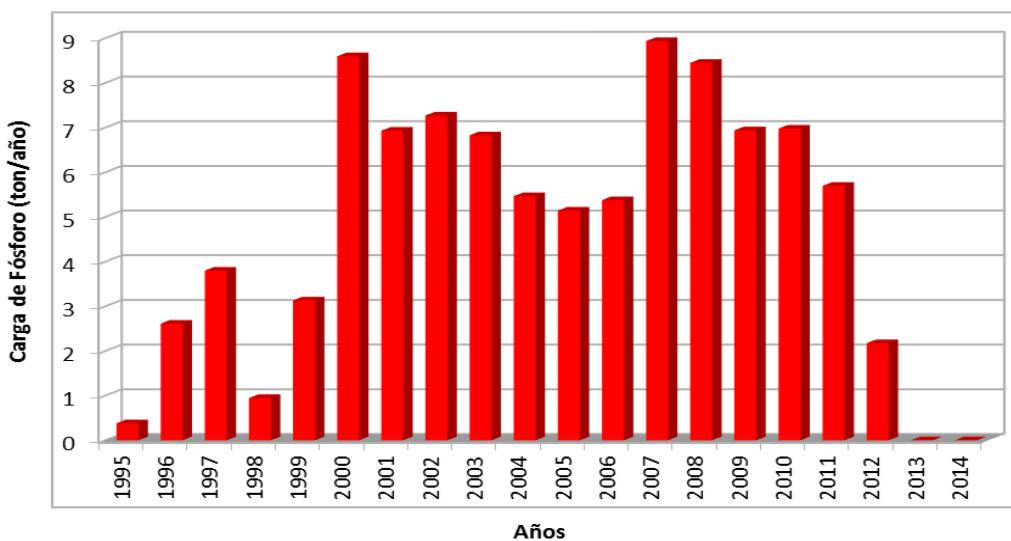


Figura 122. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Tarahuín.



La mayor producción acuícola en el lago se registró entre los años 2000 a 2011, aportando entre 5 a 9 toneladas de PT al año.

Bien se sabe, que el aumento de la carga de fósforo total en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga, relacionándose básicamente al tiempo de renovación y tasa de sedimentación. Si bien, se calculó el tiempo de equilibrio de P al 90 y 95% en 2,6 y 3,4 años respectivamente, se considera erróneo el cálculo, dado a que no se conoce como el fósforo total se comporta con la concentración de ácidos húmicos presentes en este lago.

6.3.6. Lago Cucao

I) Determinación de estado trófico

La Figura 123 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Cucao de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los valores de transparencia obtenidos corresponden a condiciones de eutrofización. Los resultados de clorofila a presentaron características de un estado ultraoligotrófico. El PT en todas las estaciones presentó características de oligotrofia, exceptuando la estación Control 2 (C2) que mostró valores de eutrofia. En relación al NT, los resultados indicaron que todas las estaciones presentan rasgos de mesotrofia, exceptuando la estación Control 2 (C2) con características eutróficas.

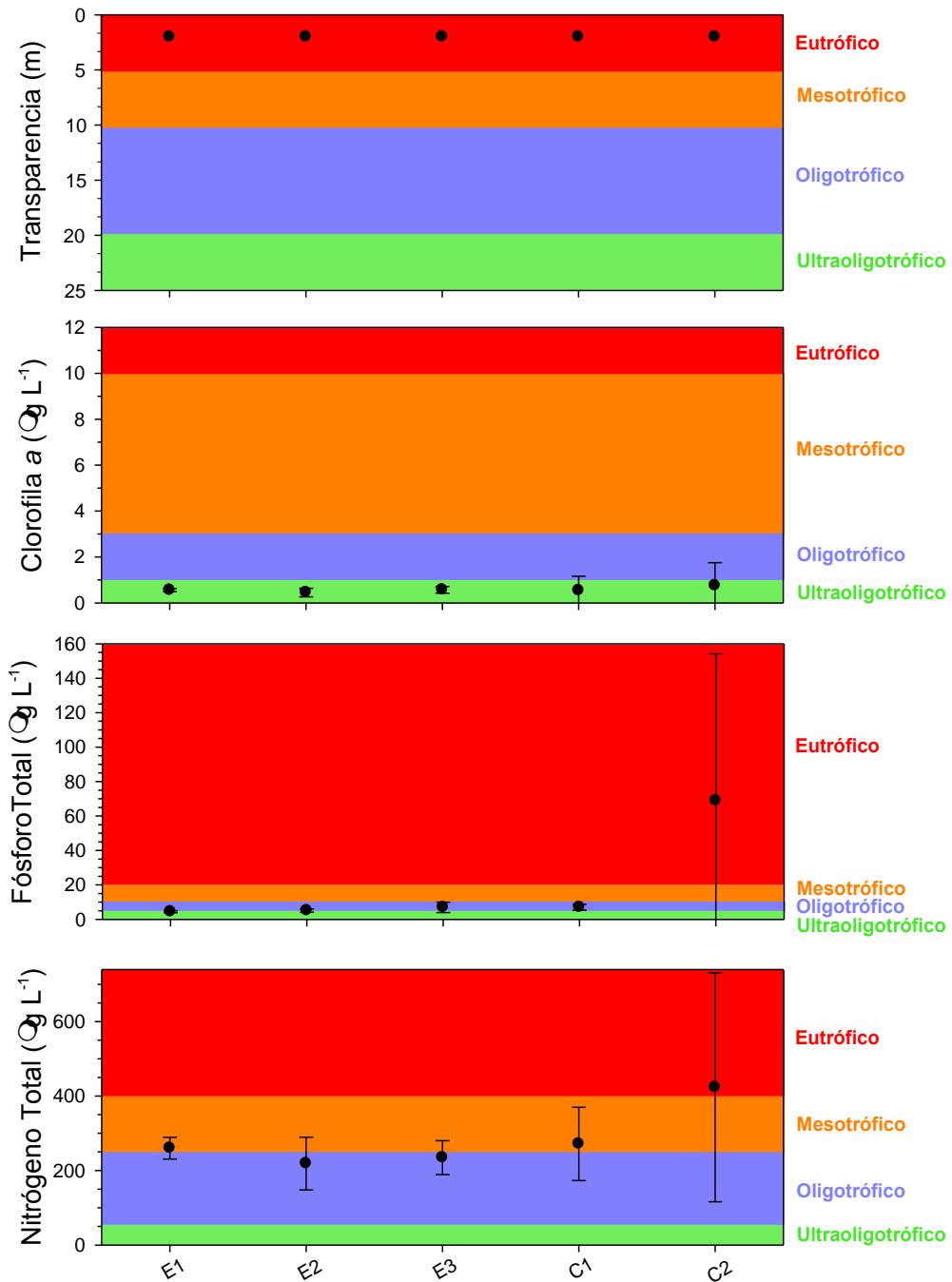


Figura 123. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Cucao.



II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

a) Determinación del contenido de PT en el lago

Campos *et al.* (1997) ha sido el único estudio que ha realizado una batimetría en el lago Cucao, sin embargo, no pudimos acceder a esta base de datos, lo que nos imposibilitó realizar el cálculo de la curva hipsográfica, y por ende la posterior determinación del contenido de fósforo total en el lago. Por tanto, se considera necesario la realización de una nueva batimetría que nos permita determinar de forma certera el contenido de fósforo total en el lago Cucao.

b) Cálculo de la carga actual y carga crítica del lago

Como se ha mencionado con anterioridad, dado a que no se pudo realizar el cálculo de la curva hipsográfica del lago Natri, no se generó posteriormente el cálculo para obtener la carga crítica ni actual del lago. Además, como bien es sabido, no se justifica el desarrollo de un modelo de capacidad de carga en lagos húmicos que presenten condiciones similares a las de un lago eutrófico, por lo que se consideró tanto por el comité de expertos como por el grupo de trabajo, caracterizar de mejor manera el estado trófico de estos lagos por medio de alguna variable óptica, como se describe a continuación.

c) Clasificación paradigma nutriente-color para caracterización lagos chilotas

Este paradigma permite diferenciar la trofía de lagos utilizando como indicadores tróficos la concentración de fósforo total ($\mu\text{g/L}$) y el color del agua (Pt mg/L). Las clases utilizadas para el fósforo total son los establecidos por CONAMA (2005): ultraoligotrófico ($< 1 \mu\text{g/L}$), oligotrófico (1 a $10 \mu\text{g/L}$), mesotrófico (10 a 20 $\mu\text{g/L}$) y eutrófico ($< 20 \mu\text{g/L}$) (Tabla 29 en ANEXO 1). En tanto, para el color fue establecido el límite de 20 Pt mg/L para bajo y elevado color (Williamson *et al.*, 1999, Webster *et al.*, 2008), incorporando el estado distrófico y mixotrófico en su clasificación. En la figura 124 se encuentran plasmados los rangos establecidos para ambas variables en conjunto con los valores de fósforo total y color en las diferentes estaciones del lago Cucao a todas las profundidades muestreadas. En el lago Cucao las concentraciones de fósforo total oscilaron entre 4,1 y 215,3 $\mu\text{g/L}$. La mayoría de las estaciones del lago Cucao poseen características oligotróficas, a excepción de la estación C2, donde la mayoría de sus valores indican estado eutrófico. En relación al color, todos los valores registrados en este lago superaron los 20 Pt mg/L , oscilando entre 42,2 y 130,3 Pt mg/L . Los valores de color indican principalmente distrofia, aunque algunos lugares poseen estado mixotrófico.

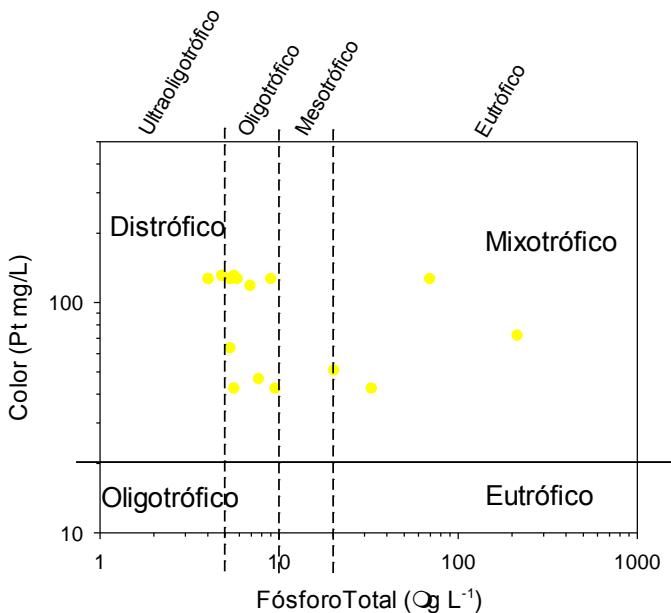


Figura 124. Clasificación paradigma nutriente - color para caracterizar lago Cucao.

d) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

Desde el comienzo de la actividad salmonera, se observa un comportamiento de la producción algo errático, con un máximo de producción durante los años 2007 y 2008 cercanos a 1300 toneladas. En los últimos 7 años el lago Cucao no presenta actividad salmonera (Figura 125).

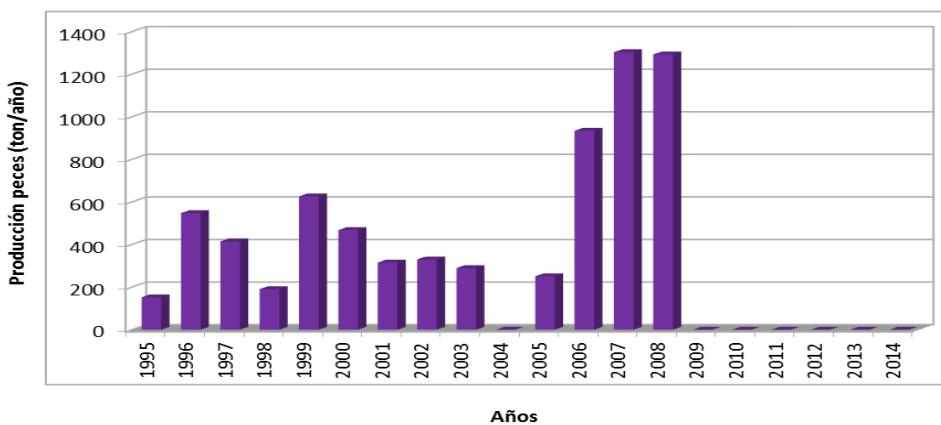


Figura 125. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Cucao.



Históricamente, la producción de peces en el lago Cucao ha estado dada sólo por una concesión, el centro 100618 (Figura 126).

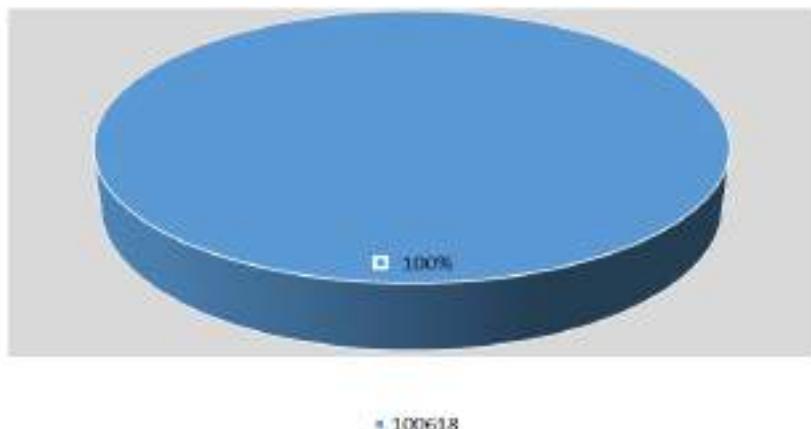


Figura 126. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Cucao.

En cuanto a la carga de PT al lago, el máximo valor se registró en los años 2007 y 2008, aportando con 12 toneladas de fósforo total cada año. Durante los siguientes años la industria acuícola finalizó sus actividades en el lago (Figura 127).

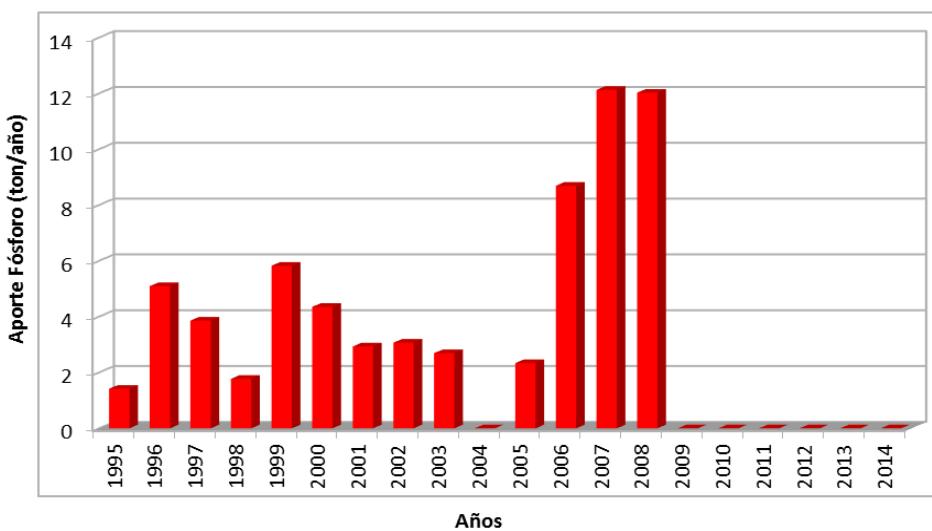


Figura 127. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Cucao.



Bien se sabe, que el aumento de la carga de fósforo en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga, relacionándose básicamente al tiempo de renovación y tasa de sedimentación. Si bien, se calculó el tiempo de equilibrio de PT al 90 y 95% en 0,11 y 0,15 años respectivamente, se considera erróneo el cálculo, dado a que no se conoce como el fósforo total se comporta con la concentración de ácidos húmicos presentes en este lago, además de considerarse dudoso el tiempo de renovación calculado en el Campos *et al.* 1997. Es por ello, que se considera relevante realizar un balance hidrológico detallado que incluya la influencia mareal en los cuerpos lacustres del Huillínco y Cacao.

6.3.7. Lago Rupanco

I) Determinación del estado trófico

La Figura 128 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Rupanco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia corresponden a un estado mesotrófico, a excepción del centro 101851 que presentó valores considerados eutróficos. Los valores de clorofila a indicaron características de ultraoligotróficos (101707, 100081, C1) y oligotróficos (100522, 100389, 101862, 101851, 100625, C2). Los datos de PT y NT en general se consideran oligotróficos, exceptuando las estaciones 100522 y 101707, en donde los resultados de PT obtenidos se encuentran en estado de mesotrofia.

II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

Para cumplir con esta actividad se calculó primeramente el contenido de fósforo total en la columna de agua del lago (ton/lago), mediante la curva hipsográfica (Tabla 30). Luego, con el modelo de capacidad de carga de Vollenweider se calculó la carga actual y carga crítica del lago (Tabla 31), utilizando el tiempo de renovación de la literatura. También se identificó el aporte histórico de fósforo total proveniente de los centros de cultivo en el lago.

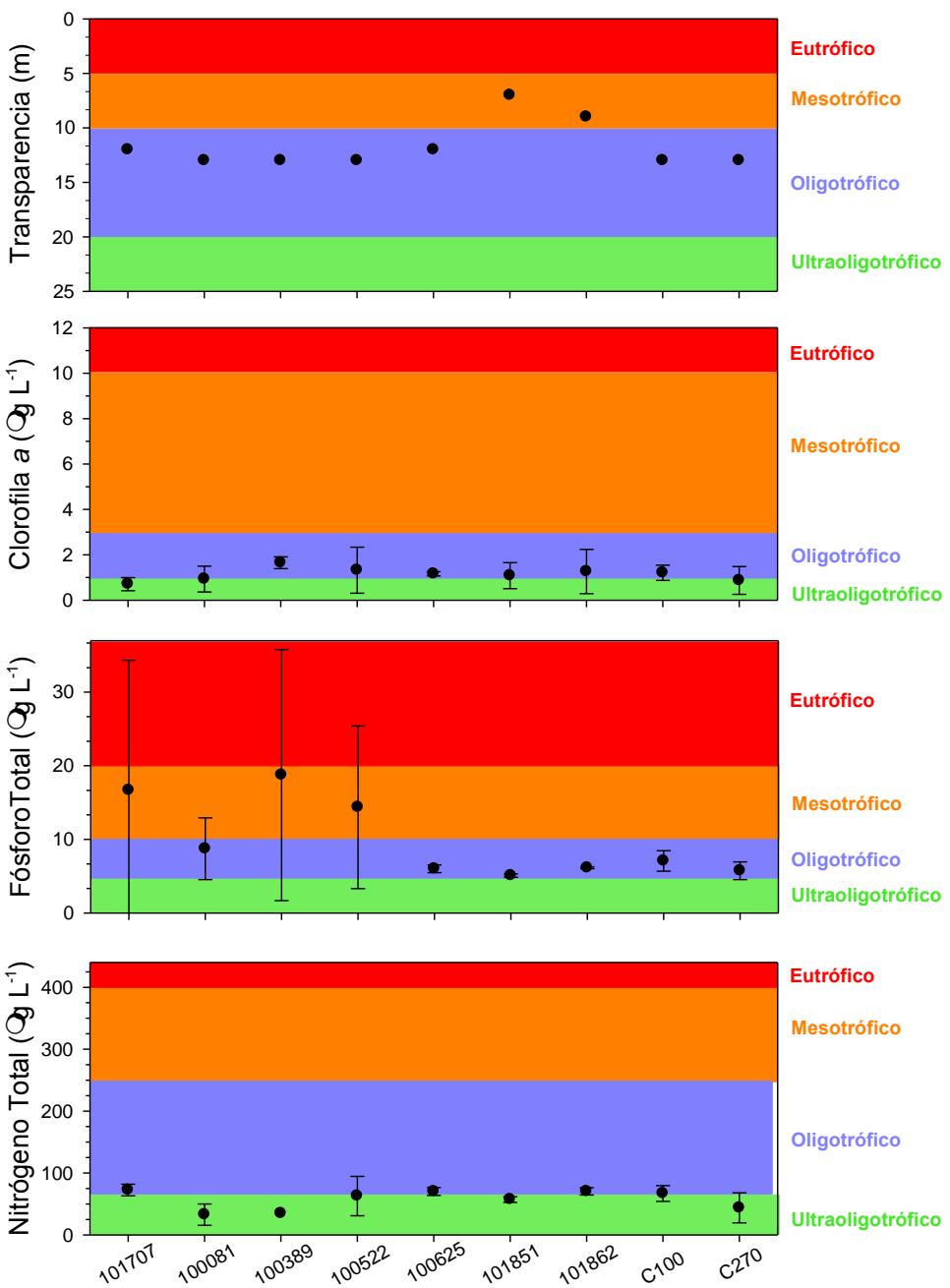


Figura 128. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Rupanco.

**a) Determinación del contenido de PT en el lago****Tabla 30.**

Contenido de PT en la columna de agua del lago Rupanco.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km ³) / estrato	Vol. Estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT/estrato
0	~0-50	11,21	29,5	0,0080	89,2
10	~50-100	8,93	23,5	0,0107	95,1
20	~100-150	6,65	17,5	0,0102	68,0
30	~150-200	5,51	14,5	0,0066	36,4
40	~200-250	4,18	11	0,0060	25,1
50	~250-300	1,52	4	0,0042	6,4
	Total	38	100		320,3
			Promedio mg/L		0,0076

b) Cálculo de la carga actual y carga crítica del lago

Se calculó la carga crítica del lago Rupanco, con un tiempo de renovación de 9,53 años. Se ha identificado que para lagos oligotróficos, el límite máximo deseado de P es 0,001 mg/L (10 µg/L). Por tanto, según este tiempo de renovación, la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico, (PT > 10 µg/L), es de 163 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (7,6 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 124 ton/año (Tabla 31).

Tabla 31.

Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Rupanco.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tiempo de renovación (años)
10	163	9,53
7,6	124	9,53

c) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

El lago Rupanco presentó 7 concesiones de acuicultura, de las cuales sólo el centro 101707 dejó de producir desde el año 2013. Los valores de producción bruta disminuyeron a 340,7 toneladas el año

2013, reapuntando durante el primer semestre del año 2014, alcanzando una producción máxima histórica cercana a las 13.000 toneladas (Figura 129).

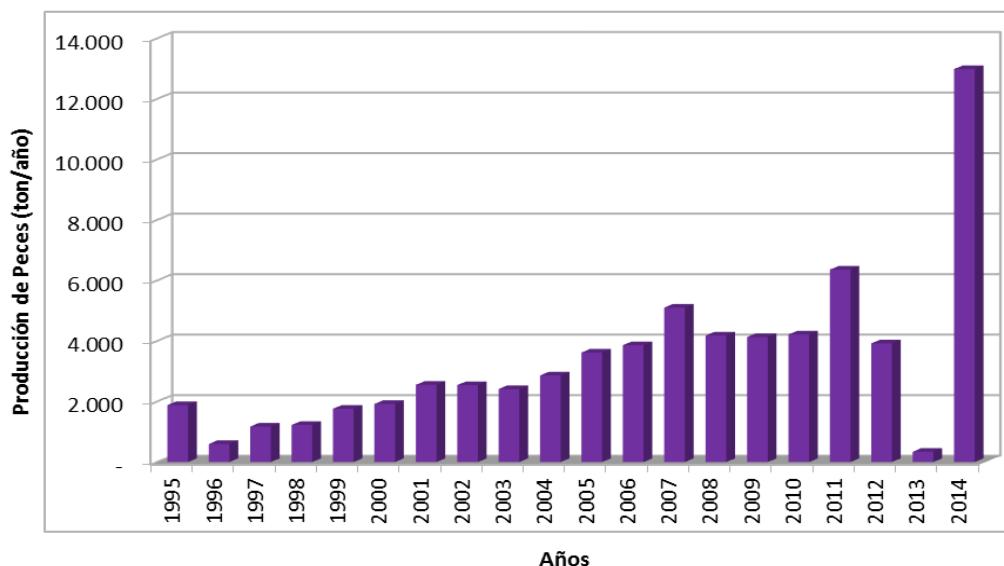


Figura 129. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Rupanco.

El centro 100081 aportó con un 25% a la producción histórica en el lago Rupanco, seguido por el 100625 (15%), 100625 y 100522 (ambos con un 14%) (Figura 130).

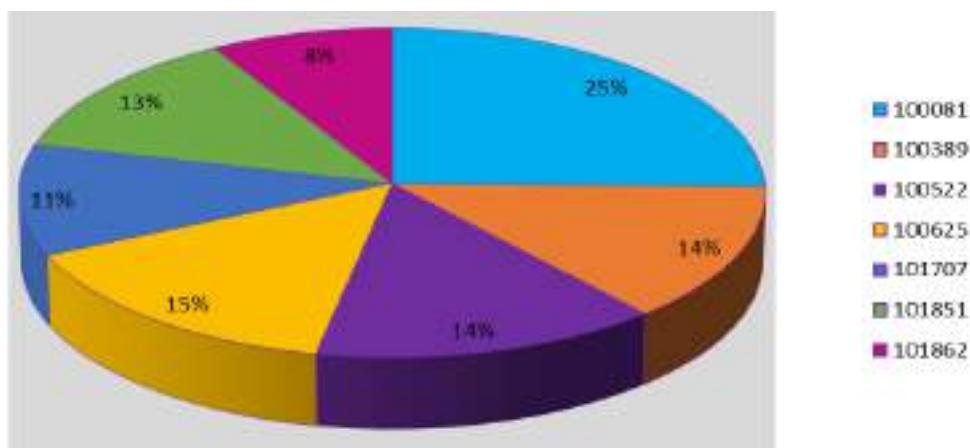


Figura 130. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Rupanco.



El máximo aporte registrado históricamente en el lago Rupanco ha sido durante el primer semestre del año 2014, con una carga estimada de fósforo al sistema lacustre de 120 toneladas (Figura 131).

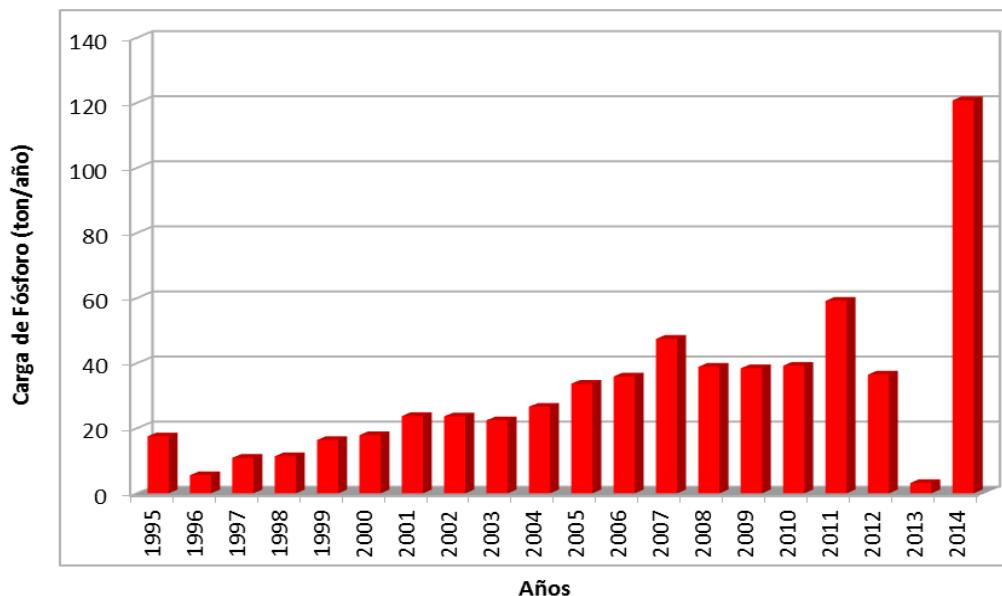


Figura 131. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Rupanco.

Como se observa en las figuras anteriores, sólo durante el primer semestre del año 2014 la producción de peces registró su máximo a nivel histórico en este lago, lo que obviamente hace incrementar la carga de fósforo. Según el modelo predictivo de la capacidad crítica, se estimó un ingreso de 163 toneladas para no sobrepasar el límite de 10 ug/L. El aporte de la salmonicultura solamente durante el primer semestre del año 2014 aportó 120 toneladas de P al sistema lacustre. Como bien se sabe, el aumento de la carga de fósforo total en un tiempo determinado no será registrado inmediatamente posterior a la descarga. Por tanto, al calcular el tiempo de equilibrio de PT al 90% y 95%, se obtuvo un tiempo de equilibrio de 5,3 años y 7 años respectivamente. Este resultado estaría indicando que la carga de PT que la industria salmonera haya aportado durante el primer semestre del 2014, se vería reflejada en 5 a 7 años más.



6.3.8. Lago Ranco

I) Determinación de estado trófico

La Figura 132 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Ranco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los valores de transparencia obtenidos corresponden a condiciones de eutrofización. Los resultados de clorofila a presentaron características de un estado ultraoligotrófico. PT y NT muestran valores con características de un estado oligotrófico, a excepción de la estación E2, en donde el PT mostró valores dentro del rango considerado eutrófico.

II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

Para cumplir con esta actividad se calculó primeramente el contenido de fósforo total en la columna de agua del lago (ton/lago), mediante la curva hipsográfica (Tabla 32). Luego, con el modelo de capacidad de carga de Vollenweider se calculó la carga actual y carga crítica del lago (Tabla 33), utilizando la tasa de renovación de la literatura. También se identificó el aporte histórico de fósforo total proveniente de los centros de cultivo en el lago.

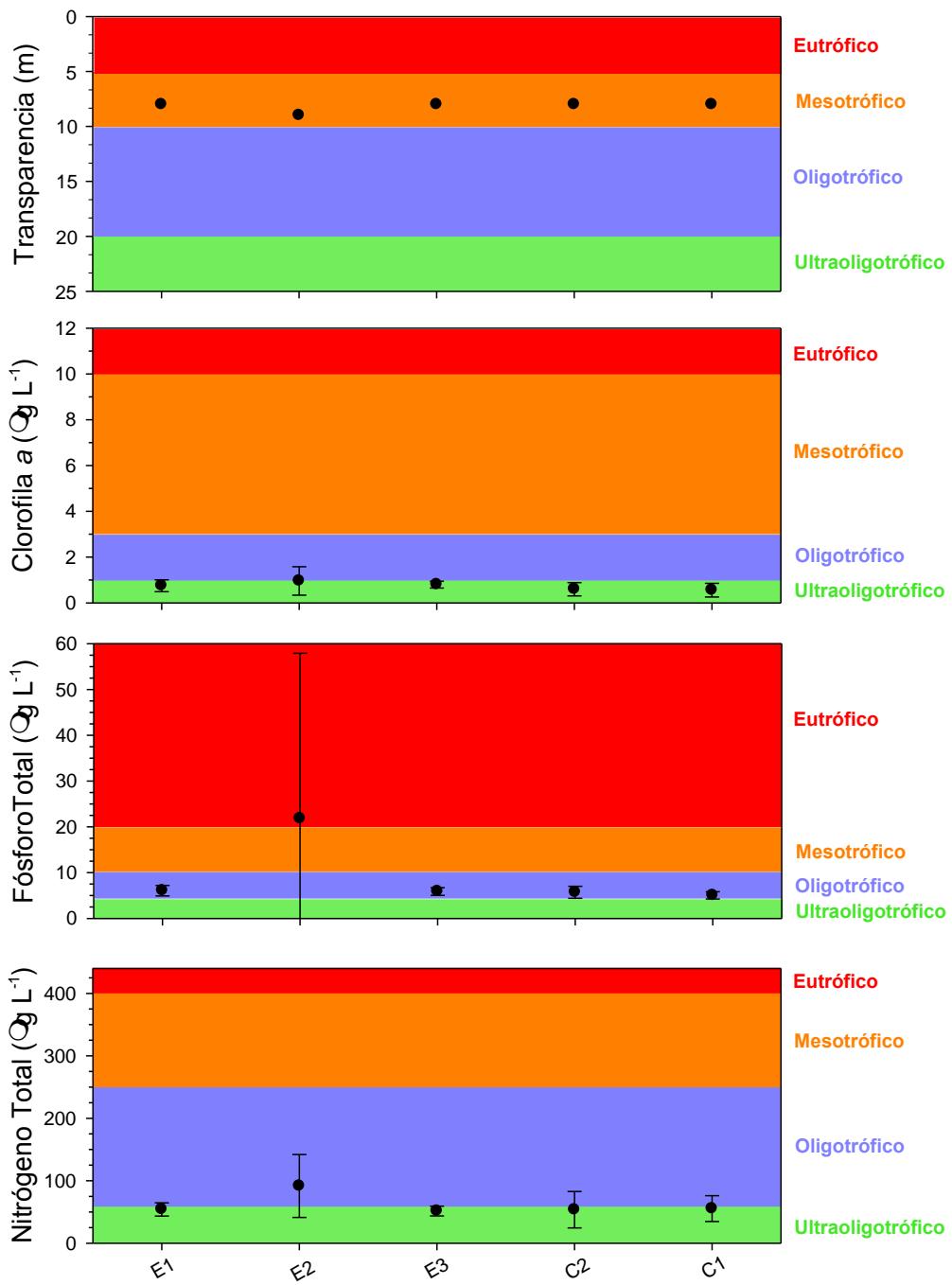


Figura 132. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Ranco.

**a) Determinación del contenido de PT en el lago****Tabla 32.**

Contenido de PT en la columna de agua del lago Ranco.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km ³) / estrato	Vol. estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT/estrato
0	"0-10	4,5	8,4	0,0056	25,2
10	"10-20	4,4	8,1	0,0060	26,1
20	"20-30	4,2	7,7	0,0063	26,3
30	"30-40	4,0	7,4	0,0139	55,5
40	"40-50	3,8	7,1	0,0151	58,0
50	"50-80	8,7	16,1	0,0048	41,9
80	"80-120	7,6	14,1	0,0057	43,3
120	"120-160	7,5	13,9	0,0056	42,2
160	"160-200	5,7	10,5	0,0049	27,9
200	"200-250	3,6	6,7	0,0050	18,2
	Total	54,1	100		364,6
				Promedio mg/L	0,0073

b) Cálculo de la carga actual y carga crítica del lago

Se calculó la carga crítica del lago Ranco, con un tiempo de renovación de 6 años. Se ha identificado que para lagos oligotróficos, el límite máximo deseado de PT es 10 µg/L. Por tanto, según este tiempo de renovación, la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico (PT > 10 µg/L), es de 311 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (7,3 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 227 ton/año (Tabla 33). Este valor se supone estable en lagos que se encuentren en equilibrio. Sin embargo, este valor pudiera estar subestimado, dado a que para que el fósforo esté en equilibrio en un 90 a 95% se requiere de arroximadamente 4 a 5 años, lo que estaría indicando que el lago estaría en una continua fase de acumulación de nutrientes provenientes de actividades antrópicas como naturales.

Tabla 33.

Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Ranco.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tiempo de renovación (años)
10	311	6
7,3	227	6



c) Estimación del aporte de fósforo total de centros de cultivo

La producción de salmones en el lago Ranco comenzó a partir del año 1998, aumentando en forma lenta hasta alcanzar un máximo en los años 2007 y 2011, de 100 y 120 ton, respectivamente. Sin embargo, la producción a nivel histórico se considera baja en relación a otros lagos. Posteriormente, no se tienen registros de producción (Figura 133).

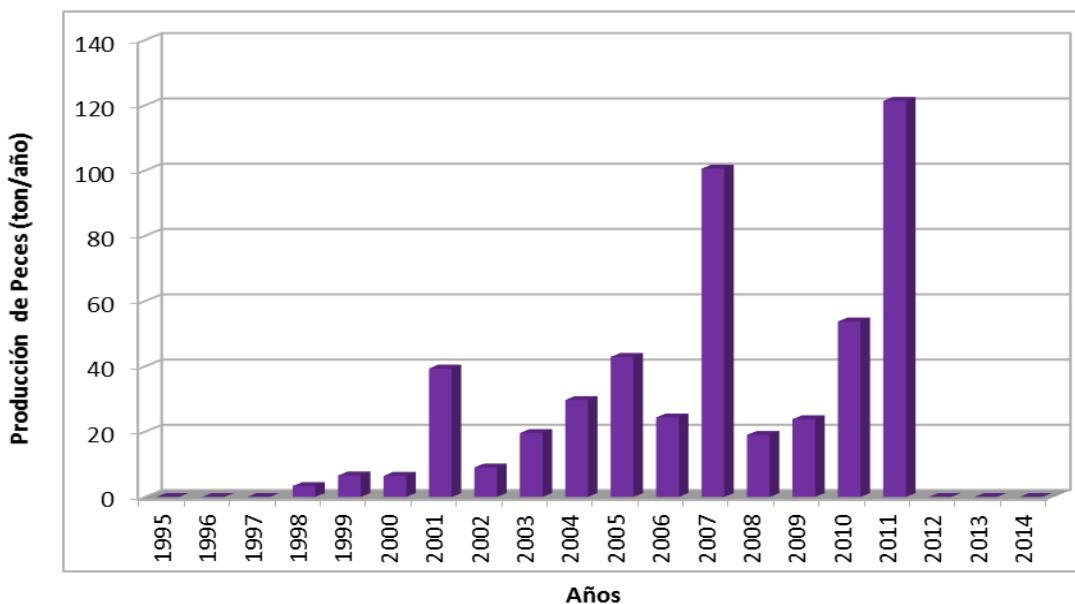


Figura 133. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Ranco.

Son dos las concesiones otorgadas en el lago Ranco, 100972 y 101955 las cuales han contribuido en forma similar a la producción histórica (52% y 48% respectivamente) (Figura 134).

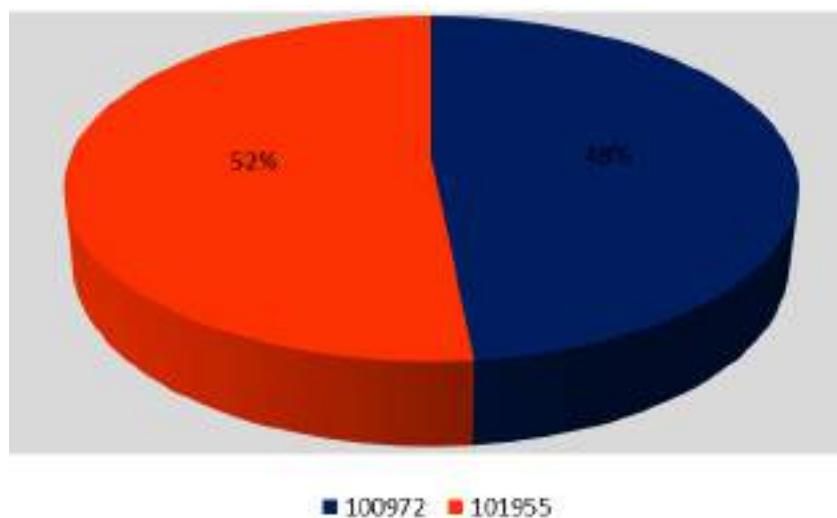


Figura 134. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Ranco.

La mayor carga de fósforo total al lago ocurrió en los años 2007 (0,8 ton P/año) y 2011 (1,1 ton PT/año) (Figura 135).

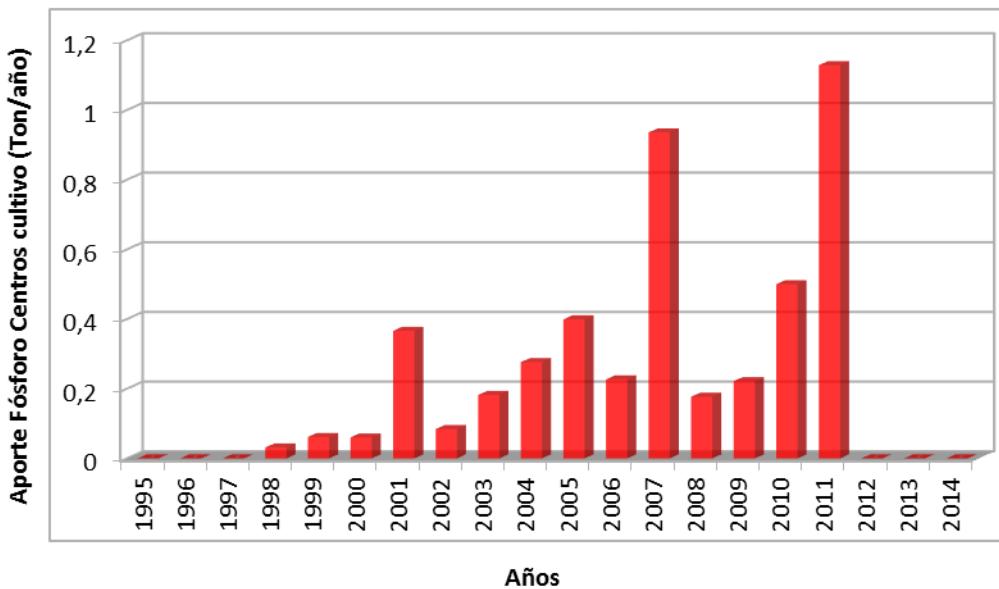


Figura 135. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Ranco.



Según el modelo predictivo de la capacidad crítica, se calculó el ingreso de 311 toneladas para no sobrepasar el límite de 10 µg/L. La producción acuícola en el lago Ranco no ha sido elevada, además que a partir del año 2012 no se ha reportado producción. En los años 2007 y 2011 se registró la máxima producción, aportando en dichos años una carga de PT al lago de 0,9 y 1,1 ton/año respectivamente, cifra considerada menor en comparación a otros lagos. Sin embargo, como bien es sabido, la carga de PT al sistema es acumulable, alcanzándose el tiempo de equilibrio de 90% y 95% de P a los 4 a 5 años aprox.

6.3.9. Lago Puyehue

I) Determinación de estado trófico

La Figura 136 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Puyehue de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia presentaron características de oligotrofia (E1 y E3) y mesotrofia (E2, C1 y C2). En el caso de la clorofila a, esta presentó en general condiciones de ultraoligotrofía, exceptuando la estación E3 que correspondió a un estado de oligotrofia. PT y NT indicaron oligotrofia.

