INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2015

Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile (Tercera Etapa)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Febrero 2017

INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2015

Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile (Tercera Etapa)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Febrero 2017

REQUIRENTE
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaria de Economía y Empresas de Menor Tamaño
Natalia Piergentili Domenech

EJECUTOR
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFE DE PROYECTO
Nicole Pesse Lastra

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA y EMT / Febrero 2017

AUTORES
Carolina Oyarzo Rösner
Claudia Pérez Sáez
Nicole Pesse Lastra

COLABORADORES
Manuel Olguín Teuquil
Rodrigo Vera Sepúlveda
Christian Espinoza Alvarado
Elías Pinilla Matamala
Gabriel Soto Soto
Laura Méndez Espiño
Marcela Arriagada Ortega
Patricio Salas Salas
Paola Hinojosa Carrasco
Lilian Díaz Galindo
Manuel Moya Vega
Denice Meyer Cárdenas
Javier Barrientos Gómez

COLABORADOR EXTERNO
Jorge Nimptsch Maass

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio “Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura, en la zona sur austral de Chile”, se inició el año 2012, donde se establecieron el diseño y técnicas de muestreo, y se propuso el modelo OECD para la estimación de capacidad de carga para el lago Llanquihue. El monitoreo incluyó los lagos Rupanco, Llanquihue, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco. Así también se revisó la información limnológica de los lagos en estudio, encontrándose que la información de capacidad de carga, no había sido actualizada hace unos 15 años, además en algunos casos los métodos analíticos de nutrientes (incluidas curvas de calibración), especialmente de fósforo total, no fueron suficientemente precisas para las bajas concentraciones de fósforo total registradas en los lagos araucanos, por lo cual para efectuar una correcta evaluación limnológica y determinación de capacidad de carga ocupamos técnicas analíticas con bajo límite de detección . En la segunda etapa del proyecto (año 2014), se adicionaron al monitoreo los lagos Ranco, Puyehue y Cucao, generando una red de muestreo de 9 cuerpos de agua. Se realizó un taller de expertos nacional en limnología, donde se acordó que el modelo de capacidad de carga de la OECD, 1982, era adecuado para lagos monomícticos templados, como los lagos Araucanos, pero no para los lagos Chilotes, que poseen la característica de ser coloreados, donde la transparencia y la clorofila *a*, no solo se relacionan con la producción fitoplanctónica, sino también con la variable color, además de que presentar tasas diferenciadas de sedimentación de fósforo. Dado que no fue posible encontrar un modelo adecuado para los lagos coloreados, se trabajó con la variable color, en vías de clasificar y evaluar con mayor precisión la trofía o calidad ambiental de estos lagos. Por otro lado se detalló el balance hidrológico de la cuenca del lago Llanquihue y se actualizó su capacidad de carga. En ésta (la tercera etapa del proyecto, años 2015-2016), se incluyó la caracterización ambiental de los lagos chilotes: Popetán y Tepuhueico, además de los lagos Patagónicos: Yelcho y Riesco. Junto con mejorar la cobertura y precisión de la data referente a caudales y concentración de nutrientes en la cuenca del lago Llanquihue. Además de enfatizar los esfuerzos en el monitoreo del lago Huillinco y Cucao, los cuales producto de la influencia oceánica presentaron una dinámica diferente, y con una condición ambiental altamente vulnerable (generalmente eutrófico). Por ello, se estableció el muestreo de fitoplancton estratificado y estudio preliminar de corrientes en vías de conocer el balance hidrológico, incluyendo los aportes de agua marinas al sistema. Con el avance del proyecto, se ha aumentado la cobertura delmonitoreo y la información limnológica para análisis de capacidad de carga.

El presente estudio (tercera etapa) da continuidad al proceso de actualización de información ambiental de los lagos Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo), Chilotes (Cucao, Huillinco, Popetán, Tepuhueico, Tarahuín y Natri) y Patagónicos (Yelcho y Riesco) en los cuales se desarrolla o desarrolló actividad acuícola, principalmente 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.

A continuación los logros del proyecto por objetivo: El *Objetivo 1*, referente a la recopilación de información. Este constó de la búsqueda y solicitud de data e información de cada sistema lacustre, su posterior revisión y ordenamiento. De la revisión bibliográfica se recopilaron 108 informes y artículos científicos, desarrollados en los lagos en estudio y sus cuencas. Las investigaciones se iniciaron en 1963 por Thomasson, analizando la composición fitoplanctónica y zooplanctónica de lagos araucanos. La mayoría de los estudios se encuentran centrados en los lagos araucanos, principalmente en el lago Llanquihue con 44 investigaciones, seguido por el lago Puyehue (38) y Rupanco (34), mientras que en el lago Popetán se han desarrollado un menor número de estudios (5). En los *Objetivos 2 y 3* se realizó una campaña de muestreo para caracterizar ambientalmente los lagos Ranco, Puyehue, Rupanco, Chapo, Popetán, Cucao, Huillinco, Natri, Tarahuín, Tepuhueico y Yelcho de la Región de los Lagos, y el lago Riesco de la región de Aysén. Además de caracterizar ambientalmente el lago Llanquihue realizando tres campañas de muestreo. De los O*bjetivos 2 y 3*, se presentan los resultados de las campañas de muestreo, como perfíles de CTDO y nutrientes, análisis de fitoplancton y zooplancton, análisis sedimentológicos y de correntometría Lagrangeana (según corresponda). El *Objetivo 4*, con la data obtenida del monitoreo se estimó el estado de trofía de cada sistema lacustre, posteriormente se efectuaron los análisis tendientes a determinar la capacidad de carga de cada lago, estimando el balance hidrológico y de nutrientes. Para ello, se analizaron datos meteorológicos que permitieron calcular pluviometría, caudales de efluentes y precipitación caída sobre las cuencas estudiadas, además de estimar la tasa de recambio o renovación de la cubeta lacustre. Se generaron mapas de uso de suelo, lo cual en conjunto con el balance hidrológico, posibilitó estimar la exportación de fósforo desde los diferentes usos de suelo de la cuenca (aportes por fuentes difusas). En cambio para establecer los aportes de nutrientes desde las fuentes puntuales o directas se recopiló información de las descargas de Residuos Líquidos Industriales (RILES), además se analizaron los datos de producción acuícola, estimando la carga de fósforo emitida a los lagos por la acuicultura en balsas jaula, correspondientes a las biomasas producidas por concesión anualmente. Los aportes de nutrientes desde las pisciculturas fueron incorporados a la sumatoria de cargas, a través de la data de RILES, cuando no se contó con este antecedente se estimaron las cargas desde las pisciculturas a través de información de proyecto técnico de Declaración de Impacto Ambiental y finalmente se estimó las cargas de fósforo emitidas por la población lugareña que habitó dentro de los 200 metros en torno a la ribera lacustre. Se obtuvo la capacidad de carga de los lagos araucanos, monomícticos templados, Ranco y Puyehue. En cambio para el lago Cucao no se estimó la capacidad de carga, de igual modo se analizaron las contribuciones de fósforo al lago. Del *Objetivo 5* se entregaron modelos de capacidad de carga para los lagos Araucanos; los lagos Llanquihue, Rupanco y Chapo. Siguiendo la misma línea analítica que en el objetivo 4, no se estimó la capacidad de carga de los lagos Chilotes; Natri, Huillinco y Tarahuín, pero se puso el énfasis en mejorar la caracterización y diagnóstico de calidad ambiental. El *Objetivo 6*, de la difusión del proyecto se presentó un trabajo en el Congreso Chileno