II) Análisis tendientes a la estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

Para cumplir con esta actividad se calculó primeramente el contenido de fósforo total en la columna de agua del lago (ton/lago), mediante la curva hipsográfica (Tabla 34). Luego, con el modelo de capacidad de carga de Vollenweider se calculó la carga actual y carga crítica del lago (Tabla 35), utilizando el tiempo de renovación de la literatura. También se identificó el aporte histórico de fósforo total proveniente de los centros de cultivo en el lago.

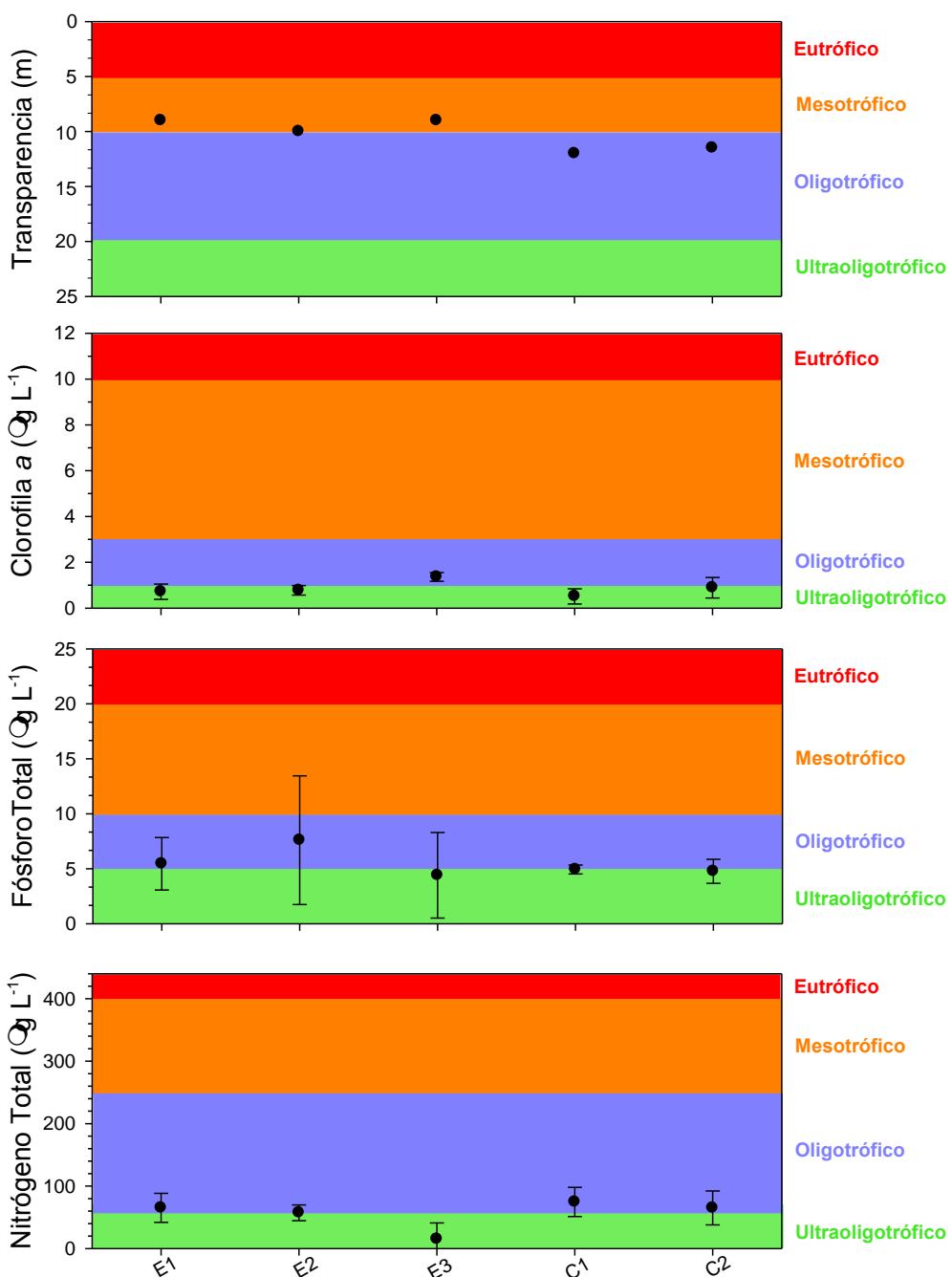


Figura 136. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) y nitrógeno total ($\mu\text{g L}^{-1}$) en lago Puyehue.

**a) Determinación del contenido de PT en el lago****Tabla 34.**

Contenido de PT en la columna de agua del lago Puyehue

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km ³)/ estrato	Vol. estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT/estrato
0	"0-5"	0,1	2,6	0,0047	0,3
10	"5-10"	0,1	2,6	0,0052	0,3
20	"10-20"	0,3	7,9	0,0048	1,7
30-40	"20-50"	5,6	42,2	0,0051	28,3
50-80	"50-100"	7,0	31,5	0,0076	52,8
120	"100-120"	1,2	13,2	0,0047	5,5
	Total	14,2	100		88,8
			Promedio mg/L		0,0053

(Curva hipsográfica: elaboración propia, Figura 3. Anexo 1).

b) Cálculo de la carga crítica y carga actual del lago

Se calculó la carga crítica del lago Puyehue, con un tiempo de renovación de 3,4 años. Se ha identificado que para lagos oligotróficos, el límite máximo deseado de PT es 10 µg/L. Por tanto, según esta tasa de renovación, la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico (PT > 10 µg/L), es de 119 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (5,3 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 63 ton/año (Tabla 35).

Tabla 35.

Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Puyehue.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tiempo de renovación (años)
10	119	3,4
5,3	63	3,4



c) Estimación del aporte de fósforo total de los centros de cultivo

La producción en el lago Puyehue, mostró una tendencia diferente a la de los otros lagos estudiados, donde desde un inicio se produjeron grandes volúmenes de peces, observándose dos máximos productivos en los años 2009 y 2013, con producciones superiores a las 5000 ton anuales (Figura 137).

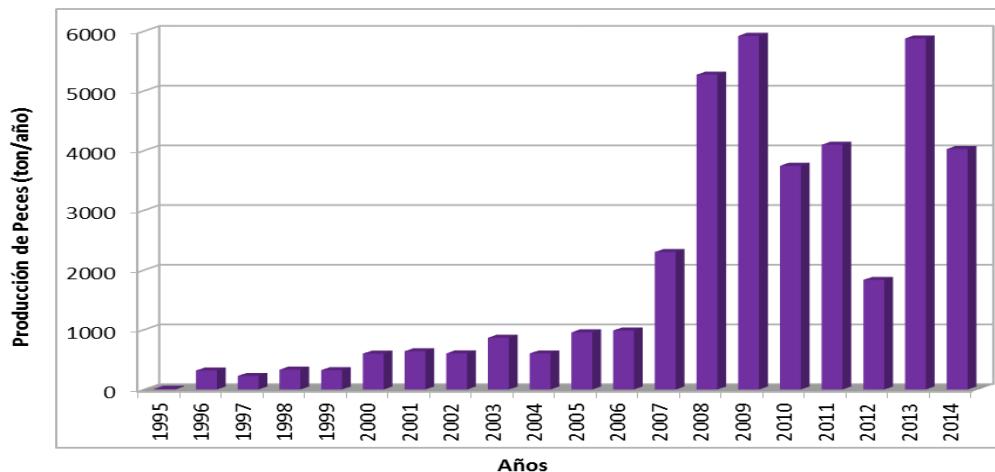


Figura 137. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Puyehue.

La mayor parte de la producción de salmonidos acaecida en el lago Puyehue fue generada por la concesión 100205, **aportando** con un 69% a la producción histórica en el lago (Figura 138).

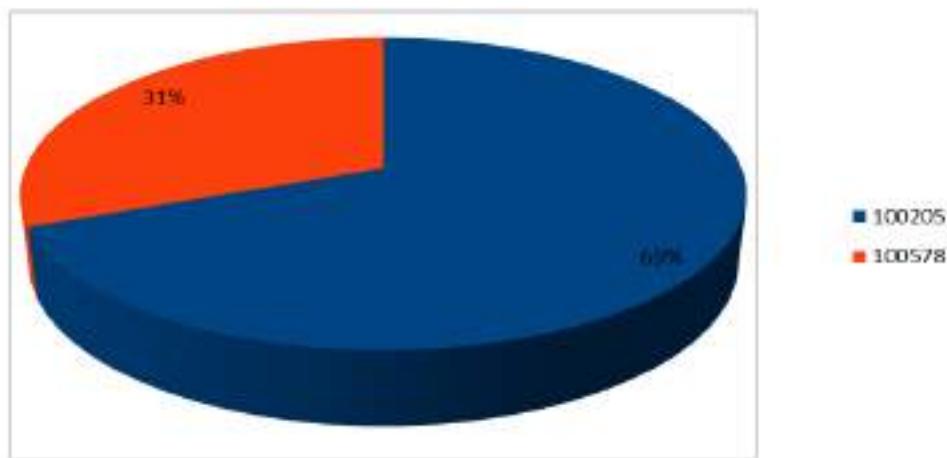


Figura 138. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Puyehue.



Los máximos aportes de fósforo total calculados para el lago Puyehue se han registrado en los años 2009 y 2013, superando en ambos años un aporte estimado de fósforo total sobre las 50 ton anuales (Figura 139).

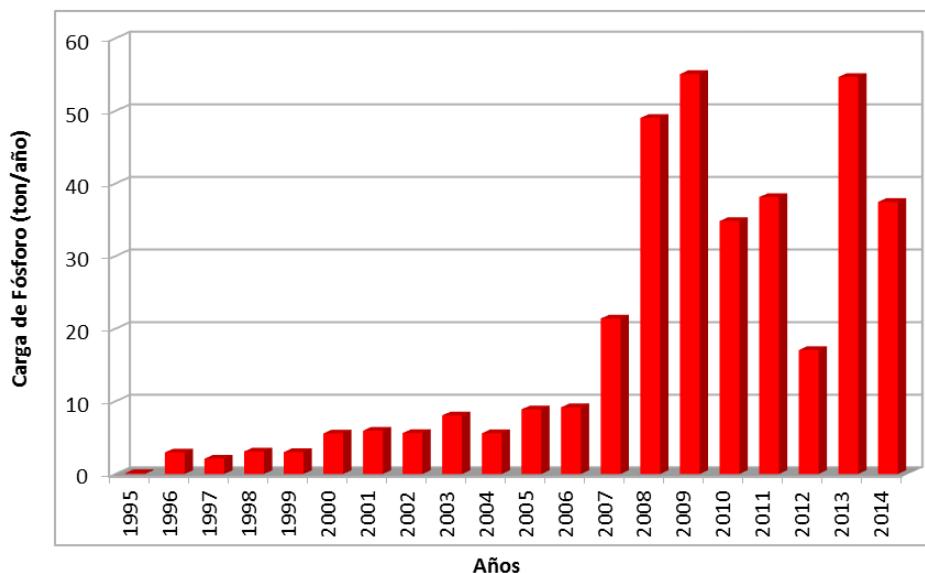


Figura 139. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Puyehue.

Según el modelo predictivo de la capacidad crítica, se estimó un ingreso de 119 toneladas para no sobrepasar el límite de 10 µg/L, mientras que la carga actual calculada fue de 63 ton/año de acuerdo a las concentraciones de PT en la columna de agua. Ahora, la producción acuícola en dos oportunidades (año 2009 y año 2013) ha superado una carga de PT de 50 ton/año, lo que estaría explicando que la mayor proporción de PT en el lago estaría directamente relacionado a la producción salmonícola. El tiempo necesario para que PT alcance el 90% y 95% de equilibrio en el lago, sería a los 2,7 y 3,6 años respectivamente. Por tanto, todo lo que se descargue en cualquier periodo sería reflejado en 2 a 4 años aproximadamente.



7. DISCUSIÓN

Este estudio comenzó el año 2012, con la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), en la cual se realizó un análisis detallado de los estudios limnológicos de capacidad de carga de los lagos con actividades de acuicultura en la región de los Lagos. Así también, se estableció el diseño y metodologías para llevar a cabo el monitoreo de los lagos Rupanco, Llanquihue, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco, junto con realizar un modelo de capacidad de carga para el lago Llanquihue. En ésta, la segunda etapa del proyecto, se realizó una recopilación de información limnológica de los sistemas lacustres estudiados, adicionando el monitoreo de los lagos Ranco, Puyehue y Cucao, junto con la actualización de capacidad de carga del lago Llanquihue y análisis tendientes de capacidad de carga de los lagos restantes.

En relación a los estudios previos realizados en los lagos en estudio, las principales investigaciones fueron realizadas por Campos *et al.* entre los años 1989 y 1999, enfocadas en el análisis de la columna de agua, sedimentos, composición fitoplanctónica, zooplanctónica y al estudio de la capacidad de carga de los lagos. Posterior a este periodo hay diversas investigaciones, en su mayoría enfocadas a los efectos de la acuicultura y el componente biológico de estos cuerpos de agua. Como se ha documentado previamente, el tiempo de renovación del cuerpo de agua de los lagos araucanos en estudio es lento, entre 3,4 años (lagos Chapo y Puyehye) y 56 años (lago Llanquihue), realcionandose a un mayor tiempo de equilibrio del fósforo total. Ante ello, se considera relevante para los lagos araucanos, realizar estudios o monitoreos ambientales continuos en el tiempo, además de monitorearse en forma estacional para conocer su variabilidad ambiental. En el caso de la mayoría de los lagos chilotas, el último estudio detallado se realizó hace aproximadamente dos décadas (Campos *et al.* 1997), considerándose primordial la ejecución de nuevas investigaciones que evalúen las condiciones actuales de estos lagos, incorporándose además de la información ambiental requerida, nuevas herramientas de trabajo, que propendan al manejo integrado de estos cuerpos de agua caracterizados ambientalmente vulnerables.

A continuación, se discutirán los resultados generados a partir del presente proyecto, para cada lago en estudio, según al grupo de lagos que corresponda, agrupados como lagos araucanos y chilotas:

I) LAGOS ARAUCANOS

Los lagos araucanos se emplazan en cuencas de la vertiente occidental de la cordillera de los Andes entre los 39°S y 42°S. Son de origen glacial volcánico, profundos, de gran tamaño y volumen de agua. Han sido históricamente descritos con alta transparencia (Thomasson *et al.* 1963), bajo aporte de nutrientes y baja producción primaria (Campos 1984). Su condición oligotrófica ha permitido una amplia gama de actividades antrópicas, las cuales aumentan el ingreso de nutrientes a los sistemas acuáticos, lo cual acelera el proceso de eutroficación. En este estudio se evaluaron 5 lagos araucanos, Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo. Para los lagos Llanquihue, Rupanco y



Chapo, éste corresponde al segundo muestreo, mientras que para los lagos Ranco y Puyehue, es el primer muestreo relacionado con este proyecto.

1) Lago Llanquihue

En la región de Los Lagos, el lago Llanquihue es uno de los cuerpos de agua más vulnerables a la eutrofificación, debido principalmente al lento tiempo de renovación de sus aguas y a la intensa presión de uso de sus riberas, siendo éste el único lago del país al cual convergen cuatro comunas, cuyas capitales comunales son todas ciudades ribereñas (Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas) (Norma secundaria de calidad ambiental del Lago Llanquihue, RES. EX N°4275 del 15 de noviembre de 2008). La última actualización de uso de suelo de su cuenca mostró que las principales coberturas de suelo corresponden a bosque nativo (44%) y praderas (36%). Otra actividad importante en este lago, de acuerdo a los datos oficiales de producción desde el año 1995 al 2014, ha sido la acuicultura de centros de cultivo en balsas jaula, mostrando que el lago Llanquihue ha sustentado la mayor biomasa de salmonídos en comparación del resto de los lagos araucanos en estudio.

Durante otoño de 2014, en el lago Llanquihue se produjo estratificación térmica cercana a los 50 m de profundidad, concordando con lo reportado por Campos *et al.* (1988). La columna de agua del lago Llanquihue se mantuvo generalmente con buenas condiciones de oxigenación (valores cercanos a 10 mg/l), sólo a mayor profundidad en las estaciones C1 y Bahía Phillipi (concesión 101866) se observaron valores ~ 2,5 mg/L a 1 m del fondo, resultados que de acuerdo a la Resolución SUBPESCA N°3612, estarían indicando condiciones anaeróbicas. Posiblemente, estos valores se produzcan por condiciones de baja circulación de agua en el bentos profundo y por descomposición de materia orgánica. La disminución de oxígeno hipolimnético generalmente se observa en ambientes sometidos a eutrofificación (Scavia *et al.* 2014). Cabe destacar que esta bahía ha contribuido con un 41% a la producción histórica acuícola en este lago.

En relación a la composición fitoplanctónica del lago Llanquihue, las diatomeas fueron la clase más abundante, mientras que en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013) se observó en la mayoría de los casos una co-dominancia entre clorofíceas y diatomeas. Esta diferencia es atribuible a la estacionalidad, como ha sido descrito para lagos monomicticos templados (Wetzel 2001, Horne & Goldman 1994) y en lagos araucanos (Campos 1984, Campos *et al.* 1988), donde el aumento de la intensidad lumínica primaveral produce un mayor crecimiento de las clorofíceas y un aumento de las pequeñas diatomeas céntricas como *Cyclotella spp.*, una vez que el sílice disminuye producto del crecimiento de las grandes diatomeas como *Fragilaria crotonensis* y *Aulacoseira granulata* (Tilman *et al.* 1982). *F. crotonensis* fue la especie dominante, en co-dominancia con *A. granulata*. En el caso de la bahía de Phillipi, en donde se registraron bajos valores de oxígeno disuelto a mayor profundidad, la estructura de la comunidad fitoplanctónica fue dominada por grandes diatomeas como *Melosira spp.*, *Aulacoseira spp.* y *F. crotonensis*, junto con *Cryptomonas* y *Ceratium hirundinella*, cuya presencia estaría indicando según Reynolds *et al.* (2002), condiciones de mezcla



de la columna de agua, presencia de nutrientes y materia orgánica. El sector en donde se produjo el máximo valor de densidad fitoplanctónica es coincidente con la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), específicamente la estación 100332. Esta estación se encuentra cercana a la desembocadura del lago, por lo cual los organismos fitoplanctónicos podrían ser arrastrados por la corriente y concentrarse en estas bahías cercanas al efluente. En ninguna de las estaciones de muestreo fue observada la especie plaga FAN *Dydimosphenia geminata*. En relación al zooplancton, éste registró menor densidad a la reportada en estudios previos (Campos 1984). En el lago Llanquihue se observaron diferencias en la estructura del zooplancton, ya que las especies dominantes en este estudio fueron el copépodo *Boeckella gracilipes* y el cladócero *Bosmina chilensis*, ambas ausentes en las muestras de la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013).

En el caso del sedimento, en el lago Llanquihue, el potencial redox presentó valores mayoritariamente sobre 100 mV. Estos valores fueron menores a lo obtenido en la primera etapa del proyecto, en donde se registraron valores generalmente mayores a 200 mV, diferencia que puede estar asociada al tipo de sensor empleado para la medición. Los resultados de materia orgánica obtenidos fueron similares a los reportados en la primera etapa del proyecto, registrándose el mayor porcentaje de materia orgánica en la concesión 100070, una de las más antiguas del lago, ubicada en una bahía con poca circulación de agua y baja profundidad. Los mayores valores de fango se obtuvieron en centros ubicados en la parte occidental del lago, en donde las características morfológicas de las bahías se relacionaron a lugares con mayor protección al viento y consecuentemente favorecen los procesos de sedimentación. Los resultados de fango obtenidos en el presente proyecto fueron visiblemente mayores en comparación a la primera etapa del proyecto, lo cual podría estar relacionado con un alza histórica en la producción de salmonídeos durante el primer semestre del año 2014.

Las variables indicadoras de trofía en el lago Llanquihue se mantuvieron en general dentro del rango oligotrófico, mientras que la clorofila a y el nitrógeno total oscilaron entre la condición ultraoligotrófica y oligotrófica.

De acuerdo al balance de nutrientes y capacidad de carga del lago Llanquihue, el mayor aporte de fósforo al lago estaría dado por la actividad acuícola, específicamente por el cultivo en balsas jaulas (47,9%), cifra cercana a lo obtenido en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013). En general, se observó una tendencia al aumento de la producción acuícola en el lago, registrándose una producción máxima histórica durante el primer semestre del 2014. En relación al tiempo de renovación, se estimó en 56 años. De acuerdo a Campos *et al.* (1988), el tiempo de renovación correspondía a 70 años, sin embargo en ese estudio no se registraron los ingresos de agua o escorrentía de la cuenca del lago en forma tan minuciosa como lo presentada en este estudio, además consideraron como salida de agua solamente el caudal del efluente del lago Llanquihue (río Maullín), obviando el drenaje profundo y la evaporación del lago. En tanto, la primera etapa del proyecto calculó un tiempo de renovación de 49 años, esta diferencia en los valores obtenidos podría deberse al minucioso detalle del análisis de la escorrentía por cada subcuenca realizado en



esta segunda etapa del proyecto, donde se identificaron y delimitaron 127 subcuencas, mientras que en la primera etapa del proyecto se registraron 16 subcuencas, además, de la inclusión de un mayor número de estaciones meteorológicas (3) ubicadas dentro de la cuenca del lago, lo que mejora la precisión de los resultados obtenidos.

Por medio del modelo de la OECD (1982) se estimó la carga crítica de fósforo total en el lago Llanquihue, además de calcular su carga actual. A pesar que la carga actual de este lago no ha sobrepasado su carga crítica calculada y aún posee condiciones oligotróficas, es necesario tener en consideración que los valores obtenidos de carga actual podrían encontrarse subestimados, ya que la carga de fósforo total actual requiere un tiempo determinado para que se refleje en el lago. El tiempo necesario para que el fósforo total alcance entre el 90 y 95% de equilibrio en el lago Llanquihue está entre 12 y 22 años. Esto indicaría que las actuales contribuciones de fósforo total a este lago estarían reflejándose pasado este período. Por lo tanto, es necesario considerar que en el último período la producción acuícola ha presentado una tendencia al incremento en este lago. Dado el mayor tiempo que requiere el fósforo total para alcanzar su equilibrio en lagos araucanos, se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en estos lagos, e idealmente disminuir su ingreso actual, principalmente los aportes realizados por la producción acuícola *in situ* como también de las pisciculturas, ya que juntas suman 70,7% de la carga total estimada, concordando con lo sugerido previamente (Woelfl *et al.* 2013).

2) Lago Chapo

Una de las principales actividades desarrolladas en este lago es la salmonicultura en balsas jaulas, la que según datos oficiales la producción ha aumentado a través de tiempo, con un récord histórico durante el año 2014, información que solo contempla el primer semestre de aquel año con 4.250 ton.

En la columna de agua, se observaron diferencias de temperatura entre superficie y fondo pero sin formación de termoclina, lo cual concuerda con lo reportado por Woelfl *et al.* (2003) para fines de otoño. En general, las condiciones de oxigenación de la columna de agua fueron buenas, con valores de oxígeno disuelto cercanos a los 10 mg/L, a excepción de la estación 101051, que mostró una disminución del oxígeno en torno a los 6 mg/L, con valores menores a los reportados en Woelfl *et al.* (2003) y Woelfl *et al.* (2013).

La composición fitoplanctónica fue variada, siendo el grupo dominante las diatomeas en todas las estaciones de muestreo. En la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013) se observó mayoritariamente una co-dominancia entre clorofíceas y diatomeas, atribuyendo esta diferencia a la estacionalidad de muestreo. La especie fitoplanctónica dominante fue *Tabellaria fenestrata*. Los sectores donde se produjeron los máximos valores de densidad fitoplanctónica son coincidentes con la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), específicamente la zona sur del lago Chapo. Esto se asocia al viento predominante durante la época de muestreo y la corriente superficial observada, que podrían generar que los microorganismos se concentren en el área sur del lago (Sommer *et al.*



1986). En ninguna de las estaciones de muestreo fue observada la especie plaga FAN *D. geminata*. La composición de especies zooplanctónicas fue similar lo reportado en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013). Sin embargo, en el presente estudio los copépodos estuvieron dominados por *Mesocyclops sp.*, a diferencia de lo registrado en la primera etapa de este proyecto (*Tropocyclops prasinus*) y Villalobos *et al.* (2003b) (*B. gracilipes*), ambas especies no se encontraron en este estudio. El zooplancton registró menor densidad a la reportada en estudios previos (Villalobos *et al.* 2003b).

En relación al sedimento, se observó similar tendencia entre la presente etapa del proyecto y la anterior (Woelfl *et al.* 2013), registrándose máximos valores de materia orgánica y de fango en el centro 101278, el cual se ubica en una bahía protegida del viento en todas sus direcciones, así como del oleaje.

Las variables indicadoras de trofía se mantuvieron en general dentro del rango oligotrófico, salvo la transparencia que presentó valores dentro del rango de la mesotrofía, alcanzando inclusive valores eutróficos de acuerdo a guía Norma Secundaria de Calidad Ambiental (CONAMA 2005), con valores menores a 5 m de transparencia. En tanto, la clorofila a y el nitrógeno total oscilaron entre una condición ultraoligotrófica y oligotrófica.

En relación a la carga crítica y carga actual del fósforo total estimada por medio del modelo de la OECD (1982), la carga actual calculada para el lago Chapo no sobrepasó la carga crítica, presentando condiciones oligotróficas. Sin embargo, se debe considerar que los valores de fósforo total contribuidos actualmente al lago Chapo requieren entre 4,1 a 5,4 años para reflejarse en el lago. Considerando que en el último período la producción acuícola ha presentado una tendencia al incremento, es necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en este lago, e idealmente disminuir su ingreso actual.

3) Lago Rupanco

La salmonicultura en balsas jaulas es una de las actividades más importantes desarrolladas en este lago, de acuerdo a datos oficiales entre los años 1995 al 2014, la producción ha aumentado considerablemente, con un récord histórico durante el año 2014 con ~13.000 ton, se debe considerar que los valores corresponden solo al primer semestre del 2014. El lago Rupanco es el segundo lago, después del lago Llanquihue, que ha sustentado la mayor biomasa de salmonidos a nivel nacional.

Este lago fue monitoreado durante el invierno de 2014 en el periodo de mezcla, por lo tanto, no se registró estratificación térmica de la columna de agua. En cuanto al oxígeno disuelto, si bien, en su mayoría se obtuvieron valores cercanos a 10 mg/L, se registró una disminución en torno a los 100 y 250 m de profundidad, alcanzando valores menores a 2,5 mg/L, lo que podría estar asociado a procesos de descomposición de materia orgánica, ya que la temperatura fue homogénea en toda la columna de agua y se registraron buenas condiciones de mezcla.



La composición fitoplanctónica fue variada, siendo las diatomeas la clase más abundante. En cambio en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), se observó mayoritariamente una co-dominancia entre clorofíceas y diatomeas, atribuyéndose esta diferencia a la estacionalidad, como ha sido descrito para lagos monomicticos templados (Wetzel 2001, Horne & Goldman 1994), y en lagos araucanos (Campos 1984, Campos *et al.* 1988). *T. fenestrata* fue la especie dominante del fitoplancton. En ninguna de las estaciones de muestreo del lago se observó la especie plaga *FAN D. geminata*. Los sectores donde se produjeron los máximos valores de densidad fitoplanctónica son coincidentes con la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013): específicamente en la estación 101707, estación cercana a la desembocadura del lago. Se presume que la mayor densidad de fitoplancton se asociaría a la ubicación de esta concesión, pudiendo ser que los organismos fitoplanctónicos sean arrastrados por la corriente y se concentren en esta bahía cercana al efluente. En relación al zooplancton, éste registró menor densidad a la reportada en estudios previos (Campos *et al.* 1992, Campos 1995). La composición de los copépodos presentó especies semejantes con la primera etapa de este proyecto (Woelfl *et al.* 2013). Sin embargo, se observó un reemplazo en la especie dominante de copépodo, de *Mesocyclops* sp. (Woelfl *et al.* 2013) a *B. gracilipes* en este estudio, la cual fue reportada anteriormente para el lago Rupanco (Campos *et al.* 1992, Campos 1995).

En cuanto al sedimento, las 7 estaciones muestreadas tendieron a presentar principalmente arena y fango, con escasa composición de grava. Los mayores valores de materia orgánica estuvieron presentes en la estación 100081, que además reporta una contribución histórica de 25% de la producción salmonícola de este lago.

Las variables indicadoras de trofia se mantuvieron en general dentro del rango oligotrófico. Mientras que la clorofila a y el nitrógeno total oscilaron entre la condición ultraoligotrófica y oligotrófica.

En lo que respecta a la carga crítica y carga actual de fósforo total en el lago Rupanco, la carga actual de fósforo no sobrepasó la carga crítica, encontrándose con condiciones oligotróficas. No obstante, es necesario tener en consideración que los valores obtenidos de carga actual requieren un tiempo determinado para ser reflejado en el lago. El tiempo necesario para que el fósforo total actual alcance entre el 90 y 95% de equilibrio osciló entre 5,3 y 7 años, indicando que pasado este periodo se verán reflejadas las contribuciones de fósforo total realizadas en la actualidad. Al igual que el resto de los lagos araucanos, la producción acuícola tendió a incrementar en el tiempo, duplicándose sólo durante el primer semestre del año 2014 la producción histórica registrada para este lago, y con ello los aportes de fósforo total. Dado el mayor tiempo que requiere el fósforo total para alcanzar su equilibrio en lagos araucanos, se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en este lago, e idealmente disminuir su ingreso actual.



4) Lago Puyehue

Al igual que en los lagos araucanos antes mencionados, la salmonicultura en balsas jaulas es una de las principales actividades realizadas en este lago. Según datos oficiales de producción desde el año 1995 al 2014, la producción en este lago posee una tendencia al aumentado en el tiempo.

Este lago fue muestreado en primavera, registrándose una leve alza de temperatura superficial, pero sin formación de termoclina. Los regímenes térmicos observados concordaron con los reportados para lagos monomictos templados (Wetzel *et al.* 2001, Campos 1984). El oxígeno disuelto en la columna de agua fue posible de medir sólo en dos estaciones, dado a problemas de funcionamiento del sensor de oxígeno. El oxígeno disuelto registrado presentó una columna de agua bien oxigenada, con valores cercanos a los 10 mg/L.

La composición fitoplanctónica fue variada, siendo las diatomeas la clase más abundante. En cambio en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013) se observó mayoritariamente una co-dominancia entre clorofíceas y diatomeas, atribuyendo esta diferencia a la estacionalidad, como ha sido descrito para lagos monomictos templados (Wetzel 2001, Horne & Goldman 1994), y en lagos araucanos (Campos 1984, Campos *et al.* 1988). Específicamente, las estaciones E2 y C1 estuvieron dominadas por diatomeas, mientras que en E1, E3 y C2 por clorofíceas. Las especies más abundantes fueron *Aulacoseira spp* y *Melosira varians* en E2 y C1, en cambio en las estaciones restantes, el grupo más representativo fueron las clorofíceas con *Sphaerocystis spp*. En ninguna de las estaciones de muestreo del lago fue observada la especie plaga *FAN D. geminata*. En relación al zooplancton, éste registró menor densidad a la reportada en estudios previos (Campos *et al.* 1982; Campos 1984). Los mayores componentes fueron los copépodos *Tumeodiaptomus diabolicus* (= *Diaptomus diabolicus*) y *Mesocyclops sp.*, ambas registradas como más abundantes en estudios anteriores (Campos *et al.* 1982; Campos 1984, Campos *et al.* 1989, De Los Ríos & Soto 2007).

En cuanto al sedimento, en general éste presentó valores altos de arena, alta cantidad de fango en E1 y E1, valores de redox superiores a 200 mV, y materia orgánica menor a 10% en todos los centros.

En relación al análisis de trofía del lago Puyehue, las variables indicadoras de trofía se mantuvieron dentro del rango oligotrófico, a excepción de la transparencia que presentó valores mesotróficos. Respecto a la clorofila a y el nitrógeno total, ambos parámetros oscilaron entre una condición ultraoligotrófica y oligotrófica.

Según las estimaciones de carga actual y carga crítica de fósforo total para el lago Puyehue, se obtuvo que la carga actual calculada no sobrepasó la carga crítica y aún posee condiciones oligotróficas, sin embargo se debe considerar que los valores obtenidos de carga actual podrían encontrarse subestimado, ya que requiere de aproximadamente 2 a 4 años para que se refleje en el lago la carga de fósforo total actual. Dado el tiempo que requiere el fósforo total para alcanzar su



equilibrio, se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en este lago, e idealmente disminuir su ingreso actual.

5) Lago Ranco

De los lagos araucanos en estudio, el lago Ranco presentó la menor producción de biomasa salmónidos, la cual se extendió hasta el año 2012, en la actualidad no hay concesiones de acuicultura operativas en este lago.

Este lago fue monitoreado en primavera, observándose una mayor temperatura superficial en la columna de agua, mientras que en las estaciones control del lago se observó una incipiente termoclina, siendo similar a lo reportado por Woelfl *et al.* (2011). Las condiciones de oxigenación de la columna de agua en general fueron optimas en superficie, con valores de oxígeno disuelto cercanos a los 10 mg/L, mientras que a profundidades mayores de 50 m se registró una disminución del oxígeno disuelto, similar tendencia fue reportada por Woelfl *et al.* (2011).

La composición fitoplanctónica fue variada en los diferentes lagos araucanos estudiados, siendo las diatomeas la clase más abundante. En cambio en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013) se observó mayoritariamente una co-dominancia entre clorofíceas y diatomeas. Esta diferencia es atribuible a la estacionalidad, como ha sido descrito para lagos monomicticos templados (Wetzel 2001, Horne & Goldman 1994), y en lagos araucanos (Campos 1984, Campos *et al.* 1988). Las diatomeas *Aulacoseira spp* y *Cyclotella spp* fueron las especies más abundantes. Estas diatomeas han sido relacionadas a ambientes ricos en nutrientes por Reynolds *et al.* (2002). En ninguna de las estaciones de muestreo fue observada la especie plaga FAN *D. geminata*. En relación al zooplancton, éste registró menor densidad a la reportada en estudios previos (Campos *et al.* 1982; Campos 1984), siendo los mayores componentes los copépodos *T. diabolicus* (= *D. diabolicus*) y *Mesocyclops sp.*, ambas registradas como más abundantes en estudios anteriores (Campos *et al.* 1982; Campos 1984, De Los Ríos & Soto 2007).

En cuanto al sedimento, éste estuvo compuesto mayormente por fango y arena. El mayor valor de materia orgánica se registró en la estación 2, lo que se asocia a las características propias de la bahía, como por ejemplo considerarse una bahía bastante cerrada, protegida del viento y del oleaje. El redox y pH se encontraron dentro del límite de aceptabilidad.

En lo que respecta al estado trófico del lago Ranco, las variables indicadoras de trofía se mantuvieron en general dentro del rango oligotrófico, salvo la transparencia que presentó valores mesotróficos. Por otro lado, la clorofila a y el nitrógeno total oscilaron entre la condición ultraoligotrófica y oligotrófica.

En relación a la carga actual y carga crítica de fósforo total estimada para el lago Ranco, se obtuvo que la carga actual no sobrepasó la carga crítica, sin embargo es necesario tener en consideración



que los valores obtenidos de carga actual requieren entre 4 a 5 años para que se refleje en el lago. Además, a pesar que la producción acuícola en balsas jaulas fue notoriamente menor en comparación al resto de los lagos araucanos analizados, la concentración promedio de fósforo total en la columna de agua fue alta ($7,3 \mu\text{g/L}$), obteniendo valores similares al lago Rupanco, el cual posee unas de las mayores producciones de peces. Ésto estaría indicando que existen otros usos de suelo o actividades que realizan grandes aporte de fósforo total al sistema lacustre, como lo podrían ser las coberturas de bosques renovales y/o praderas, como de fuentes puntuales desde 4 pisciculturas (Woelfl et al. 2011) y empresas lecheras presentes en la cuenca del lago Ranco. Por lo tanto se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes al lago, e idealmente disminuir su ingreso actual.

Al ejecutar el presente proyecto hemos advertido la necesidad de abordar ciertas temáticas de manera diferente para futuros estudios. Por ejemplo, en lo que respecta al estudio de la abundancia fitoplanctónica, el presente proyecto consideró el muestreo de diferentes estratos discretos en la columna de agua (0-10-20-30-40m), para luego homogeneizarlo y obtener una muestra integranda, representativa de la estación de muestreo. Bajo este esquema, la abundancia podría haber sido subestimada. Aun así se considera que la muestra fue representativa de la estación de muestreo, y que las bajas abundancias fitoplanctónicas registradas en esta segunda etapa del proyecto, respecto de lo reportado en la primera etapa del proyecto, son atribuibles a la estacionalidad, ya que el monitoreo de esta etapa se efectuó en otoño invierno en la mayoría de los lagos, en cambio en la primera etapa el muestreo fue realizado íntegramente en primavera, siendo esta última la estación del año donde generalmente se observa la mayor producción fitoplanctónica. Cabe destacar que para los siguientes muestreos del presente proyecto, la toma de muestras de fitoplancton considerará lo siguiente: cubrir de manera equidistante la columna de agua muestreada, dependiendo del espesor de la capa fótica y posible estratificación del lago; y se deberán tomar volúmenes iguales de agua en cada una de las profundidades, homogenizando luego estas submuestras para obtener una sola muestra para la identificación y recuento del fitoplancton por estación de monitoreo. Por lo anteriormente expuesto, el intervalo de muestreo a utilizar será cada 5 metros tanto para lagos araucanos como chilotas, y se revisará la pertinencia de incluir un intervalo más acotado para el muestreo de fitoplancton en los lagos chilotas, por presentar una capa fotica de reducido tamaño.

Respecto a las variables troficas registradas durante este estudio, se encontraron valores muy bajos de nitrógeno total para los lagos araucanos, por debajo del rango establecido en la literatura para lagos oligotróficos (menores o iguales a $250 \mu\text{g/L}$). Por ello se considera que los valores de referencia de nitrógeno total son altos y poco adecuados para clasificar los lagos oligotróficos del sur de Chile, pero es pertinente mantener la evaluación y análisis de este parámetro en lagos araucanos, para pesquisar posibles alzas en el tiempo, como ha sucedido para el fósforo total.



II) LAGOS CHILOTES

Estos son lagos ubicados en la isla de Chiloé (42°S) y se emplazan en una zona con características climáticas oceánicas con influencia mediterránea. Los lagos chilotas se caracterizan por ser cuerpos de agua pequeños y muy someros, en relación a los lagos araucanos. Además, poseen la singularidad de tener elevada materia orgánica coloreada disuelta (MOCD) (Campos *et al.* 1982, Campos 1984, Campos *et al.* 1988), por lo que han sido descritos como lagos húmicos. Esta MOCD genera que estos lagos posean una tonalidad café, la que disminuye la penetración de la luz, disminuyendo la transparencia del cuerpo de agua (Christensen *et al.* 1996; Gorniak *et al.* 1999). Los lagos chilotas en estudio corresponden al lago Cucao, Huillinco, Tarahuín y Natri. La información obtenida para el lago Cucao corresponde a su primera evaluación por parte de este proyecto, mientras que los tres restantes fueron evaluados en la primera como segunda etapa del proyecto.

1) Cucao

Este lago se encuentra emplazado en una zona con características climáticas oceánicas con influencia Mediterránea. El lago Cucao posee un área reducida de 10 km^2 y una profundidad media de 12 m, se encuentra emplazado en una cuenca con un área de 39 km^2 . La dinámica de este lago es compleja, ya que se encuentra conectado con el lago Huillinco a través del canal Caldera y con el mar a través del río Cucao. Esto último genera que posea una columna de agua estratificada, con valores de conductividad que incrementan hacia el fondo, produciendo que la columna de agua no se mezcle completamente, por lo que ha sido descrito como un lago meromíctico (Wetzel 2001, Villalobos *et al.* 2003a). El lago Cucao, junto con el lago Huillinco, poseen los valores más elevados de color de los lagos chilotas en estudio, posiblemente asociado al gran tamaño de la cuenca del lago Huillinco y su influencia sobre el lago Cucao. Los perfiles de oxígeno en el lago Cucao mostraron un descenso hacia el fondo, sin embargo las concentraciones de oxígeno anteriormente reportadas para los estratos más profundos fueron cercanas a cero (Campos *et al.* 1997, Villalobos *et al.* 2003a). Las diferencias en las mediciones de oxígeno pueden estar asociadas al sensor de membrana utilizado para su medición, ya que la elevada MOCD en la columna de agua podrían haber generado interferencias en las mediciones, por lo tanto para futuras evaluaciones se recomienda utilizar un sensor óptico.

La composición fitoplanctónica en el lago Cucao estuvo conformada por diatomeas y clorofíceas, sin embargo el análisis cuantitativo solo registró la presencia de diatomeas, dominadas por el género *Urosolenia* sp., el cual se encuentra asociado a ambientes con elevados niveles de nutrientes (Cruces *et al.* 2006). Este lago presentó la más baja abundancia fitoplancótica, posiblemente asociado a la influencia marina que modifica las características de la columna de agua, generando un ambiente altamente variable. La composición zooplanctónica del lago Cucao estuvo dominada principalmente por copépodos, a diferencia de lo reportado por Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a), donde el zooplancton estuvo dominado por rotíferos, además de registrar presencia de plancton marino, el cual está ausente en nuestros registros. En el lago Cucao, la comunidad de



copépodos estuvo conformada mayoritariamente por la especie *T. diabolicus*, al igual que en Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a). En relación a los cladóceros, nuestras muestras presentaron igual riqueza de especies que Campos *et al.* (1997), aunque la composición de especies fue diferente. Las abundancias fitoplanctónicas y zooplanctónicas registradas en este proyecto fueron menores a las reportadas por Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a).