de Limnología, además se llevará a cabo durante julio de 2016, mediante un taller de difusión de los resultados del proyecto.

Lo que respecta a la calidad ambiental o estado trofico de los sistemas lacustres estudiados, los lagos araucanos mantuvieron su condición oligotrófica, y que la capacidad de carga no estaría sobrepasada en todos los casos, a excepción del lago Puyehue y Rupanco que se encontraron al límite de sobrepasar su oligotrofía. La condición oligotrófica de estos lagos se atribuye en parte a sus tiempos de renovación y al tiempo que tardan los nutrientes en ser incorporados al metabolismo lacustre. Por lo cual para los lagos Rupanco y Llanquihue, se recomienda disminuir los aportes de nutrientes, siendo la acuicultura en ambos casos la actividad con mayor aporte. El Puyehue se encontró con una capacidad de carga al límite para llegar a un estado mesotrófico, por ello se recomienda, disminuir los aportes de nutrientes, principalmente por parte de las pisciculturas, mejorando la calidad y cantidad de agua eliminada del proceso productivo. En tanto para los lagos Chapo y Ranco se recomienda mantener (no aumentar) los niveles de producción acuícola. Además, se debe considerar que con las diferentes actividades productivas se vierten diferentes sustancias a los cuerpos fluviales y lacustres que implican un detrimento en la calidad de agua. En algunas fuentes puntuales, como son las balsas jaulas y pisciculturas se conoce su localización y aporte, permitiendo su control. Sin embargo, las fuentes difusas (asociadas a la cuenca y usos de suelo) son más difíciles de manejar, desde su evaluación hasta fiscalización. Por ello, los usuarios de las cuencas deberán hacer esfuerzos mancomunados para mantener estos cuerpos de agua oligotróficos. Para los lagos chilotes se recomienda mantener la condición inactiva de los centros acuícola y actividades antrópicas, debido a su estado eutrófico en la mayoría de sus indicadores, la calidad alterada de los sedimentos, además de sus características morfológicas.

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN EJECUTIVO ---------- i
ÍNDICE GENERAL ---------- iv
ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS ---------- v

1. OBJETIVOS ---------- 1
1.1. Objetivo general ---------- 1
1.2. Objetivo específicos ---------- 1

2. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO ---------- 2

3. INTRODUCCIÓN---------- 3

4. METODOLOGÍA POR OBJETIVO ESPECÍFICO ---------- 7
4.1. Objetivo específico 1. ---------- **7**
4.2. Objetivo específico 2. ---------- 9
4.3. Objetivo específico 3. ---------- 20
4.4. Objetivo específico 4. ---------- 21
4.5. Objetivo específico 5. ---------- 29
4.6. Objetivo específico 6. ---------- 32
33
5. RESULTADOS---------- 33
5.1. Objetivo específico 1. ---------- 33
5.2. Objetivo específico 2 y 3. ---------- 38
5.3 Objetivo específico 4. ---------- 179
5.4. Objetivo específico 5. ---------- 215
5.5. Objetivo específico 6. ---------- 289

6. DISCUSIÓN ---------- 290

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ---------- 314

ANEXOS:

Anexo 1. Tablas
Anexo 2. Fotografías fitoplancton, zooplancton y muestreos en los lagos.
Anexo 3. Base datos: Estado Ambiental los lagos, Tercera Etapa, 2015.

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica lagos en estudio. a= lagos Araucanos, b= lagos chilotes, c y d= lagos Patagónicos (c= lago Yelcho, d= lago Riesco).

Figura 2. Estaciones de muestreo en los lagos Araucanos en estudio (A= Lago Ranco, B= Lago Puyehue, C= Lago Rupanco, D= Lago Chapo, E= Lago Llanquihue).

Figura 3. Estaciones de muestreo en los lagos Chilotes en estudio (F= lago Cucao, G= lago Huillinco, H= lago Popetán, I= lago Natri, J= lago Tarahuín, K= lago Tepuhueico).

Figura 4. Estaciones de muestreo en los lagos Patagónicos en estudio (L= lago Yelcho, M= lago Riesco).

Figura 5. Estaciones de muestreo en los lagos Huillinco – Cucao para obtención de perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua. A= Transecta longitudinal B= Transecta latitudinal.

Figura 6. Ubicación geográfica de los equipos instalados: ADCP y correntómetro (rojo), estación meteorológica (amarillo), mareógrafos (blanco).

Figura 7. Secciones donde se efectuaron mediciones con ADCP remolcado. A) mes de octubre. B) mes de noviembre.

Figura 8. Número de estudios científicos asociados a los lagos en estudio.

Figura 9. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Ranco.

Figura 10. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Ranco.

Figura 11. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Ranco.

Figura 12. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Ranco en otoño de 2015.

Figura 13. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Ranco.

Figura 14. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100972 (E1), 101955 (E2) y estación 3 del lago Ranco.

Figura 15. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Ranco.

Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Ranco.

Figura 17. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A, B y C en el lago Ranco. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Figura 18. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Puyehue, en invierno del 2015.

Figura 19. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Puyehue.

Figura 20. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Ranco.

Figura 21. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Puyehue en otoño de 2015.

Figura 22. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Puyehue.

Figura 23. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones estación 3, 100205 (E1) y 100578 (E2) del lago Puyehue.

Figura 24. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Puyehue.

Figura 25. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox(mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Puyehue.

Figura 26. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A, B y C en el lago Puyehue. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Figura 27. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Rupanco.

Figura 28. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Rupanco.

Figura 29. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Rupanco.

Figura 30. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Rupanco en primavera de 2015.

Figura 31. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Rupanco.

Figura 32. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100625, 101851, 101862, 100522, 100389, 100081 y 101707 del lago Rupanco.

Figura 33. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Rupanco.

Figura 34. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Rupanco.

Figura 35. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2015.

Figura 36. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2015.

Figura 37. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio en el lago Llanquihue en invierno (agosto del 2015), segunda campaña.

Figura 38. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en agosto del 2015.

Figura 39. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en agosto del 2015.

Figura 40. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio en el lago Llanquihue en Verano (enero y febrero del 2016), tercera campaña.

Figura 41. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2016.

Figura 42. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2016.

Figura 43. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Llanquihue en invierno de 2015.

Figura 44. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Llanquihue, en invierno del 2015.

Figura 45. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Llanquihue en verano de 2016.

Figura 46. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Llanquihue, en verano del 2016.

Figura 47. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios en estudio del lago Chapo.

Figura 48. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Chapo.

Figura 49. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Chapo.

Figura 50. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Chapo en primavera temprana de 2015.

Figura 51. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Chapo.

Figura 52. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 101278, 100678, 101332, 100394 y 101291 del lago Chapo.

Figura 53. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Chapo.

Figura 54. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Chapo.

Figura 55. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Popetán.

Figura 56. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Popetán.

Figura 57. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Popetán.

Figura 58. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Popetán.

Figura 59. Concentraciones de COD en columna de agua del lago Popetán.

Figura 60. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 1 y 2 del lago Popetán.

Figura 61. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Popetán.

Figura 62. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Popetán.

Figura 63. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo estudiado en el lago Popetán. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (5 m).

Figura 64. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Popetán.

Figura 65. Perfiles temperatura (°C), oxígeno (mg/L) y conductividad (µS/Cm) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Cucao.

Figura 66. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Cucao.

Figura 67. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Cucao.

Figura 68. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Cucao.

Figura 69. Concentración de COD en columna de agua del lago Cucao.

Figura 70. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Cucao en verano de 2016.

Figura 71. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Cucao.

Figura 72. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 3, 2 y 1 del lago Cucao.

Figura 73. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Cucao.

Figura 74. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Cucao.

Figura 75. Perfiles temperatura (°C), oxígeno (mg/L) y conductividad (µS/Cm) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Huillinco.

Figura 76. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Huillinco.

Figura 77. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Huillinco.

Figura 78. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Huillinco.

Figura 79. Concentración de COD en columna de agua del lago Huillinco.

Figura 80. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Huillinco en verano de 2016.

Figura 81. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Huillinco.

Figura 82. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100617, 100520, E18, C1, 101212, 100968 y 100616 del lago Huillinco.

Figura 83. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Huillinco.

Figura 84. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Huillinco.

Figura 85. Perfil de Salinidad (psu), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) en ***Llenante*** en: A = transecta longitudinal de los lagos Cucao – Huillinco, y B = transecta latitudinal.

Figura 86. Perfil de Salinidad (psu), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) en ***Vaciante*** en: A = transecta longitudinal de los lagos Cucao – Huillinco, y B = transecta latitudinal.

Figura 87. Perfiles verticales de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para el ADCP instalado en el estrecho ubicado entre el lago Cucao y Huillinco durante Octubre y Noviembre 2015.

Figura 88. Histogramas de dirección y magnitud del viento y rosa de los vientos obtenidos de los registros del mes de Octubre en el lago Cucao.

Figura 89. Temperatura superficial (°C) obtenida con ADCP remolcado en Cucao en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 90. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en estrecho que conecta el lago Cucao con el lago Huillinco en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice B. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 91. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en el lago Huillinco en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 92. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en Cucao en Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 93. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en estrecho que conecta el lago Cucao con el lago Huillinco Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice B. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 94. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en el lago Huillinco en Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

Figura 95. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Tarahuín.

Figura 96. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tarahuín.

Figura 97. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tarahuín.

Figura 98. Caracterización de DOM en columna del lago Tarahuín.

Figura 99. Concentración de DOC en perfil vertical de columna de agua en 100521, lago Tarahuín

Figura 100. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Tarahuín, en primavera de 2016.

Figura 101. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Tarahuín.

Figura 102. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100436 y 100521 del lago Tarahuín.

Figura 103. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Tarahuín.

Figura 104. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Tarahuín.

Figura 105. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Natri.

Figura 106. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Natri.

Figura 107. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Natri.

Figura 108. Caracterización de DOM en columna de agua del lago Natri.

Figura 109. Concentración de COD en columna de agua del lago Natri.

Figura 110. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Natri, en verano de 2016.

Figura 111. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Natri.

Figura 112. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100437, 100600 y 100427 del lago Natri.

Figura 113. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Natri.

Figura 114. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Natri.

Figura 115. Perfiles físico-químicos (temperatura en °C y oxígeno en mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Tepuhueico.

Figura 116. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tepuhueico.

Figura 117. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tepuhueico.

Figura 118. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Tepuhueico.

Figura 119. Concentración de COD en columna de agua del lago Tepuhueico.

Figura 120. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 1 y 2 del lago Tepuhueico.

Figura 121. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Tepuhueico.

Figura 122. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Tepuhueico.

Figura 123. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo estudiado en el lago Tepuhueico. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (5 m).

Figura 124. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Tepuhueico.

Figura 125. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Yelcho.

Figura 126. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Yelcho.

Figura 127. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Yelcho.

Figura 128. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Yelcho, en verano de 2015.

Figura 129. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Yelcho.

Figura 130. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 101521 y 101522 del lago Yelcho.

Figura 131. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Yelcho.

Figura 132. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Yelcho.

Figura 133. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A y B en el lago Yelcho. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Figura 134. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Yelcho.

Figura 135. Perfiles físico-químicos (temperatura en °C y oxígeno en mg/L) de la columna de agua en los sitios en estudio del lago Riesco en marzo del 2015.

Figura 136. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Riesco.

Figura 137. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Riesco.

Figura 138. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Riesco, en verano de 2015.

Figura 139. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Riesco.

Figura 140. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 110038, 110037 y 110048 del lago Riesco.

Figura 141. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Riesco.

Figura 142. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Riesco.

Figura 143. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A y B en el lago Riesco. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Figura 144. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Riesco en marzo del 2015.

Figura 145. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Ranco.

Figura 145. Análisis de aforos.

Figura 146. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Ranco y sus respectivos usos de suelo.

Figura 147. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Ranco.

Figura 148. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 149. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Ranco.

Figura 150. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Ranco.

Figura 151. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Ranco.

Figura 152. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 153. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

Figura 154. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Puyehue.

Figura 155. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Puyehue y sus respectivos usos de suelo.