El análisis textural de los sedimentos del lago Cucao muestra una mayor composición de fango y arena, seguido por la grava. Esta variedad en la composición del sedimento, posiblemente se podría asociar a una mayor circulación del agua, producto del ingreso por un lago de las aguas provenientes del lago Huillínco, así como de las mareas en la parte occidental del lago Cucao. Además, este lago posee poca profundidad, lo que facilitaría la mezcla de partículas. En cuanto a la materia orgánica, la mayoría de las muestras registraron valores mayores al 9%, excediendo los valores de aceptabilidad establecidos por el RAMA para las INFAS. En cuanto para el potencial redox y pH la mayoría de los valores registrados en el lago Cucao se encontraron dentro del rango de aceptabilidad.

Al analizar el estado trófico del lago Cucao se puede apreciar que según la transparencia posee una condición eutrófica, sin embargo se debe tener en consideración que este lago naturalmente posee elevada materia orgánica coloreada producto de contribuciones alóctonas, que modifica las propiedades físicas de los lagos, otorgándole tonalidades café y disminuyendo la transparencia de los sistemas lacustres (Christensen *et al.* 1996; Gorniak *et al.* 1999). Los valores de transparencia registrados son valores similares a los obtenidos por Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a) en igual época de muestreo. Según los parámetros químicos, este lago presentó una condición que osciló mayoritariamente entre mesotrófico - eutrófico. En relación al fósforo, se ha reportado que los lagos húmicos poseen mayores concentraciones de fósforo que lagos no coloreados (Jones 1992, Villalobos *et al.* 2003a). En relación al parámetro biológico, la condición fue ultraoligotrófica, condición característica de lagos húmicos (Wetzel 2001), asociado a la baja transparencia de los lagos por elevada materia orgánica coloreada, actuando la transparencia como factor limitante de la productividad biológica.

En relación a la capacidad de carga del lago Cucao, el modelo Vollenweider posee varias restricciones que limitan su utilización en este tipo de lago, por ejemplo no es adecuado para ser usado en lagos con estratificación (meromícticos), profundidades menores a 20 m y morfología compleja (Woelfl *et al.* 2013). Además, el modelo Vollenweider no es apto para lagos húmicos, ya que el fósforo genera complejos con las sustancias húmicas modificando su tasa de sedimentación en relación con lagos de aguas claras (Jones 1992). Por lo demás, la realización de un modelo de capacidad de carga tiene por objetivo estimar la carga crítica de nutrientes (P) que permita mantener un estado oligotrófico antes de pasar a una condición mesotrófica. Sin embargo, las concentraciones actuales de fósforo que poseen algunas estaciones ya presentan una condición mesotrófica, por lo tanto determinar la carga crítica de nutrientes en este lago es innecesario. En consecuencia, para conservar y resguardar este lago se hace necesario estudiar y conocer la dinámica dentro del cuerpo



de agua, además de regular y monitorear las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca como en el cuerpo de agua (ej. Waters *et al.* 2012), ya que cualquier tipo de alteración podría intensificar aún más su actual condición trófica debido a una baja resiliencia.

2) Huillinco

El lago Huillinco posee una superficie de 19 km² y una profundidad media de 21 m, y el tamaño de la cuenca es 26,8 veces mayor que el lago Huillinco, generando que este lago sea más susceptibles a activadas antrópicas (Villalobos *et al.* 2003a). Este lago mostró una columna de agua estratificada, al igual que el lago Cucao, incrementando los valores de conductividad hacia el fondo producto de la influencia marina, por lo que ha sido descrito como lago meromíctico (Wetzel 2001, Villalobos *et al.* 2003a). El lago Huillinco, junto con el lago Cucao presentaron los mayores valores de color, posiblemente asociado al gran tamaño de la cuenca del lago Huillinco. Los perfiles de oxígeno en el lago Huillinco registraron una disminución hacia el fondo, sin embargo las concentraciones registradas en estratos más profundos no fueron inferiores a 8 mg/L, concentraciones muy superiores a lo reportado por estudios anteriores, los que registraron valores cercanos a cero (Campos *et al.* 1997, Woelfl *et al.* 2013, Villalobos *et al.* 2003a). Las diferencias en las concentraciones de oxígeno pueden estar asociadas a lo descrito anteriormente, la elevada MODC pueden generar interferencias en el sensor de membrana, por lo tanto es recomendable utilizar en estos lagos coloreados un sensor óptico para las mediciones de oxígeno.

En relación al fitoplancton, el análisis cualitativo evidenció la presencia de diatomeas y clorofíceas, pero el análisis cuantitativo tan solo mostró la presencia de diatomeas, dominadas por el género de *Urosolenia sp.*, el cual se encuentra asociado a ambientes con elevados niveles de nutrientes (Cruces *et al.* 2006). La diversidad y abundancia fitoplancótica en el lago Huillinco fueron menores a lo reportado en la primera etapa del proyecto, posiblemente asociado a la época de muestreo, ya que en la primera etapa el muestro se realizó en primavera, mientras que en esta etapa los muestreos se efectuaron en invierno, época en la cual se han reportado las más bajas abundancias fitoplancóticas (Campos *et al.* 1997), como también puede deberse a la diferencia en las profundidades en que las muestras fueron tomadas. La composición zooplancótica del lago Huillinco fue dominada principalmente por el copépodo *B. gracilipes*, especie que estuvo ausente o en densidades muy bajas en estudios anteriores (Woelfl *et al.* 2013, Campos *et al.* 1997, Villalobos *et al.* 2003a). En investigaciones previas los copépodos estuvieron dominados por *T. diabolicus*, especie que también presentó una importante densidad en nuestros análisis. En la primera etapa del proyecto como en la actual, el zooplancton estuvo dominado por copépodos, a diferencia de lo reportado por el Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a), donde la composición zooplancótica fue conformada principalmente por rotíferos.

En relación a los sedimentos, la composición textural de los sedimentos del lago Huillinco estuvo compuesta mayormente por fango y arena, con escasa o nula contribución de grava. Composición similar a la registrada por Bertran *et al.* (2006) para el lago Huillinco, sin embargo en este estudio se



registró una menor contribución de fango en relación al presente proyecto, lo que podría ser un indicio de acumulación de material orgánico a través del tiempo. En cuanto a la materia orgánica y el potencial redox en la mayoría de los casos se encontraron fuera del rango de aceptabilidad establecido por el RAMA, sólo la estación 100616 presentó valores considerados dentro del límite de aceptabilidad, resultado similar a lo obtenido en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013). Los datos de producción salmonícola indican que desde este centro se realizaron las menores contribuciones a la producción histórica del lago, además de poseer baja profundidad (aprox. 10 m de profundidad). Mientras que las estaciones con mayores profundidades (100617 y 100520) registraron mayor fango y valores más alterados de materia orgánica y potencial redox.

Al analizar el estado trófico del lago Huillinco podemos apreciar que, al igual que en el lago Cucao, la transparencia muestra una condición eutrófica, asociándose a la elevada materia orgánica coloreada, la que disminuyendo la transparencia del cuerpo de agua al otorgarle tonalidades café (Christensen *et al.* 1996; Gorniak *et al.* 1999). En relación a los parámetros químicos, este lago presentó una condición que osciló de mesotrófica a eutrófica, registrándose diferencias con la primera etapa del proyecto, en la que se reportó una condición mesotrófica, estas diferencias podrían estar asociadas a las diferentes épocas de muestreo. En relación a la clorofila, todas las estaciones de muestreo presentaron una condición ultraoligotrófica, condición característica de lagos húmicos (Wetzel 2001), asociado a la baja transparencia de los lagos por elevada materia orgánica coloreada, actuando como factor limitante de la productividad biológica.

En lo que respecta a la capacidad de carga del lago Huillinco, se considera que el modelo utilizado históricamente por diversos autores presenta diferentes restricciones que limitan su uso para este lago, ya que no es adecuado para lagos meromícticos, con profundidades menores a 20 m y con morfología compleja (Woelfl *et al.* 2013). Asimismo, el modelo Vollenweider no es apto para lagos húmicos, ya que el fósforo genera complejos con las sustancias húmicas modificando su tasa de sedimentación en relación con lagos de aguas claras (Jones 1992). Además, al igual como se mencionaba para el lago Cucao, determinar la carga crítica del lago Huillinco no es adecuado, ya que el modelo de capacidad de carga permite determinar la carga crítica de un lago oligotrófico para pasar a una condición mesotrófica. Sin embargo este lago posee muy baja transparencia y elevadas concentraciones de nutrientes y materia orgánica, características que no corresponden a un cuerpo de agua oligotrófico, presentando una condición muy sensible, con baja capacidad de amortiguar alteraciones naturales y/o antrópicas en la cuenca como en el cuerpo de agua.

3) Tarahuín

El lago Tarahuín se encuentra ubicado en una cuenca de 58 km² y tiene un área de 8 km² con una profundidad media de 22 m. A diferencia de lo que ocurre con los lagos Cucao y Huillinco, este lago posee una columna de agua más homogénea, condición característica de lagos monomícticos templados en época de invierno (Villalobos *et al.* 2003a). El lago Tarahuín presentó los valores más bajos de color de los lagos chilotas en estudio, influyendo en la mayor transparencia y concentración



de clorofila registrada de los lagos chilotas. En relación a los perfiles de oxígeno, las concentraciones fueron homogéneas en la columna de agua, mostrando un descenso hacia el fondo, que podría estar asociado a las contribuciones de materia orgánica desde la capa superficial.

La composición fitoplanctónica en el lago Tarahuín mostró mayor diversidad que los lagos Cucao y Huillinco. En el lago Tarahuín el fitoplancton se encontró dominado por la presencia de la cianobacteria *Dolichospermum sp.* (ex *Anabaena sp.*), género reportado como indicador de ambientes eutróficos (Bellinger & Sigee 2010). Además, se evidenció la presencia de *Asterionella formosa* y *Fragilaria crotonensis*, las cuales han sido descritas como especies características de ambientes con elevada carga de nutrientes (Clerk *et al.* 2000, Meriläinen *et al.* 2000). También, se registró la presencia de *Ceratium hirundinella*, dinoflagelado introducido por las actividades acuícolas en lagos (Villalobos *et al.* 2003a). La abundancia fitoplancótica fue menor a la registrada en la etapa anterior del proyecto, lo cual podría estar asociado a las diferentes épocas de muestreo, como con la profundidad de la toma de muestras. Con respecto a la composición zooplanctónica del lago Tarahuín, en la primera etapa del proyecto como en la actual, estuvo dominado por el grupo de copépodos, a diferencia de lo reportado por el Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a), donde la composición zooplanctónica fue conformada principalmente por rotíferos, los cuales estuvieron ausentes en este estudio. En este lago la riqueza y composición de especies zooplanctónicas fue similar a la observada en la primera etapa de proyecto, dominada en ambos casos por la especie *T. diabolicus*, que reemplazó al copépodo dominante reportado en Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a) (*B. gracilipes*). En tanto las especies de cladóceros fueron diferentes a las indicadas por estudios anteriores (Woelfl *et al.* 2013, Campos *et al.* 1997). Las abundancias de zooplancton registradas en esta etapa del proyecto fueron menores a las reportadas en la primera etapa del proyecto.

La composición textural de los sedimentos del lago Tarahuín estuvo compuesta mayormente por fango y arena, con escasa o nula contribución de grava. En tanto el porcentaje de materia orgánica contenida en los sedimentos en la mayoría de los casos superaron los valores de aceptabilidad establecidos por el RAMA.

En relación al estado trófico del lago Tarahuín, en este lago se registraron los mayores valores de transparencia de los lagos chilotas en estudio, aun así presentó una condición eutrófica, asociado a un estado natural de los lagos húmicos, producto de la elevada materia orgánica coloreada que disminuye la transparencia de los cuerpos de agua (Christensen *et al.* 1996; Gorniak *et al.* 1999). Según los parámetros químicos, este lago mostró una condición oligotrófica para el nitrógeno y mesotrófica para el fósforo. En relación a la clorofila, la condición fue principalmente de oligotrofía, condición característica de lagos húmicos (Wetzel 2001), sin embargo presentó las mayores concentraciones de clorofila a de los lagos chilotas y araucanos estudiados, inclusive una de las estaciones muestreadas reflejó una condición mesotrófica. Esta mayor concentración de clorofila puede estar relacionada con la elevada concentración de nutrientes y la mayor transparencia del cuerpo de agua. Los diferentes parámetros de trofia mostraron diferencias con la primera etapa del



proyecto, las que pueden estar asociadas a las distintas épocas del año en que fueron realizados los muestreos.

De igual forma, como ha sido explicado con anterioridad, realizar un modelo de capacidad de carga para lagos con estas características se hace innecesario, ya que el lago Tarahuín posee varios parámetros sobre la condición mesotrófica, y el objetivo de este modelo es determinar la carga crítica de nutrientes que permita mantener un estado oligotrófico antes de pasar a una condición mesotrófica. Por lo demás, el modelo Vollenweider no es adecuado para este lago, ya que posee profundidades menores a 20 m (Woelfl *et al.* 2013), además este modelo no es apto para lagos húmicos, ya que el fósforo genera complejos con las sustancias húmicas modificando su tasa de sedimentación en relación con lagos de aguas claras (Jones 1992). Por lo tanto, para conservar y resguardar lagos con estas características se hace necesario regular y monitorear las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca como en el cuerpo de agua (ej. Waters *et al.* 2012), ya que cualquier tipo de alteración podría intensificar aún más su actual condición debido a una baja resiliencia.

4) Natri

Este lago se encuentra ubicado en una cuenca de 87 km² de área, y posee un espejo de agua de 8 km² con una profundidad media de 35 m. Los perfiles físicos de la columna de agua del lago Natri fueron completamente homogéneos, condición característica de lagos monomícticos templados en época de invierno (Villalobos *et al.* 2003a). Al igual que en los otros lagos chilotas, en este lago se apreciaron elevados valores de color, a diferencia de la ausencia de color que ha sido reportada para lagos araucanos (Campos *et al.* 1982, Campos 1984, Campos *et al.* 1988).

La composición fitoplanctónica en el lago Natri fue más diversa que los lagos Cucao y Huillinco. Teniendo como dominante de la componente fitoplanctónica la clorofícea *Volvox* sp., género reportado como indicador de ambientes eutróficos (Bellinger & Sigee 2010). Al igual que en el lago Tarahuín, se evidenció la presencia de *A. formosa* y *F. crotonensis*, especies que han sido descritas como características de ambientes con elevada carga de nutrientes (Clerk *et al.* 2000, Meriläinen *et al.* 2000), y de *C. hirundinella*, dinoflagelado introducido por las actividades acuícolas en lagos (Villalobos *et al.* 2003a). La diversidad y abundancia fitoplanctónica fue menor a lo reportado en la primera etapa del proyecto, posiblemente asociado a la época de muestreo, ya que en la primera etapa el muestro se realizó en primavera, mientras que en este estudio los muestreos se efectuaron en invierno, o también puede deberse a diferencias en la profundidad de la muestra tomada. Con respecto a la composición zooplanctónica en el lago Natri, en la primera etapa del proyecto como en la actual, estuvo dominado por el grupo de copépodos, a diferencia de lo reportado por el Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a), donde la composición zooplanctónica fue conformada principalmente por rotíferos. En la primera etapa del proyecto y en la actual el zooplancton estuvo dominado principalmente por el copépodo *T. diabolicus*, en tanto en los análisis de Campos *et al.* (1997) y Villalobos *et al.* (2003a) el copépodo más abundante fue *T. prasinus*, el que se encuentra



ausente en nuestros análisis. Las abundancias registradas en esta etapa del proyecto fueron menores a las reportadas en la primera etapa del proyecto.

En relación con la composición textural, los sedimentos del lago Natri estuvieron compuestos mayoritariamente por arena. En cuanto a la materia orgánica, la mayoría de las muestras en el lago Natri registraron valores mayores al 9%, excediendo los niveles de aceptabilidad. Los mayores valores de materia orgánica se asociaron a los centros 100437 y 100427, centros en los que se registró la mayor producción histórica en el lago. Similares resultados fueron obtenidos en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013). En cuanto al potencial redox, los valores registrados se encontraban dentro de los rangos de aceptabilidad.

Al analizar el estado trófico del lago Natri se pueden apreciar condiciones similares a las antes descritas para el resto de los lagos chilotes, en relación a la transparencia se observa una condición eutrófica, asociado a la presencia natural de materia orgánica coloreada, que modifica la tonalidad del cuerpo de agua y por ende disminuye la transparencia del lago (Christensen *et al.* 1996; Gorniak *et al.* 1999). Igual condición trófica fue reportada en la primera etapa del proyecto, sin embargo la transparencia fue menor a la obtenida en esta etapa. Los parámetros químicos mostraron mayoritariamente una condición mesotrófica, condición diferente a la reportada por Woelfl *et al* (2013) y Campos *et al.* (1997). En relación a la clorofila, la condición fue ultraoligotrófica, asociado a la baja transparencia de los lagos, que actúa como factor limitante de la productividad biológica. Las diferencias reportadas en las condiciones tróficas entre esta etapa y la anterior pueden estar dadas por las distintas épocas de muestreos.

En relación a la capacidad de carga, al igual que para el resto de los lagos chilotes, en este lago la carga crítica del fósforo sería superior a la de un lago oligotrófico, por lo tanto realizar un modelo de capacidad de carga para el lago Natri se hace innecesario. Además que el modelo de Vollenweider presenta limitaciones para ser utilizado en el lago Natri, ya que no es adecuado para ser usado en lagos con profundidades menores a 20 m (Woelfl *et al.* 2013) y lagos húmicos, ya que poseen una tasa de sedimentación del fósforo diferente a la que poseen los lagos de aguas claras, al generar complejos con las sustancias húmicas (Jones 1992). Para conservar y resguardar lagos con estas características se hace necesario estudiar y conocer la dinámica dentro del cuerpo de agua, además de regular y monitorear las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca como en el cuerpo de agua (ej. Waters *et al.* 2012), ya que cualquier tipo de alteración podría intensificar aún más su actual condición trófica.

Al ejecutar el presente proyecto hemos advertido la necesidad de abordar ciertas temáticas de manera diferente para futuros estudios. Por ejemplo, recomendamos que la evaluación de la composición y abundancia fitoplanctónica y zooplanctónica en los lagos chilotes con influencia marina (Huillinco - Cucao) se realice a través de muestreos estratificados de estas componentes biológicas. Con respecto al tiempo de renovación, se precisa volver a calcular para los lagos Huillinco y Cucao, ya que estudios previos no incorporaron dentro del balance hidrológico la



influencia del mar sobre estos sistemas lacustres, lo que llevaría a una determinación errónea del tiempo de renovación para estos lagos. En tanto, para el análisis de trofía de los lagos chilotas se debe incorporar una variable que considere el color o materia orgánica disuelta coloreada, además de evaluar sus propiedades ópticas, ya que la evaluación clásica puede llevar a conclusiones equivocadas debido a su condición húmica. En relación a las mediciones de oxígeno, en próximos estudios se hace imprescindible realizar las mediciones de oxígeno a través de un sensor óptico de oxígeno, ya que la gran abundancia de materia orgánica puede estar generando interferencias en las mediciones realizadas con un sensor de membrana. De igual forma creemos que se requiere modificar la frecuencia de muestreos, ya que estos lagos poseen una variabilidad estacional, por lo tanto para caracterizarlos se requiere incrementar la frecuencia de muestreos, para abarcar la variabilidad estacional dentro de un ciclo anual. Y por último, para todos los lagos húmicos se hace innecesario realizar un modelo de capacidad de carga, ya que la carga crítica se encuentra sobrepasada, recomendándose realizar un balance hidrológico y de nutrientes detallado de cada uno de los lagos chilotas en estudio. Por lo anterior recomendamos evaluar todo tipo de actividades que intensifique esta condición.



8. CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica se encontró que el mayor número de estudios limnológicos a nivel nacional se reportaron a partir del año 2002. Los estudios estuvieron principalmente centrados en los lagos Llanquihue y Puyehue. Los componentes ambientales mayormente abordados fueron el agua, sedimento y estudios comunitarios de plancton.

En relación a la morfología de las cuencas de los lagos en estudio, se identificó que los lagos araucanos presentaron una mayor superficie, profundidad máxima y volumen, en comparación con los lagos Chilotas.

Los parámetros indicadores del estado trófico de los lagos (nitrógeno total, fósforo total, y Chla), indicaron que en general los lagos continentales (Llanquihue, Rupanco, Chapo, Puyehue y Ranco) se mantienen dentro del rango oligotrófico, mientras que el indicador de trofía, transparencia del agua, en la mayoría de estos lagos se relacionó con un estado mesotrófico. En el caso de los lagos chilotas (Huillínco, Tarahuín, Natri, y Cucao), los parámetros indicadores de trofía se relacionaron mayormente a un estado mesotrófico, salvo la transparencia del agua, que para la mayoría de los casos, mostró valores considerados eutróficos. En la mayor parte de los cuerpos de agua estudiados se registraron buenas condiciones de oxigenación en la columna de agua, entre 8,5 y 10 mg/L de oxígeno disuelto, salvo en los lagos Huillínco y Cucao donde se han reportado condiciones de anoxia bajo los 15 metros de profundidad. Para los lagos araucanos, se obtuvieron valores de nitrógeno total por debajo del rango establecido en la literatura para lagos oligotróficos (menores o iguales a 250 ug/L). Por ello se considera que los valores de referencia de nitrógeno total son altos y poco adecuados para clasificar los lagos oligotróficos del sur de Chile, pero es pertinente mantener la evaluación y análisis de este parámetro en lagos araucanos, para pesquisar posibles alzas en el tiempo y tender a obtener rangos que representen de mejor forma las particularidades de los lagos araucanos.

Los lagos chilotas naturalmente poseen elevada materia orgánica disuelta coloreada (MODC), que influye en la transparencia y productividad de los sistemas. Esta condición impide determinar adecuadamente su estado trófico al utilizar la clasificación clásica para sistemas lacustres. Debido a esto se requiere emplear otro tipo de clasificación, que incorpore dentro de sus parámetros, alguna de las variables que mida esta característica. El paradigma nutriente – color fue propuesta como una herramienta adecuada para evaluar lagos con elevado contenido de color. Al utilizar este modelo fue posible determinar el estado trófico de lagos chilotas, de los cuales en su mayoría presentaron un estado distrófico. El lago Cucao y Huillínco en algunos puntos presentaron una condición mixotrófica, es decir, su estado trófico da cuenta de procesos autotróficos y heterotróficos, lo cual podría estar relacionado al tamaño de la cuenca drenaje y a las contribuciones de tipo antrópicas en estos lagos. En tanto en el lago Tarahuín, se evidenciaron los valores de color más bajos de los lagos chilotas, posiblemente asociado a la menor área de la cuenca en la que se encuentra emplazada.



Se considera que la metodología empleada en el balance hidrológico y de nutrientes, modelación de la carga crítica y carga actual de fósforo total en el lago Llanquihue fue apropiada, no obstante, se requiere mayor precisión en la información a utilizar, sobre todo si se va a emplear la misma metodología para otras cuencas lacustres, con mayor certidumbre:

- Mediciones *in situ* del caudal de los afluentes (ríos)
- Mediciones *in situ* de nutrientes de cada efluente para calcular la real exportación de fósforo total por parte del río
- Análisis de uso de suelo e índices de exportación de nutrientes, específicos para cada cuenca
- Mayor detalle de las características y tipo de suelo de cada subcuenca, para inferir con mayor precisión la tasa de infiltración de cada suelo.
- Datos de la concentración de nutrientes en las precipitaciones
- Contar con datos de precipitaciones en lugares más representativos de las subcuencas
- Datos confiables de evaporación específico para cada lago
- Datos *fidedignos* de todos los aportes emanados por las actividades humanas (tratamientos de RILES que fluyen hacia el lago, producción de la salmonicultura, censo de población humana localizada en cada subcuenca (tanto residentes en forma permanente como turistas), y los sistemas de alcantarillado efectivos, entre otros).
- Catastro de uso de suelo actualizado para cada subcuenca por cuenca

En casos de desastres naturales, como lo que ha ocurrido en la cuenca de los lagos Llanquihue y Chapo, en donde por erupción volcánica del Volcán Calbuco el 22 de abril del 2015, a lo menos 5 subcuencas del lago Llanquihue han sido afectadas con gran acumulación de material vulcánico (ciertos sectores cuentan con hasta 50 cm de material). Ante esta situación, se considera que la información emanada tanto en la Primera como en la Segunda etapa del proyecto, específicamente en el lago Llanquihue, es valiosa en términos de sentar la base de la condición trófica previo a la incorporación en grandes cantidades de microelementos al lago (nutrientes, metales, etc), lo que se reflejaría sin duda en la calidad del agua. Por lo cual, se requiere con urgencia y exactitud del registro de esta catástrofe (mediciones *in situ* de nutrientes en la columna de agua del lago, efluente, afluentes, lluvia, además de las características del material derivado de la erupción, incorporando información sobre su tasa de infiltración, usos de suelo nuevamente actualizados, entre otros). Cabe mencionar, que el tiempo de equilibrio de fósforo total en el lago Llanquihue es entre 10 y 20 años, mientras que en el lago Chapo se alcanza a los 4-5 años, por lo cual cualquier evento, no debiera verse reflejado de inmediato. En consecuencia, el balance de nutrientes que ha sido actualizado en esta II etapa del proyecto, deberá ser actualizado nuevamente, además de incorporar nuevas mediciones, para conocer con mayor certeza la magnitud del desastre natural sobre la cuenca del Lago Llanquihue, así como también para la cuenca del lago Chapo, con iguales consecuencias tras la erupción volcánica.



En general se considera necesario limitar los aportes de fósforo a las cuencas lacustres por su incidencia en el aumento de trofía de los lagos. Dependiendo de cada lago en particular, se deberán tomar medidas específicas, pero el manejo de los aportes de las fuentes puntuales o conocidas de aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos es la fase inicial del control de la eutroficación. Más aún, se considera fundamental para el control de la eutroficación a largo plazo realizar un manejo integrado de cuencas, el cual deberá incluir a todos los usuarios de las cuencas evaluadas. Ya que todas las actividades realizadas en la cuenca de drenaje incidirán en mayor o menor grado al estado trófico o de calidad de agua de los sistemas lacustres.

Los lagos estudiados son capaces de brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos, se estima que en un futuro cercano será necesario priorizar los usos asociados a cada cuenca, lo cual deberá ir ligado directamente con la calidad ambiental de cada lago. En este caso, dadas las particularidades de los lagos araucanos estudiados, se encontró que sus aguas se mantuvieron mayoritariamente dentro del rango oligotrófico, es decir, con una buena calidad de agua, por ello, para salvaguardar esta condición será necesario que se establezcan controles sectoriales con prontitud, en los sistemas acuáticos donde se haya actualizado su capacidad de carga, como es el caso del lago Llanquihue, y tender a la disminución de los aportes de fósforo de las fuentes puntuales de aporten con mayores cargas de nutrientes. Así también habiendo establecido las peculiaridades y vulnerabilidad de los lagos chilotas, se considera una buena medida de manejo, limitar la producción acuícola en sus cuencas.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achurra, M., 1995. La Experiencia de un Nuevo Producto de Exportación: Los Salmones". En, Auge exportador chileno lecciones y desafíos futuros. Editores: Patricio Meller y Raúl Eduardo Sáez. CIEPLAN/DOLMES Ediciones.
- Achurra, M., F. Núñez, F. Treviño, G. Valenzuela, I. Santelices, 2005. Aplicabilidad de J.I.T. al Sector Pesquero Chileno. VI Congreso Nacional de Investigación de Operaciones OPTIMA 2005, Valdivia, Chile.
- Antiman, M., C. Martínez, 2005. Grado de antropización, evaluación y modelación matemática del nivel trófico del lago Budi como base para determinar su comportamiento ambiental. Tesis licenciatura en recursos naturales y ciencias de la ingeniería. Facultad de ciencias de la Universidad Católica de Temuco. 186 pp.
- Araya, J.M., L. Zúñiga, 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Informativo Limnológico, Chile. 8: 1-110.
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B. Jansson, S. Levin, K. Mäler, C. Perrings, D. Pimentel, 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*. 15: 91-95.
- Arst, H., A. Reinart, 2009. Application of optical classifications to North European lakes. *Aquatic Ecology*. 43 (4): 789-801.
- Barton, J.R., A. Fløysand, 2010. The political ecology of Chilean salmon aquaculture, 1982–2010: a trajectory from economic development to global sustainability. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*. 20 (4): 739–752.
- Bellinger, E., D. Sigee, 2010. Freshwater algae: Identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell, 284 pp.
- Bertrán C., L. Vargas-Chacoff, F. Peña-Cortés, S. Mulsow, J. Tapia, E. Hauenstein, R. Schlatter, A. Bravo. 2006. Macrofauna bentónica de los humedales de tres lagos salinos en el borde costero del sur de Chile Benthic macrofauna of three saline-lake wetlands on the coastal rim of southern Chile. *Ciencias Marinas*. 32(3): 589–596.
- Beveridge, M., 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO documento técnico de pesca. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/DOCREP/005/AD021S/AD021S00.HTM> (acceso 11/06/10).
- Bjørndal, T., 2002. The competitiveness of the Chilean salmon aquaculture industry. *Aquacult. Econ. Manage.* 6: 97–116.



- Bondelid, T., B. Murray, S. Pattanayak, D. Lawrence, J. Yang, B. McCail, D. Gilling, 2001. Water Benefits and Co-Benefits of Greenhouse Gas Reduction Incentives in Agriculture and Forestry. EPA Contract No. 68-01-001.
- Bottom, D.L., 1997. To till the water: a history of ideas in fisheries conservation. En: Stouder, D.J.; Bisson, P.A.; Naiman, R.J. eds. Pacific Salmon and Their Ecosystems: Status and Future Options. Ed. Chapman Hall (New York). pp. 569-597.
- Boyer, E.W., R.W. Howarth, J. Galloway, F.J. Dentener, P.A. Green, C.A. Vossmarty, 2006. Riverine nitrogen export from the continents to the coasts. Global Biogeochemical Cycles 20 (1), GB1S91. DOI: 10.1029/2005GB002537.
- Bustos-Gallardo, B., 2013. The ISA crisis in Los Lagos Chile: A failure of neoliberal environmental governance? Geoforum. 48: 196–206.
- Buyukcapar, H.M., A. Alp, 2006. The carrying capacity and suitability of the menzelet reservoir (Kahramanmaraş-Turkey) for trout culture in terms of water quality. J. Appl. Sci. 6: 2774-2778.
- Byers S., E. Mills, P. Stewart, 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. Hydrobiología. 58(1): 43-47.
- Campos, H., 1984. Limnological studies of Araucanian lakes. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen. 22: 1319-1327.
- Campos, H., 1991. Determinación del impacto ecológico de pisciculturas en sistemas fluviales y lacustres de la IX y X Región. Subsecretaría de Pesca. 100 pp.
- Campos, H., 1995. Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el lago Rupanco, X^a Región. Informe final. FIP-IT/ 93-27.
- Campos, H., J. Arenas, W. Steffen, C. Román, G. Agüero, 1982. Limnological study of lake Ranco (Chile): Morphometry, physics and plankton. Archiv für Hydrobiologie. 94: 137-171.
- Campos, H., W. Steffen, G. Agüero, O. Parra, L. Zúñiga, 1988. Limnological study of lake Llanquihue (Chile): Morphometry, physics, chemistry and primary productivity. Archiv für Hydrobiologie (Supplement). 81: 37-67.
- Campos, H., W. Steffen, G. Agüero, O. Parra, L. Zúñiga, 1992. Limnological studies of lake Rupanco (Chile) morphometry, physics, chemistry, plankton, and primary productivity. Arch. Hydrobiol. /Suppl. 90 (1): 85-113.
- Campos, H., A. Huber, O. Parra, C. Oyarzún, L. Villalobos, E. Jaque, C. Bertrán, A. Bravo, M. Grandjean, D. Avilés, G. Agüero, C. Campusano, 1997. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cacao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín. Informe final proyecto FIP-IT/96-54.



- Carlson, R.E., 1977. Trophic state index. Limnology and Oceanography. 22:361–369.
- Carpenter, R.S., D. Ludwig, W.A. Brock, 1999. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. Ecological Applications. 9: 751–771.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), 2007. Informe Final. Estudio para la implementación de medidas para el control de la contaminación hídrica: antecedentes de apoyo a la elaboración de la “Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las aguas del lago Llanquihue”.
- Chapman, A., C. Burns, 1976. Sexual and other differences in Copepodite Stages of some New Zealand *Calamoecia* and *Boeckella* spp. (Copepoda: Calanoida). N.Z. Jornal of Marine and Freshwater Research. 10 (1): 131-7.
- Chmiel, S., 2009. Hydrochemical evaluation of dystrophy of the water bodies in the Łęczna and Włodawa area in the years 2000-2008. Limnological Review. 9 (4): 153-158.
- Christensen, D.L., S.R. Carpenter, K. Cottingham, S.E. Knight, J.P. Lebouton, D.E. Schindler, N. Voichick, J.J. Cole, M.L. Pace, 1996. Pelagic responses to changes in dissolved organic carbon following division of a seepage lake. Limnol. Oceanogr. 41(3): 553–559.
- Clerk, S., R. Hall, R. Quinlan, J.P. Smol, 2000. Quantitative inferences of past hypolimnetic anoxia and nutrient levels from a Canadian Precambrian Shield lake. Journal of Paleolimnology. 23: 319–336.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 2004. Guía para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Gobierno de Chile. 19 pp.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 2005. Límites establecidos en la Guía de Norma Secundaria de Calidad Ambiental.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF), Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), BIRF, Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco, 2007. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile: Informe nacional con variables ambientales. 90 pp., Santiago.
- Cruces, F., R. Urrutia, O. Parra, A. Araneda, H. Treutler, S. Bertrand, N. Fagel, L. Torres, R. Barra, L. Chirinos, 2006. Changes in diatom assemblages in an Andean lake in response to a recent volcanic event. Arch. Hydrobiol. 165 (1): 23–35.
- Cuthbert, I.D., P.A. Del Giorgio, 1992. Toward a standard method of measuring color in freshwater. Limnol. Oceanogr. 37: 1319– 1326.



- David, C.P.C., Y.Y. Sta Maria, F.P. Siringan, J.M. Reotita, P.B. Zamora, C.L. Villanoy, E.Z. Sombrito, R.V. Azanza, 2009. Coastal pollution due to increasing nutrient flux in aquaculture sites. *Environmental Geology*. 58:447-454.
- De Los Ríos, P., D. Soto, 2007. Crustacean (copepoda and cladocera) zooplankton richness in Chilean Patagonian lakes. *Crustaceana*. 80 (3): 285-296.
- Demirak, A., B. Ahmet, T. Mehmet, 2006. Environmental impact of the marine aquaculture in Güllük Bay, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 123 (1–3): 1–12.
- Di Castri, F., 1968. *Esquisse écologique du Chili*: In: Deboutteville D & C Rapoport (eds) *Biologie de L'Amérique Australe*: 7-52. Editions du Centre National de la Recherche Scientific, París, France.
- Dillon, P.J., F.H. Rigler, 1974. A test of simple budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 1771-1778.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2002. Polluted Runoff (Nonpoint Source Pollution). National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture 314pp. <http://www.epa.gov/owow/nps/agmm>
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. 251 pp.
- Folk, R., P. Andrews, D. Lewis, 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*; Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, U.S.A, 182.
- Folk, R.L., W.C. Ward, 1957. Brazos Riverbar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27: 3–26.
- Godoy, R., C. Oyarzún, V. Gerding, 2001. Precipitation chemistry in deciduous and evergreen *Nothofagus* forests of southern Chile under low-deposition climate. *Basic and Applied Ecology*. 2: 65-72.
- Górniak, A., 2004. Dystrophy level in the “Suchary” of Wigry National Park. *Rocznik Aug.-Suw.* 4: 45-52 (in Polish).
- Górniak, A., E. Jekatierynczuk-Rudczyk, P. Dobrzyn, 1999. Hydrochemistry of three dystrophic lakes in Northeastern Poland. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 27:12-18.
- Guo, L., Z. Li, P. Xie, L. Ni, 2009. Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. *Aquaculture International*. 17: 29-241.



- Hakanson L., V.V. Boulion, 2001. Regularities in primary production, Secchi depth and fish yield and a new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems. International Review of Hydrobiology. 86 (1): 23-62.
- Hecky, R.E., P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnology and Oceanography. 33: 796-822.
- Holmer, M., M. Argyrou, T. Dalsgaard, R. Danovaro, E. Diaz-Almela, C.M. Duarte, M. Frederiksen, A. Grau, I. Karakassis, N. Marbà, S. Mirtø, M. Pérez, A. Pusceddu, M. Tsapakis, 2008. Effects of fish farm waste on Posidonia oceanica meadows: synthesis and provision of monitoring and management tools. Mar. Pollut. Bull. 56: 1618–1629.
- Horne, A., C. Goldman, 1994. Limnology. McGraw-Hill. 2nd. 574.
- Howarth, R.W., 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. Annual Review of Ecology and Systematics. 19: 898-910.
- Hutchinson, G., 1957. A treatise on limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons Inc., New York. 1015 pp.
- International Environmental Technology Centre (IETC), 2001. Planificación y manejo de lagos y embalses: Una visión integral de la eutrofificación. PNUMA Serie de publicaciones técnicas. Nº12.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2014. Centros meteorológicos de la red Agrometeorológica del INIA. <http://agromet.inia.cl/>
- Jeffrey, S.W., G.F. Humphrey, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanz. 167: 191–194.
- Jones, R.I., 1992. Phosphorus transformations in the epilimnia of small humic forest lakes. Hydrobiologia. 243/244: 105-111.
- Kalff, J., 2002. Limnology: inland water ecosystems. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Kirk, J., 1986. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems.
- Koroleff, F., 1983. Determination of ammonia. Pages 150-157 in Grasshoff, K., M. Ehrhardt, and K. Kremling, editors. Methods of seawater analysis: second, revised and extended edition. Verlag Chemie, Weinheim.
- Krammer, K., H. Lange-Bertalot, 1991. Bacillariophyceae 3. Teil. Centrales, Fragilariaeae, Eunotiaceae, In: Süßwasserflora von Mitteleuropa (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning & D. Mollenhauer, eds) Band 2/3, 1-576. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.



- Krammer, K., H. Lange-Bertalot, 2000. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 3. Teil. Centrales, Fragilariaeae, Eunotiaceae. Ergänzte und korrigierte 2. Auflage. In: Süsswasserflora von Mitteleuropa (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning & D. Mollenhauer, eds). 2 (3): 1-599. Sepktrum, Heidelberg & Berlin.
- Lampert, W., U. Sommer, 2007. Limnoecology: The ecology of lakes and streams: Oxford, Oxford University Press. 336 pp.
- Ley N° 18.892, 1989. Ley general de pesca y acuicultura y sus modificaciones. División Jurídica, Subsecretaría de Pesca, Gobierno de Chile. 189 pp.
- Little, C., A. Lara, J. McPhee, R. Urrutia, 2008. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. Journal of Hydrology. 374: 162-170.
- Lozano, Z., C. Rivero, C. Bravo, R. Hernández, 2011. Fracciones de la materia orgánica de suelos bajo sistemas de siembra directa y cultivo de cobertura. Revista Facultad de Agronomía (LUZ). 28: 35-56.
- Maine Department of Environmental Protection (MDEP), 2000. Madawaska Lake Total Maximum Daily (Annual) Load: Total Phosphorus: Final Lakes TMDL Report. DEPLW 2000-112.
- Mäler, K.G., 2000. Development, ecological resources and their management: a study of complex dynamic systems. European Economic Review. 44: 645-655.
- Margalef, R., 1983. Limnología. Ed Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Meriläinen, J.J., J. Hynynen, A. Teppo, A. Palomäki, K. Granberg, P. Reinikainen, 2000. Importance of diffuse nutrient loading and lake level changes to the eutrophication of an originally oligotrophic boreal lake: a palaeolimnological diatom and chironomid analysis. Journal of Paleolimnology. 24: 251–270.
- Muñoz, M., 1980. Flora del Parque Nacional Puyehue. Editorial Universitaria S.A., Santiago.
- Nürnberg, G.K., 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. Lake Reserv. Manage. 12: 432–447.
- Nürnberg, G.K., M. Shaw, 1998. Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria. Hydrobiologia. 382: 97-112.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, Assessment and Control. 156pp.
- Oyarzún, C., H. Campos, A. Huber, 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). Rev. Chil. Hist. Nat. 70: 507-519.



- Oyarzún C, R. Godoy, A. Sepúlveda, 1998. Water and nutrient fluxes in a cool temperate rainforest at the Cordillera de la Costa in southern Chile. *Hydrological Processes*. 12: 1067-1077.
- Oyarzún C, R. Godoy, A. De Schrijver, J Staelens, N Lust, 2004. Water chemistry and nutrient budget in an undisturbed evergreen rain forest of southern Chile. *Biogeochemistry*. 71: 107-123.
- Oyarzún, C., C. Aracena, P. Rutherford, R. Godoy, A. Deschrijver, 2007. Effect of land use conversion from native forests to exotic plantations on nitrogen and phosphorus retention in catchments of Southern Chile. *Water, Air and Soil pollution*. 179: 341-350.
- Oyarzún, C., C. Frêne, G. Lacrampe, A. Huber, P. Hervé, 2011. Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. *Bosque*. 32(1): 10-19.
- Padisák, J., 2003. Phytoplankton. In O'Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds (eds), *The Lakes Handbook 1. Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell Science Ltd., Oxford: 251–308.
- Parada, M.G., 1973. Pluviometría de Chile. Isoyetas de Valdivia-Puerto Montt. CORFO Departamento de Recursos hidráulicos. 73 p.
- Park, R.E., E.W. Burgess, 1921. *Introduction to the science of sociology*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Parsons, T.R., Y. Maita, C.M. Lalli, 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford. 173 p
- Parra, O.; M. González, V. Dellarossa, P. Rivera, M. Orellana, 1982a. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae. Universidad de Concepción (Chile), Santiago. 70 p.
- Parra, O.; M. González, V. Dellarossa, P. Rivera, M. Orellana, 1982b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. II. Chrysophyceae-Xanthophyceae. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 82 p.
- Parra, O.; M. González, V. Dellarossa, P. Rivera, M. Orellana, 1982c. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. III. Cryptophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae. Universidad de Concepción (Chile), Santiago, 99 p.
- Peczula, W., 2002. Lake Plotcze-between dystrophy and eutrophy (about difficulties in obtaining trophic status of some lakes). *Limnological Review*. 2: 303-311.
- Poniewozik, M., W. Wojciechowska, M. Solis, 2011. Dystrophy or eutrophy: phytoplankton and physicochemical parameters in the functioning of humic lakes. *Oceanological and hydrobiological studies*. 40 (2): 22-29.