Figura 156. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Puyehue.

Figura 157. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 158. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Puyehue.

Figura 159. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Puyehue.

Figura 160. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Puyehue.

Figura 161. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 162. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

Figura 163. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Cucao.

Figura 164. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Cucao y sus respectivos usos de suelo.

Figura 165. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Cucao.

Figura 166. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo

Figura 167. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Cucao.

Figura 168. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Cucao.

Figura 169. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Cucao.

Figura 170. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Rupanco.

Figura 171. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (l/s).

Figura 172. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Rupanco y sus respectivos usos de suelo.

Figura 173. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Rupanco.

Figura 174. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 175. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Rupanco.

Figura 176. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Rupanco.

Figura 177. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Rupanco.

Figura 178. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 179. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

Figura 180. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Llanquihue (Primera Columna: monitoreo enero 2015; segunda columna: monitoreo octubre 2015; tercera columna: monitoreo enero 2016).

Figura 181. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 1.

Figura 182. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 2.

Figura 183. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 3.

Figura 184. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 4.

Figura 185. Comparación de caudales medios mensuales obtenidos mediante los cuatro enfoques.

Figura 186. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

Figura 187. Análisis de aforos.

Figura 188. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Llanquihue y sus respectivos usos de suelo.

Figura 189. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Llanquihue.

Figura 190. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 191. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Llanquihue.

Figura 192. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago LLanquihue.

Figura 193. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Llanquihue.

Figura 194. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 195. Contribución de fósforo total (%) según actividad

Figura 196. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Chapo.

Figura 197. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Chapo y sus respectivos usos de suelo.

Figura 198. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Chapo.

Figura 199. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 200. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Chapo.

Figura 201. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Chapo.

Figura 202. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Chapo.

Figura 203. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 204. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

Figura 205. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Huillinco.

Figura 206. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Huillinco y sus respectivos usos de suelo.

Figura 207. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Huillinco.

Figura 208. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 209. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Huillinco.

Figura 210. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Huillinco.

Figura 211. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Huillinco.

Figura 212. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Tarahuín.

Figura 213. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 214. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Tarahuín.

Figura 215. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Tarahuín.

Figura 216. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Tarahuín.

Figura 217. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Natri.

Figura 218. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Natri y sus respectivos usos de suelo.

Figura 219. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Natri.

Figura 220. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Figura 221. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Natri.

Figura 222. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Natri.

Figura 223. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Natri.

TABLAS

Tabla 1. Límites utilizados para la clasificación del estado trófico de lagos.

Tabla 2. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en el lago Ranco durante otoño de 2015.

Tabla 3. Abundancia de microcrustáceos en el lago Ranco, en otoño de 2015.

Tabla 4. Lago Ranco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 5. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Ranco.

Tabla 6. Densidad celular y abundancia relativa por para los principales grupos de fitoplancton en el lago Puyehue durante invierno de 2015.

Tabla 7. Abundancia de microcrustáceos en el lago Puyehue, en otoño de 2015.

Tabla 8. Lago Puyehue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 9. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Puyehue.

Tabla 10. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Rupanco durante primavera de 2015.

Tabla 11. Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco, en primavera de 2015.

Tabla 12. Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 13. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Llanquihue invierno de 2015.

Tabla 14. Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue, en invierno de 2015.

Tabla 15. Densidad y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton en el lago Llanquihue en verano de 2016.

Tabla 16. Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue, en verano de 2015.

Tabla 17. Densidad celular y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton en el lago Chapo en primavera de 2015.

Tabla 18. Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo, en invierno de 2015.

Tabla 19. Lago Chapo: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 20. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Popetán.

Tabla 21. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Popetán durante verano de 2016.

Tabla 22. Abundancia de microcrustáceos en el lago Popetán en verano de 2015.

Tabla 23. Lago Popetán: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 24. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador para tramo estudiado en el lago Popetán.

Tabla 25. Densidad celular y abundancia relativa para grupos principales de fitoplancton en el lago Cucao durante verano de 2016.

Tabla 26. Abundancia de microcrustáceos en el lago Cucao, en verano de 2016.

Tabla 27. Lago Cucao: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 28. Densidad celular y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton taxa en el lago Huillinco durante verano de 2016.

Tabla 29. Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco, en verano de 2016.

Tabla 30. Lago Huillinco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 31. Composición fitoplanctónica, densidad (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Tarahuín durante primavera de 2015.

Tabla 32. Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuín, en verano de 2016.

Tabla 33. Lago Tarahuín: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de la variable química redox y profundidad (m) del sector. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 34. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Natri durante verano de 2016.

Tabla 35. Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri, en verano de 2016.

Tabla 36. Lago Natri: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 37. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tepuhueico.

Tabla 38. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Tepuhueico.

Tabla 39. Abundancia de microcrustáceos en el lago Tepuhueico, en verano de 2016.

Tabla 40. Lago Tepuhueico: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 41. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador para tramo estudiado en el lago Tepuhueico.

Tabla 42. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la III etapa del proyecto, en el lago Yelcho.

Tabla 43a. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Yelcho durante verano de 2016.

Tabla 43b. Abundancia de microcrustáceos en el lago Yelcho.

Tabla 44. Lago Yelcho: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 45. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Yelcho.

Tabla 46. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la III etapa del proyecto, en el lago Riesco.

Tabla 47. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Riesco durante verano de 2015.

Tabla 48. Abundancia de microcrustáceos en el lago Riesco, verano de 2015.

Tabla 49. Lago Riesco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Tabla 50. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Riesco.

Tabla 51. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la II y III etapa del proyecto, en el lago Ranco.

Tabla 52. Balance hidrológico del lago Ranco.

Tabla 53. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Ranco.

Tabla 54. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Ranco.

Tabla 55. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Ranco.

Tabla 56. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Tabla 57. Contenido de PT en la columna de agua del lago Ranco.

Tabla 58. Balance de Fósforo total calculado para el lago Ranco.

Tabla 59. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Ranco.

Tabla 60. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la II y III etapa del proyecto, en el lago Puyehue.

Tabla 61. Balance hidrológico del lago Puyehue.

Tabla 62. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Puyehue

Tabla 63. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Puyehue.

Tabla 64. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Puyehue.

Tabla 65. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Tabla 66. Contenido de PT en la columna de agua del lago Puyehue.

Tabla 67. Balance de Fósforo total calculado para el lago Puyehue.

Tabla 68. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Puyehue.

Tabla 69. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Cucao.

Tabla 70. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Cucao.

Tabla 71. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Cucao.

Tabla 72. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Cucao.

Tabla 73. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Rupanco.

Tabla 74. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

Tabla 75. Balance hidrológico del lago Rupanco.

Tabla 76. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Rupanco.

Tabla 77. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Rupanco.

Tabla 78. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Rupanco.

Tabla 79. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Tabla 80. Contenido de PT en la columna de agua del lago Rupanco.

Tabla 81. Balance de Fósforo total calculado para el lago Rupanco.

Tabla 82. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Rupanco.

Tabla 83. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Llanquihue.

Tabla 84. Factor de transposición.

Tabla 85. Factor de transposición.

Tabla 86. Factor de transposición.

Tabla 87. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

Tabla 88. Balance hidrológico del lago Llanquihue.

Tabla 89. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Llanquihue.

Tabla 90. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Llanquihue.

Tabla 91. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Llanquihue.

Tabla 92. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Tabla 93. Contenido de PT en la columna de agua del lago Llanquihue.

Tabla 94. Balance de Fósforo total calculado para el lago Llanquihue.

Tabla 95. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Llanquihue.

Tabla 96. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Chapo.

Tabla 97. Balance hidrológico del lago Chapo.

Tabla 98. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Chapo.

Tabla 99. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Chapo.

Tabla 100. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Chapo.

Tabla 101. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Tabla 102. Contenido de PT en la columna de agua del lago Chapo.

Tabla 103. Balance de Fósforo total calculado para el lago Chapo.

Tabla 104. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Chapo.

Tabla 105. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Huillinco.

Tabla 106. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Huillinco.

Tabla 107. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Huillinco.

Tabla 108. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Huillinco.

Tabla 109. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tarahuín.

Tabla 110. Balance hidrológico del lago Tarahuín.

Tabla 111. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Tarahuín.

Tabla 112a. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Tarahuín.

Tabla 112b. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Tarahuín.

Tabla 113. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Natri.

Tabla 114. Balance hidrológico del lago Natri.

Tabla 115. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Natri.

Tabla 116. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Natri.

Tabla 117. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Natri.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas.
Anexo 2. Anexos Fotográficos fitoplancton, zooplancton y muestreos en los lagos.
Anexo 3. Base datos Estado ambiental los lagos, Tercera Etapa, 2015.

Anexo 1. Tablas

Tabla 1. Ubicación geográfica de los lagos considerados en el estudio.

Tabla 2. Caracterización general de los lagos considerados en el estudio.

Tabla 3. Estaciones de muestreo de columna de agua para los ***lagos Araucanos*** en estudio (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo).

Tabla 4. Estaciones de muestreo de columna de agua en ***lagos chilotes*** (Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico).

Tabla 5. Estaciones de muestreo de columna de agua en ***lagos patagónicos*** (Yelcho y Riesco).

Tabla 6. Ubicación de las estaciones de sedimento en ***lagos Araucanos*** **(**Ranco, Puyehue, Rupanco, y Chapo).

Tabla 7. Ubicación de las estaciones de sedimento en ***lagos chilotes*** (Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico).

Tabla 8. Ubicación de las estaciones de sedimento en lagos Patagónicos (Yelcho y Riesco).

Tabla 9. Análisis de correntometría en los *lagos* en estudio (Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán, Yelcho y Riesco).

Tabla 10. Época de muestreo para todos los lagos en estudio.

Tabla 11. Literatura asociada a *los lagos* en estudio.

Tabla 12. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Ranco.

Tabla 13. Composición fitoplanctónica en el lago Ranco.

Tabla 14. Análisis granulométrico. 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.

Tabla 15. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Ranco***. (s/m: sin muestra).

Tabla 16. Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el *lago Ranco* a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Tramo A, B= Tramo B, y C= Tramo C.

Tabla 17. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Puyehue.

Tabla 18. Composición fitoplanctónica en el lago Puyehue.

Tabla 19. Análisis granulométrico. 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.

Tabla 20. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Puyehue***.

Tabla 21. 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= Tramo A, B= Tramo B, C= Tramo C.

Tabla 22. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Rupanco.

Tabla 23. Composición fitoplanctónica en el lago Rupanco.

Tabla 24. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Rupanco. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 25. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) por centro seleccionado en el *lago Rupanco*.

Tabla 26. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en enero del 2015.

Tabla 27. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Agosto del 2015.

Tabla 28. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Enero del 2016.

Tabla 29. Composición fitoplanctónica en el lago Llanquihue, campaña de invierno.

Tabla 30. Composición fitoplanctónica en el lago Llanquihue, campaña de verano.

Tabla 31. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Chapo.

Tabla 32. Composición fitoplanctónica en el lago Chapo.

Tabla 33. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Chapo. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm. (s/m: sin muestras).

Tabla 34. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Chapo*** (s/m: sin muestra).

Tabla 35. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Popetán.

Tabla 36. Composición fitoplanctónica en el lago Popetán.

Tabla 37. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Popetán. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 38. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Popetán*** (s/m: sin muestra).

Tabla 39. Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Popetán*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Tramo A, B= Tramo B.

Tabla 40. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Cucao.

Tabla 41. Composición fitoplanctónica en el lago Cucao.

Tabla 42. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Cucao. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 43. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Cucao*** (s/m: sin muestra).

Tabla 44. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Huillinco.

Tabla 45. Composición fitoplanctónica en el lago Huillinco.

Tabla 46. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Huillinco. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 47. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Huillinco*** (s/m: sin muestra).

Tabla 48. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Tarahuín.

Tabla 49. Composición fitoplanctónica en el lago Tarahuín.

Tabla 50. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las dos estaciones del lago Tarahuín. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 51. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Tarahuín*** (s/m: sin muestra).

Tabla 52. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Natri.

Tabla 53. Composición fitoplanctónica en el lago Natri.

Tabla 54. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Natri. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 55. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Natri*** (s/m: sin muestra).

Tabla 56. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Tepuhueico.

Tabla 57. Composición fitoplanctónica en el lago Tepuhueico.

Tabla 58. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Tepuhueico. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 59. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Tepuhueico*** (s/m: sin muestra).

Tabla 60. Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Tepuhueico*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Tramo A, B= Tramo B.

Tabla 61. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Yelcho.

Tabla 62. Composición fitoplanctónica en el lago Yelcho.

Tabla 63. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Yelcho. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 64. 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 Yelcho***. (s/m: sin muestra).

Tabla 65. Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Yelcho*** a distintas profundidades (m), tiempo (horas), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= tramo A, B= tramo B.

Tabla 66. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Riesco.

Tabla 67. Composición fitoplanctónica en el lago Riesco

Tabla 68. Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Riesco. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Tabla 69. Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Riesco***. (s/m: sin muestra).