- Prairie, Y.T., 1989. Statistical models for the estimation of net phosphorus sedimentation in lakes. *Aquatic Sciences*. 51: 192–210.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, R.J. Díaz, D. Justic, 2009. Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*. 66: 1528-1537.
- Reckhow, K.H., M.N. Beaulac, J.T. Simpson, 1980. Modeling Phosphorus Loading and Lake Response under Uncertainty: A Manual and Compilation of Export Coefficients, Eat Lansing, Michigan, Michigan State University.
- Reinart, A., A. Herlevi, H. Arst, L. Sipelgas, 2003. Preliminary optical classification of lakes and coastal waters in Estonia and south Finland. *Journal of Sea Research*. 49: 357– 366.
- Resolución extenta N° 4275 del 03 de noviembre de 2008, de la Dirección Ejecutiva de CONAMA. Publicado en el Diario Oficial el 15 de noviembre de 2008.
- Resolución Subsecretaría de Pesca 3.612 del 29 de octubre 2009.
- Reynolds C. S., V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores, S. Melo. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*. 24 (5): 417-428.
- Riascos, J., D. Díaz, L. Beltrán, F. Gutiérrez, 2012. Modelo dinámico para estimar la capacidad de carga de cuerpos de agua con piscicultura. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(1): 135–145.
- Rivera, P., 1970. Diatomeas de los Lagos Ranco Laja y Laguna Chica de San Pedro (Chile).
- Rivera, P., O. Parra, M. González, 1973. Fitoplancton del Estero Lenga Chile. *Gayana Bot.* 23: 1-93.
- Rivera, P., 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica Vol.* 3, 386 p.
- Rojas-Carrillo, P.M., A. Aguilar-Ibarra, 2012. Estimación de la capacidad de carga en el cultivo de peces en jaulas en el Lago de Pátzcuaro, México. *Ciencia Pesquera*. 20(2): 23-34.
- Ryding, S., W. Rast (eds), 1993. El control de la eutrofificación en los lagos y pantanos. Publicación UNESCO, Ediciones Pirámide, Madrid. 375 p.
- SalmonChile, 2014a. Exportaciones por especie (2003-2013). Exportaciones Chilenas de salmón y trucha. 1 pp. Visitado el: 20 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.salmonchile.cl/exportaciones.php>.
- SalmonChile, 2014b. Evolución de exportaciones (2003-2013). Exportaciones Chilenas de salmón y trucha. 1 pp. Visitado el: 20 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.salmonchile.cl/exportaciones.php>.
- Scavia, D., J. D. Allan, K. K. Arend, S. Bartell, D. Beletsky, N. S. Bosch, S. B. Brandt, R. D. Briland, I. Daloğlu, J. V. DePinto, D. M. Dolan, M. A. Evans, T. M. Farmer, D. Goto, H. Han, T. O. Höök, R. Knight, S. A. Ludsin, D. Mason, A. M. Michalak, R. P. Richards, J. J. Roberts,



- D. K. Rucinski, E. Rutherford, D. J. Schwab, T. M. Sesterhenn, H. Zhang, Y. Zhou. 2014. Assessing and addressing the re-eutrophication of Lake Erie: Central basin hypoxia. *Jurnal of Great Lakes Research.* 40: 226 – 246.
- Shurman, 2004. Fighting Frankenfoods: Industry Structures and the Efficacy of the Anti-Biotech Movement in Western Europe. *Social Problems.* 51(2): 243-268.
- Smith, V., G. Tilman, J. Nekola, 1999. Eutrophycation: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution.* 100:179-196.
- Smith, V.H., 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. *Environmental Science Pollution.* 10: 126-139.
- Soil Conservation Service (SCS), 1972. SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Sommer, U., 1986. The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe. *Hydrobiologia.* 138: 1-7.
- Stickney, R.R., 2003. How did we get into this mess? Junk science vs. real science. *World Aquaculture.* 34:71.
- Subiabre, A., C. Rojas, 1994. Geografía física de la región de Los Lagos. Ediciones Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 118 p.
- Tacon, A.G.J., M. Metian, 2009. Fishing for feed or fishing for food: increasing global competition for small pelagic forage fish. *Ambio.* 38: 294-302.
- Thomasson, K., 1963. Araucanian lakes: Plankton studies in north Patagonia, with notes on terrestrial vegetation. *Acta Phytogeographica Suecica.* 47.
- Tilman, D., S. Kilham, P. Kilham, 1982. Phytoplankton Community Ecology: The role of limiting nutrients. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 13: 349-372.
- Tranter, D.J., P.E. Smith. 1968. Filtration Performance. In "Monographs on oceanographic methodology 2: Zooplankton Sampling", UNESCO, Switzerland.
- Valderrama, J., 1986. Manual de métodos de análisis de aguas marinas. Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología, Laboratorio de Oceanografía, Gottemburgo, Suecia.
- Vila, I. 2003. Los sistemas acuáticos continentales. Su ontogenia natural acelerada por efecto antrópico: La eutrofización y la salinización. El agua en Iberoamérica, Tópicos Básicos y Estudios de Caso, 11-21. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Sitio Argentino de Producción animal. CYTED-XVII. 1-10.



- Villalobos, L., O. Parra, M. Grandjean, E. Jaque, S. Woelfl, H. Campos, 2003a. A study of the river basins and limnology of five humic lakes on Chiloé Island. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76: 563-590.
- Villalobos L., S. Woelfl, O. Parra, H. Campos, 2003b. Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: II. Biological properties. *Hydrobiologia*. 510: 225–237.
- Vollenweider, R.A., 1968. The scientific bases of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factor. Technical Report to OECD, Paris, DAS/CSI/. 68(27): 1-182.
- Vollenweider, R.A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*. 33: 53–83.
- Vollenweider, R.A., 1989. Global problems of eutrophication and its control. In: Salanki, J. & Herodek, S. (eds), *Conservation and Management of Lakes*. Akademiai Kiado, Budapest. 19–41.
- Wallace, R. L., T. W. Snell., 2001. Rotifera. Pages 195-254 in J. H. Thorp and A. P. Covich, editors. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Academic Press, San Diego.
- Wang, X., L.M. Olsen, K.L. Reitan, Y. Olsen, 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult environ Interact*. 2: 267-283.
- Waters, M.N., M.F. Piehler, J.M. Smoak, T.S. Bianchi, 2012. Algal community responses to shallow lake dystrophication. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 1433–1443.
- Webster, K.E., P.A. Soranno, K.S. Cheruvelil, M. Bremigan, A. Downing, P. Vaux, T. Asplund, L.C. Bacon, J. Connor, 2008. An empirical evaluation of the nutrient color paradigm for lakes. *Limnology and Oceanography*. 53(3): 1137–1148.
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: Lake and river ecosystem*. Third edition. Saunders College Publishing, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 1006 p.
- Wicki, G.A., L. Luchini, 2002. Evaluación del potencial para acuicultura en la región del Comahue. (Provincias de Neuquén y Río Negro). Información Básica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). República de Argentina. 52p.
- Williamson, C.E., D.P. Morris, M.L. Pace, O.G. Olso, 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and oceanography*. 44(3, part 2): 795–803.
- Williamson, C.E., J.W. Reid., 2001. Copepoda. In: Thorp, J. H. and A. Covich. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Chapter 22. pp. 915-954.



- Woelfl, S., L. Villalobos, O. Parra, W. Steffen, H. Campos. 2003. Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use or hydroelectricity generation: I. Physical and chemical properties. *Hydrobiologia*. 510: 217–224.
- Woelfl, S., C. Oyarzún, C. Duarte, L. Caputo, J. Rodríguez. 2011. Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Ranco, Cuenca del río Bueno. Informe final. S.I.T. N° 239. 177p.
- Woelfl, S., J. Nimptsch, C. Oyarzún, M. Grandjean, W. Steffen, D. Schories, C. Bertrán, L. Caputo, J. Jaramillo, 2013. Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (primera etapa). Informe final proyecto N 4728-42-LP12.
- Zhong-gen, W., L. Yu-zhou, Z. Ming-hua, X. Jun., 2014. Quantitative Evaluation of Sustainable Development and Eco-Environmental Carrying Capacity in Water-Deficient Regions: A Case Study in the Haihe River Basin, China *Journal of Integrative Agriculture*. 13: 195-206.
- Zielinski, P., J. Ejsmont-Karabin, M. Grabowska, M. Karpowicz, 2011. Ecological status of shallow Lake Gorbacz (NE Poland) in its final stage before drying up. *Oceanological and hydrobiological studies*. 40 (2): 1-12.
- Zohary, T., J. Padizák, L. Naselli-Flores, 2010. Phytoplankton in the physical environment: beyond nutrients, at the end, there is some light. *Hydrobiologia*. 639: 261-269.

A N E X O S

A N E X O 1

Tablas

**Tabla 1.**

Ubicación geográfica de los lagos considerados en el estudio.

	Coordenada S	Coordenada O
Lagos Araucanos		
Lago Ranco	40°14'46,3"	72°24'29,9"
Lago Puyehue	40°40'15,2"	72°27'45,9"
Lago Rupanco	40°51'57,4"	72°29'22,9"
Lago Llanquihue	41°14'14,2"	72°53'57,1"
Lago Chapo	41°29'47,1"	72°26'59,3"
Lagos Chilotas		
Lago Cucao	42°38'19,9"	74°30'58,9"
Lago Huillinco	42°40'11,4"	73°56'42,1"
Lago Tarahuín	42°42'57,4"	73°43'50,0"
Lago Natri	42°47'37,9"	73°48'39,5"

Tabla 2.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Llanquihue.

Centro	Código	Coordenadas		Profundidades (m)
Maitén A	100510	41°11'38,5''S	73°00'38,5''W	0-30-60
Maitén C	100332	41°11'38,5''S	73°00'38,5''W	0-30-50
Bahía Cox	100628	41°01'05''S	72°41'44,9''W	0-15-30
Bahía Ensenada	100370	41°08'22,3''S	72°35'39,9''W	0-25-50
Bahía Rincones	100204	41°00'33,4''S	72°54'38,3''W	0-30-60
Bahía Volcanes	100390	41°10,5'1'3,5''S	72° 33'54,9''W	0-35-70
Monte Alegre	100627	41°00'31,0''S	72°44'15,0''W	0-15-30
Puerto Phillipi	100100	41°12'47,9''S	73°00'57,5''W	0-20-40
Puerto Phillipi 2	101866	41°12'56,7''S	73°01'08,8''W	0-20-45
Playa Maqui	100507	41°05'43,0''S	72°57'48,6''W	0-25-50
Puerto Octay	100545	40°57' 58,6''S	72° 52'19,5''W	0-10-20
Puerto Rosales	100070	41°16'52,3''S	72°52'09,6''W	0-5-10
Control 1	C1	41° 10'08,4''S	72°39'21,0''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-300
Control 2	C2	41°14'13,5''S	72°53'56,9''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250

**Tabla 3.**

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Chapo.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
100394	41°26'13.7''S	72°34'30.5''W	0-10-20
101291	41°26'24.0''S	72°33'59.0''W	0-20-40-80
100678	41°30'13.7''S	72°25'25.0''W	0-100-190
101051	41°28'43.0''S	72°27'21.7''W	0-100-250
101332	41°24'59.3''S	72°32'14.5''W	0-20-40-80
Control 1	41° 25'56.2''S	72°30'48.4''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250
Control 2	41°29'47.1''S	72°26'59.3''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-290

Tabla 4.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Natri.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
100437	42°47'38.0''S	73°48'39.0''W	0-15-30
100427	42°48'26.3''S	73°46'54.4''W	0-15-25
100600	42°48'05.2''S	73°47'37.0''W	0-15-30
Control 1	42°47'37.9''S	73°48'39.5''W	0-10-20-30-40-50-55

Tabla 5.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Huillinco.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
100520	42°39'30.0''S	73°58'09.7''W	0-20-40
100616	42°39'30.2''S	73°55'28.2''W	0-5
100617	42°40'05.2''S	73°59'15.2''W	0-15-30
100968	42°40'46.6''S	73°55'29.6''W	0-5
101212	42°40'38.0''S	73°56'21.6''W	0-10-20
Control 1	42°40'11.4''S	73°56'42.1''W	0-10-20-30-40-45



Tabla 6.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Tarahuín.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
100521	42°48'35.1''S	73°46'52.1''W	0-15-30
100436	42°48'24.6''S	73°50'56.3''W	0-5-10
Control 1	42°48'30.1''S	73°48'48.1''W	0-10-20-30

Tabla 7.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Cacao.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
E1	42°39'45.1''S	74°01'24.6''W	0-5
E2	42°39'09.4''S	74°01'57.3''W	0-5
E3	42°37'23''S	74°05'53.4''W	0-5
Control 1	42°38'44.1''S	74°02'30.4''W	0-5-10-15-20
Control 2	42°38'37.6''S	74°03'58''W	0-5-10-15-20

Tabla 8.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Ranco.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
E1	40°17'17.6''S	72°18'0.9''W	0-10-20-30-40-50
E2	40°17'36.1''S	72°15'34.4''W	0-10-20-30-40-50
E3	40°07'51.9''S	72°20'36.9''W	0-10-20-30-40-50
Control 2	40°15'44.0''S	72°29'15.5''W	0-10-20-30-40-50-80-100
Control 1	40°11'17.4''S	72°20'43.8''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-180



Tabla 9.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Rupanco.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
101707	40°47'37.5''S	72°39'34.1''W	0-70-140
100081	40°46'02.6''S	72°37'35.3''W	0-20-40
100389	40°47'09.0''S	72°28'15.6''W	0-10-20
100522	40°53'51.8''S	72°19'14.1''W	0-50-100
100625	40°51'10.1''S	72°30'04.7''W	0-30-60
101851	40°51'53.3''S	72°27'57.3''W	0-50-100
101862	40°52'45.7''S	72°26'54.0''W	0-30-60
Control 1	40°51'57.4''S	72°29'22.9''W	0-10-20-30-40-50-80-100
Control 2	40°49'34.7''S	72°31'19.0''W	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-260

Tabla 10.

Estaciones de muestreo de columna de agua para el lago Puyehue.

Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
E1	40°38'52.1''S	72°20'35.0''W	0-20-40-50
E2	40°37'59.9''S	72°23'17.2''W	0-20-40-70
E3	40°40'28.9''S	72°35'50.6''W	0-5-10
Control 1	40°39'27.0''S	72°23'31.0''W	0-10-20-30-40-50-80-120
Control 2	40°39'37.8''S	72°32'46.30''W	0-10-20-30-40-50-80-100

**Tabla 11.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el lago Llanquihue a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= Phillipi, B= Maitén, C= Frutillar, D= Rincones, E= Puerto Octay, F= Puerto Fonck, G= Bahía Ensenada, H= Bahía Volcán.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo	Recorrido	Numero Puntos
A1	1	21-05-2014 - 10:49:51	41° 13.183'S - 73° 00.235'W	21-05-2014 - 15:27:43	41° 13.086'S - 72° 59.857'W	4:38:17	588	n= 6
A2	15	21-05-2014 - 10:49:35	41° 13.188'S - 73° 00.236'W	21-05-2014 - 15:21:05	41° 13.296'S - 72° 59.958'W	4:31:45	480	n= 544
A3	1	21-05-2014 - 11:14:03	41° 12.906'S - 72° 59.986'W	21-05-2014 - 15:35:03	41° 12.704'S - 72° 59.807'W	4:21:11	469	n= 8
A4	15	21-05-2014 - 11:13:06	41° 12.906'S - 72° 59.987'W	21-05-2014 - 15:38:43	41° 12.824'S - 72° 59.981'W	4:26:02	182	n= 117
B1	1	22-05-2014 - 11:50:23	41° 12.165'S - 72° 59.745'W	22-05-2014 - 16:28:03	41° 11.823'S - 72° 59.942'W	4:37:44	802	n= 478
B2	15	22-05-2014 - 11:52:33	41° 12.149'S - 72° 59.774'W	22-05-2014 - 16:59:03	41° 11.908'S - 72° 59.747'W	5:06:50	605	n= 614
B3	1	22-05-2014 - 11:57:06	41° 12.017'S - 72° 59.519'W	22-05-2014 - 16:35:42	41° 11.702'S - 72° 59.623'W	4:38:39	950	n= 505
B4	15	22-05-2014 - 12:01:22	41° 12.000'S - 72° 59.533'W	22-05-2014 - 16:49:00	41° 11.759'S - 72° 59.445'W	4:47:43	591	n= 691
C1	1	14-05-2014 - 9:28:58	41° 08.068'S - 72° 58.128'W	14-05-2014 - 15:53:16	41° 08.467'S - 72° 57.609'W	6:24:20	1058	n= 125
C2	15	14-05-2014 - 9:26:21	41° 08.076'S - 72° 58.124'W	14-05-2014 - 15:47:24	41° 08.699'S - 72° 57.612'W	6:21:23	1351	n= 762



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

C3	1	14-05-2014 - 9:42:51	41° 06.923'S - 72° 57.359'W	14-05-2014 - 16:07:32	41° 07.089'S - 72° 57.770'W	6:24:46	701	n=117
C4	15	14-05-2014 - 9:39:23	41° 06.933'S - 72° 57.339'W	14-05-2014 - 16:02:20	41° 07.350'S - 72° 57.837'W	6:23:28	1132	n=397
D1	1	03-06-2014 - 11:20:22	41° 02.049'S - 72° 53.662'W	03-06-2014 - 16:55:30	41° 01.280'S - 72° 53.555'W	5:35:21	1416	n=5
D2	15	03-06-2014 - 11:25:22	41° 02.057'S - 72° 53.665'W	03-06-2014 - 16:17:52	41° 01.430'S - 72° 54.118'W	4:52:47	1511	n=586
D3	1	03-06-2014 - 11:31:55	41° 01.477'S - 72° 53.448'W	03-06-2014 - 16:43:56	41° 01.467'S - 72° 53.621'W	5:12:12	684	n=10
D4	-	SIN DATO	-	-	-	-	-	-
E1	1	13-05-2014 - 9:55:34	40° 59.241'S - 72° 50.820'W	13-05-2014 - 15:20:05	40° 59.244'S - 72° 50.395'W	5:25:02	611	n=17
E2	15	13-05-2014 - 10:02:07	40° 59.233'S - 72° 50.796'W	13-05-2014 - 15:08:07	40° 59.228'S - 72° 50.520'W	5:06:10	511	n=613
E3	-	SIN DATO	-	-	-	-	-	-
E4	15	13-05-2014 - 10:10:34	40° 59.167'S - 72° 49.897'W	13-05-2014 - 15:24:39	40° 59.069'S - 72° 49.505'W	5:14:41	585	n=38
F1	1	12-06-2014 - 12:03:49	41° 01.911'S - 72° 41.807'W	13-06-2014 - 11:53:20	41° 02.540'S - 72° 42.048'W	23:49:52	6307	n=2858
F2	15	12-06-2014 - 12:18:01	41° 01.846'S - 72° 41.630'W	13-06-2014 - 11:35:33	41° 02.067'S - 72° 41.343'W	23:18:02	3652	n=2794
F3	1	14-06-2014 - 5:21:27	41° 07.686'S - 72° 44.399'W	17-06-2014 - 16:41:34	41° 02.805'S - 72° 47.956'W	83:20:20	22079	n=9998



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

F4	-	SIN DATO	-	-	-	-	-	-	-	-
G1	1	08-05-2014 - 12:19:08	41° 09.197'S - 72° 35.734'W	08-05-2014 - 18:04:33	41° 09.481'S - 72° 34.888'W	5:45:53	1361	n=40		
G2	15	08-05-2014 - 12:24:21	41° 09.205'S - 72° 35.712'W	08-05-2014 - 18:34:21	41° 09.579'S - 72° 35.268'W	6:10:43	1006	n=151		
G3	1	08-05-2014 - 12:34:23	41° 08.865'S - 72° 35.999'W	08-05-2014 - 14:24:27	41° 08.975'S - 72° 35.504'W	5:37:43	1722	n=61		
G4	15	08-05-2014 - 12:38:28	41° 08.867'S - 72° 35.976'W	08-05-2014 - 18:24:41	41° 08.862'S - 72° 35.133'W	5:46:27	1964	n=57		
H1	1	25-04-2014 - 11:32:52	41° 11.929'S - 72° 34.798'W	25-04-2014 - 23:56:22	41° 11.547'S - 72° 33.901'W	12:25:30	3276	n=288		
H2	15	25-04-2014 - 11:08:34	41° 11.943'S - 72° 34.815'W	25-04-2014 - 23:51:37	41° 11.817'S - 72° 34.305'W	12:51:07	2000	n=218		
H3	1	25-04-2014 - 11:45:39	41° 11.597'S - 72° 34.878'W	25-04-2014 - 14:58:24	41° 11.978'S - 72° 34.650'W	12:12:36	1859	n=52		
H4	15	25-04-2014 - 11:53:28	41° 11.544'S - 72° 34.947'W	25-04-2014 - 23:57:13	41° 11.976'S - 72° 34.651'W	12:06:23	1244	n=40		

**Tabla 12.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Chapo a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	04-07-2014 16:38	S41° 26.028' W72° 33.519'	05-07-2014 15:22	S41° 26.259' W72° 33.314'	23:46
A2	15	04-07-2014 16:41	S41° 26.039' W72° 33.508'	05-07-2014 15:15	S41° 26.333' W72° 33.782'	23:26
A3	1	04-07-2014 16:55	S41° 26.215' W72° 33.451'	05-07-2014 15:23	S41° 26.243' W72° 33.328'	23:32
A4	15	04-07-2014 17:00	S41° 26.231' W72° 33.445'	05-07-2014 15:18	S41° 26.421' W72° 33.641'	21:42
B1	1	05-07-2014 15:39	S41° 26.372' W72° 30.345'	07-07-2014 12:20	S41° 25.193' W72° 30.179'	20:19
B2	15	05-07-2014 15:41	S41° 26.373' W72° 30.344'	06-07-2014 17:03	S41° 26.050' W72° 30.150'	25:38
B3	1	05-07-2014 15:47	S41° 26.161' W72° 29.598'	07-07-2014 10:46	S41° 28.637' W72° 26.887'	7:01
B4	15	05-07-2014 15:46	S41° 26.158' W72° 29.595'	07-07-2014 11:43	S41° 28.212' W72° 29.088'	8:03
C1	1	02-07-2014 19:16	S41° 29.339' W72° 27.794'	03-07-2014 11:19	S41° 29.601' W72° 26.573'	16:03
C2	15	02-07-2014 12:30	S41° 28.962' W72° 28.190'	03-07-2014 11:57	S41° 29.852' W72° 26.898'	23:27
C3	1	02-07-2014 17:46	S41° 29.264' W72° 27.585'	03-07-2014 11:23	S41° 29.248' W72° 26.664'	15:23
C4	15	02-07-2014 18:19	S41° 28.972' W72° 27.884'	03-07-2014 11:28	S41° 29.619' W72° 26.921'	16:09

**Tabla 13.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Natri a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	10-07-2014 12:55	S42° 47.874' W73° 48.492'	11-07-2014 11:51	S42° 47.571' W73° 48.944'	22:04
A2	7	10-07-2014 13:13	S42° 47.736' W73° 48.444'	11-07-2014 11:40	S42° 47.839' W73° 48.800'	22:27
A3	1	10-07-2014 13:21	S42° 47.745' W73° 48.438'	11-07-2014 11:39	S42° 47.851' W73° 48.699'	22:18
A4	7	10-07-2014 12:44	S42° 47.864' W73° 48.553'	11-07-2014 11:55	S42° 47.369' W73° 49.091'	23:11
B1	1	11-07-2014 11:58	S42° 47.539' W73° 49.020'	12-07-2014 13:18	S42° 47.813' W73° 49.865'	25:20
B2	7	11-07-2014 11:45	S42° 47.744' W73° 49.042'	12-07-2014 13:13	S42° 47.808' W73° 49.678'	21:28
B3	1	11-07-2014 11:46	S42° 47.740' W73° 49.036'	12-07-2014 13:11	S42° 47.881' W73° 49.504'	22:57
B4	7	11-07-2014 12:00	S42° 47.541' W73° 49.050'	12-07-2014 13:23	S42° 47.796' W73° 50.340'	23:23
C1	1	12-07-2014 13:25	S42° 47.705' W73° 50.286'	13-07-2014 11:18	S42° 47.934' W73° 50.653'	22:43
C2	7	12-07-2014 13:27	S42° 47.719' W73° 50.311'	13-07-2014 11:20	S42° 47.834' W73° 50.697'	22:47
C3	1	12-07-2014 13:30	S42° 47.533' W73° 50.250'	13-07-2014 11:52	S42° 47.797' W73° 51.196'	23:22
C4	7	12-07-2014 13:30	S42° 47.535' W73° 50.260'	13-07-2014 7:38	S42° 47.489' W73° 50.812'	7:08

**Tabla 14.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Huillínco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= transecto A, B= transecto B, C= transecto C.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	24-07-2014 9:48	S42° 40.348' W73° 58.720'	25-07-2014 8:41	S42° 40.198' W73° 59.649'	22:53
A2	7	24-07-2014 9:55	S42° 40.342' W73° 58.756'	25-07-2014 9:00	S42° 40.233' W73° 58.273'	23:05
A3	1	24-07-2014 10:02	S42° 40.123' W73° 58.656'	25-07-2014 10:48	S42° 40.214' W73° 57.652'	24:42
A4	7	25-07-2014 10:48	S42° 40.210' W73° 57.657'	26-07-2014 8:45	S42° 39.640' W73° 58.356'	21:57
B1	1	25-07-2014 10:38	S42° 39.827' W73° 57.442'	26-07-2014 9:01	S42° 39.782' W73° 58.056'	22:23
B2	7	25-07-2014 10:37	S42° 39.820' W73° 57.455'	26-07-2014 8:50	S42° 39.778' W73° 58.273'	22:13
B3	1	25-07-2014 10:50	S42° 40.219' W73° 57.645'	26-07-2014 8:53	S42° 39.855' W73° 58.193'	22:03
C1	1	26-07-2014 9:32	S42° 40.146' W73° 55.333'	27-07-2014 11:02	S42° 40.425' W73° 59.150'	21:30
C2	7	26-07-2014 9:41	S42° 40.192' W73° 55.413'	27-07-2014 10:20	S42° 40.214' W73° 55.418'	24:39
C3	1	26-07-2014 9:50	S42° 40.484' W73° 55.447'	27-07-2014 8:48	S42° 40.175' W73° 59.649'	22:58
C4	7	26-07-2014 9:48	S42° 40.476' W73° 55.431'	27-07-2014 10:13	S42° 40.336' W73° 55.392'	22:25



Tabla 15.

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Tarahuín a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.
A= transecto A, y B= transecto B.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	30-07-2014 9:43	S42° 43.219' W73° 46.539'	30-07-2014 19:31	S42° 43.359' W73° 45.872'	09:49:00
A2	7	30-07-2014 10:43	S42° 43.226' W73° 46.540'	30-07-2014 12:35	S42° 43.162' W73° 46.656'	01:52:30
A3	1	31-07-2014 10:23	S42° 43.121' W73° 46.544'	31-07-2014 23:06	S42° 43.257' W73° 45.707'	12:43:00
A4	7	29-07-2014 11:26	S42° 43.127' W73° 46.562'	29-07-2014 14:15	S42° 43.111' W73° 46.787'	02:49:30
B1	1	30-07-2014 12:50	S42° 43.175' W73° 44.815'	31-07-2014 10:06	S42° 43.355' W73° 45.118'	21:16:30
B2	7	30-07-2014 10:59	S42° 43.174' W73° 44.843'	31-07-2014 9:21	S42° 43.349' W73° 45.216'	22:22:30
B3	1	30-07-2014 11:07	S42° 43.258' W73° 44.819'	31-07-2014 9:23	S42° 43.351' W73° 45.113'	22:16:00
B4	1	30-07-2014 11:45	S42° 43.257' W73° 44.822'	31-07-2014 11:54	S42° 43.349' W73° 45.179'	24:10:00



Tabla 16.

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Cucao a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= transecto A, B= transecto B.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	21-07-2014 11:30	S42° 39.582' W74° 01.500'	21-07-2014 14:23	S42° 39.894' W74° 01.513'	26:53
A4	7	21-07-2014 11:11	S42° 39.713' W74° 00.945'	21-07-2014 14:45	S42° 39.785' W74° 00.857'	27:34
B1	1	22-07-2014 10:19	S42° 38.520' W74° 03.302'	23-07-2014 9:01	S42° 38.900' W74° 02.252'	22:42
B4	15	22-07-2014 10:36	S42° 38.728' W74° 03.353'	23-07-2014 5:23	S42° 38.619' W74° 02.563'	6:47

**Tabla 17.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Ranco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= transecto A, B= transecto B, y C= transecto C.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	26-11-2014 9:42	S40° 10.659' W72° 17.118'	27-11-2014 10:40	S40° 10.287' W72° 17.286'	0:59:00
A2	15	26-11-2014 9:51	S40° 10.659' W72° 17.090'	27-11-2014 11:37	S40° 10.148' W72° 17.250'	25:47:00
A3	1	26-11-2014 10:01	S40° 10.737' W72° 16.545'	27-11-2014 12:41	S40° 10.175' W72° 16.387'	26:41:00
A4	15	26-11-2014 10:11	S40° 10.736' W72° 16.529'	27-11-2014 11:49	S40° 10.189' W72° 16.193'	25:39:00
B1	1	27-11-2014 11:12	S40° 17.443' W72° 19.830'	28-11-2014 11:57	S40° 18.234' W72° 17.841'	24:46:00
B2	15	27-11-2014 11:18	S40° 17.487' W72° 19.867'	28-11-2014 13:56	S40° 18.592' W72° 21.750'	2:38:30
B3	1	26-11-2014 11:23	S40° 18.328' W72° 20.089'	27-11-2014 12:19	S40° 18.800' W72° 22.385'	0:57:00
B4	15	27-11-2014 11:16	S40° 18.383' W72° 20.108'	28-11-2014 4:54	S40° 18.874' W72° 21.462'	17:38:30
C1	1	28-11-2014 11:31	S40° 18.571' W72° 16.434'	29-11-2014 12:36	S40° 19.277' W72° 14.477'	1:06:00
C2	15	28-11-2014 11:41	S40° 18.607' W72° 16.466'	29-11-2014 12:46	S40° 19.585' W72° 14.694'	1:06:00
C3	1	28-11-2014 11:56	S40° 19.346' W72° 16.553'	29-11-2014 13:38	S40° 19.939' W72° 15.251'	1:43:30
C4	1	28-11-2014 12:11	S40° 19.364' W72° 16.597'	29-11-2014 8:40	S40° 20.256' W72° 15.262'	20:30:00

**Tabla 18.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en lago Rupanco a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= transecto A, B= transecto B, C= Transecto C, D= transecto D, E= transecto E, F= transecto F, G= transecto G, H= transecto H.

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	03-10-2014 10:55	S40° 47.884' W72° 38.983'	04-10-2014 12:26	S40° 47.058' W72° 38.997'	25:33:0 0
A2	15	03-10-2014 10:55	S40° 47.945' W72° 38.968'	04-10-2014 8:02	S40° 47.464' W72° 38.260'	21:09:0 0
A3	1	03-10-2014 11:02	S40° 47.214' W72° 38.553'	04-10-2014 9:38	S40° 46.359' W72° 39.004'	22:37:3 0
A4	15	03-10-2014 11:06	S40° 47.216' W72° 38.531'	04-10-2014 1:43	S40° 46.718' W72° 38.128'	14:39:0 0
B1	1	02-10-2014 11:15	S40° 50.561' W72° 32.141'	03-10-2014 5:56	S40° 51.086' W72° 32.703'	18:42:0 0
B2	15	02-10-2014 11:20	S40° 50.560' W72° 32.142'	03-10-2014 5:14	S40° 49.836' W72° 33.140'	17:55:0 0
B3	1	02-10-2014 11:25	S40° 50.649' W72° 31.389'	03-10-2014 5:14	S40° 51.329' W72° 30.342'	17:50:0 0
B4	15	02-10-2014 11:32	S40° 50.647' W72° 31.390'	03-10-2014 10:55	S40° 49.654' W72° 31.742'	23:24:0 0
C1	1	01-10-2014 9:45	S40° 52.010' W72° 29.070'	02-10-2014 11:10	S40° 51.707' W72° 30.797'	1:26:00
C2	15	01-10-2014 9:55	S40° 52.040' W72° 29.087'	02-10-2014 5:10	S40° 51.519' W72° 30.052'	19:16:0 0
C3	1	01-10-2014 10:05	S40° 52.300' W72° 29.277'	02-10-2014 8:13	S40° 52.186' W72° 29.938'	22:09:0 0
C4	1	01-10-2014 10:25	S40° 52.338' W72° 29.297'	02-10-2014 11:04	S40° 52.290' W72° 30.027'	0:40:00
D1	1	07-10-2014 10:25	S40° 47.421' W72° 29.033'	08-10-2014 3:27	S40° 47.353' W72° 28.721'	17:05:0 0
D2	15	07-10-2014 10:32	S40° 47.432' W72° 29.052'	08-10-2014 10:56	S40° 47.296' W72° 28.526'	24:25:3 0
D3	1	07-10-2014 10:38	S40° 47.586' W72° 28.629'	08-10-2014 5:24	S40° 47.462' W72° 28.137'	18:48:0 0
D4	15	07-10-2014 10:46	S40° 47.612' W72° 28.630'	08-10-2014 2:39	S40° 47.719' W72° 28.239'	15:54:0 0
E1	1	08-10-2014 10:48	S40° 52.420' W72° 20.066'	09-10-2014 4:42	S40° 52.638' W72° 18.902'	17:54:3 0



E2	15	08-10-2014 10:52	S40° 52.468' W72° 20.076'	09-10-2014 14:29	S40° 52.728' W72° 18.041'	27:37:3 0
E3	1	08-10-2014 10:59	S40° 52.783' W72° 20.270'	09-10-2014 9:50	S40° 53.008' W72° 19.325'	22:52:0 0
E4	15	08-10-2014 11:03	S40° 52.826' W72° 20.309'	10-10-2014 6:57	S40° 53.245' W72° 15.944'	43:54:3 0
F1	1	27-08-2014 10:45	S40° 53.266' W72° 19.855'	28-08-2014 10:22	S40° 53.484' W72° 20.190'	23:38:0 0
F2	15	27-08-2014 10:55	S40° 53.265' W72° 19.853'	28-08-2014 9:14	S40° 52.952' W72° 20.077'	22:20:0 0
F3	1	27-08-2014 11:07	S40° 53.427' W72° 19.261'	28-08-2014 10:19	S40° 53.699' W72° 18.866'	23:13:3 0
F4	15	27-08-2014 11:11	S40° 53.396' W72° 19.249'	28-08-2014 10:45	S40° 53.509' W72° 18.091'	23:34:3 0
G1	1	28-08-2014 11:05	S40° 52.859' W72° 26.200'	29-08-2014 6:41	S40° 52.499' W72° 25.894'	19:37:0 0
G2	15	28-08-2014 11:13	S40° 52.866' W72° 26.198'	29-08-2014 13:58	S40° 52.468' W72° 26.166'	26:46:0 0
G3	1	28-08-2014 11:21	S40° 53.156' W72° 26.220'	29-08-2014 9:00	S40° 53.117' W72° 25.658'	21:40:3 0
G4	1	28-08-2014 11:21	S40° 53.164' W72° 26.220'	29-08-2014 8:31	S40° 53.348' W72° 25.570'	21:11:0 0
H1	1	26-08-2014 10:45	S40° 52.680' W72° 15.896'	27-08-2014 8:27	S40° 52.278' W72° 14.902'	21:45:0 0
H2	15	26-08-2014 10:55	S40° 52.686' W72° 15.895'	27-08-2014 9:47	S40° 52.246' W72° 15.690'	22:54:0 0
H3	1	26-08-2014 11:07	S40° 53.053' W72° 15.830'	27-08-2014 7:27	S40° 52.290' W72° 14.698'	20:21:0 0
H4	15	26-08-2014 11:11	S40° 53.059' W72° 15.831'	27-08-2014 10:15	S40° 52.572' W72° 13.813'	23:06:0 0

**Tabla 19.**

Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el lago Puyehue a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.

A= transecto A, B= transecto B, C= transecto

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	02-12-2014 9:55	S40° 40.584' W72° 33.740'	03-12-2014 10:22	S40° 39.615' W72° 34.158'	24:28:3 0
A2	15	02-12-2014 10:00	S40° 40.587' W72° 33.724'	03-12-2014 8:42	S40° 39.851' W72° 33.725'	22:44:0 0
A3	1	02-12-2014 10:00	S40° 39.966' W72° 33.540'	03-12-2014 8:18	S40° 39.073' W72° 34.021'	22:19:3 0
A4	15	02-12-2014 10:10	S40° 39.967' W72° 33.532'	03-12-2014 7:44	S40° 39.263' W72° 33.507'	21:36:0 0
B1	1	09-12-2014 19:12	S40° 39.096' W72° 24.132'	10-12-2014 15:19	S40° 39.552' W72° 22.568'	20:08:0 0
B2	15	09-12-2014 19:15	S40° 39.089' W72° 24.132'	10-12-2014 14:26	S40° 39.139' W72° 22.051'	19:12:0 0
B3	1	09-12-2014 19:25	S40° 39.085' W72° 22.637'	10-12-2014 14:34	S40° 40.361' W72° 21.968'	19:09:4 5
B4	15	09-12-2014 19:29	S40° 39.068' W72° 22.634'	10-12-2014 14:15	S40° 39.098' W72° 21.128'	18:47:0 0
C1	1	03-12-2014 9:42	S40° 39.395' W72° 20.516'	04-12-2014 8:55	S40° 39.414' W72° 20.029'	23:14:0 0
C2	15	03-12-2014 9:45	S40° 39.379' W72° 20.516'	04-12-2014 6:41	S40° 39.279' W72° 20.066'	20:57:0 0
C3	1	03-12-2014 9:52	S40° 39.774' W72° 20.446'	04-12-2014 4:11	S40° 39.730' W72° 19.963'	18:20:0 0
C4	1	03-12-2014 9:57	S40° 39.793' W72° 20.438'	04-12-2014 7:57	S40° 39.893' W72° 19.941'	22:01:0 0



Tabla 20.
Ubicación de las estaciones de sedimento en lago Llanquihue.