Tabla 70. Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Riesco*** a distintas profundidades (m), tiempo (horas), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= tramo A, B= tramo B, C= tramo C.

Tabla 71. Ubicación geográfica de la estación meteorológica instalada en los ***lagos Yelcho*** y ***Riesco*** durante la campaña de monitoreo.

1. OBJETIVOS

1.1. 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.

1.2. 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 lagos Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán y Yelcho de la Región de los Lagos, y el lago Riesco de la Región de Aysén, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua donde se realizan actividades de acuicultura.

3. Realizar una campaña de monitoreo en los lagos Rupanco, Chapo, Natri, Huillinco, y Tarahuín, de la Región de los Lagos, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de viento, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua, donde se realizan actividades de acuicultura.

4. Realizar análisis tendientes a determinar la capacidad de carga para los lagos Ranco, Puyehue y Cucao, considerados en la segunda etapa del proyecto.

5. Entregar modelos validados de capacidad de carga para los lagos Llanquihue, Rupanco, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco de la X Región.

6. Difundir la información generada en el proyecto a través de Seminarios y/o Talleres.

2. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Actualmente la Ley General de Pesca y Acuicultura (LEY Nº 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.

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 Chilotes, y actualmente a los lagos Patagónicos, 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.

El presente estudio (tercera etapa), pretende dar continuidad al proceso de actualización de información ambiental de los lagos iniciado el 2012, con la finalidad de ampliar la información existente con la cual la autoridad podrá establecer exigencias acordes con el estado ambiental de estos cuerpos de agua.

3. 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 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).

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.

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 eutroficación (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 es acelerado y se logran condiciones eutróficas en un lapso significativamente menor. Históricamente para el control y manejo de la eutroficación, 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 eutroficación 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 eutroficación (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 eutroficación 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 ("Floraciones Algales Nocivas") 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 la mortalidad masiva de peces en estados avanzados de eutroficación y un cambio radical en las comunidades de flora y fauna (Boyer et al., 2006; Guo et al., 2009). El detrimento en la calidad de agua que conlleva la eutroficación, 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 soportar 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 dicho concepto, se han desarrollado diversos modelos que permiten estimar la capacidad de carga de ecosistemas lacustres (Dillon & Rigler, 1974). Sin embargo, la mayoría se basan 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 periodo de tiempo, teniendo en cuenta las limitaciones de los factores físicos y ambientales (Riascos *et al*., 2012) e incluyendo aportes de fosforo 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, 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).

Para el manejo de la eutroficación 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 del disco secchi (OCDE, 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 Cyanophycea 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 permite actualizar la información ambiental de los lagos Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo), Chilotes (Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri, Tepuhueico, y Popetán), además de los Patagónicos (Riesco y Yelcho), en los cuales se desarrolla acuicultura, 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.

4. METODOLOGÍA POR OBJETIVO ESPECÍFICO

4.1 Objetivo específico 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.

4.1.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la zona Sur-Austral de Chile (40°- 45°S), específicamente entre las regiones de Los Ríos y de Aysén. En dicha zona se consideraron 13 lagos donde existiera presencia actual o previa de actividad acuícola (Figura 1 y Tabla 1 en ANEXO 1, ver ANEXO 2 fotográfico).

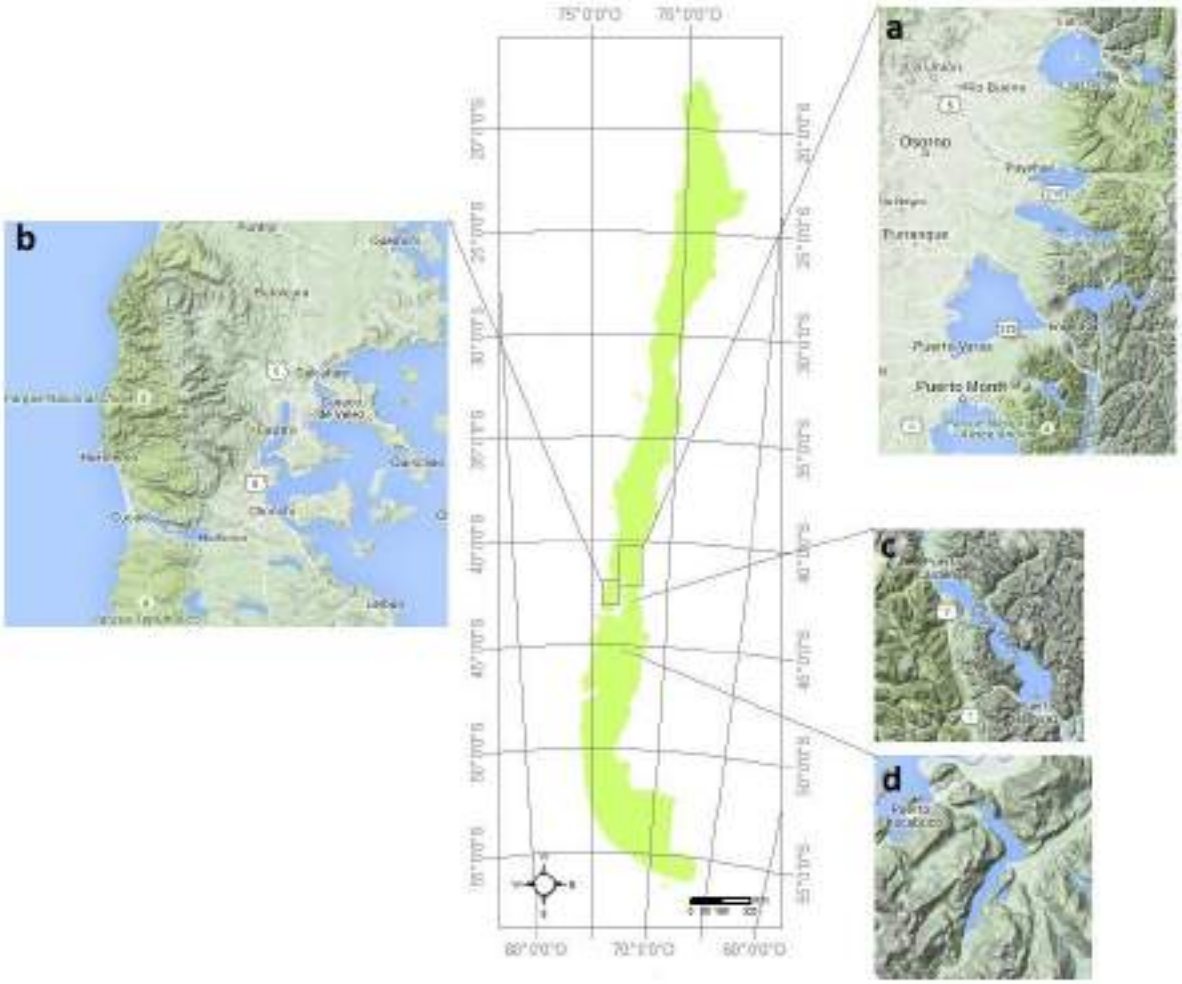


Figura 1. Ubicación geográfica lagos en estudio. a= lagos Araucanos, b= lagos chilotes, c y d= lagos Patagónicos (c= lago Yelcho, d= lago Riesco).