Centro	Código	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
Maitén A	100510	1	20	41°11'50,9''S	73°00'38,4''W
		2	22,6	41°11'31,8''S	73°01'00,1''W
		3	20	41°11'42,44''S	73°00'57,7''W
Maitén C	100332	1	21,5	41°11'24,7''S	73°00'53,8''W
		2	28,6	41°11'25,6''S	73°00'28,5''W
		3	57,7	41°11'57,7''S	73°00'08,34''W
Bahía Cox	100628	1	26,2	41°01'11,5''S	72°41'15,0''W
		2	11,5	41°01'15,0''S	72°41'44,9''W
		3	30,6	41°01'0,37''S	72°41'37,5''W
Bahía Ensenada	100370	1	31,2	41°08'31,8''S	72°35'25,3''W
		2	21,6	41°08'13,6''S	72°35'48,1''W
		3	42,8	41°08'15,9''S	72°35'53,9''W
Bahía Rincones	100204	1	39	41°00'22,5''S	72°54'31,5''W
		2	15,3	41°00'47,1''S	72°55'25,5''W
		3	42,4	41°00'47,0''S	72°55'07,1''W
Bahía Volcanes	100390	1	22,5	41°10,5'35''S	72°33'54,9''W
		2	23	41°11'08,5''S	72°33'29,8''W
		3	26,4	41°10'51,2''S	72°34'23,6''W
Monte Alegre	100627	1	12,1	41°00'25,7''S	72°44'34,0''W
		2	22	41°00'23,3''S	72°44'12,4''W
		3	23,5	41°00'36,7''S	72°44'13,3''W
Puerto Phillipi	100100	1	22,3	41°12'40,3''S	73°01'44,6''W
		2	28,3	41°12'46,7''S	73°00'42,8''W
		3	24,5	41°13'18,5''S	73°01'10,6''W
Puerto Phillipi 2	101866	1	13,9	41°13'24,4''S	73°00'30,6''W
		2	23,3	41°12'58,7''S	73°01'43,9''W
		3	24,6	41°12'42,9''S	73°01'06,7''W
Playa Maqui	100507	1	16,1	41°05'34,2''S	72°57'38,8''W
		2	23,6	41°05'34,1''S	72°57'56,9''W
		3	39	41°05'40,8''S	72°58'07,6''W
Puerto Octay	100545	1	15,7	40°58'023''S	72°52'32,2''W
		2	9	40°57'51,6''S	72°52'27,14''W
		3	28	40°58'02,9''S	72°52'17,34''W
Puerto Rosales	100070	1	11,1	41°16'53,3''S	72°52'09,3''W
		2	5,1	41°17'02,5''S	72°51'58,3''W
		3	5	41°17'09,4''S	72°52'08''W



Tabla 21.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Chapo.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
100394	1	6	41° 26'11,1''S	72°34'33,4''W
	2	18	41° 26'14,9''S	72°34'34,5''W
	3	25.8	41° 26'15,7''S	72°34'28,7''W
101291	1	29	41° 26'30,3''S	72°34'72,9''W
	2	11	41° 26'15,4''S	72°34'34,5''W
100678	1	49	41° 30'08,8''S	72°25'12,9''W
	2	33	41° 30'07,9''S	72°25'21''W
	3	30.5	41° 29'59,4''S	72°25'30,4''W
101051	1	33	41° 28'39,2''S	72°27'29,8''W
	2	15.5	41° 28'33,6''S	72°27'04,8''W
	3	42	41° 28'41,5''S	72°26'52,4''W
101332	1	91	41° 24'54,45''S	72°32'10''W
	2	88	41° 24'58,2''S	72°32'12,5''W
	3	41	41° 24'59,2''S	72°32'23,7''W
101278	1	43	41° 30'18''S	72°27'33,3''W
	2	15	41° 30'27''S	72°28'07,2''W
	3	36	41° 30'00''S	72°28'16,5''W

Tabla 22.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Natri.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
100437	1	18.4	42° 48'35,1''S	73°46'52,1''W
	2	34.6	42° 48'21,3''S	73°46'47,2''W
	3	15.3	42° 48'25,7''S	73°47'06,8''W
100427	1	16	42° 47'24,6''S	73°50'56,3''W
	2	20	42° 47'12,5''S	73°51'07,3''W
	3	16	42° 47'41,2''S	73°51'21,2''W
100600	1	15.7	42° 47'33,2''S	73°47'30,2''W
	2	43.7	42° 48'02,5''S	73°48'11,1''W
	3	20	42° 48'13,9''S	73°47'33,6''W



Tabla 23.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Huillinco.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
100520	1	33	42° 39'26,9''S	73°58'11,14''W
	2	18	42° 39'21,2''S	73°58'12,3''W
	3	20	42° 39'23,3''S	73°57'40,9''W
100616	1	5	42° 39'27,4''S	73°55'48,4''W
	2	4	42° 39'23,5''S	73°55'32,7''W
	3	4,1	42° 39'30,5''S	73°55'10,3''W
100617	1	27	42° 39'58,9''S	73°58'42,2''W
	2	33	42° 40'05,4''S	73°59'01,7''W
	3	25	42° 40'00,2''S	73°59'30,6''W
100968	1	7	42° 40'50,1''S	73°55'41,5''W
	2	4,8	42° 41'02,4''S	73°55'41,2''W
	3	8,7	42° 40'45''S	73°56'02,8''W
101212	1	8	42° 40'40,8''S	73°55'58,5''W
	2	11	42° 40'47,2''S	73°56'25,5''W
	3	25	42° 40'45''S	73°56'02,8''W

Tabla 24.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Tarahuín.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
100521	1	22	42° 48'35,1''S	73°46'52,1''W
	2	24	42° 48'21,3''S	73°46'47,2''W
	3	18	42° 48'25,7''S	73°47'06,8''W
100436	1	10	42° 47'24,6''S	73°50'56,3''W
	2	12	42° 47'12,5''S	73°51'07,3''W
	3	7	42° 47'41,2''S	73°51'21,2''W



Tabla 25.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Cacao.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
1	1	15	42° 39'10,1''S	74°02'06,2''W
	2	8,5	42° 39'37,8''S	74°01'56,3''W
	3	14	42° 39'44,1''S	74°01'38,2''W
2	1	19	42° 39'37,5''S	74°01'12,9''W
	2	10	42° 39'47,2''S	74°01'16,6''W
	3	17	42° 39'44,7''S	74°01'21,2''W
3	1	12	42° 37'23''S	74°05'53,4''W
	2	18	42° 37'51,8''S	74°05'22,1''W
	3	25	42° 38'37,4''S	74°05'05,4''W

Tabla 26.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Ranco.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
1	1	10	40° 17'18.0''S	72°17'59.5''W
	2	10	40° 17'13.0''S	72°18'07.3''W
	3	21	40° 17'12.2''S	72°18'17.1''W
2	1	30	40° 17'47.6''S	72°15'08.0''W
	2	15	40° 17'42.0''S	72°15'13.0''W
	3	10	40° 17'28.7''S	72°15'41.1''W
3	1	12	40° 07'29.5''S	72°19'54.2''W
	2	10.3	40° 07'29.5''S	72°19'54.2''W
	3	6	40° 07'29.5''S	72°19'54.2''W



Tabla 27.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Rupanco.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
101707	1	65,6	40° 47'53.1''S	72°40'11.9''W
	2	30	40° 48'06.1''S	72°40'13.2''W
	3	64	40° 47'57.3''S	72°39'48.5''W
100081	1	32.7	40° 46'0.39''S	72°37'36.6''W
	2	41,4	40° 46'0.32''S	72°37'33.2''W
	3	18,4	40° 45'58.1''S	72°37'32.7''W
100389	1	70	40° 47'40.8''S	72°27'59.6''W
	2	50	40° 47'37.4''S	72°28'05.1''W
	3	67	40° 47'36.4''S	72°28'26.3''W
100522	1	50	40° 53'45.6''S	72°19'39.9''W
	2	48,9	40° 53'52.7''S	72°19'02.4''W
	3	37,5	40° 53'55.8''S	72°19'30.9''W
100625	1	30	40° 50'02.9''S	72°30'24''W
	2	56	40° 51'08.3''S	72°30'10.2''W
	3	30	40° 51'06.2''S	72°29'56''W
101851	1	67,9	40° 51'42.8''S	72°28'28''W
	2	30	40° 51'36.8''S	72°28'01.1''W
	3	90	40° 51'43.3''S	72°27'23.8''W
101862	1	60	40° 52'37''S	72°27'17.9''W
	2	42	40° 52'43.8''S	72°26'39.3''W
	3	48	40° 52'55.7''S	72°27'20.8''W



Tabla 28.
Ubicación de las estaciones de sedimento lago Puyehue.

Centro	Estación	Profundidad (m)	Coordenadas geográficas	
1	1	12	40° 39'19.6''S	72°20'11.0''W
	2	13	40° 39'10.1''S	72°20'07.8''W
	3	15	40° 38'49.1''S	72°20'06.3''W
2	1	22	40° 38'01.1''S	72°23'01.0''W
	2	41	40° 37'58.0''S	72°23'17.5''W
	3	26	40° 37'55.1''S	72°23'56.9''W
3	1	15	40° 40'31.6''S	72°35'45.7''W
	2	12	40° 40'23.7''S	72°35'50.1''W
	3	15	40° 40'32.6''S	72°35'57.8''W

Tabla 29.
Valores de variables que determinan el estado trófico en los lagos.
(Fuente: Guía establecimiento Norma secundaria de calidad ambiental).

Nivel trófico asociado a cada variable	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Transparencia (m)	>20	10	5	<5
Fósforo total (µg/L)	<5	10	20	>20
Nitrógeno total (µg/L)	<60	250	400	
Chl-a (µg/L)	<1	3	10	>10

Nota: Los valores señalados son válidos para lagos araucanos y norpatagónicos.

**Tabla 30.**

Listado de estudios realizados en los lagos Ranco (Ra), Puyehue (Pu), Rupanco (Ru), Llanquihue (Lla), Chapo (Cha), Cacao (Cu), Huillinco (Hui), Tarahuín (Ta), Natri (Na).

	Referencia	Año	Lagos	Tema Principal	Objeto de Estudio	Duración	Nº Sitios
1	UACH-DHA	1984	Ra, Lla	Limnología	Review	-	-
2	DGA	1985	Ra, Lla	Morfometría	-	-	-
3	DGA-UACH	1987	Lla	Limnología	Agua-Sedimento-Comunidades	1 año	5
4	DGA-UACH	1988	Ra	Limnología	Agua-Sedimento-Comunidades	1 año	4
5	DGA	1990	Ra, Pu, Ru, Lla, Hui, Ta, Na	Derechos de Aprovechamiento	-	4 años	-
6	Torres <i>et al.*</i>	1990	Hui, Na	Parasitismo	Peces-Humano	?	?
7	Geller	1992	Ru, Ra, Lla	Temperatura	Agua	1 año	-
8	Hauenstein <i>et al.*</i>	1992	Lla	Taxonomía	Macrófitas	1 año	3
9	FIP IT 93-27	1995	Ru	Capacidad de carga	Agua-Sedimento	1 año	-
10	FIP IT 96-54	1996	Na, Cu, Hui, Ta	Capacidad Carga-Balance Fósforo	Agua-Sedimento-Cuenca	-	-
11	Campos <i>et al.*</i>	1996	Ta	Taxonomía	<i>Cheirodon australe</i>	1 mes	1
12	Moreno	1997	Lla	Paleolimnología	Vegetación-Clima	1 año	1
13	Soto	2002	Ru, Lla, Pu	Trofia-Nutrientes	Agua-Sedimento	9 años	10
14	Oyarzun <i>et al.</i>	2002	Pu, Ru	Deposición de Nitrógeno	Cuenca	1 año	7
15	Steinhart <i>et al.</i>	2002	Pu, Ru, Lla	Nutrientes	Fitoplancton	3 meses	1
16	Woelf <i>et al.</i>	2003	Cha	Limnología	Agua-Sedimento-Comunidades	1 año	-
17	Oyarzun & Huber	2003	Ru, Hui	Exportación nitrógeno	Cuenca-Agua	1 año	-
18	Villalobos <i>et al.</i>	2003	Ta, Na, Hui, Cu	Limnología	Fito y Zooplancton	1 año	1
19	Pinochet <i>et al.</i>	2003	Na	Uso de lodos salmonicultura	Sedimento	-	1
20	Leiva <i>et al.</i>	2004	Ta (4 Tributarios)	Actividad antimicrobiana	Actinomycetes	1 año	1
21	Oyarzun <i>et al.</i>	2004	Pu	Química agua - Balance nutrientes	Bosque Aledaño	1,5 años	-
22	DGA-UACH	2004	Cu	Catastro	Uso de agua	-	-
23	Rojas & Le Roux	2005	Lla	Sedimentología	Sedimentos	1 año	1
24	Bertrand <i>et al.</i>	2006	Cu, Hui	Caracterización comunitaria	Macroinvertebrados	1 mes	6
25	Woelf	2006	Ru, Lla, Cha	Estado de conocimiento	Protozoos	-	-
26	Teuber <i>et al.</i>	2006	Lla	Uso de lodos	Tubérculos	2 años	1
27	Bert	2007	Ra, Pu, Lla	Efecto Acuicultura	Agua-Sedimento-Comunidades	-	-
28	Soto <i>et al.</i>	2007	Pu	Invasiones Biológicas	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	10 años	-
29	González <i>et al.</i>	2007	Cu	Mineralogía-Metales	Río Cu	1 año	1



Pesados						
30	Cabello	2007	Ru	Acuicultura y salud pública	Ser humano	- -
31	Sterken <i>et al.</i>	2008	Pu	Paleolimnología-Clima	Diatomeas	- 1
32	Correa & Gross	2008	Ru, Ra, Pu	Invasiones Biológicas	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	1 año 2 a 4
33	Vargas-Ramírez <i>et al.</i>	2008	Pu	Paleolimnología-Clima	Polen	1 año 1
34	Bertrand <i>et al.</i>	2008	Pu	Clima-Paleolimnología	Sedimento	2 años 1
35	Batisti <i>et al.</i>	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año 8
36	Boes & Fagel	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año 2
37	Charlet <i>et al.</i>	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año 1
38	Bohle <i>et al.</i>	2009	Lla	Mortalidad <i>Salmo salar</i>	<i>Francisella philomiragia</i>	1 año 9 a 15
39	Arismendi <i>et al.</i>	2009	Ru, Ra, Pu, Lla	Invasiones Biológicas	Salmónidos	9 años 2
40	Peña-Cortes <i>et al.</i>	2010	Ra	Turismo	Cuenca	- -
41	Zemlak <i>et al.</i>	2010	Ta, Ru, Na, Hui, Lla,	Filogeografía	<i>Galaxias maculatus</i>	9 años 1
42	Bertrand <i>et al.</i>	2010	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año 1
43	Torres & Peña	2011	Ra	Potencial energético de biomasa residual forestal	Cuenca	1 año -
44	DGA	2011	Ra	Impacto Económico y Social de Norma Secundaria	-	1 año 3
45	León-Muñoz	2013	Ru (Lla, Pu)	Impactos uso suelo	Agua-Sedimento	8 años 3
46	Jiménez <i>et al.</i>	2013	Ru, Lla	Efecto Acuicultura	Aves	3 años 2
47	De Los Ríos <i>et al.</i>	2013	Ta, Ru, Ra, Pu, Lla, Hui, Na, Cu, Cha	Riqueza de especies	Zooplancton	- 1
48	DGA	-	Ra	Limnología	Agua-Sedimento-Comunidades	- -
49	Campos	-	Ra	Limnología	Fito y Zooplancton	1 año -



Tabla 31.
Caracterización general de los lagos considerados en el estudio.

	Área (km ²)*	Z Máxima (m)*	Á Cuenca (km ²)**	Altitud (msnm)	Z Media	Renovación (años)	Á Cuenca/ Á Lago	Volumen (km ³)
<i>Lagos Araucanos</i>								
Lago Ranco	442,6	199	3.554,4	64	122,13	4,1-6,0	8,03	54,05
Lago Puyehue	165,4	123	1.344,6	184	76	3,4	9,1	12,6
Lago Rupanco	235	273	778	118	162	8,5	3,3	38,0
Lago Llanquihue	870	340	735	51	182	70	0,8	185,6
Lago Chapo	45	298	310	234	151	3,4-5,5	6,8	6,9
<i>Lagos Chilotas</i>								
Lago Cucao	10,6	25	33,2	2	12	0,1	2,4	0,127
Lago Huillinco	19,1	47	529,8	2	20,7	0,2	27,7	0,395
Lago Tarahuín	7,7	33	38,2	65	22,2	2,7	5	0,17
Lago Natri	7,8	58	46,5	34	35	3,5	6	0,273

*Se considera el área de la cuenca sin la superficie del lago.



Tabla 32.
Composición fitoplanctónica del lago Llanquihue.

Lago Llanquihue	C1		C2		100070		100100		101866		100332		100510		100507	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	12.152,38	100	96.655,38	100	77.696,38	100	14.863,09	100	18.143,52	100	302.662,73	100	20.245,01	100	9.963,25	100
	Cél L ⁻¹	%														
Diatomeas																
<i>Aulacoseira spp</i>	X	0	800	1	4994	6	5322	36	4802	26	56178	19	7683	38	80	1
<i>Cyclotella sp</i>	499	4	0	0	0	0	0	0	499	3	1561	1	999	5	0	0
<i>Melosira varians</i>	0	0	0	0	0	0	499	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	999	8	X	0	X	0	0	0	X	0	X	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Amphora sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
<i>Cymbella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	X	0
<i>Frustulia sp</i>	0	0	0	0	499	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula spp</i>	X	0	0	0	999	1	0	0	X	0	X	0	0	0	0	0
<i>Epithemia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
<i>Surirella spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	0	0	X	0	7990	10	320	2	560	3	X	0	360	2	X	0
<i>Diatoma spp</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	6080	50	42945	44	41946	54	7602	51	11004	61	210669	70	11004	54	9003	90
<i>Synedra spp</i>	3496	29	5992	6	13483	17	499	3	200	1	0	0	0	0	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisóficeas																
<i>Dinobryon sp</i>	0	0	499	1	2497	3	0	0	x	0	0	0	0	0	X	0
<i>Chromulina sp</i>	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Continuación **Tabla 32.**
Composición fitoplanctónica del lago Llanquihue.

Lago Llanquihue	C1		C2		100070		100100		101866		100332		100510		100507	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	12.152,38	100	96.655,38	100	77.696,38	100	14.863,09	100	18.143,52	100	302.662,73	100	20.245,01	100	9.963,25	100
	Cél L ⁻¹	%														
Clorofíceas																
<i>Chlamydomonas</i>	0	0	999	1	499	1	0	0	499	3	0	0	0	0	0	0
<i>Eudorina</i>	X	0	X	0	X	0	X	0	X	0	30449	10	0	0	640	6
<i>Volvox</i>	X	0	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	X	0
<i>Sphaerocystis</i>	0	0	0	0	1000	1	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pediastrum</i>	0	0	0	0	499	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monoraphidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulothrix</i>	0	0	0	0	1000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oocystis sp</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X	0	X	0
<i>Closterium cf aciculare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium sp</i>	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum sp</i>	499	4	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Sphaerozoma aubentianum</i>	X	0	0	0	X	0	x	0	0	0	X	0	X	0	X	0
<i>Micrasterias sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gonatozygon</i>	0	0	0	0	2250	3	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spirogyra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i>	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cianofíceas																
<i>Lyngbya sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aphanothecce</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aphanocapsa sp</i>	0	0	44000	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhabdoderma lineare</i>	0	0	640	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Criptofíceas																
<i>Cryptomonas sp</i>	0	0	0	0	0	0	500	3	499	3	0	0	0	0	0	0
Dinofíceas																
<i>Ceratium hirundinella</i>	80	1	240	0	0	0	120	1	80	0	3806	1	80	0	160	2
<i>Peridinium sp</i>	499	4	499	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0



Continuación **Tabla 32.**
Composición fitoplanctónica del lago Llanquihue.

Lago Llanquihue	100204		100545		100627		100628		100370		100390	
Abundancia total (cél L⁻¹)	17.391,28	100	21.851,14	100	26.042,44	100	4.454,25	100	7.962,60	100	7.962,60	100
	Cél L ⁻¹	%										
Diatomeas												
<i>Aulacoseira spp</i>	2441	14	1641	6	3121	14	4481	17	240	5	1080	13,57
<i>Cyclotella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melosira varians</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	40	0	0	0	X	0	0	0	X	0
<i>Cocconeis sp</i>	0	0	X	0	4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora sp</i>	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia sp</i>	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema spp</i>	0	0	0	0	0	0	1009	4	0	0	0	0
<i>Cymbella sp</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula spp</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia sp</i>	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhopalodia</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella spp</i>	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	880	5	320	1	240	1	0	0	X	0	0	0
<i>Diatoma spp</i>	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40	0,50
<i>Fragilaria crotonensis</i>	12924	74	16765	65	18166	83	16765	64	3401	76	6722	84,42
<i>Synedra spp</i>	360	2	320	1	320	1	280	1	40	1	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	0	0	440	2	0	0	0	0	200	4	0	0
Crisoficeas												
<i>Dinobryon sp</i>	666	4	5242	20	X	0	1009	4	333	7	0	0
<i>Chromulina sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Continuación **Tabla 32.**
Composición fitoplanctónica del lago Llanquihue.

Lago Llanquihue	100204		100545		100627		100628		100370		100390	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	17.391,28	100	25.648,37	100	21.851,14	100	26.042,44	100	4.454,25	100	7.962,60	100
	Cél L ⁻¹	%										
Clorofíceas												
<i>Chlamydomonas</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eudorina</i>	0	0	640	2	X	0	X	0	X	0	X	0
<i>Volvox</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pediastrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulothrix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oocystis sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Closterium cf acicularis</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	40	0,50
<i>Sphaerozosma aubetianum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gonatozygon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Micrasterias sp</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spirogyra</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i>	0	0	160	1	0	0	X	0	0	0	0	0
Cianofíceas												
<i>Lyngbia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0
<i>Aphanocapsa sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhabdoderma lineare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cryptofíceas												
<i>Cryptomonas sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinofíceas												
<i>Ceratium hirundinella</i>	120	1	40	0	0	0	2018	8	240	5	80	1,01
<i>Peridinium sp</i>	0	0	0	0	0	0	400	2	0	0	0	0

**Tabla 33.**

Lago Llanquihue: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro Bahía Domeyko, Maitén A 100510					
Grava	-1	4 – 2	3,87	2,93	16,23
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,28	1,00	7,81
Arena gruesa	1	1 – 0,5	2,70	2,97	15,93
Arena media	2	0,5 – 0,25	5,41	9,07	20,34
Arena fina	3	0,25 – 0,125	5,90	10,61	9,77
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	7,36	10,61	6,10
Fango	5	< 0,063	73,47	62,80	23,82
Centro Bahía Domeyko, Maitén C 100332					
Grava	-1	4 – 2	0,12	0,12	6,54
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,48	0,37	3,00
Arena gruesa	1	1 – 0,5	1,61	2,77	5,47
Arena media	2	0,5 – 0,25	2,15	13,83	8,28
Arena fina	3	0,25 – 0,125	3,35	21,28	7,58
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	10,52	24,44	8,46
Fango	5	< 0,063	81,77	37,19	60,67
Centro Bahía Cox, 100628					
Grava	-1	4 – 2	6,26	4,76	4,53
Arena muy gruesa	0	2 – 1	4,44	2,34	1,19
Arena gruesa	1	1 – 0,5	8,74	3,59	1,83
Arena media	2	0,5 – 0,25	18,67	7,28	4,32
Arena fina	3	0,25 – 0,125	15,94	9,08	12,58
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	10,53	31,29	25,45
Fango	5	< 0,063	35,43	41,66	50,12
Centro Bahía Ensenada, 100370					
Grava	-1	4 – 2	40,53	15,96	21,94
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,85	13,84	8,34
Arena gruesa	1	1 – 0,5	2,32	5,71	13,33
Arena media	2	0,5 – 0,25	5,23	5,20	6,85
Arena fina	3	0,25 – 0,125	17,26	19,86	9,51
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	15,58	24,96	15,19
Fango	5	< 0,063	16,23	14,46	24,86
Centro Bahía Rincones, 100204					
Grava	-1	4 – 2	1,05	0,03	0,10
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,91	0,65	1,10
Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,52	1,05	4,34
Arena media	2	0,5 – 0,25	12,60	2,18	6,49
Arena fina	3	0,25 – 0,125	21,39	6,54	12,39
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	18,20	14,21	24,45
Fango	5	< 0,063	37,33	75,35	51,12

Continuación **Tabla 33.**

Lago Llanquihue: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Centro Bahía Volcán, 100390					
Grava	-1	4 – 2	8,35	16,52	3,33
Arena muy gruesa	0	2 – 1	17,84	9,47	21,37
Arena gruesa	1	1 – 0,5	24,02	15,71	14,68
Arena media	2	0,5 – 0,25	21,94	16,44	16,37
Arena fina	3	0,25 – 0,125	12,73	14,89	26,57
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	8,10	11,25	17,28
Fango	5	< 0,063	7,01	15,72	0,40
Centro Monte Alegre, 100627					
Grava	-1	4 – 2	39,35	7,87	0,40
Arena muy gruesa	0	2 – 1	10,91	3,12	0,58
Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,94	9,21	1,95
Arena media	2	0,5 – 0,25	9,39	21,08	6,39
Arena fina	3	0,25 – 0,125	10,94	31,66	17,21
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,54	20,94	26,30
Fango	5	< 0,063	6,95	6,11	47,18
Centro Puerto Phillipi 1, 100100					
Grava	-1	4 – 2	21,29	2,56	4,36
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,31	1,63	1,59
Arena gruesa	1	1 – 0,5	13,10	3,04	2,29
Arena media	2	0,5 – 0,25	16,79	6,42	5,50
Arena fina	3	0,25 – 0,125	8,62	6,06	18,73
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	11,99	9,42	25,05
Fango	5	< 0,063	21,90	70,88	42,48
Centro Puerto Phillipi 2, 101866					
Grava	-1	4 – 2	40,30	1,10	4,03
Arena muy gruesa	0	2 – 1	12,78	1,36	2,38
Arena gruesa	1	1 – 0,5	10,58	5,67	8,24
Arena media	2	0,5 – 0,25	6,46	27,90	17,72
Arena fina	3	0,25 – 0,125	4,72	34,65	11,18
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	3,99	10,15	9,40
Fango	5	< 0,063	21,17	19,17	47,04
Centro Playa Maqui, 100507					
Grava	-1	4 – 2	4,84	0,39	11,07
Arena muy gruesa	0	2 – 1	7,82	1,93	14,16
Arena gruesa	1	1 – 0,5	32,64	6,04	15,75
Arena media	2	0,5 – 0,25	38,74	18,83	22,72
Arena fina	3	0,25 – 0,125	8,14	17,72	8,98
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	3,08	15,39	5,48
Fango	5	< 0,063	4,74	39,70	21,83

**Continuación Tabla 33.**

Lago Llanquihue: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Centro Puerto Octay, 100545

Grava	-1	4 – 2	1,79	2,53	0,42
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,78	0,79	0,52
Arena gruesa	1	1 – 0,5	3,37	1,57	1,52
Arena media	2	0,5 – 0,25	11,97	9,11	4,89
Arena fina	3	0,25 – 0,125	19,41	31,26	6,89
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,42	28,78	8,27
Fango	5	< 0,063	47,25	25,96	77,48

Centro Puerto Rosales, 100070

Grava	-1	4 – 2	8,80	4,93	2,41
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,38	11,39	0,52
Arena gruesa	1	1 – 0,5	4,73	7,46	0,78
Arena media	2	0,5 – 0,25	5,32	8,33	1,48
Arena fina	3	0,25 – 0,125	6,13	7,93	26,74
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	6,92	9,64	47,32
Fango	5	< 0,063	61,73	50,33	20,76

**Tabla 34.**

Lago Llanquihue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad (m)	%MO	Redox	Temperatura	pH
Maitén A	100510	1	20	4,067	100,67	14,10	7,07
		2	22,6	4,794	103,33	14,13	7,12
		3	20	9,712	196,00	13,40	6,98
Maitén C	100332	1	21,5	10,378	119,33	14,00	7,02
		2	28,6	10,348	137,00	14,03	7,07
		3	57,7	3,890	98,00	14,00	7,23
Bahía Cox	100628	1	26,2	3,285	165,00	14,27	7,25
		2	11,5	6,748	248,33	14,10	7,12
		3	30,6	4,855	109,67	13,90	7,09
Bahía Ensenada	100370	1	31,2	4,160	127,67	14,67	7,14
		2	21,6	3,600	83,00	14,90	7,18
		3	42,8	0,910	505,67	14,63	7,24
Bahía Rincones	100204	1	39	3,727	199,33	13,80	7,19
		2	15,3	10,126	153,67	13,83	6,84
		3	42,4	7,184	206,00	13,83	7,02
Bahía Volcanes	100390	1	22,5	1,047	300,33	13,77	7,09
		2	23	2,324	176,33	14,50	6,95
		3	26,5	1,906	325,67	14,50	6,82
Monte Alegre	100627	1	12,1	2,162	159,00	13,87	7,26
		2	22	2,036	127,33	13,97	7,41
		3	23,5	4,035	136,67	14,07	7,26
Puerto Phillipi	100100	1	22,3	5,384	220,33	13,40	7,12
		2	28,3	7,908	121,33	13,97	7,06
		3	24,5	2,793	110,00	14,00	7,20
Puerto Phillipi 2	101866	1	13,9	7,311	122,33	13,93	7,06
		2	23,3	2,255	160,00	13,93	7,10
		3	24,6	4,604	136,33	14,03	7,50
Playa Maqui	100507	1	16,1	0,986	288,00	13,83	7,13
		2	23,6	10,045	88,00	13,87	7,16
		3	39	3,506	103,33	14,03	7,00
Puerto Octay	100545	1	15,7	9,709	128,33	13,63	7,11
		2	9	3,801	146,00	13,77	7,20
		3	28	7,865	131,33	13,73	7,13
Puerto Rosales	100070	1	11,1	9,949	170,33	12,80	6,88
		2	5,1	15,333	187,33	12,00	6,61
		3	5	0,627	200,67	13,27	7,09



Tabla 35.

Lago Llanquihue: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).

Centro	Código	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
Maitén A	100510	1	A	4,03	1,11	-2,70	10,33	Limo grueso
			B	3,51	1,78	-1,75	4,84	Arena muy fina
			C	3,69	1,60	-2,09	6,36	Arena muy fina
			A	3,62	1,45	-1,71	5,32	Arena muy fina
			B	3,34	1,63	-1,46	4,47	Arena muy fina
			C	3,74	1,39	-1,97	6,41	Arena muy fina
		2	A	0,63	1,89	0,50	2,25	Arena gruesa
			B	1,80	1,90	0,02	2,03	Arena mediana
			C	2,46	2,07	-0,51	1,91	Arena fina
		3	A	4,32	0,67	-4,15	21,22	Limo grueso
			B	4,09	0,92	-3,03	13,11	Limo grueso
			C	4,09	0,95	-2,82	11,09	Limo grueso
			A	3,74	1,12	-1,62	5,34	Arena muy fina
			B	3,65	1,02	-1,41	5,05	Arena muy fina
			C	2,45	0,97	0,31	2,82	Arena fina
			A	3,82	1,45	-2,25	7,20	Arena muy fina
			B	3,39	1,75	-1,48	4,05	Arena muy fina
			C	2,56	2,17	-0,71	2,08	Arena fina
			A	3,25	1,50	-0,89	2,64	Arena muy fina
			B	1,89	1,90	-0,25	2,10	Arena mediana
			C	2,57	1,89	-0,61	2,33	Arena fina
Bahía Cox	100628	2	A	3,54	1,33	-1,71	5,74	Arena muy fina
			B	3,22	1,59	-1,09	3,04	Arena muy fina
			C	2,96	1,84	-1,61	4,39	Arena fina
			A	4,06	0,90	-2,17	7,34	Limo grueso
			B	3,36	-1,42	1,83	6,51	Arena muy fina
			C	2,96	1,85	-1,40	3,84	Arena fina
		3	A	1,88	2,07	-0,65	2,05	Arena mediana
			B	0,30	2,45	0,79	1,84	Arena gruesa
			C	1,35	2,50	-0,05	1,27	Arena mediana
			A	1,38	1,92	-0,25	1,68	Arena mediana
			B	2,85	1,70	-1,70	4,89	Arena fina
			C	1,22	2,27	0,29	1,51	Arena mediana
Bahía Ensenada	100370	1	A	0,51	2,58	0,61	1,51	Arena gruesa
			B	0,68	1,26	0,77	3,74	Arena gruesa
			C	3,86	0,83	-1,73	8,49	Arena muy fina
		2	A	1,38	1,92	-0,25	1,68	Arena mediana
			B	2,85	1,70	-1,70	4,89	Arena fina
			C	1,22	2,27	0,29	1,51	Arena mediana
		3	A	0,51	2,58	0,61	1,51	Arena gruesa
			B	0,68	1,26	0,77	3,74	Arena gruesa
			C	3,86	0,83	-1,73	8,49	Arena muy fina

Continuación **Tabla 35.**

Lago Llanquihue: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).

			A	3,88	1,17	-2,20	7,39	Arena muy fina
Bahía Rincones	100204	1	B	2,99	1,35	-1,02	4,13	Arena fina
			C	2,29	1,39	-0,04	2,48	Arena fina
			A	4,13	0,83	-2,78	11,64	Limo grueso
		2	B	4,06	0,90	-2,46	9,40	Limo grueso
			C	4,07	0,89	-2,66	11,09	Limo grueso
			A	3,75	1,16	-1,70	5,34	Arena muy fina
		3	B	3,40	1,34	-1,10	3,30	Arena muy fina
			C	3,59	1,11	-1,38	4,65	Arena muy fina
			A	1,21	1,33	0,53	3,05	Arena mediana
Bahía Volcanes	100390	1	B	0,80	1,49	0,38	2,74	Arena gruesa
			C	1,45	1,94	0,12	1,75	Arena mediana
			A	1,41	2,02	0,03	1,80	Arena mediana
		2	B	1,34	2,07	0,12	1,78	Arena mediana
			C	1,76	1,90	-0,17	1,97	Arena mediana
			A	1,69	1,80	-0,13	1,75	Arena mediana
		3	B	1,50	1,54	0,08	1,98	Arena mediana
			C	1,16	1,05	-2,74	-4,92	Arena mediana
			A	2,19	1,77	-0,72	2,50	Arena fina
Monte Alegre	100627	1	B	-0,07	1,92	1,18	3,04	Arena muy gruesa
			C	-0,23	1,84	1,20	3,10	Arena muy gruesa
			A	1,87	1,12	-0,38	3,12	Arena mediana
		2	B	1,92	1,81	-0,68	2,51	Arena mediana
			C	2,29	1,56	-1,02	3,53	Arena fina
			A	3,46	1,25	-1,28	4,56	Arena muy fina
		3	B	3,65	1,06	-1,33	4,84	Arena muy fina
			C	3,61	1,04	-1,24	4,56	Arena muy fina
			A	3,19	1,93	-1,12	2,68	Arena muy fina
Puerto Phillipi	100100	1	B	1,40	1,45	-0,24	2,67	Arena mediana
			C	0,17	2,01	0,72	1,99	Arena gruesa
			A	4,14	0,93	-2,93	11,77	Limo grueso
		2	B	3,16	1,94	-1,22	3,13	Arena muy fina
			C	3,91	1,13	-2,20	7,89	Arena muy fina
			A	3,06	1,57	-1,30	4,38	Arena muy fina
		3	B	3,40	1,59	-1,96	6,32	Arena muy fina
			C	3,37	1,39	-1,53	5,28	Arena muy fina

Continuación **Tabla 35.**

Lago Llanquihue: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).

Puerto Phillipi 2	101866	1	A	-0,51	1,48	1,96	6,65	Arena muy gruesa
			B	0,48	2,40	0,80	1,97	Arena gruesa
			C	2,11	2,38	-0,42	1,61	Arena fina
		2	A	2,69	1,23	-0,14	2,95	Arena fina
			B	2,36	1,33	-0,11	3,17	Arena fina
			C	2,48	1,31	0,01	2,72	Arena fina
		3	A	3,82	1,19	-1,98	6,76	Arena muy fina
			B	3,97	1,01	-2,00	6,37	Arena muy fina
			C	1,08	1,29	-0,47	2,98	Arena mediana
Playa Maqui	100507	1	A	1,22	1,59	0,33	2,98	Arena mediana
			B	0,84	0,88	1,33	7,70	Arena gruesa
			C	1,41	1,14	0,08	3,91	Arena mediana
		2	A	3,23	1,53	-1,01	3,04	Arena muy fina
			B	3,51	1,26	-1,22	3,87	Arena muy fina
			C	2,46	1,32	0,27	2,06	Arena fina
		3	A	2,58	1,71	-0,24	1,86	Arena fina
			B	-0,02	1,28	0,84	3,26	Arena muy gruesa
			C	2,18	1,87	-0,21	2,08	Arena fina
Puerto Octay	100545	1	A	2,18	1,54	-0,60	3,05	Arena fina
			B	3,77	1,13	-1,37	3,78	Arena muy fina
			C	3,88	0,97	-1,40	3,93	Arena muy fina
		2	A	2,89	1,37	-1,27	4,98	Arena fina
			B	3,21	1,36	-1,64	6,26	Arena muy fina
			C	3,09	1,07	-0,33	3,33	Arena muy fina
		3	A	3,75	1,22	-1,75	5,76	Arena muy fina
			B	4,13	0,89	-2,52	8,72	Limo grueso
			C	4,18	0,95	-3,48	15,69	Limo grueso
Puerto Rosales	100070	1	A	2,37	2,48	-0,51	1,50	Arena fina
			B	3,11	2,04	-1,20	2,99	Arena muy fina
			C	3,86	1,32	-2,35	8,08	Arena muy fina
		2	A	2,77	2,15	-0,82	2,10	Arena fina
			B	2,76	1,99	-0,79	2,26	Arena fina
			C	2,97	1,99	-0,82	2,02	Arena fina
		3	A	3,59	1,04	-1,86	7,88	Arena muy fina
			B	3,13	1,41	-2,29	8,11	Arena muy fina
			C	3,01	0,64	0,00	4,44	Arena muy fina



Tabla 36.
Composición fitoplanctónica del lago Chapo.

Lago Chapo	C2		C1		101394		100678	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	313,35	100	194,63	100	146,60	100	216,60	100
	Cél L ⁻¹	%						
Diatomeas								
<i>Melosira varians</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	0	0	1	1	X	0
<i>Asterionella formosa</i>	7	2	1	0	X	0	0	0
<i>Diatoma cf mesodon</i>	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0	0	0	0	X	0	0	0
<i>Synedra spp</i>	0	0	16	8	3	2	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	306	98	177	91	127	86	209	97
<i>Tabellaria flocculosa</i>	X	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas								
<i>Eudorina sp</i>	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Volvox sp</i>	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	0	0	0	0	X	0	X	0
<i>Oocystis sp</i>	X	0	X	0	0	0	X	0
<i>Crucigenia sp</i>	X	0	X	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerozosma cf aubentianum</i>	X	0	0	0	16	11	1	0
Cianoficeas								
<i>Aphanocapsa</i>	0	0	X	0	0	0	6	3
Criptoficeas								
<i>Cryptomonas sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0



Continuación **Tabla 36.**
Composición fitoplanctónica del lago Chapo.

Lago Chapo	101332		101291		101051	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	263,66	100	230,95	100	183,11	100
	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%
Diatomeas						
<i>Melosira varians</i>	X	0	0	0	X	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	X	0	X	0	182	99
<i>Diatoma cf mesodon</i>	0	0	9	4	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0	0	214	93	0	0
<i>Synedra spp</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	242	92	0	0	0	0
<i>Tabellaria flocculosa</i>	0	0	0	0	0	0
Clorofíceas						
<i>Eudorina sp</i>	0	0	0	0	X	0
<i>Volvox sp</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	X	0	0	0	0	0
<i>Oocystis sp</i>	0	0	X	0	X	0
<i>Crucigenia sp</i>	0	0	0	0	X	0
<i>Cosmarium sp</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerozosma cf aubentianum</i>	1	0	x	0	X	0
Cianofíceas						
<i>Aphanocapsa</i>	20	8	8	3	X	0
Criptofíceas						
<i>Cryptomonas sp</i>	0,12	0,05	0,06	0,03	0,50	0,27

**Tabla 37.**

Lago Chapo: Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio (n= 3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm. (s/m: sin muestras).

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro 100394					
Grava	-1	4 – 2	5,03	1,48	1,98
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,86	1,42	0,97
Arena gruesa	1	1 – 0,5	14,86	2,06	1,27
Arena media	2	0,5 – 0,25	31,06	8,69	3,21
Arena fina	3	0,25 – 0,125	27,34	30,76	14,57
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	8,29	32,02	34,45
Fango	5	< 0,063	7,56	23,58	43,54
Centro 101291					
Grava	-1	4 – 2	2,98	4,90	s/m
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,17	3,63	s/m
Arena gruesa	1	1 – 0,5	3,42	4,92	s/m
Arena media	2	0,5 – 0,25	8,74	10,21	s/m
Arena fina	3	0,25 – 0,125	15,60	20,31	s/m
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	23,41	23,65	s/m
Fango	5	< 0,063	43,68	32,38	s/m
Centro 100678					
Grava	-1	4 – 2	3,61	17,18	32,16
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,09	10,04	11,66
Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,53	10,54	8,36
Arena media	2	0,5 – 0,25	17,23	13,56	12,20
Arena fina	3	0,25 – 0,125	21,64	14,27	19,23
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	23,82	18,46	15,33
Fango	5	< 0,063	23,07	15,95	1,08
Centro 101051					
Grava	-1	4 – 2	30,74	39,08	19,32
Arena muy gruesa	0	2 – 1	8,32	7,84	9,95
Arena gruesa	1	1 – 0,5	5,06	17,15	12,52
Arena media	2	0,5 – 0,25	8,96	20,88	18,68
Arena fina	3	0,25 – 0,125	22,06	9,42	20,07
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	16,64	2,20	11,93
Fango	5	< 0,063	8,22	3,44	7,53
Centro 101332					
Grava	-1	4 – 2	3,04	1,15	41,11
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,72	0,93	3,50
Arena gruesa	1	1 – 0,5	8,38	1,88	3,26
Arena media	2	0,5 – 0,25	14,13	6,34	3,21
Arena fina	3	0,25 – 0,125	16,03	17,56	5,92
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	15,37	19,02	8,80



Fango	5	< 0,063	39,32	53,13	34,19
Centro 101278					
Grava	-1	4 – 2	0,97	0,76	11,00
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,42	0,67	8,93
Arena gruesa	1	1 – 0,5	4,28	1,05	8,96
Arena media	2	0,5 – 0,25	7,77	2,07	15,30
Arena fina	3	0,25 – 0,125	13,19	3,82	19,76
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	15,87	6,85	20,51
Fango	5	< 0,063	55,50	84,78	15,54

Tabla 38.

Lago Chapo: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas. (s/m: sin muestra)

Centro	Estación	Prof. (m)	%MO	Redox	T°	pH
100394	1	6	4,29	265,00	10,23	7,19
	2	18	8,14	219,67	10,23	7,00
	3	25,8	7,54	216,33	10,10	7,01
101291	1	29	12,64	223,37	10,33	6,96
	2	11	16,70	219,67	10,23	7,00
100678	1	49	9,47	191,23	8,83	6,98
	2	33	15,95	231,67	8,83	6,75
	3	30,5	6,63	230,67	8,93	6,80
101051	1	33	5,19	s/m	s/m	s/m
	2	15,5	0,86	s/m	s/m	s/m
	3	42	15,01	s/m	s/m	s/m
101332	1	91	5,15	175,00	8,43	6,60
	2	88	5,64	304,00	8,67	6,72
	3	41	3,42	263,00	8,77	6,86
101278	1	43	21,39	203,67	8,30	6,09
	2	15	23,13	200,67	8,37	6,08
	3	36	17,68	228,67	8,30	5,85



Tabla 39.

Lago Chapo: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C). (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
100394	1	A	2,11	1,37	-0,02	2,86	Arena fina
		B	1,66	1,12	-0,72	3,39	Arena mediana
		C	1,47	1,68	0,00	2,43	Arena mediana
	2	A	2,97	1,35	-1,21	4,67	Arena fina
		B	2,93	0,97	-0,67	4,99	Arena fina
		C	3,29	1,26	-1,37	5,41	Arena muy fina
	3	A	3,43	1,20	-1,89	7,63	Arena muy fina
		B	3,59	1,29	-2,18	8,46	Arena muy fina
		C	3,63	1,13	-1,99	8,24	Arena muy fina
	1	A	3,15	1,60	-1,30	4,01	Arena muy fina
		B	3,25	1,42	-1,34	4,71	Arena muy fina
		C	3,40	1,51	-1,56	4,96	Arena muy fina
101291	2	A	3,21	1,48	-1,21	3,91	Arena muy fina
		B	2,88	1,86	-1,03	2,98	Arena fina
		C	2,55	1,58	-1,04	3,62	Arena fina
	3	A	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
		B	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
		C	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
	1	A	3,10	0,99	-0,18	2,26	Arena muy fina
		B	1,81	1,82	-0,12	2,13	Arena mediana
		C	3,01	1,44	-0,91	3,33	Arena muy fina
100628	2	A	0,52	1,91	0,64	2,29	Arena gruesa
		B	2,11	2,05	-0,56	2,00	Arena fina
		C	2,37	1,77	-0,67	2,50	Arena fina
	3	A	2,86	1,14	-0,94	4,51	Arena fina
		B	-0,43	1,28	0,07	-2,49	Arena muy gruesa
		C	-0,18	1,29	-0,30	-2,54	Arena muy gruesa
	1	A	-0,25	1,58	1,20	3,44	Arena muy gruesa
		B	2,97	1,02	-0,45	3,79	Arena fina
		C	0,76	2,24	0,20	1,36	Arena gruesa
101051	2	A	1,36	0,99	0,25	3,40	Arena mediana
		B	-1,07	1,11	3,38	15,23	Sábulo
		C	0,43	1,87	0,61	2,41	Arena gruesa
	3	A	0,99	1,75	0,12	2,08	Arena gruesa
		B	2,40	1,36	-0,65	3,50	Arena fina
		C	0,39	1,91	0,68	2,29	Arena gruesa
	1	A	2,13	1,85	-0,24	2,00	Arena fina
		B	3,59	1,24	-1,39	4,61	Arena muy fina
		C	2,97	1,60	-0,83	2,87	Arena fina
101332	2	A	3,46	1,05	-0,80	3,44	Arena muy fina



		B	3,45	1,50	-1,27	3,72	Arena muy fina
		C	3,82	1,11	-2,65	12,08	Arena muy fina
		A	-0,03	1,92	0,85	2,09	Arena muy gruesa
	3	B	0,15	2,34	0,88	1,98	Arena gruesa
		C	4,16	1,29	-3,88	16,65	Limo grueso
101278	1	A	3,52	1,44	-1,24	3,25	Arena muy fina
		B	3,16	1,63	-1,20	3,64	Arena muy fina
		C	3,81	1,06	-1,60	5,27	Arena muy fina
		A	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
	2	B	4,16	0,91	-3,29	15,01	Limo grueso
		C	3,86	1,30	-2,43	8,69	Arena muy fina
		A	1,34	1,50	-0,54	2,38	Arena mediana
	3	B	2,50	2,25	-0,65	1,89	Arena fina
		C	2,09	1,70	-0,90	2,40	Arena fina



Tabla 40.
Composición fitoplanctónica del lago Natri

Lago Natri	C1		100427		100437		100600	
	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%
Abundancia total (cél L⁻¹)	1.057.037,58	100	3.561,16	100	3.921,28	100	2.640,86	100
Diatomeas								
<i>Aulacoseira spp</i>	54618	5	560	16	80	2	1120	42
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	40	1	0	0
<i>Epithemia cf adnata</i>	0	0	40	1	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	1761	0	X	0	0	0	X	0
<i>Diatoma sp</i>	0	0	0	0	40	1	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	640	0	280	8	2401	61	X	0
<i>Synedra cf accus</i>	0	0	40	1	0	0	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	80	0	0	0	0	0	X	0
<i>Tabellaria flocculosa</i>	X	0	0	0	X	0	0	0
<i>Eudorina</i>	X	0	0	0	X	0	X	0
Clorofíceas								
<i>Volvox</i>	998300	94	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	560	0	X	0	0	0	280	11
<i>Pediastrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dictyosphaerium sp</i>	80	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum sp</i>	X	0	2641	74	1360	35	1240	47
Cianofíceas								
<i>Oscillatoria sp</i>	0	0	X	0	0	0	0	0
Dinofíceas								
<i>Ceratium hirundinella</i>	999	0,094	0	0	0	0	0	0

**Tabla 41.**

Lago Natri: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
CENTRO 100437					
Grava	-1	4 – 2	2,08	22,96	40,61
Arena muy gruesa	0	2 – 1	4,71	26,29	17,73
Arena gruesa	1	1 – 0,5	22,74	12,98	10,88
Arena media	2	0,5 – 0,25	40,47	9,26	8,54
Arena fina	3	0,25 – 0,125	15,67	6,80	6,45
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	5,56	4,34	4,98
Fango	5	< 0,063	8,78	17,36	10,81
CENTRO 100427					
Grava	-1	4 – 2	1,54	13,41	5,91
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,63	13,22	2,79
Arena gruesa	1	1 – 0,5	4,79	13,51	16,92
Arena media	2	0,5 – 0,25	17,56	18,30	29,67
Arena fina	3	0,25 – 0,125	26,15	15,64	24,15
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	29,62	18,96	12,63
Fango	5	< 0,063	18,70	6,96	7,94
CENTRO 100600					
Grava	-1	4 – 2	0,16	27,24	22,63
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,15	11,02	6,18
Arena gruesa	1	1 – 0,5	0,95	9,64	10,31
Arena media	2	0,5 – 0,25	20,56	12,30	21,58
Arena fina	3	0,25 – 0,125	50,19	10,20	18,60
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	23,51	3,21	8,04
Fango	5	< 0,063	4,48	26,39	12,66



Tabla 42.

Lago Natri: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Prof. (m)	%MO	Redox	T°	pH
100437	1	18,4	2,60	150,00	8,93	6,85
	2	34,6	39,12	143,33	9,27	7,00
	3	15,3	24,81	150,00	9,53	6,93
100427	1	16	16,89	175,33	9,97	6,61
	2	20	29,79	146,33	10,27	7,08
	3	16	14,94	151,00	10,27	7,00
100600	1	15,7	2,96	212,00	10,03	6,64
	2	43,7	8,40	179,00	10,07	6,65
	3	20	4,59	182,33	9,97	7,02

**Tabla 43.**

Lago Natri: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).

Centro	Código	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
1	100437	1	A	1,63	1,28	0,12	3,46	Arena media
			B	1,64	1,08	-0,24	3,99	Arena media
			C	1,67	1,57	0,80	2,50	Arena media
			A	0,33	2,01	1,00	2,70	Arena gruesa
		2	B	1,04	2,00	0,63	2,03	Arena media
			C	1,13	2,32	0,35	1,58	Arena media
			A	0,35	2,28	0,89	2,21	Arena gruesa
		3	B	0,71	1,93	0,59	2,17	Arena gruesa
			C	-0,14	1,90	1,28	3,38	Arena muy gruesa
			A	2,65	1,30	-0,79	3,68	Arena fina
		2	B	2,86	1,33	-0,72	3,25	Arena fina
			C	2,85	1,30	-0,79	3,83	Arena fina
			A	1,44	1,92	-0,12	1,73	Arena media
			B	1,21	1,97	0,10	1,72	Arena media
			C	1,67	1,60	-0,25	2,35	Arena media
			A	2,31	1,40	-0,50	3,35	Arena fina
			B	1,67	1,25	-0,14	3,41	Arena media
			C	1,51	1,62	-0,07	2,54	Arena media
			A	2,71	0,87	0,30	2,95	Arena fina
			B	2,37	0,69	-1,54	5,17	Arena fina
			C	2,69	0,87	0,14	2,99	Arena fina
			A	3,17	2,13	-1,13	2,50	Arena muy fina
3	100600	2	B	0,32	2,12	0,74	2,12	Arena gruesa
			C	0,48	1,59	0,09	1,73	Arena gruesa
			A	0,71	1,79	-0,01	1,63	Arena gruesa
		3	B	2,31	2,04	-0,51	2,06	Arena fina
			C	0,94	1,77	-0,02	1,98	Arena gruesa



Tabla 44.
Composición fitoplanctónica del lago Huillinco

Lago Huillinco	100520		101212		100617		100968		100616		C1	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	6.242,04	100	9.079,33	100	5.210,74	100	24.968,15	100	11.803,13	100	850,01	100
	Cél L ⁻¹	%										
Diatomeas												
<i>Cyclotella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	908	8	810	95
<i>Urosolenia sp</i>	1040	17	8171	90	5211	100	24968	100	10895	92	40	5
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
<i>Epithemia cf adnata</i>	2081	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema sp</i>	0	0	908	10	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma sp</i>	2081	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella spp</i>	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Pennada</i>	1040	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas												
<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Sphaerocystis sp</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0

**Tabla 45.**

Lago Huillinco: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro 100520					
Grava	-1	4 – 2	1,30	6,76	7,43
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,21	13,93	13,99
Arena gruesa	1	1 – 0,5	5,82	15,64	7,58
Arena media	2	0,5 – 0,25	4,23	16,11	6,68
Arena fina	3	0,25 – 0,125	3,24	10,10	5,47
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	2,39	5,34	3,93
Fango	5	< 0,063	77,81	32,13	54,92
Centro 100616					
Grava	-1	4 – 2	1,00	0,04	3,29
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,98	0,44	6,16
Arena gruesa	1	1 – 0,5	4,89	2,40	23,25
Arena media	2	0,5 – 0,25	13,38	10,75	38,38
Arena fina	3	0,25 – 0,125	19,37	12,37	15,43
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	32,23	21,53	10,31
Fango	5	< 0,063	26,16	52,48	3,17
Centro 100617					
Grava	-1	4 – 2	0,71	1,34	7,57
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,09	4,47	9,59
Arena gruesa	1	1 – 0,5	6,91	6,60	6,66
Arena media	2	0,5 – 0,25	7,47	5,85	4,74
Arena fina	3	0,25 – 0,125	7,02	4,91	3,71
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	5,39	2,86	3,02
Fango	5	< 0,063	69,41	73,97	64,72
Centro 100968					
Grava	-1	4 – 2	0,12	0,07	0,15
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,29	0,27	0,28
Arena gruesa	1	1 – 0,5	1,75	2,52	1,99
Arena media	2	0,5 – 0,25	10,11	7,16	19,18
Arena fina	3	0,25 – 0,125	38,88	17,97	21,83
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	37,90	20,40	29,12
Fango	5	< 0,063	10,96	51,62	27,46
Centro 101212					
Grava	-1	4 – 2	3,93	5,73	3,15
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,75	12,78	10,07
Arena gruesa	1	1 – 0,5	6,65	6,69	4,52
Arena media	2	0,5 – 0,25	12,60	5,78	3,02
Arena fina	3	0,25 – 0,125	13,79	6,55	2,83
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	23,56	5,59	2,92
Fango	5	< 0,063	33,72	56,88	73,49

**Tabla 46.**

Lago Huillinco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Prof. (m)	%MO	Redox	T°	pH
Centro 1	100520	1	33	31,71	-26,33	9,43	7,10
		2	18	25,87	-0,33	9,00	7,13
		3	20	33,74	-32,00	8,93	7,22
Centro 2	100616	1	5	13,03	43,67	9,77	7,32
		2	4	10,00	79,00	9,60	7,36
		3	4,1	2,75	123,00	8,83	7,53
Centro 3	100617	1	27	32,37	115,67	10,03	6,99
		2	33	32,60	-95,67	10,00	6,75
		3	25	38,08	-22,33	9,83	6,75
Centro 4	100968	1	7	17,34	111,33	8,93	7,24
		2	4,8	13,28	103,67	8,67	7,20
		3	8,7	28,23	1,33	9,20	7,30
Centro 5	101212	1	8	23,46	3,00	9,30	7,15
		2	11	39,22	-59,00	9,67	7,22
		3	25	35,67	-124,67	9,80	6,92

**Tabla 47.**

Lago Huillinco: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C).

Código	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
100520	1	A	2,37	2,48	-0,51	1,50	Arena fina
		B	3,11	2,04	-1,20	2,99	Arena muy fina
		C	3,86	1,32	-2,35	8,08	Arena muy fina
	2	A	2,77	2,15	-0,82	2,10	Arena fina
		B	2,76	1,99	-0,79	2,26	Arena fina
		C	2,97	1,99	-0,82	2,02	Arena fina
	3	A	3,59	1,04	-1,86	7,88	Arena muy fina
		B	3,13	1,41	-2,29	8,11	Arena muy fina
		C	3,01	0,64	0,00	4,44	Arena muy fina
100616	1	A	3,19	1,93	-1,12	2,68	Arena muy fina
		B	1,40	1,45	-0,24	2,67	Arena mediana
		C	0,17	2,01	0,72	1,99	Arena gruesa
	2	A	4,14	0,93	-2,93	11,77	Limo grueso
		B	3,16	1,94	-1,22	3,13	Arena muy fina
		C	3,91	1,13	-2,20	7,89	Arena muy fina
	3	A	3,06	1,57	-1,30	4,38	Arena muy fina
		B	3,40	1,59	-1,96	6,32	Arena muy fina
		C	3,37	1,39	-1,53	5,28	Arena muy fina
100617	1	A	0,51	1,48	1,96	6,65	Arena gruesa
		B	0,48	2,40	0,80	1,97	Arena gruesa
		C	2,11	2,38	-0,42	1,61	Arena fina
	2	A	2,69	1,23	-0,14	2,95	Arena fina
		B	2,36	1,33	-0,11	3,17	Arena fina
		C	2,48	1,31	0,01	2,72	Arena fina
	3	A	3,82	1,19	-1,98	6,76	Arena muy fina
		B	3,97	1,01	-2,00	6,37	Arena muy fina
		C	1,08	1,29	-0,47	2,98	Arena mediana
100968	1	A	4,03	1,1	-2,70	10,33	Limo grueso
		B	3,51	1,78	-1,75	4,84	Arena muy fina
		C	3,69	1,60	-2,09	6,36	Arena muy fina
	2	A	3,62	1,45	-1,71	5,32	Arena muy fina
		B	3,34	1,63	-1,46	4,47	Arena muy fina
		C	3,74	1,39	-1,97	6,41	Arena muy fina
	3	A	0,63	1,89	0,50	2,25	Arena gruesa
		B	1,80	1,90	0,02	2,03	Arena mediana
		C	2,46	2,07	-0,51	1,91	Arena fina
101212	1	A	4,32	0,67	-4,15	21,22	Limo grueso
		B	4,09	0,92	-3,03	13,11	Limo grueso
		C	4,09	0,95	-2,82	11,09	Limo grueso
	2	A	3,74	1,12	-1,62	5,34	Arena muy fina
		B	3,65	1,02	-1,41	5,05	Arena muy fina
		C	2,45	0,97	0,31	2,82	Arena fina
	3	A	3,82	1,45	-2,25	7,20	Arena muy fina
		B	3,39	1,75	-1,48	4,05	Arena muy fina
		C	2,56	2,17	-0,71	2,08	Arena fina



Tabla 48.
Composición fitoplanctónica del lago Tarahuín.

Lago Tarahuín	C1	100436		100521	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	371.432,48	100	333.886,62	100	704.934,18
	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹
Diatomeas					
<i>Aulacoseira spp</i>	133829	36,0	46940	14	282140
<i>Coscinodiscus</i>	156	0,0	1997	1	624
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	X	0	0	0	0
<i>Epithemia sp</i>	156	0,0	312	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	8583	2,3	6991	2	2809
<i>Diatoma spp</i>	0	0	0	0	1561
<i>Fragilaria crotonensis</i>	143817	38,7	0	0	83227
<i>Tabellaria fenestrata</i>	X	0	0	0	0
<i>Pennadas indeterminadas</i>	X	0	X	0	X
Cloroficeas					
<i>Eudorina</i>	X	0	X	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	X	0	X	0	X
<i>Radiococcus</i>	X	0	0	0	0
<i>Coelastrum cf microporum</i>	0	0	X	0	X
<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	X
Cianoficeas					
<i>Dolichospermum (ex Anabaena)</i>	79898	21,5	264662	79	332909
Cryptoficeas					
<i>Cryptomonas sp</i>	0	0	0	0	1665
Dinoficeas					
<i>Ceratium hirundinella</i>	4994	1,3	12983	4	0

**Tabla 49.**

Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Tarahuín. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
CENTRO 100521					
Grava	-1	4 – 2	1,75	0,22	0,03
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,91	1,66	0,02
Arena gruesa	1	1 – 0,5	13,35	3,17	0,07
Arena media	2	0,5 – 0,25	56,24	6,48	0,18
Arena fina	3	0,25 – 0,125	21,39	8,33	0,18
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	2,21	11,69	0,34
Fango	5	< 0,063	3,15	68,44	99,19
CENTRO 100436					
Grava	-1	4 – 2	10,58	0,04	0,00
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,23	0,01	0,25
Arena gruesa	1	1 – 0,5	15,96	0,35	1,55
Arena media	2	0,5 – 0,25	40,81	1,86	5,14
Arena fina	3	0,25 – 0,125	22,18	1,55	9,75
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	2,41	2,08	16,03
Fango	5	< 0,063	2,83	94,11	67,27

Tabla 50.

Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Tarahuín. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad (m)	%MO	Redox	T°	pH
Centro 1	100521	1	22	2,11	234,00	11,30	7,50
		2	24	31,66	119,33	11,90	7,22
		3	18	19,74	93,00	11,73	7,21
Centro 2	100436	1	10	1,79	248,33	13,17	7,10
		2	12	22,75	144,00	13,10	7,05
		3	7	20,07	168,67	12,90	7,02

**Tabla 51.**

Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtósis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Tarahuín.

Centro	Código	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
1	100521	1	A	1,60	0,88	-0,33	5,33	Arena media
			B	1,71	1,20	0,20	4,52	Arena media
			C	1,58	0,77	0,13	5,10	Arena media
		2	A	3,63	1,37	-1,57	4,56	Arena muy fina
			B	3,28	1,40	-0,99	3,10	Arena muy fina
			C	4,49	0,18	-17,06	326,38	Limo grueso
		3	A	4,49	0,17	-15,40	270,83	Limo grueso
			B	4,47	0,31	-13,10	194,99	Limo grueso
			C	4,49	0,16	-18,81	407,71	Limo grueso
2	100436	1	A	1,37	1,13	-0,53	3,78	Arena media
			B	0,88	1,48	-0,45	2,14	Arena gruesa
			C	1,57	1,34	-0,04	3,56	Arena media
		2	A	4,46	0,28	-8,85	89,71	Limo grueso
			B	4,44	0,44	-8,15	76,41	Limo grueso
			C	4,23	0,79	-3,00	11,33	Limo grueso
		3	A	4,29	0,60	-3,49	17,60	Limo grueso
			B	4,03	0,86	-1,97	6,47	Limo grueso
			C	3,43	1,21	-0,90	2,87	Arena muy fina



Tabla 52.
Composición fitoplanctónica del lago Cucao.

Lago Cucao	E1		E2		E3		C1		C2	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	9.987,26	100	1.498,09	100	9.571,13	100	2.908,91	100	7.790,54	100
	Cél L ⁻¹	%								
Diatomeas										
<i>Aulacoseira spp</i>	3995	40	999	67	416	4	0	0	0	0
<i>Cyclotella spp</i>	0	0	499	33	208	2	0	0	200	3
<i>Urosolenia sp</i>	2996	30	X	0	7490	78	1939	67	4994	64
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	999	10	X	0	0	0	0	0	2497	32
<i>Cocconeis sp</i>	1997	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora sp</i>	0	0	0	0	0	0	970	33	0	0
<i>Diploneis sp</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	100	1
<i>Monoraphidium sp</i>	0	0	0	0	1456	15	0	0	0	0
<i>Staurastrum</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0

**Tabla 53.**

Lago Cucao: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
CENTRO 1					
Grava	-1	4 – 2	16,49	28,63	36,47
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,81	16,08	14,18
Arena gruesa	1	1 – 0,5	4,98	7,01	5,18
Arena media	2	0,5 – 0,25	3,08	5,87	4,06
Arena fina	3	0,25 – 0,125	2,17	5,31	3,59
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	1,65	6,23	4,11
Fango	5	< 0,063	64,82	30,87	32,42
CENTRO 2					
Grava	-1	4 – 2	1,43	18,99	31,39
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,55	9,19	13,11
Arena gruesa	1	1 – 0,5	3,85	3,49	4,05
Arena media	2	0,5 – 0,25	3,54	2,63	2,42
Arena fina	3	0,25 – 0,125	23,00	2,59	1,90
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	13,52	3,31	1,52
Fango	5	< 0,063	48,12	59,80	45,61
CENTRO 3					
Grava	-1	4 – 2	16,45	2,08	21,35
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,47	1,15	13,23
Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,49	0,91	6,69
Arena media	2	0,5 – 0,25	4,87	2,00	3,97
Arena fina	3	0,25 – 0,125	40,62	4,08	3,25
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	17,86	9,10	5,01
Fango	5	< 0,063	7,25	80,68	46,50



Tabla 54.

Lago Cucao: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

(s/m: sin muestras)

Centro	Código	Estación	Prof. (m)	%MO	Redox	T°	pH
Centro 1	1	1	15	31,92	2,33	12,13	7,64
		2	8,5	36,42	57,67	9,33	7,60
		3	14	33,34	62,67	12,60	7,44
Centro 2	2	1	19	19,47	141,33	11,45	7,52
		2	10	36,23	164,67	8,55	7,39
		3	17	s/m	s/m	s/m	s/m
Centro 3	3	1	12	1,92	193,33	10,70	7,19
		2	18	9,45	77,00	11,67	7,63
		3	25	29,71	38,00	12,50	7,41

**Tabla 55.**

Lago Cacao: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
1	1	A	3,04	2,399	-1,141	2,451	Arena muy fina
		B	2,86	2,426	-0,958	2,107	Arena fina
		C	2,56	2,493	-0,669	1,656	Arena fina
	2	A	0,46	2,404	0,834	1,993	Arena gruesa
		B	1,63	2,542	-0,052	1,273	Arena mediana
		C	1,97	2,357	-0,2	1,388	Arena mediana
	3	A	1,46	2,762	0,062	1,136	Arena mediana
		B	1,19	2,607	0,276	1,277	Arena mediana
		C	0,83	2,469	0,52	1,564	Arena gruesa
2	1	A	2,95	0,677	0,778	3,654	Arena fina
		B	2,15	2,044	-0,242	1,567	Arena fina
		C	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
	2	A	1,83	2,451	-0,155	1,334	Arena mediana
		B	2,87	2,532	-0,97	2,024	Arena fina
		C	3,09	2,454	-1,223	2,567	Arena muy fina
	3	A	2,61	2,605	-0,747	1,671	Arena fina
		B	2,49	2,645	-0,624	1,479	Arena fina
		C	-0,08	2,052	1,344	3,345	Arena muy gruesa
3	1	A	0,32	1,902	1,001	3,052	Arena gruesa
		B	2,96	0,741	0,563	4,505	Arena fina
		C	3,042	0,761	0,475	3,582	Arena muy fina
		A	4,008	1,507	-3,015	10,54	Limo grueso
	2	B	4,071	0,979	-3,047	13,6	Limo grueso
		C	4,068	1	-3,037	13,4	Limo grueso
		A	3,417	2,222	-1,644	3,801	Arena muy fina
	3	B	2,213	2,284	-0,306	1,417	Arena fina
		C	0,537	2,354	0,76	1,932	Arena gruesa



Tabla 56.
Composición fitoplanctónica del lago Ranco

Lago Ranco	E1		E2		E3		C1		C2*	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	232.656,59	100	302.264,10	100	224.358,02	100	62.189,34	100	28.039,33	100
	Cél L ⁻¹	%								
Diatomeas										
<i>Aulacoseira spp</i>	52046	22	54050	18	14588	7	9123	15	10163	36
<i>Cyclotella sp</i>	143479	62	175215	58	112216	50	38660	62	15409	55
<i>Urosolenia</i>	1407	1	0	0	0	0	6443	10	0	0
<i>Melosira varians</i>	0	0	7178	2	0	0	X	0	0	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	1407	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	3366	2	40	0	0	0
<i>Cymbella sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
<i>Gomphonema spp</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Navicula spp</i>	0	0	1752	1	0	0	0	0	0	0
<i>Diploneis</i>	312	0	5256	2	1122	1	40	0	285	1
<i>Pinnularia</i>	0	0	1752	1	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella spp</i>	141	0	3504	1	0	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	8440	4	X	0	34787	16	2361	4	560	2
<i>Diatoma spp</i>	312	0	0	0	0	0	160	0	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	9363	4	29025	10	4161	2	X	0	40	0
<i>Synedra spp</i>	281	0	1752	1	X	0	1881	3	571	2
<i>Ulnaria</i>	312	0	3504	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hannaea</i>	0	0	0	0	208	0	0	0	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	1266	1	3504	1	1873	1	80	0	571	2
<i>Pennada indeterminada</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisoficeas										
<i>Dinobryon sp</i>	9847	4	14017	5	50497	23	2641	4	240	1
<i>Eudorina</i>	X	0	X	0	0	0	X	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i>	X	0	X	0	0	0	X	0	0	0
<i>Monoraphidium</i>	0	0	1752	1	0	0	0	0	0	0
<i>Nephrocytium</i>	X	0	X	0	208	0	X	0	0	0
<i>Geminella</i>	X	0	0	0	208	0	0	0	X	0
<i>Dictyosphaerium</i>	X	0	X	0	0	0	0	0	0	0
<i>Closterium</i>	312	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerozmosa aubertianum</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i>	X	0	0	0	0	0	520	1	0	0
<i>Elakatothrix</i>	141	0	0	0	0	0	40	0	0	0
<i>Cryptomonas sp</i>	936	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium hirundinella</i>	1248	1	X	0	1122	1	200	0	160	1
<i>Peridinium sp</i>	1407	1	X	0	X	0	X	0	X	0

**Tabla 57.**

Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Ranco. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro 1					
Grava	-1	4 – 2	37,26	4,89	0,49
Arena muy gruesa	0	2 – 1	11,78	4,60	0,10
Arena gruesa	1	1 – 0,5	8,37	3,12	0,33
Arena media	2	0,5 – 0,25	11,70	13,98	1,16
Arena fina	3	0,25 – 0,125	12,37	27,72	5,43
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	10,61	25,58	15,94
Fango	5	< 0,063	7,90	20,11	76,55
Centro 2					
Grava	-1	4 – 2	38,11	2,50	0,66
Arena muy gruesa	0	2 – 1	8,17	3,44	1,55
Arena gruesa	1	1 – 0,5	9,23	4,86	2,45
Arena media	2	0,5 – 0,25	10,73	7,25	2,57
Arena fina	3	0,25 – 0,125	14,86	16,41	9,62
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,79	26,62	25,30
Fango	5	< 0,063	4,10	38,91	57,85
Centro 3					
Grava	-1	4 – 2	1,76	9,82	0,04
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,14	6,10	0,14
Arena gruesa	1	1 – 0,5	2,76	6,78	0,30
Arena media	2	0,5 – 0,25	7,96	8,52	1,67
Arena fina	3	0,25 – 0,125	19,34	11,35	2,10
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	19,36	9,66	1,76
Fango	5	< 0,063	47,68	47,77	94,00



Tabla 58.

Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Ranco. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	%MO	Redox	T°	pH
Centro 1	1	10	2,76	214,33	15,50	6,77
	2	10	2,01	211,67	16,30	6,90
	3	21	11,82	195,67	15,23	7,09
Centro 2	1	30	4,22	193,33	15,97	7,14
	2	15	18,88	207,67	15,93	6,91
	3	10		229,67	16,37	6,53
Centro 3	1	12	7,51	154,00	16,03	7,83
	2	10.3	7,14	202,00	15,90	6,92
	3	6	11,44	220,33	15,33	6,64

**Tabla 59.**

Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtósis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Ranco.

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
Centro 1	1	A	1,04	1,85	0,24	1,93	Arena media
		B	0,88	2,26	0,35	1,61	Arena gruesa
		C	-0,02	2,03	0,86	2,08	Arena muy gruesa
	2	A	2,60	1,63	-0,83	2,97	Arena fina
		B	2,98	1,18	-0,63	3,79	Arena fina
		C	2,29	1,80	-0,84	2,77	Arena fina
	3	A	4,12	0,78	-2,98	15,90	Limo grueso
		B	4,25	0,61	-3,23	16,44	Limo grueso
		C	4,07	0,92	-3,35	17,59	Limo grueso
Centro 2	1	A	0,90	2,00	0,03	1,43	Arena gruesa
		B	-0,16	2,20	1,19	2,63	Arena muy gruesa
		C	1,26	1,70	-0,11	2,00	Arena media
	2	A	2,99	1,66	-1,11	3,42	Arena fina
		B	3,41	1,27	-1,46	5,35	Arena muy fina
		C	3,12	1,62	-1,22	3,64	Arena muy fina
	3	A	3,41	1,28	-1,67	5,91	Arena muy fina
		B	3,38	1,26	-1,56	5,53	Arena muy fina
		C	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
Centro 3	1	A	2,91	1,63	-1,04	3,51	Arena fina
		B	3,43	1,18	-1,28	5,07	Arena muy fina
		C	3,88	1,02	-1,47	4,06	Arena muy fina
	2	A	2,20	2,24	-0,43	1,71	Arena fina
		B	2,88	1,94	-0,96	2,70	Arena fina
		C	3,18	2,00	-1,31	3,30	Arena muy fina
	3	A	4,38	0,59	-5,55	37,11	Limo grueso
		B	4,45	0,35	-7,91	70,52	Limo grueso
		C	4,28	0,71	-3,51	15,25	Limo grueso



Tabla 60.
Composición fitoplanctónica del lago Rupanco.

Lago Rupanco	C270		C100		100707		100081		100389	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	274.900,64	100	486.336,19	100	466.488,32	100	199.281,07	100	158.963,91	100
	Cél L ⁻¹	%								
Diatomeas										
<i>Aulacoseira spp</i>	43195	16	39352	8	157299	34	21639	11	24344	15
<i>Cyclotella spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2497	2
<i>Melosira varians</i>	8989	3	0	0	29962	6	320	0	416	0
<i>Urosolenia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	416	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	999	0	0	0	0	0	X	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	749	0	543	0	0	0	40	0	208	0
<i>Gomphonema spp</i>	4245	2	3257	1	0	0	840	0	0	0
<i>Rhoicosphenia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2497	2
<i>Navicula spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0
<i>Surirella spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0
<i>Asterionella formosa</i>	8489	3	39352	8	5618	1	10403	5	16229	10
<i>Fragilaria crotonensis</i>	11485	4	15741	3	214102	46	6242	3	7074	4
<i>Synedra spp</i>	999	0	1628	0	1665	0	1248	1	208	0
<i>Ulnaria ulna</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	416	0
<i>Hannaea arcus</i>	0	0	0	0	624	0	0	0	208	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	194127	71	386464	79	29962	6	158132	79	103618	65
<i>Tabellaria flocculosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Eudorina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
<i>Pennada</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0
Clorofíceas										
<i>Sphaerocystis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dictyosphaerium</i>	X	0	X	0	X	0	X	0	X	
<i>Oocystis</i>	1000	0	0	0	0	0	X	0	X	0
<i>Nephrocytium</i>	0	0	0	0	X	0	X	0	X	0
<i>Cosmarium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerozosma cf aubentianum</i>	0	0	0	0	26633	6	0	0	0	0
<i>Elakathotrix sp</i>	0	0	0	0	624	0	0	0	0	0
Dinofíceas										
<i>Ceratium sp</i>	624	0	0	0	0	0	416	0	208	0
<i>Peridinium</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0



Continuación Tabla 60.
Composición fitoplanctónica del lago Rupanco.

Lago Rupanco	100522		100625		101851		101862	
Abundancia total (cél L ⁻¹)		164.670,91	100	333.420,87	100	290.664,51	100	363.478,69
		Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹	%	Cél L ⁻¹
Diatomeas								
<i>Aulacoseira spp</i>	51125	31	73656	22	63045	22	33957	9
<i>Cyclotella spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melosira varians</i>	892	1	0	0	80	0	0	0
<i>Urosolenia sp</i>	0	0	1921	1	0	0	0	0
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	1921	1	1997	1	1997	1
<i>Gomphonema spp</i>	X	0	6242	2	X	0	640	0
<i>Rhoicosphenia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	2081	1	47127	14	18726	6	24448	7
<i>Fragilaria crotonensis</i>	18132	11	3745	1	20599	7	800	0
<i>Synedra spp</i>	892	1	1561	0	312	0	13982	4
<i>Ulnaria ulna</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hannaea arcus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	76093	46	196936	59	183828	63	258004	71
<i>Tabellaria flocculosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eudorina</i>	0	0	X	0	X	0	X	0
<i>Pennada</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas								
<i>Sphaerocystis</i>	15456	9	0	0	X	0	27049	7
<i>Dictyosphaerium</i>	X	0	X	0	X	0	X	0
<i>Oocystis</i>	0	0	X	0	X	0	X	0
<i>Nephrocytium</i>	0	0	0	0	0	0	2081	1
<i>Cosmarium</i>	0	0	X	0	0	0	520	0
<i>Sphaerozosma cf aubentianum</i>	0	0	X	0	X	0	x	0
<i>Elakathotrix sp</i>	0	0	0	0	1997	1	0	0
Dinoficeas								
<i>Ceratium sp</i>	X	0	312	0	80	0	X	0
<i>Peridinium sp</i>	0		0	0	0	0	0	0

**Tabla 61.**

Lago Rupanco: Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro 101707					
Grava	-1	4 – 2	0,63	14,05	0,21
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,73	3,50	0,65
Arena gruesa	1	1 – 0,5	10,10	11,22	1,18
Arena media	2	0,5 – 0,25	11,54	14,71	2,45
Arena fina	3	0,25 – 0,125	9,20	15,98	8,26
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	19,81	14,25	20,25
Fango	5	< 0,063	47,00	26,31	67,01
Centro 100081					
Grava	-1	4 – 2	8,53	17,67	7,24
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,46	15,37	3,54
Arena gruesa	1	1 – 0,5	9,05	13,93	4,71
Arena media	2	0,5 – 0,25	11,69	18,94	8,03
Arena fina	3	0,25 – 0,125	19,59	14,72	16,17
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	23,86	8,29	24,34
Fango	5	< 0,063	21,81	11,07	35,98
Centro 100389					
Grava	-1	4 – 2	0,91	1,51	0,59
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,12	2,96	2,51
Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,11	14,00	12,26
Arena media	2	0,5 – 0,25	18,86	38,58	24,40
Arena fina	3	0,25 – 0,125	14,99	19,36	12,49
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	20,72	13,87	17,61
Fango	5	< 0,063	35,28	9,71	30,16
Centro 100522					
Grava	-1	4 – 2	20,46	17,77	10,71
Arena muy gruesa	0	2 – 1	15,98	11,83	12,89
Arena gruesa	1	1 – 0,5	14,95	9,75	14,54
Arena media	2	0,5 – 0,25	7,92	6,32	14,97
Arena fina	3	0,25 – 0,125	5,37	6,48	16,42
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	7,21	7,84	8,47
Fango	5	< 0,063	28,12	40,01	22,00
Centro 100625					
Grava	-1	4 – 2	1,96	1,69	5,32
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,39	2,60	7,19
Arena gruesa	1	1 – 0,5	16,55	14,70	17,13
Arena media	2	0,5 – 0,25	20,58	23,83	22,54
Arena fina	3	0,25 – 0,125	19,23	18,75	23,51
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,17	18,16	20,19
Fango	5	< 0,063	24,12	20,28	4,12
Centro 101851					
Grava	-1	4 – 2	0,91	3,06	5,72
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,96	4,85	8,81



Arena gruesa	1	1 – 0,5	7,26	14,84	5,38
Arena media	2	0,5 – 0,25	11,58	26,37	13,85
Arena fina	3	0,25 – 0,125	15,04	28,18	12,51
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,73	4,67	10,46
Fango	5	< 0,063	48,53	18,02	43,28
101862					
Grava	-1	4 – 2	7,23	10,01	0,00
Arena muy gruesa	0	2 – 1	10,05	5,09	0,06
Arena gruesa	1	1 – 0,5	12,61	8,11	0,84
Arena media	2	0,5 – 0,25	9,20	21,73	19,01
Arena fina	3	0,25 – 0,125	11,65	24,98	28,71
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	12,01	14,25	29,73
Fango	5	< 0,063	37,24	15,82	21,65

**Tabla 62.**

Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Prof. (m)	%MO	Redox	T°	pH
101707	1	65,6	5,08	101,33	11,37	7,36
	2	30	4,00	174,00	11,47	7,34
	3	64	11,12	173,67	10,87	6,41
100081	1	32,7	6,46	162,00	11,17	6,39
	2	41,4	2,62	207,33	11,23	6,27
	3	18,4	13,83	157,00	11,10	6,65
100389	1	70	3,70	144,67	11,07	7,07
	2	50	2,06	235,33	11,07	6,93
	3	67	3,31	158,00	10,90	7,06
100522	1	50	7,00	307,00	11,23	7,38
	2	48,9	6,85	154,00	11,80	7,49
	3	37,5	4,48	300,67	11,67	7,21
100625	1	30	3,95	260,00	13,50	7,09
	2	56	1,73	230,33	14,47	7,02
	3	30	2,55	241,67	13,60	7,00
101851	1	67,9	10,76	197,33	11,33	7,19
	2	30	8,04	207,67	11,77	7,00
	3	90	12,01	197,00	10,90	7,21
101862	1	60	7,18	173,00	13,50	6,71
	2	42	2,24	158,00	13,37	6,55
	3	48	9,59	103,00	13,00	6,33



Tabla 63.

Lago Rupanco: Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) por centro seleccionado.

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
101707	1	A	2,42	1,55	-0,38	2,18	Arena fina
		B	3,94	1,15	-2,22	6,95	Arena muy fina
		C	3,37	1,41	-0,95	2,63	Arena muy fina
	2	A	0,86	1,44	-0,74	1,06	Arena gruesa
		B	0,99	1,54	-0,57	1,76	Arena gruesa
		C	3,99	0,92	-2,17	7,89	Arena muy fina
	3	A	3,97	0,81	-1,98	8,18	Arena muy fina
		B	4,10	0,88	-2,76	11,36	Limo grueso
		C	3,83	1,10	-2,06	7,76	Arena muy fina
		A	3,71	1,20	-1,75	5,94	Arena muy fina
100081	1	B	1,34	1,70	-0,21	1,93	Arena mediana
		C	2,06	1,74	-0,90	2,70	Arena fina
		A	0,10	1,76	0,79	2,50	Arena gruesa
	2	B	1,35	1,39	0,26	2,29	Arena mediana
		C	2,06	2,03	-0,28	1,81	Arena fina
		A	2,76	1,85	-0,99	2,92	Arena fina
	3	B	2,61	2,07	-0,93	2,53	Arena fina
		C	3,31	1,36	-1,34	4,62	Arena muy fina
		A	2,97	1,43	-0,59	2,44	Arena fina
100389	1	B	2,53	1,51	-0,37	2,45	Arena fina
		C	3,45	1,36	-1,18	3,50	Arena muy fina
		A	1,99	1,48	0,15	2,41	Arena mediana
	2	B	2,20	1,39	0,04	2,42	Arena fina
		C	1,87	1,02	-0,10	4,09	Arena mediana
		A	2,61	1,46	-0,21	1,94	Arena fina
	3	B	2,95	1,59	-0,58	2,09	Arena fina
		C	2,51	1,56	-0,10	1,91	Arena fina
		A	3,34	2,02	-1,60	3,99	Arena muy fina
100522	1	B	0,74	2,15	0,63	2,00	Arena gruesa
		C	0,30	1,54	0,91	3,38	Arena gruesa
		A	1,57	2,54	-0,04	1,29	Arena mediana
	2	B	4,23	0,82	-4,01	21,67	Limo grueso
		C	0,37	1,62	0,72	2,60	Arena gruesa
		A	1,04	2,05	0,47	1,95	Arena mediana
	3	B	2,19	1,92	-0,37	2,11	Arena fina
		C	2,09	1,84	-0,22	1,93	Arena fina
		A	3,58	1,31	-1,70	5,90	Arena muy fina
100625	1	B	1,51	1,12	0,07	2,79	Arena mediana
		C	2,13	1,59	-0,10	2,29	Arena fina
		A	2,56	1,46	-0,13	2,08	Arena fina



		B	2,31	1,48	-0,08	2,21	Arena fina
		C	2,36	1,61	-0,37	2,31	Arena fina
		A	2,03	1,35	-0,72	3,08	Arena fina
	3	B	1,37	1,34	0,00	2,55	Arena mediana
		C	1,97	1,71	-0,48	2,34	Arena mediana
		A	3,28	1,23	-0,70	2,46	Arena muy fina
101851	1	B	2,76	1,88	-0,57	1,92	Arena fina
		C	3,75	1,08	-1,08	2,72	Arena muy fina
		A	2,06	1,65	-0,04	2,23	Arena fina
	2	B	2,16	1,68	-0,30	2,51	Arena fina
		C	2,02	1,25	0,46	3,05	Arena fina
		A	1,61	1,88	0,15	1,83	Arena mediana
	3	B	3,95	1,18	-2,22	7,62	Arena muy fina
		C	2,63	1,97	-0,93	2,73	Arena fina
		A	0,36	1,44	0,98	4,10	Arena gruesa
101862	1	B	3,25	1,73	-1,31	3,71	Arena muy fina
		C	3,68	1,12	-1,71	6,58	Arena muy fina
		A	2,08	1,80	-0,56	2,52	Arena fina
	2	B	2,11	1,56	-0,37	2,73	Arena fina
		C	1,89	1,94	-0,39	2,15	Arena mediana
		A	3,04	1,08	-0,07	1,81	Arena muy fina
	3	B	2,65	0,99	0,13	2,30	Arena fina
		C	3,38	0,98	-0,46	2,35	Arena muy fina



Tabla 64.
Composición fitoplanctónica del lago Puyehue.