Los lagos considerados se agrupan en 3 grupos. En primer lugar se encuentra un conjunto de lagos denominados Araucanos (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo) (Thomasson, 1963) (Figura 1a), el segundo grupo de lagos ubicados en la Isla de Chiloé, son denominados lagos Chilotes (Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico) (Figura 1b), mientras que el tercer grupo son los lagos Patagónicos, Riesco y Yelcho (Figura 1c y d). Su agrupación no es solo en base a su ubicación geográfica, sino además presentan una serie de diferencias climáticas, geomorfológicas y morfométricas que implican importantes diferencias funcionales (Tabla 2 en ANEXO 1).

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). Los lagos chilotes (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 presentan 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). En el caso de los lagos Patagónicos, el lago Yelcho se sitúa en el paralelo 43°S, mientras que el lago Riesco en el 45°S. El clima de la zona del lago Yelcho es usualmente descrito como un clima templado frío con una mayor presencia de precipitaciones durante la temporada invernal (mayo a julio), con cifras que bordean los 3.000 mm de agua caída anualmente en la capital comunal (Chaitén) y que descienden hacia los valles del interior más protegidos, mientras que la temperatura en promedio no supera los 10 °C y los vientos predominantes provienen desde el oeste. En el lago Riesco, el clima predominante es el marítimo templado-frío y lluvioso, registrándose temperaturas promedio menores a 14°C en el mes más cálido, los mínimos medios invernales no alcanzan a 0ºC, hay más de cuatro meses con temperaturas sobre los 10ºC y las precipitaciones anuales son cercanas a los 2.973 mm, producto de los vientos generados por altas presiones, que provienen principalmente desde el Oeste (Westerlies), cargados de humedad en su largo trayecto oceánico descargan gran parte de ésta en las laderas de barlovento (Intendencia Región Aysén, 1979).

4.1.2 Revisión bibliográfica

Para obtener datos fisicoquímicos y biológicos históricos de agua y sedimento de los lagos, junto con información de las cuencas y usos de suelo de cada sistema lacustre estudiado, se realizó una búsqueda detallada de la literatura que tuviese relación con los lagos considerados en el presente proyecto. La revisión se basó en cuatro fuentes principales de información: 1) Monitoreos constantes realizados por la Dirección General de Aguas (Red Nacional Mínima de Control de Lagos), 2) Estudios técnicos realizados por Universidades, 3) Publicaciones científicas e 4) Informes Ambientales y Sanitarios (INFA) realizados por las empresas y presentados ante la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura. 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. La información recopilada se ordenó por lago y por temática, además se generó una figura del tipo radial que denote en forma más visible el número de estudios por lago.
Para la obtención de información requerida en la modelación de capacidad de carga y balance hidrológico para los lagos en estudio, se realizaron diversas solicitudes de información a fuentes gubernamentales y privados, como son: información sobre caudales de los efluentes (MOP-DGA y

COLBÚN, Ministerio del Medio Ambiente); precipitación (INIA, DGA – MOP); evaporación (INIA, DGA – MOP), RILES (Ministerio del Medio Ambiente, Superintendencia de Servicios Sanitarios); Censo poblacional comunas (Instituto Nacional de Estadísticas); número de turistas por localidad (Servicio Nacional de Turismo); y tablas de producción de acuicultura en lagos (Subsecretaria de Pesca y Acuicultura).

4.2 Objetivo específico 2.

Realizar una campaña de monitoreo en los lagos Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán y Yelcho de la Región de los Lagos, y el lago Riesco de la Región de Aysén, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua donde se realizan actividades de acuicultura.

4.2.1 Selección de época y puntos de muestreo en lagos Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán, Yelcho, y Riesco.

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para los lagos estudiados en la II etapa del Proyecto (Cucao, Ranco, y Puyehue) (Figura 2-3, y Tabla 3-6 en ANEXO 1). Para los lagos incluidos en esta tercera etapa (Tepuhueico, Popetán, Yelcho y Riesco) se usaron los mismos criterios utilizados en las etapas previas para el establecimiento estaciones de muestreo (Tabla 4 y 6-8 en ANEXO 1), metodologías de análisis y toma de muestras.

Inicialmente en los términos técnicos de referencia se consideró estudiar laguna Escondida localizada en la Región de Aysén, luego se procedió a omitir el estudio de este sistema lacustre, ya que la concesión localizada en éste presentó irregularidades en sus registros, por lo cual no ha estado operativa. Lo cual se gestionó mediante el documento ORD N°229 del memorándum N°167 de 2015, emitido por SUBPESCA se eliminaron las estaciones de muestreo de laguna Escondida Región de Aysén y se sumaron estos puntos de muestreo a los establecidos en el TTR para el lago Yelcho.

En cada lago se seleccionaron puntos de muestreo asociados a cada uno de los centro de cultivos (Figura 2-4, y Tabla 3-8 en ANEXO 1), 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. 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.

Previo a la campaña de muestreo, se realizó una solicitud dirigida al Servicio Hidrográfico de la Armada en cumplimiento del Decreto Supremo Nº 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 27 de febrero de 2015 mediante documento

SHOA ORDINARIO Nº 13270/24/163/Vrs., amplía la resolución SHOA ORDINARIO N°13270/24/132 Vrs., de fecha 19 de febrero de 2015.

En el caso del lago Cucao, se realizaron dos campañas más de lo comprometido en el presente proyecto, aumentando además el número de estaciones para las mediciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua, incluyendo también al diseño de muestreo el lago Huillinco. Con los resultados obtenidos en terreno, se realizó una construcción gráfica de secciones verticales en sentido longitudinal y latitudinal (Figura 5). Estas gráficas fueron realizadas mediante interpolaciones del software Ocean Data View 4.5.