Lago Puyehue	E1		E2		E3		C1		C2	
Abundancia total (cél L ⁻¹)	19.126,25	100	55.000,00	100	12.404,02	100	2.440,80	100	13.444,39	100
	Cél L ⁻¹	%								
Diatomeas										
<i>Aulacoseira spp</i>	960	5	46000	84	X	0	2041	84	6242	46
<i>Melosira varians</i>	X	0	8000	15	X	0	320	13	x	0
<i>Coscinodiscus</i>	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthes</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia spp</i>	0	0	0	0	120	1	0	0	0	0
<i>Rhoicosphenia</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Diatoma spp</i>	520	3	1000	2	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria sp</i>	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	40	0	x	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synedra spp</i>	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ulnaria</i>	120	1	0	0	X	0	40	2	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	320	2
Clorofíceas										
<i>Chlamydomonas</i>	0	0	0	0	80	1	0	0	240	2
<i>Sphaerocystis</i>	16405	86	X	0	10203	82	X	0	3801	28
<i>Coelastrum cf microporum</i>	X	0	X	0	760	6	X	0	2641	20
<i>Quadrigula</i>	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
<i>Oocystis sp</i>	0	0	X	0	X	0	X	0	160	1
<i>Staurastrum sp</i>	X	0	X	0	40	0	40	2	40	0
<i>Elakatothrix</i>	0	0	X	0	X	0	X	0	X	0
Cianofíceas										
<i>Dolichospermum (ex Anabaena)</i>	0	0	0	0	1200	10	0	0	0	0
Dinofíceas										
<i>Ceratium hirundinella</i>	960	5	X	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 65.**

Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Puyehue. Se indica el valor porcentual promedio ($n= 3$) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Centro 1					
Grava	-1	4 – 2	15,66	14,99	28,63
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,06	12,79	17,78
Arena gruesa	1	1 – 0,5	0,07	9,76	15,73
Arena media	2	0,5 – 0,25	0,12	8,80	9,98
Arena fina	3	0,25 – 0,125	0,18	13,37	4,36
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	0,44	5,88	2,23
Fango	5	< 0,063	83,47	34,39	21,29
Centro 2					
Grava	-1	4 – 2	4,16	0,63	18,43
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,33	0,23	4,50
Arena gruesa	1	1 – 0,5	10,78	2,36	8,35
Arena media	2	0,5 – 0,25	37,76	18,00	21,31
Arena fina	3	0,25 – 0,125	23,15	11,14	13,75
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	10,46	6,82	9,88
Fango	5	< 0,063	11,36	60,84	23,78
Centro 3					
Grava	-1	4 – 2	7,27	33,21	24,01
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,33	3,20	2,84
Arena gruesa	1	1 – 0,5	5,01	4,88	3,46
Arena media	2	0,5 – 0,25	13,35	14,43	14,53
Arena fina	3	0,25 – 0,125	40,86	22,81	45,71
Arena muy fina	4	0,125 – 0,063	14,71	12,03	7,76
Fango	5	< 0,063	16,47	9,43	1,68

Tabla 66.

Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento y las variables fisicoquímicas (redox (mV), temperatura (°C) y pH) del lago Puyehue. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	%MO	Redox	T°	pH
Centro 1	1	12	1,94	190,00	15,67	7,20
	2	13	2,19	188,33	15,67	7,22
	3	15	1,65	187,67	14,90	7,25
Centro 2	1	22	2,17	285,67	14,67	7,27
	2	41	1,86	358,33	12,87	7,20
	3	26	1,92	194,33	14,43	7,02
Centro 3	1	15	2,48	190,00	14,83	7,16
	2	12	3,95	192,00	14,37	7,16
	3	15	1,67	187,00	14,87	7,25

**Tabla 67.**

Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: asimetría y C: curtosis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Puyehue.

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
Centro 1	1	A	4,44	0,53	-10,25	110,33	Limo grueso
		B	3,37	2,33	-1,60	3,56	Arena muy fina
		C	2,82	2,69	-0,98	1,97	Arena fina
	2	A	2,19	2,23	-0,39	1,67	Arena fina
		B	1,43	2,26	0,11	1,51	Arena mediana
		C	2,32	2,24	-0,47	1,70	Arena fina
	3	A	0,53	2,28	0,83	2,13	Arena gruesa
		B	1,55	2,42	0,09	1,40	Arena mediana
		C	0,48	1,86	0,87	2,85	Arena gruesa
Centro 2	1	A	2,45	1,52	-0,25	2,70	Arena fina
		B	1,91	1,43	-0,38	3,49	Arena mediana
		C	1,65	1,14	-0,30	3,44	Arena mediana
	2	A	3,58	1,43	-1,32	3,74	Arena muy fina
		B	3,13	1,36	-0,24	1,53	Arena muy fina
		C	3,87	1,16	-1,88	6,02	Arena muy fina
	3	A	1,92	1,95	-0,29	2,13	Arena mediana
		B	1,20	2,05	0,03	1,80	Arena mediana
		C	2,35	2,20	-0,58	1,95	Arena fina
Centro 3	1	A	2,31	1,58	-0,99	3,80	Arena fina
		B	2,17	1,43	-0,72	3,55	Arena fina
		C	2,66	1,68	-1,04	3,66	Arena fina
	2	A	1,81	1,42	-0,63	3,11	Arena mediana
		B	1,05	2,15	-0,06	1,45	Arena mediana
		C	0,57	2,53	0,55	1,51	Arena gruesa
	3	A	1,60	1,61	-0,95	2,66	Arena mediana
		B	1,04	1,87	-0,42	1,49	Arena mediana
		C	1,42	1,83	-0,63	2,06	Arena mediana



Tabla 68.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Llanquihue en otoño de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (μS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)	
Centro 1															
0	14,2	21,15	7,5	0,004	0,003	0,003	0,001	0,023	0,005	0,034	0,022	0,007	0,004	0,592	
10	14,2	62,02	7,8	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,026	0,056	0,018	0,005	0,840	
20	14,1	61,96	7,5	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,027	0,006	0,035	0,042	0,014	0,004	0,782	
30	14,1	61,17	7,7	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	<0,001	0,038	0,041	0,013	0,004	0,770	
40	14,1	61,82	7,8	0,003	0,003	0,006	0,002	0,001	<0,001	0,035	0,048	0,016	0,005	0,780	
50	14,0	61,86	7,7	0,005	0,004	<0,001	<0,001	0,050	0,011	0,032	0,042	0,014	0,004	0,439	
80	11,1	54,69	7,5	0,011	0,008	0,002	0,001	0,043	0,010	0,085	0,043	0,014	0,006	0,070	
120	10,7	52,72	7,6	0,003	0,002	0,001	0,0003	0,090	0,020	0,035	0,058	0,019	0,006	0,129	
160	10,6	52,41	7,4	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,058	0,013	0,036	0,020	0,007	0,004	0,059	
200	10,5	52,74	7,5	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,114	0,026	0,045	0,050	0,016	0,005	0,068	
250	10,5	53,70	7,2	0,002	0,001	0,004	0,001	0,087	0,020	0,046	0,064	0,021	0,006	0,690	
300	10,5	53,70	7,3	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,110	0,025	0,062	0,060	0,020	0,007	0,061	
Promedio	12,4	54,16	7,5	0,004	0,003	0,003	0,001	0,050	0,015	0,042	0,046	0,015	0,005	0,440	
DS	1,8	11,2	0,2	0,002	0,002	0,002	0,001	0,042	0,008	0,016	0,014	0,005	0,001	0,337	
Centro 2															
0	13,8	48,00	7,7	0,005	0,004	0,041	0,012	0,001	<0,001	0,027	0,042	0,014	0,003	s/m	
10	13,8	53,50	7,8	0,008	0,007	0,005	0,002	0,001	<0,001	<0,015	0,041	0,013	0,004	s/m	
20	13,8	52,42	7,7	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,012	0,003	0,028	0,045	0,015	0,004	s/m	
30	13,8	52,77	7,7	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,007	0,002	0,029	0,016	0,005	0,004	s/m	
40	13,8	52,73	7,7	0,002	0,001	0,007	0,002	0,001	<0,001	0,055	0,045	0,015	0,004	s/m	
50	12,9	51,71	7,7	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,025	0,006	0,033	0,016	0,005	0,004	s/m	
80	11,2	48,43	7,7	s/m	s/m	0,001	0,0003	0,036	0,008	0,133	0,057	0,019	0,005	s/m	
120	10,7	46,46	7,7	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,071	0,016	0,077	0,061	0,020	0,006	s/m	
160	10,6	46,30	7,7	0,006	0,004	<0,001	<0,001	0,082	0,019	0,030	0,032	0,010	0,004	s/m	
200	10,5	46,39	7,6	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,073	0,016	0,045	0,064	0,021	0,005	s/m	
250	10,5	46,53	7,6	0,011	0,008	<0,001	<0,001	0,101	0,023	0,032	0,050	0,016	0,005	s/m	
Promedio	12,3	49,57	7,7	0,005	0,004	0,011	0,003	0,037	0,011	0,049	0,043	0,014	0,005		
DS	1,6	3,03	0,1	0,003	0,003	0,017	0,005	0,038	0,008	0,033	0,016	0,005	0,001		
100370															
0	14,2	25,20	7,7	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,015	0,003	0,065	0,066	0,022	0,005	0,585	
25	14,1	50,40	7,8	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,044	0,086	0,028	0,006	0,578	
30	14,1	50,40	7,7	<0,001	<0,001	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m	
50	14,1	50,40	7,7	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,011	0,002	0,048	0,048	0,016	0,009	0,511	
Promedio	14,1	44,10	7,7	0,003	0,003				0,009	0,003	0,052	0,067	0,022	0,007	0,558
DS	0,1	12,60	0,0	0,000	0,000				0,007	0,001	0,011	0,019	0,006	0,002	0,041
100390															
0	14,1	37,80	7,8	s/m	s/m	0,001	<0,001	0,009	0,002	0,052	0,048	0,016	0,006	0,798	
35	14,1	63,00	7,8	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,046	0,077	0,025	0,006	0,726	
70	12,4	48,08	7,8	0,007	0,005	0,001	<0,001	0,040	0,009	0,046	0,054	0,018	0,009	0,342	
Promedio	13,5	49,63	7,8	0,005	0,004	0,001	<0,001	0,019	0,004	0,048	0,060	0,019	0,007	0,622	
DS	1,0	12,67	0,0	0,003	0,002	0,000		0,018	0,004	0,004	0,015	0,005	0,002	0,245	
100100															
0	13,6	36,91	7,5	0,008	0,007	0,003	0,001	0,019	0,004	0,068	0,052	0,017	0,013	1,390	
20	13,9	61,52	7,4	0,008	0,006	0,002	0,001	0,002	<0,001	0,067	0,050	0,016	0,013	1,254	
40	13,9	73,82	7,4	0,010	0,008	0,002	0,001	0,008	0,002	0,052	0,057	0,019	0,010	0,998	
Promedio	13,8	57,41	7,4	0,009	0,007	0,002	0,001	0,010	0,003	0,062	0,053	0,017	0,012	1,214	
DS	0,1	18,79	0,0	0,001	0,001	0,000		0,009	0,002	0,009	0,004	0,001	0,002	0,199	

*Para obtener el valor de conductividad en μS/cm se utilizó la fórmula Conductividad = (Salinidad (PSU))/(Factor de corrección de $T^{\circ} \cdot 0,64$) * 1000. Extraído de Wetzel & Likens, 1991). ** Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. ***s/m=sin muestra.



Continuación Tabla 68.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Llanquihue en otoño de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
100332														
0	13,7	49,21	7,4	0,003	0,002	0,002	0,001	0,020	0,005	0,038	0,027	0,009	0,010	0,858
30	13,9	49,21	7,4	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,007	0,002	0,030	0,052	0,017	0,008	0,889
50	12,1	60,10	7,4	0,001	0,001	0,003	0,001	0,055	0,012	0,041	0,050	0,016	0,007	0,131
Promedio	13,3	52,84	7,4	0,002	0,002	0,003	0,001	0,027	0,006	0,037	0,043	0,014	0,008	0,626
DS	1,0	6,28	0,0	0,001	0,001	0,000	0,025	0,006	0,006	0,014	0,005	0,002	0,429	
100510														
0	13,7	49,21	7,5	s/m	s/m	0,002	0,001	0,008	0,002	0,032	0,025	0,008	0,006	1,045
30	13,9	49,21	7,6	0,002	0,002	0,002	0,001	0,007	0,002	0,022	0,027	0,009	0,007	0,944
60	13,9	49,21	7,6	0,003	0,003	0,002	0,001	0,006	0,001	0,033	0,042	0,014	0,008	0,840
Promedio	13,8	49,21	7,6	0,003	0,002	0,002	0,001	0,007	0,002	0,029	0,031	0,010	0,007	0,943
DS	0,1	0,00	0,1	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,009	0,003	0,001	0,103
101866														
0	13,0	24,61	7,5	s/m	s/m	0,003	0,001	0,002	<0,001	0,061	0,023	0,008	0,009	1,018
20	13,9	36,91	7,5	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,017	0,004	0,037	0,037	0,012	0,007	0,954
45	13,9	36,91	7,6	0,009	0,007	0,002	0,001	0,003	0,001	0,036	0,047	0,015	0,008	1,214
Promedio	13,6	32,81	7,5	0,006	0,005	0,003	0,001	0,007	0,002	0,045	0,036	0,012	0,008	1,062
DS	0,5	7,10	0,0	0,004	0,003	0,001	0,000	0,008	0,002	0,014	0,012	0,004	0,001	0,136
100070														
0	12,6	48,08	7,5	0,007	0,006	0,021	0,006	0,001	<0,001	0,044	0,024	0,008	0,007	1,396
5	12,5	60,10	7,6	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,046	s/m	0,008	0,008	1,974
10	12,4	60,10	7,6	s/m	s/m	0,001	<0,001	0,143	0,032	0,059	0,108	0,035	0,009	0,998
Promedio	12,5	56,09	7,6	0,004	0,003	0,011	0,006	0,051	0,017	0,050	0,066	0,022	0,008	1,456
DS	0,1	6,94	0,1	0,004	0,003	0,014		0,080	0,022	0,008	0,059	0,019	0,001	0,491
100507														
0	13,9	36,91	7,7	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,026	0,054	0,018	0,005	0,679
20	13,9	49,21	7,6	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	<0,001	0,030	0,019	0,006	0,006	0,746
50	13,8	49,21	7,6	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,016	0,004	0,032	0,047	0,015	0,005	0,624
Promedio	13,9	45,1	7,6	0,003	0,002	0,003	0,001	0,006	0,004	0,029	0,000	0,000	0,005	0,683
DS	0,0	7,10	0,0	0,000	0,000			0,008		0,003	0,019	0,006	0,001	0,061
100204														
0	13,8	36,91	7,6	0,003	0,002	0,004	0,001	0,001	<0,001	0,079	0,011	0,004	0,005	0,411
30	13,8	61,52	7,4	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,006	0,001	0,031	0,024	0,008	0,005	0,525
60	13,8	49,21	7,5	0,004	0,003	0,001	<0,001	0,024	0,005	0,040	0,054	0,018	0,008	0,457
Promedio	13,8	49,21	7,5	0,003	0,002	0,003	0,001	0,010	0,003	0,050	0,030	0,010	0,006	0,464
DS	0,0	12,30	0,1	0,000	0,000	0,002		0,012	0,003	0,025	0,022	0,007	0,001	0,057
100545														
0	13,9	36,91	7,7	0,002	0,001	0,003	0,001	<0,001	<0,001	0,029	0,045	0,015	0,005	0,339
10	13,9	73,82	7,7	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,006	0,001	0,037	0,023	0,008	0,005	0,481
20	13,9	49,21	7,5	0,001	0,001	0,004	0,001	<0,001	<0,001	0,031	0,054	0,018	0,006	1,525
Promedio	13,9	53,31	7,6	0,002	0,001	0,004	0,001	0,006	0,001	0,032	0,041	0,013	0,005	0,782
DS	0,0	18,79	0,1	0,000	0,000	0,001				0,004	0,016	0,005	0,001	0,648
100627														
0	14,2	37,80	7,6	0,007	0,005	0,001	0,000	s/m	s/m	0,076	0,036	0,012	0,006	0,607
15	14,1	37,80	7,7	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,068	0,056	0,018	0,007	0,734
30	14,0	50,40	7,8	0,003	0,002	0,003	0,001	0,011	0,002	0,072	0,057	0,019	0,009	0,611
Promedio	14,1	42,00	7,7	0,004	0,003	0,002	0,001	0,010	0,002	0,072	0,050	0,016	0,007	0,650
DS	0,1	7,28	0,1	0,003	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,004	0,012	0,004	0,002	0,072
100628														
0	14,0	36,91	7,5	s/m	s/m	0,001	<0,001	0,012	0,003	0,029	0,055	0,018	0,006	0,500
15	14,0	24,61	7,7	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,041	0,018	0,006	0,007	0,532
30	13,9	49,21	7,7	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,024	0,039	0,013	0,006	0,598
Promedio	14,0	36,91	7,6	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006	0,002	0,031	0,037	0,012	0,006	0,543
DS	0,0	12,30	0,1			0,001		0,006	0,001	0,009	0,019	0,006	0,001	0,050

*Para obtener el valor de conductividad en µS/cm se utilizó la fórmula Conductividad = (Salinidad (PSU)/(Factor de corrección de $T^*0,64$)) * 1000. Extraído de Wetzel & Likens, 1991). ** Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda.

***s/m=sin muestra.



Tabla 69.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Chapo a fines de otoño de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (µg/L)
Centro 1														
0	9,4	17,4	7,0	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,030	0,007	0,061	0,006	0,002	0,006	0,967
10	9,4	17,4	7,0	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,036	0,008	0,052	0,006	0,002	0,004	1,019
20	9,4	17,3	7,0	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,042	0,009	0,071	0,037	0,012	0,005	0,959
30	9,2	17,4	6,9	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,058	0,013	0,051	<0,005	<0,005	0,005	1,002
40	9,0	17,4	6,9	0,003	0,002	0,004	0,001	0,034	0,008	0,052	0,016	0,005	0,005	0,450
50	8,7	17,6	6,9	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,178	0,040	0,058	0,016	0,005	0,005	0,051
80	8,1	17,8	6,9	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,082	0,019	0,054	0,008	0,003	0,004	0,229
120	8,1	17,7	6,8	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,070	0,016	0,047	0,011	0,004	0,004	0,196
160	8,1	17,6	6,8	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,196	0,044	0,087	0,038	0,012	0,004	0,052
200	8,0	17,6	6,8	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,153	0,035	0,071	0,019	0,006	0,004	0,000
250	8,0	17,6	6,7	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,190	0,043	0,059	0,005	0,002	0,004	0,008
Promedio	8,7	17,5	6,9	0,003	0,002	0,003	0,001	0,097	0,022	0,060	0,016	0,005	0,005	0,448
DS	0,6	0,2	0,1			0,001	0,000	0,068	0,015	0,012	0,012	0,004	0,001	0,445
Centro 2														
0	7,2	5,4	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,057	0,013	0,084	0,018	0,006	0,005	1,578
10	10,1	18,6	s/dato	<0,001	<0,001	0,005	0,002	0,001	<0,001	0,060	0,016	0,005	0,005	1,485
20	10,1	17,9	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,021	0,005	0,117	0,018	0,006	0,007	1,859
30	10,1	16,8	s/dato	0,018	0,014	0,002	0,001	0,001	<0,001	0,068	0,014	0,005	0,005	1,638
40	9,9	16,3	s/dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,056	0,013	0,062	0,008	0,003	0,005	1,697
50	9,2	14,6	s/dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,023	0,005	0,062	0,019	0,006	0,004	1,528
80	8,1	15,5	s/dato	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,193	0,044	0,070	0,015	0,005	0,005	0,170
120	8,1	16,3	s/dato	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,084	0,019	0,091	0,015	0,005	0,005	0,000
160	8,0	16,4	s/dato	0,005	0,004	0,003	0,001	0,081	0,018	0,087	0,029	0,009	0,004	0,008
200	8,0	16,2	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,113	0,026	0,068	0,021	0,007	0,004	0,153
250	8,0	16,7	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,164	0,037	0,092	0,010	0,003	0,004	0,000
290	8,0	16,9	s/dato	0,001	0,001	0,004	0,001	0,219	0,049	0,085	0,016	0,005	0,004	0,043
Promedio	8,7	15,6		0,008	0,006	0,003	0,001	0,084	0,023	0,079	0,017	0,005	0,005	0,847
DS	1,1	3,4		0,009	0,007	0,001	0,000	0,074	0,016	0,017	0,005	0,002	0,001	0,826
100394														
0	9,8	13,8	7,0	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,037	0,008	0,049	0,005	0,002	0,005	0,628
20	9,8	18,5	7,1	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,039	0,009	0,058	<0,005	<0,005	0,008	1,460
40	9,6	18,5	7,1	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,074	0,017	0,068	0,013	0,004	0,004	0,196
80	8,2	18,8	7,2	0,003	0,002	0,001	<0,001	0,045	0,010	0,047	0,019	0,006	0,004	1,137
Promedio	9,4	17,4	7,1	0,003	0,002	0,001	0,001	0,049	0,011	0,055	0,012	0,004	0,005	0,855
DS	0,8	2,4	0,1			0,001		0,017	0,004	0,010	0,007	0,002	0,002	0,557
101291														
0	9,9	13,7	7,2	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,034	0,008	0,035	0,010	0,003	0,004	0,908
10	9,8	18,8	7,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,054	0,012	0,045	0,023	0,008	0,005	1,409
20	9,7	18,0	7,1	0,004	0,003	0,002	0,001	0,035	0,008	0,041	0,031	0,010	0,004	1,460
Promedio	9,8	16,8	7,2	0,004	0,003	0,003	0,001	0,041	0,009	0,040	0,021	0,007	0,004	1,259
DS	0,1	2,7	0,1			0,001	0,000	0,011	0,003	0,005	0,011	0,003	0,001	0,305
101332														
0	9,9	13,9	7,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,059	0,013	0,042	0,016	0,005	0,007	1,764
20	9,9	19,2	7,1	0,001	0,001	0,003	0,001	0,015	0,003	0,040	0,015	0,005	0,008	1,535
40	9,8	19,7	7,0	<0,001	<0,001	0,009	0,003	0,051	0,012	0,052	<0,005	<0,005	0,007	0,509
80	8,6	19,9	7,1	0,003	0,002	0,002	0,001	0,027	0,006	0,090	0,008	0,003	0,014	1,425
Promedio	9,5	18,2	7,0	0,002	0,001	0,005	0,001	0,038	0,009	0,056	0,013	0,004	0,009	1,308
DS	0,6	2,9	0,0	0,001	0,001	0,004	0,001	0,020	0,005	0,023	0,004	0,001	0,004	0,551
101051														
0	8,4	5,9	s/dato	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,026	0,006	0,050	0,031	0,010	0,005	1,697
100	8,1	15,2	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,226	0,051	0,045	<0,005	<0,005	0,003	0,000
250	8,0	15,4	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,334	0,075	0,066	0,006	0,002	0,007	0,000
Promedio	8,2	12,1				0,003	0,001	0,195	0,044	0,054	0,019	0,006	0,005	0,566
DS	0,2	5,4				0,001	0,000	0,156	0,035	0,011	0,018	0,006	0,002	0,980
100678														
0	9,6	12,8	s/dato	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,043	0,010	0,076	0,037	0,012	0,007	1,969
100	8,1	18,3	s/dato	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,060	0,014	0,045	0,014	0,005	0,004	0,110
190	8,1	18,6	s/dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,189	0,043	0,051	0,019	0,006	0,004	0,094
Promedio	8,6	16,6				0,002	0,001	0,097	0,022	0,057	0,023	0,008	0,005	0,724
DS	0,9	3,3				0,002	0,000	0,080	0,018	0,016	0,012	0,004	0,002	1,078

*Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fósforo están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. **s/dato=sin dato.



Tabla 70.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Natri en invierno de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
Centro 1														
0	9,8	192,2	7,0	0,007	0,005	0,004	0,001	0,608	0,137	0,336	0,022	0,007	0,009	0,306
10	9,8	192,4	7,0	0,003	0,002	0,003	0,001	0,915	0,207	0,318	0,047	0,015	0,012	0,425
20	9,8	192,7	6,9	0,004	0,003	0,006	0,002	0,540	0,122	0,344	0,035	0,011	0,012	0,425
30	9,8	193,0	6,9	0,004	0,003	0,002	0,001	0,593	0,134	0,302	0,027	0,009	0,010	0,460
40	9,8	193,2	6,8	0,002	0,002	0,002	0,001	0,936	0,211	0,166	0,023	0,008	0,009	1,023
50	9,8	193,3	6,8	0,001	0,001	0,002	0,001	0,903	0,204	0,237	0,053	0,017	0,009	0,383
55	9,8	189,2	6,8	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,284	0,064	0,325	0,030	0,010	0,012	0,331
Promedio	9,8	192,3	6,9	0,003	0,002	0,003	0,001	0,683	0,154	0,290	0,034	0,011	0,011	0,479
DS	0,0	1,4	0,1	0,002	0,002	0,002	0,001	0,245	0,055	0,065	0,012	0,004	0,001	0,246
100427														
0	10,0	34,8	7,2	0,004	0,003	0,008	0,002	0,973	0,220	0,330	0,031	0,010	0,009	0,264
15	9,8	34,6	7,3	0,001	0,001	0,002	0,001	0,673	0,152	0,294	0,053	0,017	0,007	0,391
25	9,8	35,0	7,4	0,015	0,012	0,005	0,002	1,670	0,377	0,341	0,053	0,017	0,014	s/m
Promedio	9,8	34,8	7,3	0,007	0,005	0,005	0,002	1,105	0,250	0,322	0,046	0,015	0,010	0,328
DS	0,1	0,2	0,1	0,007	0,006	0,003	0,001	0,512	0,116	0,025	0,013	0,004	0,003	0,090
100437														
0	10,0	34,8	7,4	0,001	0,001	0,002	0,001	0,381	0,086	0,346	0,043	0,014	0,007	0,434
15	9,8	34,5	7,2	0,005	0,004	0,006	0,002	0,583	0,132	0,282	0,055	0,018	0,009	0,604
30	9,7	68,8	7,3	0,003	0,002	0,012	0,004	1,234	0,279	0,950	0,040	0,013	0,545	0,493
Promedio	9,8	46,0	7,3	0,003	0,002	0,007	0,002	0,733	0,166	0,526	0,046	0,015	0,187	0,510
DS	0,1	19,7	0,1	0,002	0,002	0,005	0,002	0,446	0,101	0,369	0,008	0,003	0,310	0,086
100600														
0	10,1	34,9	7,6	0,002	0,001	0,007	0,002	0,583	0,132	0,347	0,045	0,015	0,012	0,272
15	9,8	34,7	7,4	0,001	0,001	0,004	0,001	0,111	0,025	0,384	0,040	0,013	0,010	0,382
30	9,8	34,7	7,3	0,004	0,003	0,005	0,002	0,751	0,170	0,341	0,043	0,014	0,010	0,390
Promedio	9,9	34,7	7,4	0,002	0,002	0,005	0,002	0,482	0,109	0,357	0,043	0,014	0,011	0,348
DS	0,2	0,2	0,2	0,002	0,001	0,002	0,000	0,332	0,075	0,024	0,003	0,001	0,001	0,066

*Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda.



Tabla 71.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Huillínco en invierno de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
Centro 1														
0	7,8	118,6	7,2	0,013	0,010	0,010	0,003	0,095	0,021	0,161	0,029	0,009	0,012	0,458
10	13,1	18505,3	6,8	0,004	0,003	0,017	0,005	0,092	0,021	0,112	<0,005	<0,005	0,009	0,119
20	13,3	28600,9	6,6	0,008	0,006	0,004	0,001	0,020	0,005	3,270	0,221	0,072	0,050	0,154
30	13,3	32703,0	6,5	0,011	0,008	0,006	0,002	0,027	0,006	5,821	0,470	0,153	0,153	0,434
40	13,3	32845,3	6,2	0,016	0,013	0,021	0,006	0,001	0,0002	6,101	0,925	0,302	0,180	0,161
45	13,3	32846,2	6,3	0,008	0,006	0,011	0,003	0,001	0,0002	6,907	0,761	0,248	0,265	s/m
Promedio	12,4	24269,9	6,6	0,0098	0,0076	0,0115	0,0035	0,0393	0,0089	3,7287	0,4812	0,1569	0,1116	0,2652
DS	2,2	13065,1	0,4	0,0044	0,0034	0,0065	0,0020	0,0432	0,0098	3,0372	0,3700	0,1207	0,1043	0,1660
100520														
0	8,2	403,9	7,5	0,004	0,003	0,013	0,004	0,023	0,005	0,146	0,008	0,003	0,011	s/m
20	13,3	28208,7	7,1	0,014	0,011	0,010	0,003	0,001	0,0002	2,621	0,102	0,033	0,040	s/m
40	13,3	31166,1	s/ dato	0,011	0,009	0,015	0,005	0,002	0,0005	9,104	0,675	0,220	0,923	s/m
Promedio	11,6	19926,2	7,3	0,010	0,008	0,013	0,004	0,009	0,002	3,957	0,262	0,085	0,325	
DS	2,9	16971,4	0,3	0,005	0,004	0,003	0,001	0,012	0,003	4,626	0,361	0,118	0,519	
100616														
0	8,1	386,4	7,5	0,011	0,008	0,013	0,004	0,067	0,015	0,184	0,026	0,008	0,010	s/m
5	8,2	544,7	7,3	0,003	0,002	0,009	0,003	0,079	0,018	0,411	0,049	0,016	0,740	0,561
Promedio	8,1	465,6	7,4	0,007	0,005	0,011	0,003	0,073	0,016	0,297	0,038	0,012	0,375	0,561
DS	0,1	111,9	0,1	0,005	0,004	0,003	0,001	0,008	0,002	0,161	0,016	0,005	0,516	
100617														
0	8,3	343,4	8,7	0,005	0,004	0,041	0,012	0,014	0,003	0,208	0,056	0,018	0,011	0,458
15	13,2	23018,6	8,0	0,004	0,003	0,009	0,003	0,100	0,023	0,165	0,008	0,003	0,010	0,612
30	13,2	27055,1	7,3	0,003	0,002	0,010	0,003	0,001	0,0002	4,299	0,220	0,072	0,070	0,085
Promedio	11,6	16805,7	8,0	0,004	0,003	0,020	0,006	0,038	0,009	1,557	0,095	0,031	0,030	0,385
DS	2,8	14398,9	0,7	0,001	0,001	0,018	0,006	0,054	0,012	2,374	0,111	0,036	0,034	0,271
101212														
0	8,0	233,0	8,1	0,003	0,002	0,012	0,004	0,099	0,022	0,205	0,019	0,006	0,013	0,000
10	13,3	19393,3	6,9	0,002	0,002	0,009	0,003	0,161	0,036	0,134	0,027	0,009	0,010	0,553
20	13,3	29117,3	7,1	0,002	0,002	0,017	0,005	0,019	0,004	3,015	0,123	0,040	0,040	2,590
Promedio	11,5	16247,9	7,4	0,003	0,002	0,013	0,004	0,093	0,021	1,118	0,056	0,018	0,021	1,048
DS	3,1	14696,8	0,6	0,000	0,000	0,004	0,001	0,071	0,016	1,643	0,058	0,019	0,017	1,364
100968														
0	8,0	259,0	8,2	0,021	0,017	0,011	0,003	0,032	0,007	0,198	0,031	0,010	0,014	0,509
5	8,2	497,6	7,6	0,002	0,002	0,027	0,008	0,026	0,006	0,356	0,018	0,006	0,017	0,000
Promedio	8,1	378,3	7,9	0,012	0,009	0,019	0,006	0,029	0,007	0,277	0,025	0,008	0,015	0,255
DS	0,1	168,7	0,5	0,014	0,010	0,011	0,003	0,004	0,001	0,112	0,009	0,003	0,002	0,360

*Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda.

s/dato=sin dato. *s/m= sin muestra.



Tabla 72.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Tarahuín en invierno de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mgN/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
Centro 1														
0	9,1	20,78	7,0	<0,001	<0,001	0,001	0,000	0,110	0,025	0,260	0,059	0,019	0,014	2,360
10	9,0	33,72	7,0	<0,001	<0,001	0,005	0,002	0,097	0,022	0,281	0,042	0,014	0,018	4,200
20	9,0	33,72	6,9	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,796	0,180	0,219	0,053	0,017	0,017	3,921
30	8,9	50,81	6,9	0,001	0,001	0,004	0,001	0,424	0,096	0,168	0,043	0,014	0,014	3,743
Promedio	9,0	34,76	7,0	0,001	0,001	0,003	0,001	0,357	0,081	0,232	0,049	0,016	0,016	3,556
DS	0,1	12,32	0,0			0,002	0,001	0,330	0,074	0,050	0,008	0,003	0,002	0,819
100436														
0	9,1	13,67	7,6	0,002	0,001	0,006	0,002	0,276	0,062	0,147	0,063	0,021	0,012	2,716
5	9,0	33,72	7,4	0,005	0,004	0,003	0,001	0,277	0,063	0,200	0,040	0,013	0,019	2,419
10	8,9	33,01	7,3	0,001	0,001	0,002	0,001	0,181	0,041	0,285	0,034	0,011	0,019	2,657
Promedio	9,0	26,80	7,4	0,002	0,002	0,004	0,001	0,245	0,055	0,211	0,046	0,015	0,017	2,597
DS	0,1	11,38	0,2	0,002	0,002	0,002	0,001	0,055	0,012	0,070	0,015	0,005	0,004	0,157
100521														
0	9,1	20,01	7,4	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,107	0,024	0,224	0,064	0,021	0,014	2,538
15	9,0	33,01	7,2	<0,001	<0,001	0,006	0,002	0,216	0,049	0,141	0,060	0,020	0,017	2,589
30	8,9	88,03	7,3	0,001	0,001	0,009	0,003	0,440	0,099	0,250	0,056	0,018	0,017	2,708
Promedio	9,0	47,01	7,3	0,001	0,001	0,006	0,002	0,254	0,057	0,205	0,060	0,020	0,016	2,612
DS	0,1	36,11	0,1			0,003	0,001	0,170	0,038	0,057	0,004	0,001	0,002	0,087

*Para obtener el valor de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ se utilizó la fórmula Conductividad = (Salinidad (PSU)/(Factor de corrección de $T^*0,64))^{*}1000$. Extraído de Wetzel & Likens, 1991). ** Celdas de color naranja son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda.



Tabla 73.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Cuccao en invierno de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
Centro 1														
0	8,4	601,4	7,9	0,041	0,032	0,010	0,003	0,001	0,0002	0,210	0,030	0,010	0,005	0,706
5	8,4	1020,4	7,3	0,035	0,027	0,006	0,002	0,052	0,012	0,185	0,023	0,008	0,007	0,450
10	11,3	16136,9	7,2	0,036	0,028	0,002	0,001	0,109	0,025	0,268	0,026	0,008	0,008	0,008
15	13,2	25211,1	7,3	0,022	0,017	0,008	0,002	0,210	0,047	0,258	0,018	0,006	0,010	s/m
20	12,4	22261,9	6,8	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,692	0,156	0,437	0,041	0,013	0,006	1,521
Promedio	10,7	13046,3	7,3	0,034	0,026	0,006	0,002	0,213	0,048	0,272	0,028	0,009	0,007	0,671
DS	2,2	11640,0	0,4	0,008	0,006	0,003	0,001	0,279	0,063	0,099	0,009	0,003	0,002	0,636
Centro 2														
0	8,7	346,0	8,6	s/m	s/m	0,006	0,002	0,051	0,012	0,236	0,020	0,007	0,070	0,501
5	8,3	1087,5	8,1	0,003	0,003	0,006	0,002	0,025	0,006	0,230	0,022	0,007	0,006	0,619
10	11,2	16231,6	7,9	0,020	0,016	0,004	0,001	0,232	0,052	0,944	0,023	0,008	0,215	2,488
15	13,1	25193,7	7,2	0,018	0,014	0,005	0,002	0,106	0,024	0,243	0,018	0,006	0,020	0,162
20	13,1	25842,1	7,0	0,018	0,014	0,002	0,001	s/m	s/m	0,465	0,028	0,009	0,033	0,008
Promedio	10,9	13740,2	7,8	0,015	0,012	0,005	0,001	0,104	0,023	0,424	0,022	0,007	0,069	0,756
DS	2,3	12483,4	0,7	0,008	0,006	0,002	0,001	0,092	0,021	0,307	0,004	0,001	0,085	0,999
E1														
0	8,4	319,0	7,9	0,014	0,011	0,005	0,002	0,010	0,002	0,281	0,013	0,004	0,005	0,510
5	8,4	935,5	8,0	0,008	0,006	0,007	0,002	0,040	0,009	0,240	0,022	0,007	0,004	0,604
Promedio	8,4	627,3	8,0	0,011	0,008	0,006	0,002	0,025	0,006	0,260	0,018	0,006	0,004	0,557
DS	0,0	435,9	0,1	0,004	0,003	0,001	0,000	0,021	0,005	0,029	0,006	0,002	0,001	0,066
E2														
0	8,6	336,8	8,4	0,003	0,002	0,011	0,003	0,001	0,0002	0,207	0,011	0,004	0,004	0,561
5	8,5	1053,7	8,2	<0,001	<0,001	0,007	0,002	0,055	0,012	0,295	0,030	0,010	0,006	0,561
10	11,8	17340,8	7,3	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,420	0,095	0,154	0,057	0,019	0,005	0,238
Promedio	9,6	6243,8	8,0	0,003	0,002	0,009	0,003	0,159	0,036	0,219	0,033	0,011	0,005	0,453
DS	1,9	9617,0	0,6			0,003	0,001	0,228	0,051	0,071	0,023	0,008	0,001	0,186
E3														
0	8,5	586,5	8,1	<0,001	<0,001	0,016	0,005	0,094	0,021	0,267	0,021	0,007	0,009	0,671
5	8,7	1570,0	8,2	0,001	0,001	0,008	0,002	0,058	0,013	0,203	s/m	s/m	0,005	0,466
Promedio	8,6	1078,3	8,1	0,001	0,001	0,012	0,004	0,076	0,017	0,235	0,021	0,007	0,007	0,569
DS	0,1	695,4	0,1			0,006	0,002	0,025	0,006	0,045		0,003	0,145	

*Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. **s/m= sin muestra.



Tabla 74.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Ranco en primavera de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N TOT (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)	
C1															
0	13,4	41,9	s/ dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,145	0,033	0,061	0,018	0,006	0,005	0,611	
10	13,0	52,3	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,030	0,020	0,007	0,004	0,501	
20	11,9	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,065	0,016	0,005	0,006	0,722	
30	11,6	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,008	0,002	0,096	0,022	0,007	0,006	0,876	
40	11,3	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,078	0,016	0,005	0,005	0,918	
50	10,7	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,027	0,006	0,049	0,013	0,004	0,004	0,935	
80	10,4	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,198	0,045	0,037	0,014	0,005	0,005	0,220	
120	10,3	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,153	0,035	0,032	0,019	0,006	0,004	0,264	
160	10,3	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,001	0,0003	0,007	0,002	0,054	0,016	0,005	0,006	0,350	
180	10,3	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	0,001	0,0003	0,049	0,011	0,052	0,025	0,008	0,004	0,162	
Promedio	11,3	49,4		<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,074	0,017	0,055	0,018	0,006	0,005	0,556	
DS	1,2	2,7				0,001	0,000	0,079	0,018	0,021	0,004	0,001	0,001	0,299	
C2															
0	12,9	34,7	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,031	0,007	0,083	0,027	0,009	0,005	0,620	
10	12,2	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,001	0,057	0,032	0,010	0,005	0,604	
20	12,1	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,038	0,034	0,011	0,005	0,883	
30	11,8	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,074	0,017	0,381	0,033	0,011	0,008	0,738	
40	11,0	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,262	0,059	0,038	0,027	0,009	0,004	0,832	
50	10,7	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,048	0,024	0,008	0,005	0,781	
80	10,4	50,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,084	0,029	0,009	0,005	0,264	
100	10,3	52,0	s/ dato	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,081	0,037	0,012	0,007	0,059	
Promedio	11,4	48,3		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,064	0,014	0,101	0,030	0,010	0,006	0,598	
DS	0,9	5,6							0,101	0,023	0,115	0,004	0,001	0,001	0,291
E1															
0	13,0	23,1	s/ dato	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,337	0,076	0,036	0,029	0,009	0,007	0,476	
10	13,7	52,0	s/ dato	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,001	0,0002	0,057	0,016	0,005	0,008	0,390	
20	12,0	50,0	s/ dato	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,0002	0,067	0,016	0,005	0,006	0,866	
30	11,8	50,0	s/ dato	0,003	0,003	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,051	0,007	0,002	0,005	0,832	
40	11,4	50,0	s/ dato	0,003	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,062	0,033	0,011	0,006	1,053	
50	10,8	50,0	s/ dato	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,028	0,006	0,052	0,016	0,005	0,005	0,883	
Promedio	12,1	45,8		0,003	0,002	0,002	0,001	0,092	0,021	0,054	0,020	0,006	0,006	0,750	
DS	1,1	11,2		0,001	0,000	0,000		0,164	0,037	0,011	0,010	0,003	0,001	0,259	
E2															
0	14,3	28,6	s/ dato	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,051	0,012	0,104	0,025	0,008	0,005	0,765	
10	13,2	50,0	s/ dato	0,007	0,005	<0,001	<0,001	0,021	0,005	0,071	0,029	0,009	0,005	0,368	
20	12,8	50,0	s/ dato	0,002	0,002	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,061	0,027	0,009	0,007	0,824	
30	12,5	50,0	s/ dato	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,000	s/m	0,048	0,027	0,009	0,005	0,832	
40	11,9	50,0	s/ dato	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,175	0,040	0,174	0,032	0,010	0,086	2,020	
Promedio	12,9	45,7		0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,062	0,019	0,092	0,028	0,009	0,022	0,962	
DS	0,9	9,6		0,002	0,001			0,078	0,018	0,050	0,003	0,001	0,036	0,622	
E3															
0	14,1	89,7	s/ dato	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,0002	0,062	0,025	0,008	0,005	0,883	
10	12,8	90,0	s/ dato	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,042	0,024	0,008	0,005	0,662	
20	12,2	91,3	s/ dato	s/m	s/m	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,050	0,008	0,003	0,007	0,619	
30	11,8	97,1	s/ dato	s/m	s/m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,056	0,026	0,008	0,007	0,892	
40	11,1	100,0	s/ dato	s/m	s/m	<0,001	<0,001	0,708	0,160	0,048	0,026	0,008	0,005	0,942	
Promedio	12,4	93,6		0,003	0,002	0,002	0,001	0,238	0,054	0,052	0,022	0,007	0,006	0,800	
DS	1,1	4,6		0,001	0,001			0,407	0,092	0,008	0,008	0,003	0,001	0,148	

*Celdas de color naranjo son considerados datos dudosos, ya que valores del analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. **s/dato=sin dato. ***s/m= sin muestra.



Tabla 75.

Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Rupanco
a principios de primavera de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mgN/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mgN/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mgP/L)	Cl a (ug/L)
Centro <270 m														
0	8,9	4,80	5,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	0,003	0,028	0,018	0,006	0,006	1,03
10	10,3	37,07	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,336	0,076	0,058	0,009	0,003	0,005	1,58
20	10,3	36,49	5,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,027	0,022	0,007	0,008	1,85
30	10,3	36,52	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,819	0,185	0,032	0,023	0,008	0,006	0,96
40	10,3	36,59	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,604	0,136	0,079	0,016	0,005	0,004	1,12
50	10,3	36,00	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,002	0,078	0,021	0,007	0,005	1,22
80	10,3	37,81	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,044	0,010	0,018	0,024	0,008	0,006	0,99
120	10,0	38,57	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,078	0,018	0,019	0,016	0,005	0,005	0,67
160	9,9	38,31	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,203	0,046	0,018	0,026	0,008	0,007	0,14
200	9,9	38,57	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,071	0,016	0,067	0,016	0,005	0,006	0,01
260	9,9	38,51	5,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,155	0,035	0,057	0,026	0,008	0,004	0,00
Promedio	10,0	34,48	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,233	0,053	0,044	0,020	0,006	0,006	0,87
DS	0,4	9,89	0,2					0,275	0,062	0,024	0,005	0,002	0,001	0,61
Bahía < 100 m														
0	8,5	6,61	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,016	0,004	0,067	0,012	0,004	0,006	1,21
10	10,3	40,00	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,090	0,015	0,005	0,007	0,98
20	10,3	40,00	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,067	0,017	0,006	0,006	0,90
30	10,3	40,00	4,6	0,0046	0,0046	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,058	0,014	0,005	0,005	1,74
40	10,3	40,00	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,056	0,019	0,006	0,010	1,65
50	10,3	40,00	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,081	0,018	0,006	0,006	1,00
80	10,2	40,00	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,230	0,052	0,062	0,021	0,007	0,008	0,87
100	10,1	49,94	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	0,008	0,053	0,030	0,010	0,008	1,34
Promedio	10,0	37,07	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,057	0,021	0,067	0,018	0,006	0,007	1,21
DS	0,6	12,79	0,1					0,098	0,027	0,013	0,006	0,002	0,001	0,34
100081														
0	10,0	9,48	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,002	0,255	0,011	0,004	0,006	0,78
20	10,3	40,00	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,045	0,022	0,007	0,006	1,56
40	10,1	40,47	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,021	0,028	0,009	0,014	0,46
Promedio	10,2	29,98	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,002	0,107	0,020	0,007	0,009	0,93
DS	0,1	17,75	0,0							0,129	0,009	0,003	0,004	0,57
101707														
0	10,1	8,10	8,0	0,005	0,005	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	0,062	0,017	0,006	0,007	0,91
70	10,1	37,95	7,6	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,068	0,015	0,077	0,018	0,006	0,037	0,51
140	9,9	39,62	7,6	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,090	0,020	0,079	0,028	0,009	0,006	s/m
Promedio	10,1	28,55	7,7	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,054	0,018	0,073	0,021	0,007	0,017	0,71
DS	0,1	17,74	0,2	0,003	0,003			0,045	0,004	0,009	0,006	0,002	0,018	0,29

*Celdas de color naranjo y rojo son considerados datos dudosos. Celdas en color naranja corresponden a valores donde el analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. Las celdas en color rojo corresponden a valores extremadamente elevados. **s/m= sin muestra.



Continuación **Tabla 75.** Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Rupanco a principios de primavera de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mgN/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N-TOT. (mgN/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mgP/L)	Cl a (ug/L)
100389														
0	9,5	9,67	7,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,035	0,014	0,005	0,009	1,834
10	10,1	30,00	7,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,019	0,004	0,107	0,023	0,008	0,009	1,467
20	9,7	29,75	7,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	s/m	s/m	0,378	0,015	0,005	0,038	s/m
Promedio	9,8	23,14	7,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,019	0,004	0,071	0,019	0,006	0,009	1,651
DS	0,4	11,67	0,0							0,181	0,005	0,002	0,017	0,260
100522														
0	10,3	40,00	8,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,019	0,004	0,040	0,024	0,008	0,009	0,566
50	10,2	39,29	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,001	0,085	0,018	0,006	0,007	0,927
100	10,2	41,65	7,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,017	0,004	0,310	0,011	0,004	0,027	2,478
Promedio	10,2	40,31	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,013	0,003	0,145	0,018	0,006	0,014	1,324
DS	0,0	1,21	0,3					0,009	0,002	0,144	0,007	0,002	0,011	1,016
101862														
0	10,3	8,20	4,6	0,0022	0,0022	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,065	0,008	0,003	0,006	0,711
30	10,3	38,05	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,077	0,028	0,009	0,006	2,390
60	10,3	38,68	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,017	0,004	0,069	0,009	0,003	0,006	0,696
Promedio	10,3	28,31	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,017	0,004	0,070	0,015	0,005	0,006	1,266
DS	0,0	17,42	0,0							0,006	0,011	0,004	0,000	0,974
101851														
0	10,0	29,20	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,002	0,061	0,020	0,007	0,005	0,626
50	10,3	85,84	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,001	0,058	0,021	0,007	0,005	1,726
100	10,1	116,45	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,207	0,047	0,052	0,021	0,007	0,005	0,896
Promedio	10,1	77,16	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,073	0,017	0,057	0,021	0,007	0,005	1,083
DS	0,1	44,27	0,0					0,116	0,026	0,005	0,001	0,000	0,000	0,573
100625														
0	9,7	8,78	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,063	0,016	0,005	0,006	1,055
30	10,2	40,00	4,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	0,002	0,072	s/m	s/m	0,006	1,194
60	10,2	50,00	4,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,001	0,075	0,014	0,005	0,007	1,239
Promedio	10,1	32,93	4,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,002	0,070	0,015	0,005	0,006	1,163
DS	0,3	21,50	0,1					0,005	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001	0,096

*Celdas de color naranjo y rojo son considerados datos dudosos. Celdas en color naranjo corresponden a valores donde el analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. Las celdas en color rojo corresponden a valores extremadamente elevados. **s/m= sin muestra.

**Tabla 76.** Resultados de los análisis físico-químicos de la columna de agua del lago Puyehue en primavera de 2014.

Prof (m)	Temp. (°C)	Cond. (uS/cm)	pH	NH4 (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	N TOT (mg/L)	PO4 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)	P TOT (mg/L)	Cl a (ug/L)
C1														
0	13,3	58,23	7,7	0,002	0,002	0,003	0,001	0,140	0,032	0,081	0,031	0,010	0,005	1,054
10	11,6	56,22	7,7	0,002	0,002	0,001	0,003	0,327	0,074	0,067	0,025	0,008	0,005	0,824
30	10,9	55,33	7,6	0,005	0,004	0,007	0,002	0,409	0,092	0,081	0,027	0,009	0,004	0,102
40	10,5	54,90	7,6	0,002	0,002	0,006	0,002	0,086	0,019	0,038	0,027	0,009	0,005	0,552
50	10,2	54,25	7,7	0,004	0,003	0,003	0,001	s/m	s/m	0,067	s/m	s/m	0,005	0,427
80	9,7	54,10	7,5	0,004	0,003	0,003	0,001	0,034	0,008	0,072	0,033	0,011	0,006	0,276
120	9,4	54,50	7,3	0,004	0,003	0,005	0,002	0,031	0,007	0,116	0,034	0,011	0,005	0,349
Promedio	10,8	55,36	7,6	0,003	0,003	0,004	0,001	0,171	0,039	0,075	0,030	0,010	0,005	0,512
DS	1,3	1,46	0,2	0,001	0,001	0,002	0,001	0,160	0,036	0,023	0,004	0,001	0,000	0,329
C2														
0	13,1	58,67	7,8	0,003	0,003	<0,001	<0,001	0,008	0,002	0,057	0,036	0,012	0,004	1,140
10	12,2	57,18	7,7	0,003	0,002	0,002	0,001	0,282	0,064	0,030	0,024	0,008	0,004	1,437
20	10,8	55,25	7,7	0,002	0,002	<0,001	<0,001	0,076	0,017	0,051	0,028	0,009	0,004	1,600
30	10,5	54,90	7,6	0,021	0,017	<0,001	<0,001	0,818	0,185	0,043	0,013	0,004	0,004	0,824
40	10,4	54,70	7,6	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,033	0,007	0,114	0,031	0,010	0,007	0,603
50	10,3	54,60	7,6	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,447	0,101	0,061	0,034	0,011	0,004	0,520
80	9,8	54,10	7,5	0,005	0,004	<0,001	<0,001	0,059	0,013	0,092	0,038	0,012	0,005	0,587
120	s/dato	s/dato	s/dato	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,016	0,004	0,070	0,047	0,015	0,005	0,417
Promedio	11,0	55,63	7,6	0,006	0,004	0,002	0,001	0,217	0,049	0,065	0,031	0,010	0,005	0,891
DS	1,2	1,66	0,1	0,006	0,005			0,288	0,065	0,027	0,010	0,003	0,001	0,448
E1														
0	14,2	60,20	7,7	0,003	0,002	<0,001	<0,001	0,165	0,037	0,090	0,022	0,007	0,005	1,070
10	11,7	57,65	7,8	0,005	0,004	<0,001	<0,001	0,404	0,091	0,048	0,031	0,010	0,004	1,062
20	11,1	55,50	7,6	0,002	0,002	0,003	0,001	0,080	0,018	0,051	0,018	0,006	0,004	0,324
40	10,4	54,80	7,6	0,007	0,005	<0,001	<0,001	0,265	0,060	0,046	0,021	0,007	0,004	0,493
50	10,1	54,30	7,6	0,002	0,001	0,005	0,002	0,223	0,050	0,091	0,031	0,010	0,010	0,630
Promedio	11,5	56,49	7,7	0,004	0,003	0,004	0,001	0,227	0,051	0,065	0,025	0,008	0,005	0,716
DS	1,6	2,44	0,1	0,002	0,002	0,001	0,000	0,121	0,027	0,023	0,006	0,002	0,002	0,338
E2														
0	14,5	60,44	7,7	0,002	0,002	0,002	0,001	0,157	0,035	0,053	0,025	0,008	0,004	0,722
20	11,2	55,80	7,8	0,003	0,002	0,003	0,001	3,431	0,775	0,076	0,033	0,011	0,005	1,046
40	10,5	54,86	7,7	0,003	0,002	0,006	0,002	0,274	0,062	0,049	0,029	0,009	0,005	0,544
50	10,2	54,43	7,9	0,003	0,002	0,002	0,001	0,234	0,053	0,051	0,033	0,011	0,016	0,790
Promedio	11,6	56,38	7,8	0,003	0,002	0,003	0,001	1,024	0,231	0,057	0,030	0,010	0,008	0,776
DS	2,0	2,76	0,1	0,000	0,000	0,002	0,001	1,605	0,363	0,013	0,004	0,001	0,006	0,208
E3														
0	13,0	58,66	7,8	0,004	0,003	<0,001	<0,001	0,120	0,027	s/m	0,034	0,011	s/m	1,191
10	11,5	56,20	7,9	0,004	0,003	<0,001	<0,001	1,099	0,248	0,045	0,021	0,007	0,007	1,326
20	11,2	55,78		0,008	0,006	0,003	0,001	0,202	0,046	s/m	0,015	0,005	0,006	1,563
Promedio	11,9	56,88	7,9	0,005	0,004	0,003	0,001	0,474	0,107	0,045	0,023	0,008	0,007	1,360
DS	1,0	1,56	0,1	0,002	0,002			0,543	0,123	0,010	0,003	0,001	0,001	0,188

*Celdas de color naranjo y rojo son considerados datos dudosos. Celdas en color naranja corresponden a valores donde el analito nitrato o fosfato están sobre nitrógeno total o fósforo total, según corresponda. Las celdas en color rojo corresponden a valores extremadamente elevados. **s/m= sin muestra.

A N E X O 2

Figuras



Figura 1. Mapa de ubicación de los transectos (—) y los puntos seleccionados para la medición de correntometría lagrangeana en los lagos. 1= Ranco, 2= Puyehue, 3= Rupanco, 4= Llanquihue, 5= Chapo, 6= Cucao, 7= Huillínco, 8= Tarahuín, 9= Natri.

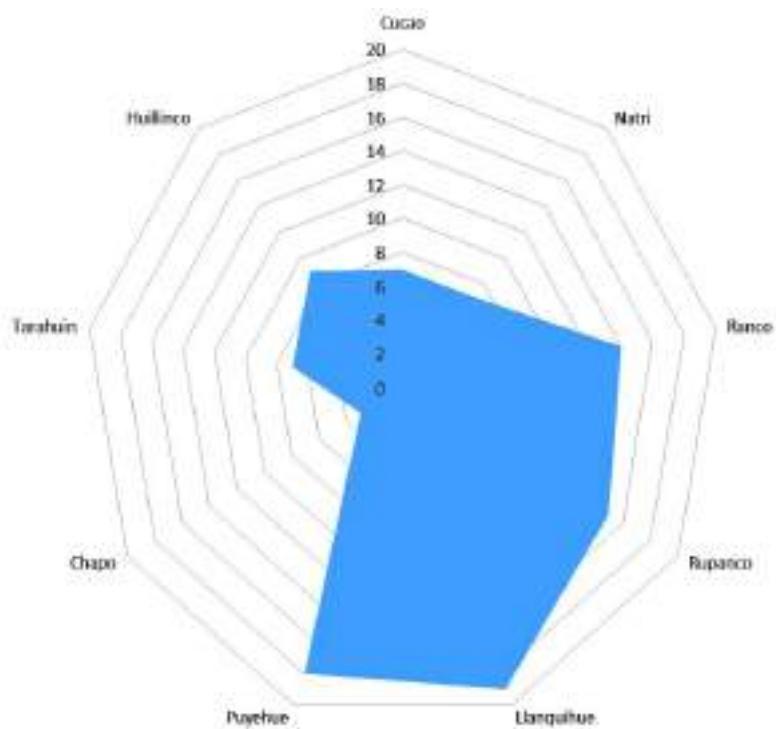


Figura 2. Distribución comparativa del número de estudios publicados en cada uno de los lagos.

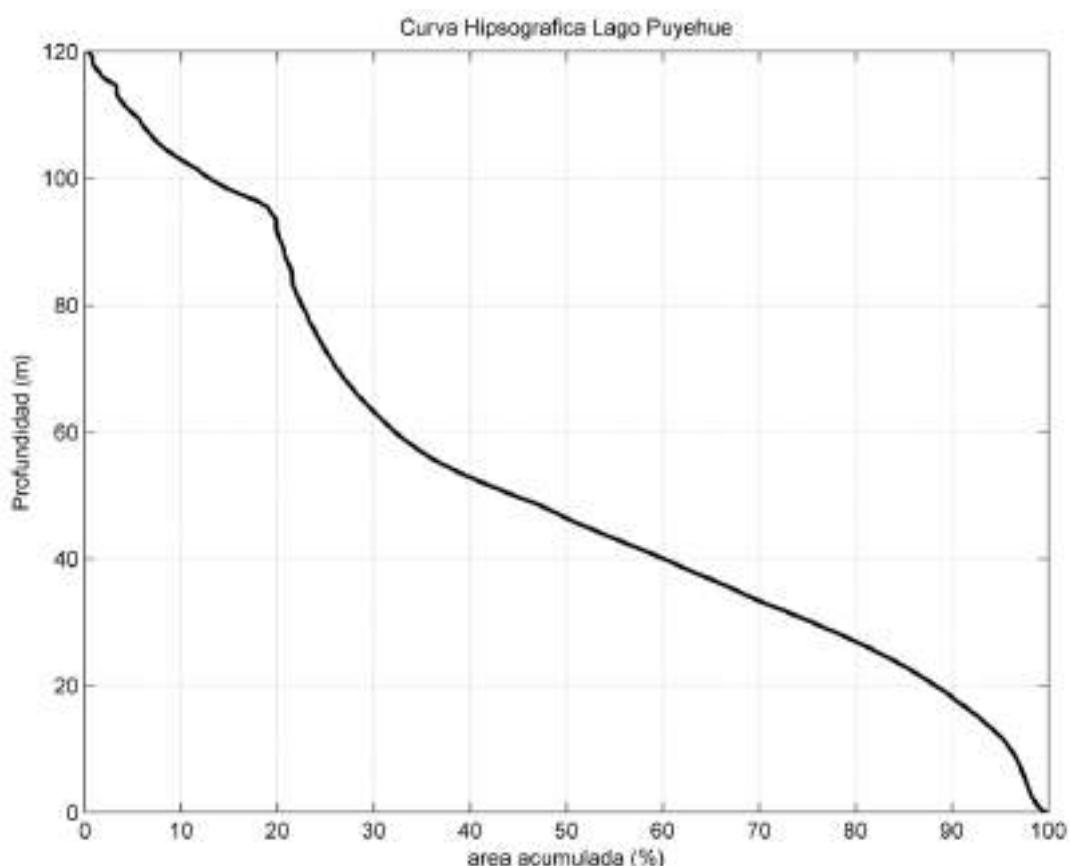


Figura 3. Curva hipsográfica lago Puyehue.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

The slide features a photograph of Lake Llanquihue with a prominent volcano in the background. Overlaid text reads: "Comparación histórica de variables fisicoquímicas del sedimento en bahías con salmonicultura del lago Llanquihue". Below the title, authorship and institutional details are listed: "Carolina Oyarzo Rössler, Francisco Correa Araneda, Heraldo Comberas & Nicole Pente Letra. Departamento de Medio Ambiente, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Puerto Montt. Octubre del 2014".

Figura 4. Presentación N° 1. Expositor Carolina Oyarzo.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA EN LAGOS CON SALMONICULTURA MEDIANTE EXPERIMENTOS DE MICROCOSMOS



Dr. Francisco Correa Araneda

Departamento de Medio Ambiente
Instituto de Fomento Pesquero, Puerto Montt



Figura 5. Presentación N°2. Expositor Francisco Correa.

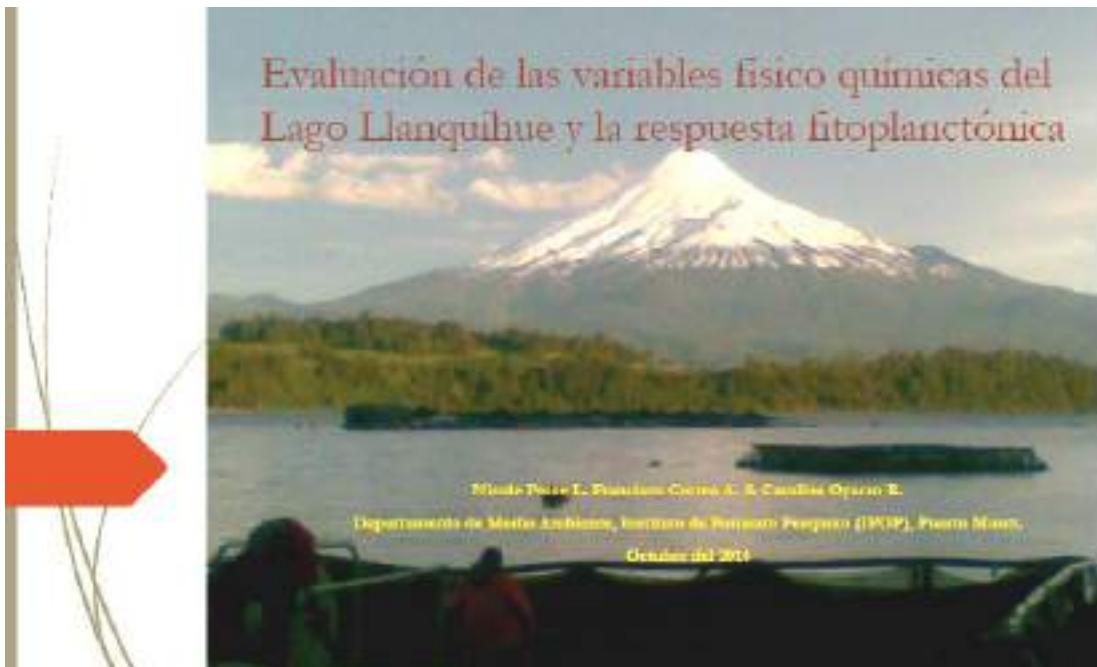


Figura 6. Presentación N°3. Expositor Nicole Pesse.

A N E X O 3

Taller de Expertos Limnología
(Lunes 1 de junio 2015)



**PROGRAMA TALLER DE EXPERTOS EN LIMNOLOGÍA
"EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DE LAGOS UTILIZADOS EN ACTIVIDADES DE
ACUICULTURA EN LA ZONA SUR AUSTRAL DE CHILE, SEGUNDA ETAPA".**

Salón Directorio Hotel Gran Pacífico, Urmeneta 719, Puerto Montt.

01 de junio de 2015

Convoca: Instituto de Fomento Pesquero, División de Investigación en Acuicultura,
Departamento de Medio Ambiente

En el marco del Convenio de Desempeño entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de menor tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero, se desarrolla el presente Taller de expertos, para evaluar y discutir el modelo de capacidad de carga y balance hidrológico del Lago Llanquihue, junto con variables indicadoras de trofia en lagos Chilotas.

Hora Actividad

09:00	Recepción - Inscripción y entrega de material
09:10	Palabras de bienvenida de Dr. Leonardo Guzmán, Jefe División de Investigación en Acuicultura, Instituto de Fomento Pesquero.
09:20	Palabras de bienvenida de Sr. Cristián Acevedo, Jefe de la Unidad de Asuntos Ambientales de la División de Acuicultura, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.
09:30	Introducción del proyecto y reseña general del estudio (MCs. Nicole Pesse, Instituto de Fomento Pesquero)
10:15	Café
10:35	<i>Tema 1: Evaluación de capacidad de carga</i> Presentación 1: Evaluación de modelo de capacidad de carga Lago Llanquihue y proyecciones del modelo para Lagos Araucanos (MCs. Carolina Oyarzo, Instituto de Fomento Pesquero)

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Bellavista 168, piso 10, Casilla 100-V, Valparaíso, Chile.
Instituto de Fomento Pesquero, Balmaceda 252, Puerto Montt, Chile



- 11:00 Ronda consultas a expertos
- 13:15 *Almuerzo*
- 14:30 *Tema 2: Evaluación de lagos chilotas*
Presentación 1: Introducción, Evaluación de trofía en Lagos Chilotas y antecedentes disponibles (Dr (c) Claudia Pérez, Instituto de Fomento Pesquero)
- 15:00 Ronda consultas a expertos
- 17:00 *Café*
- 17:30 Espacio para consultas invitados y discusión
- 18:00 Cierre de sesión, generación de acta de acuerdo

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Bellavista 166, piso 16, Casilla 100-V, Valparaíso, Chile.
Instituto de Fomento Pesquero, Balmaceda 252, Puerto Montt, Chile



ACTA DE TRABAJO TALLER DE EXPERTOS EN LIMNOLOGÍA

En el marco del proyecto "Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura en la zona sur austral, segunda etapa".

FECHA 01 de junio del 2015

LUGAR: Salón Directorio, Hotel Gran Pacífico, Puerto Montt

La sesión se inició a las 09:30 horas.

1. PARTICIPANTES

Asesores expertos en Limnología

Dr. Stefan Wolf; Dr. Oscar Parra; Dr. Diana Quevedo; Dr. Jorge Nimptsch; Dr. Carlos Oyarzún; Dr. Roberto Urrutia; Mag. Mariano Grandjean.

Profesionales | FOP

MCs. Nicole Pesse; MCs. Carolina Oyarzo; Dr.(c) Claudia Pérez; Dr. Leonardo Guzmán; Dr.(c) Gastón Vidal

Profesionales Instituciones Públicas

Fior Uribe (SUBPESCA); Susana Giglio (SUBPESCA); Leonardo Saavedra (SERNAPESCA)

2. AGENDA DE TRABAJO

2.1 Objetivos del taller

- 1.- Validar el uso del modelo de capacidad de carga propuesto por la OECD (1982), en base a lo planteado por Vollenweider (1968), para la determinación de capacidad de carga actual y crítica en el lago Llanquihue, y extender su uso a otros lagos araucanos.
 - 2.- Validar el uso del método de la curva número (Soil Conservation Service, 1965) para evaluar escorrentías.



3.- Validar la inclusión de variable COLOR y/o Materia Orgánica Coloreada Disuelta (MOCD) en la clasificación de lagos chilotas mediante el método de paradigma color, como una variable indicadora de trofia en lagos coloreados o chilotas.

2.2 Acuerdos

a.- Se validó el uso del modelo de la OECD (1982) para los lagos araucanos (lagos entre los 39° y 42° latitud sur, cuerpos de agua grandes, profundos, monomicticos templados (Lagos Llanquihue, Ranco, Rupanco, Puyehue y Chapo).

Los modelos estadísticos basados en datos empíricos fueron descritos por primera vez por Vollenweider (1968). Posteriormente, con la inclusión de otros estudios, la OECD (1982) verificó la aplicabilidad de la ecuación de Vollenweider a través de ensayos y verificaciones, para luego desarrollar el modelo de capacidad de carga que permite relacionar la concentración de P en el lago con su estado trófico. En relación a su uso, se enfatizó que es un modelo probabilístico y estático no predictivo, pero que es una buena herramienta para la conservación de sistemas acuáticos, ya que indica con cuánta carga estimada se produciría un cambio de trofia en el lago y su carga actual. Uno de los supuestos del modelo requiere que la concentración de fósforo en la columna de agua se encuentre en estado de equilibrio, se supone un equilibrio entre entradas y salidas, este supuesto equilibrio, no refleja necesariamente la realidad, especialmente en lagos con rápido recambio o cambios en las cargas de P al lago. El lago necesita cierto tiempo hasta alcanzar el equilibrio, por ejemplo en el lago Llanquihue para alcanzar el 90% de equilibrio de fósforo con una tasa de renovación de 56 años y coeficiente de retención de 0.89, el tiempo de equilibrio calculado es aproximadamente 14 años. Esto implica que todos los aportes actualmente vertidos al lago se verían reflejados en 14 años, por lo tanto se hace necesario realizar un seguimiento en el tiempo.

Para el modelo de capacidad de carga del lago Llanquihue se consideró fundamental, mejorar el balance hidrológico. Para ello, se sugiere instalar un equipo que mida el caudal de salida del lago donde nace el río Maullín, a fin de evaluar con mayor certeza y continuidad el caudal del efluente. Esto se hace indispensable, dado que actualmente, la DGA cuenta con una estación que mide el caudal del río Maullín, específicamente en la localidad de Las Quemas, ubicada 40 km del nacimiento del río. Los datos de caudal entregados por esta entidad en esta estación registran un 15% aprox. más de caudal con respecto al nacimiento del río. Así también, es deseable incluir mediciones puntuales de caudal desde los principales ríos tributarios, idealmente con una periodicidad mensual durante un año, para ajustar los valores de aporte de escorrentías entregados por la curva número. En cuanto a datos meteorológicos (precipitación, humedad, y viento), se considera que un balance hidrológico con las tres estaciones meteorológicas del INIA, utilizadas para la estimación de escorrentía en la cuenca del lago Llanquihue son suficientes, pero se recomienda incluir la instalación de una estación meteorológica en la cumbre más alta de la cuenca, ya que en las zonas cordilleranas la pluviometría es abundante y variable. De esta forma será posible precisar los datos de precipitación para el balance hidrológico.

El valor de concentración de Fósforo (8.6 μ g/L de P) en la precipitación que utilizó la Universidad Austral de Chile en la Primera etapa del proyecto, es el resultado de una data histórica de registro continuo en la zona de estudio, por lo cual se considera un dato robusto y preciso.



Para contar con un buen Balance de nutrientes, se estima importante contar con información actualizada en relación al uso de suelo de la cuenca, junto a la verificación de esta información en terreno. Los datos de uso de suelo utilizados por el Instituto de Fomento Pesquero en la II etapa del proyecto son recientes, específicamente del año 2013. Además, se recomienda contar con usos de suelo lo más detallado posible.

b.- Se validó el uso del método de curva número para medir escorrentía de la cuenca hidrográfica de cada lago.

Se indicó que es un método eficaz y que se puede mejorar el ajuste de la escorrentía incluyendo una estación pluviométrica en la más alta cumbre de la cuenca.

c.- Se validó la propuesta de incluir la variable Color como indicadora de trofia en lagos chilenos.

Se concluye en forma unánime, que los lagos chilenos son sistemas altamente vulnerables o eutrofizados, lo cual ya había sido documentado con anterioridad por diversos autores (Campos et al., 1996, Villalobos et al., 2003, Proyecto 4728-42-LP12).

Por tanto, se generó el acuerdo que para estos lagos altamente impactados, no se justifica desarrollar modelos de capacidad de carga, sino más bien, concentrar los estudios en conocer el comportamiento ambiental de estos lagos, a través de un balance de nutrientes, además de la incorporación de otras variables de trofia.

Las variables indicadoras de trofia utilizadas para la norma secundaria de Calidad, así como lo propuesto por Vollenweider (1968), están basadas para caracterizar estados productivos de lagos monomicticos templados, como son los lagos araucanos. En el caso de los lagos chilenos, que presentan altas concentraciones de materia orgánica en la columna de agua y en el sedimento, se valida la propuesta de incluir el color o MODC como variable indicadora de trofia. Se considera por tanto, al Color como una variable indicadora de trofia primordial en lagos coloreados, mencionando que las propiedades ópticas deberían ser monitoreadas en forma continua para dar mejor respuesta al aumento de materia orgánica producto de las actividades antrópicas así como de la producción autóctona caracterizada en estos cuerpos de agua.

Dada la fragilidad de los sistemas lacustres chilenos, se recalca la importancia de propender a un manejo integrado de cuencas, en donde se incluyan todos los actores involucrados ("stakeholders") en procesos y/o usos asociados a cada cuenca, haciendo mención que uno de los usos productivos de la cuenca del Lago Huillínco es la extracción del musgo *Sphagnum* sp., recurso que incide fuertemente en la captación y retención de agua, y por ende en el balance hidrológico del sistema lacustre. Por otro lado, se considera importante cesar todo tipo de actividades antropogénicas que aporten de manera directa materia orgánica a estos lagos, entre ellos la Acuicultura.

En cuanto a los estudios necesarios para establecer con mayor detalle la dinámica ambiental que ocurren en estos lagos chilenos, se sugirió lo siguiente:



- Dado al incremento del aporte de materia orgánica, se recomienda evaluar la tasa de sedimentación de la MO en la columna de agua, ya sea con testigos o en caso contrario con trampas de sedimento.
- Incorporar la medición de zona eufótica *in situ* y estudiar su relación con la picnoclina.
- En los lagos Huillínco y Cúcao, evaluar el fitoplancton por estratos, ya que ambos lagos presentan una marcada picnoclina durante todo el año; registrar el volumen de agua por capa, además de evaluar la hidrodinámica con las forzantes viento y morfometría de la cuenca, para precisar los tiempos de renovación; además de obtener una batimetría más exacta a la presentada por Campos *et al.*, 1996.
- Hacer perfiles verticales con mediciones de CTD poniendo énfasis en la fluorescencia, ya que posiblemente hay presencia de microalgas mixotróficas.

Indagar en la aplicación de alguna figura jurídica para proteger lagos chilenos (conservación).

Se indica la importancia por parte del Comité de Limnología de Chile, de retomar el tema asociado a la clasificación de trofía según tipo de lagos (araucanos, chilenos, andinos, centrales, entre otros) y hacer pública esta información.

La reunión finalizó a las 17:15 hrs.



Lagos Chilenos:

Se localizan en la isla de Chiloé (Fig.1), son de origen glacial-tectónico. Se clasifican como lagos diatípicos (alto aporte de materia orgánica disuelta colorizada, entre ellos: Lagos Humérico y Fulvicos), lo que otorga el característico color café. Son sistemas pequeños y de baja profundidad. Presentan baja transparencia y producen fitoplanctonica y elevada producción bacteriana. El balance hidrológico está sujeto a regímenes pluviales, siendo el bosque nativo y la turba los principales captadores de aguas lluvias. Se consideran lagos altamente vulnerables. Los principales usos de suelo asociados a sus cuencas son bosque nativo, praderas de pastoreo, bosques mixtos, además de actividades industriales y de acuicultura.

Indicador Hidrobiológico	ITD Hollínco	ITD Coñari	ITD Tenejao	ITD Neltu
Absorción Metropolitana (m²)	530	33	38	47
Área lago (km²)	19	11	8	8
Población cerca (km)	21	12	22	35
Típico de pesquería (km²)	0	0	3	4



Realizar un manejo integrado de cuencas hidrográficas es fundamental para controlar la eutrofización de los sistemas lacustres.

1. Lago Hollínco

Es un lago con influencia marina unido al lago Coñari. Meromíctico, presenta eutrofización salina bajo 10 - 15 m de profundidad, con una capa anóxica en el fondo. Es un sistema altamente vulnerable por su gran cuenca hidrográfica. No presenta acuicultura desde 2012.



2. Lago Coñari

Es un lago con influencia marina limitada con tendencia a la eutrofia. Asimismo, es un lago meromíctico (no mezcla completamente) con una eutrofización salina bajo 10 - 15 m de profundidad. No presenta acuicultura desde el año 2008.



3. Lago Tenejao

Es un lago diatípico con tendencia a la eutrofia. La columna de agua se presenta con oxigenación hasta los 20 metros. No presenta cultivos operativos desde 2012.



4. Lago Neltu

Es un lago diatípico con tendencia a la eutrofia. Se observan niveles de oxígeno disuelto (OD) entre 8 y 10 mg/L. Es el único lago en la zona que aún mantiene acuicultura, con una cosecha operativa.



Para mayor información consulte
este informe en [ifop.cl](http://www.ifop.cl)



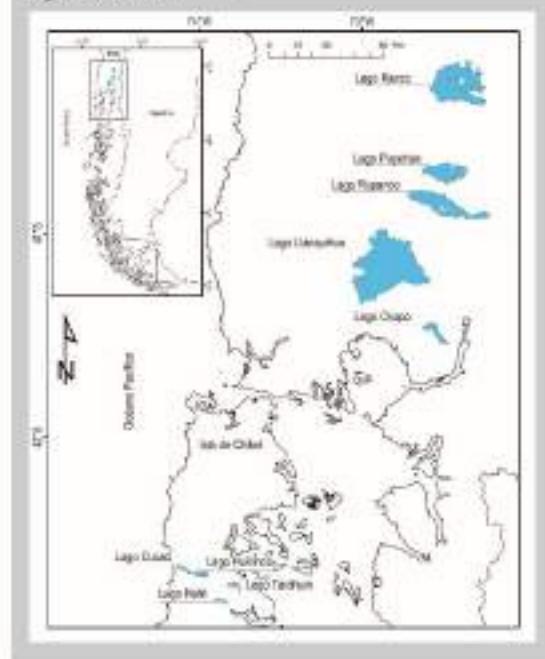
Evaluación del estado ambiental
de los lagos utilizados para actividades
de acuicultura en la zona sur austral de
Chile (Segunda etapa).

Avances Integración Pesca y Acuicultura (AIP) –
convenio Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP



La Eutrofización es uno de los mayores problemas en los sistemas acuáticos. Es el proceso de enriquecimiento de un sistema acuático, producto del incremento en el aporte de nutrientes, especialmente de nitrógeno y fósforo. Produce efectos dañinos de la calidad ambiental, ya que interfieren los usos del agua. Para la evaluación de la eutrofización se han desarrollado modelos, basados principalmente en la relación entre el aporte de nutrientes y las posibles respuestas del medio ambiente acuático. Así ha sido posible clasificar los sistemas lacustres de acuerdo a su estado trófico, desde oligotrófico (alto en nutrientes y producción primaria) a eutrófico (alto en nutrientes y producción primaria).

Fig. 21. Área de estudio.



Lagos Araucanos:

Se localizan en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes entre los 39° - 42° S (Fig. 1). Son de origen glacial volcánico profundos, con gran tamaño y volumen de agua. Por su régimen térmico son clasificados como monomórficos templados (se mezclan una vez al año). Han sido descritos con una alta transparencia, bajo aporte de nutrientes y baja producción primaria. Su régimen hidrológico es pluvio-nival. Las principales actividades antropogénicas en sus cuencas hidrográficas son: ciudades, ganadería, lechería, agricultura, acuicultura e hidroelectricidad.

Párametros hidrológicos	%% Turb.	%% Puyehue	%% Rupanco	%% Diuso	%% Llanquihue
Año promedio RPT	3554	1345	778	310	735
Año lago (m³/a)	443	165	236	45	870
Promedio de cresta (d)	122	76	162	151	182
Tiempo de renovación (años)	4 a 6	3,4	9	3 a 6	69 a 70

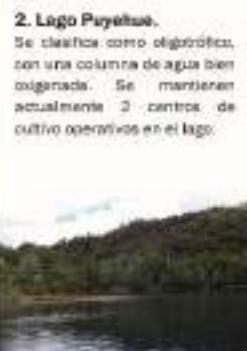
1. Lago Ranco.

Se mantiene dentro del rango oligotrófico aún cuando se registra un aumento de fósforo total en la columna de agua en el tiempo. Generalmente, la columna de agua se encuentra bien oxigenada hasta los 45 m. Este lago mantuvo eutrofización en sus浅水 hasta el año 2011.



2. Lago Puyehue.

Se clasifica como oligotrófico, con una columna de agua bien oxigenada. Se mantienen actualmente 3 centros de cultivo operativos en el lago.



3. Lago Rupanco:

Columna de agua con niveles dentro del rango oligotrófico, con buenas condiciones de oxígeno en termo a los 20 mg/L, disminución de DO en el fondo, bajo los 100 m. De los lagos araucanos, es el lago con mayor producción salmonescosa alcanzando 12.968 t/año durante el primer semestre del 2014. Posee 7 centros de cultivo operativos.



4. Lago Chiloé:

Se mantiene dentro del rango oligotrófico a mesotrófico. Presenta la columna de agua oxigenada en termo a los 10 mg/L. En el lago hay 4 concesiones de cultivo operativas al 2014. El volumen de agua del lago está regulado por la central hidroeléctrica Correntar.

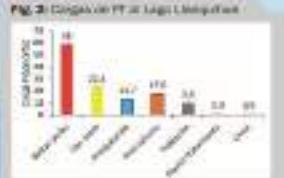


5. Lago Llanquihue:

El lago Llanquihue, es el más profundo, siendo su tiempo de renovación el más prolongado de los lagos araucanos. Los principales usos de suelo están dados por el bosque nativo y las praderas. Es considerado aún un lago oligotrófico, a pesar de que en la columna de agua ha aumentado la concentración de fósforo total en los últimos 20 años. Así también posee una columna de agua bien oxigenada hasta los 300 metros de profundidad. Este lago cuenta con Norma Secundaria de Calidad Ambiental. Actualmente se cuenta con un balance de nutrientes y cálculo de la capacidad de carga*, actualizada en base un modelo probabilístico de la OECD. De acuerdo al tránsito de fósforo total (PT), el ingreso fue de 123 t/año siendo la mayor actividad aportante la acuicultura en balsas jaivas (58 ton/año de aporte de Fósforo al lago, calculado en base a los datos oficiales de producción informada y seguido por el uso de suelo (Figura 2).

El 85% de la carga de PT sedimenta, la gran profundidad del lago ha favorecido su aparente resiliencia.

* Capacidad de carga que se calcula teniendo en cuenta la carga de fósforo total aportado al lago tanto en arena y en estuaries (agua salobre).





Taller expertos en limnología estudio " Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile, II etapa."

División de Investigación en Acuicultura

Puerto Montt, Hotel Gran Pacífico, Salón Directorio

Día: lunes 01 de junio de 2015

Nº	NOMBRE	INSTITUCIÓN	EMAIL	FIRMA
1	Jorge Núñez	UACH	jorge.nunez@uach.cl	
2	Marcos Wolff	UACH	swolff@uach.cl	
3	MARÍAMO Gómez Jara	UACH	marjara.morales@uach.cl	
4	ROBERTO URZUTIA?	EULA	RURZUTIA@udec.cl	
5	CARLOS OYARZUN	UACH	coyarzon@uach.cl	
6	OSCAR PARRA I.	EULA-UDEC	oparra@udec.cl	
7	Diana De Vido	OSAETT	diana.devedo@osatt.cl	
8	Flor Juárez R.	SUBPESCA	fjuarez@subpesca.cl	
9	Susana Gómez M	SUBPESCA	sgomez@subpesca.cl	
10	Loreto Sánchez R	SERNAPESCA	lsanchez@serapesca.cl	
11	Catalina Oyarzún	IFOP	coyarzon@ifop.cl	
12	Gaston Vidal S.	IFOP	gaston.vidal@ifop.cl	



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA



Taller expertos en limnología estudio "Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile, II etapa."

División de Investigación en Acuicultura

Puerto Montt, Hotel Gran Pacífico, Salón Directorio

Día: lunes 01 de junio de 2015

13	Lorena Gómez	IFOP	lorengomez@ifop.cl
14	Nicole Pesse R.	IFOP	nicole.pesse@ifop.cl
15	Claudio Reut	IFOP	claudio.reut@ifop.cl
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

A N E X O 4

Base datos y Presentaciones
Congreso Limnología
(Incluido en CD al inicio de este documento)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl

A wide-angle photograph of a vast ocean at sunset or sunrise. The sky is filled with soft, wispy clouds, transitioning from deep blue to bright yellow and orange near the horizon. A vibrant, multi-colored rainbow arches across the upper right portion of the image, its colors reflected in the calm, dark blue water below. The horizon line is straight and divides the ocean from the sky.

www.ifop.cl