Se medió correntometría lagrangeana sólo en los lagos, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán, Yelcho y Riesco, estableciendo transectos ubicados en zonas asociadas a los centros de cultivo y/o a las principales bahías (Tabla 9 en ANEXO 1). La correntometría fue realizada en forma diurna, posicionando los derivadores a primera hora, y retirándolos previo al ocaso. Para la medición de correntometría lagrangiana se utilizaron 4 derivadores implementados con tarjeta GPS (GPSMAP, 78s) a 1 y 15 m de profundidad durante un máximo de 10 horas, los cuales fueron posicionados en dos puntos en cada transecto (Tabla 8 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. También se dispuso de una estación meteorológica que registre la velocidad y dirección del viento en el momento de medición de la correntometría. La estación meteorológica se instaló en el lago en la zona más cercana a la posición inicial de los derivadores lagrangianos (Tabla 71 en ANEXO 1).

En el caso de los lagos Cucao - Huillinco, se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua a través de un anclaje de ADCP RDI 300kHz en el estrecho ubicado entre el lago Huillinco y el Cucao, y se instaló un correntómetro Sontek en el centro del lago Huillinco a 20 m de profundidad, con un intervalo de registro cada 10 minutos. Por último, para complementar la información de las corrientes y evidenciar otros forzantes en la zona de estudio, se instalaron 2 mareógrafos, junto con un sensor de presión atmosférica, y una estación meteorológica. Esta última sólo contó con un periodo corto de medición. El detalle de cada medición se ven en la Figura 6.

Con el fin de determinar la variabilidad transversal del flujo, se hicieron mediciones en tres secciones transversales y longitudinales entre el lago Cucao, el estrecho y el lago Huillinco en los días 9 -10 de octubre y 24 - 25 de noviembre (Figura 7) con un ADCP remolcado. Cabe mencionar que ambas mediciones se efectuaron cerca de sicigia. La toma de datos de corriente se realizó con un perfilador acústico Doppler (ADCP) RDI Workhorse Sentinel de 300 kHz, a través de un sistema de acoplado (mirando hacia abajo) y remolcado al costado de la embarcación, que navegó a una velocidad inferior a 5 nudos. En forma simultánea a las mediciones de corrientes se hicieron registros de la posición geográfica mediante un GPS Garmin 60cx, de este modo los datos de velocidad son posicionados y acomodados en una grilla regular. Para el análisis se efectuó el cálculo de flujo residual, definido como la parte de la corriente que queda después de remover las señales de la marea (Tee, 1977). De esta forma la circulación es atribuida a otros efectos como la descarga de agua dulce, el viento, la batimetría, la

configuración de la costa y las componentes de agua somera, entre otros. Por medio del sensor del ADCP se registró la temperatura superficial al mismo tiempo que las corrientes.

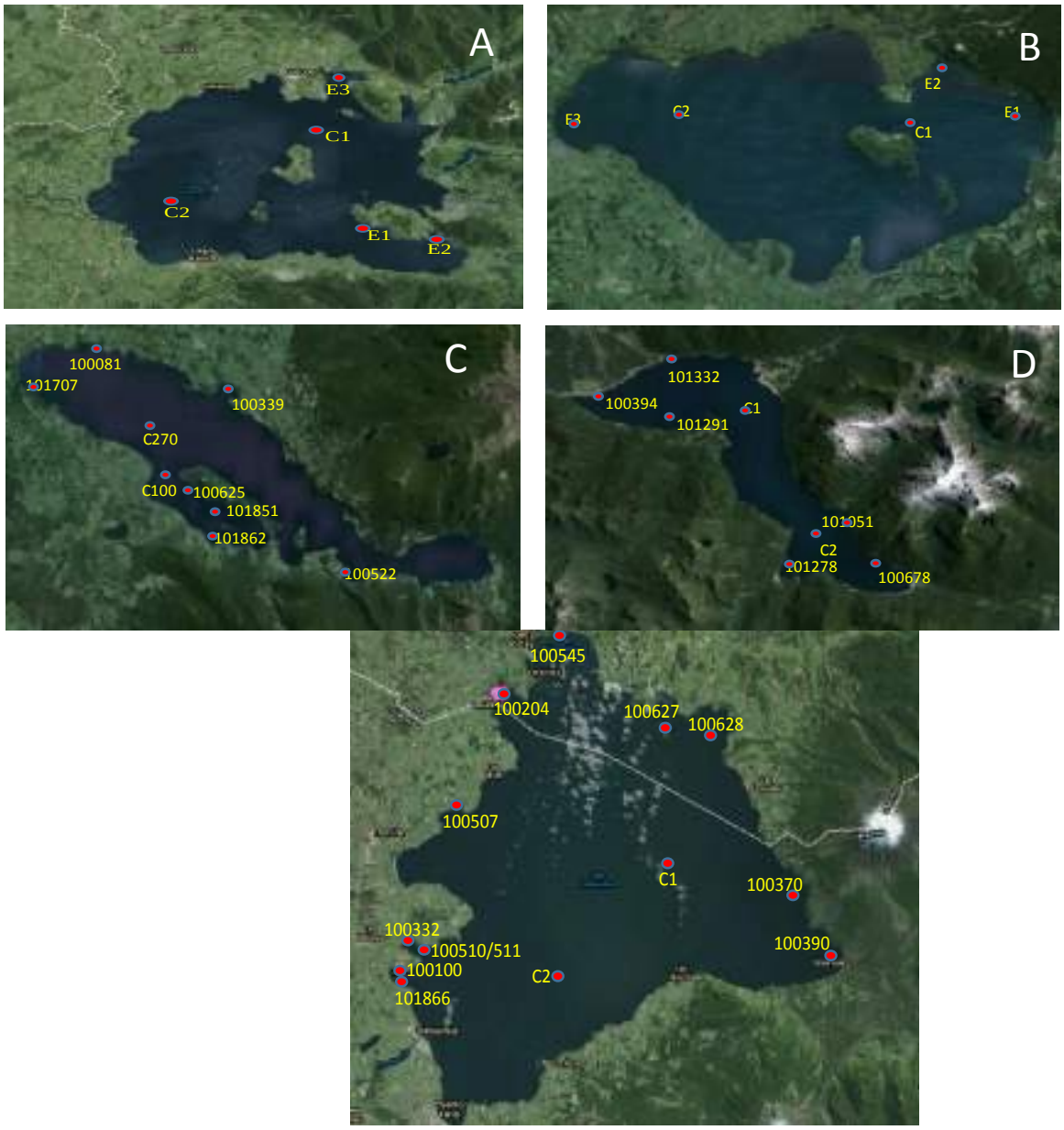


Figura 2. Estaciones de muestreo en los lagos Araucanos en estudio (A= lago Ranco, B= lago Puyehue, C= lago Rupanco, D= lago Chapo, E= lago Llanquihue).

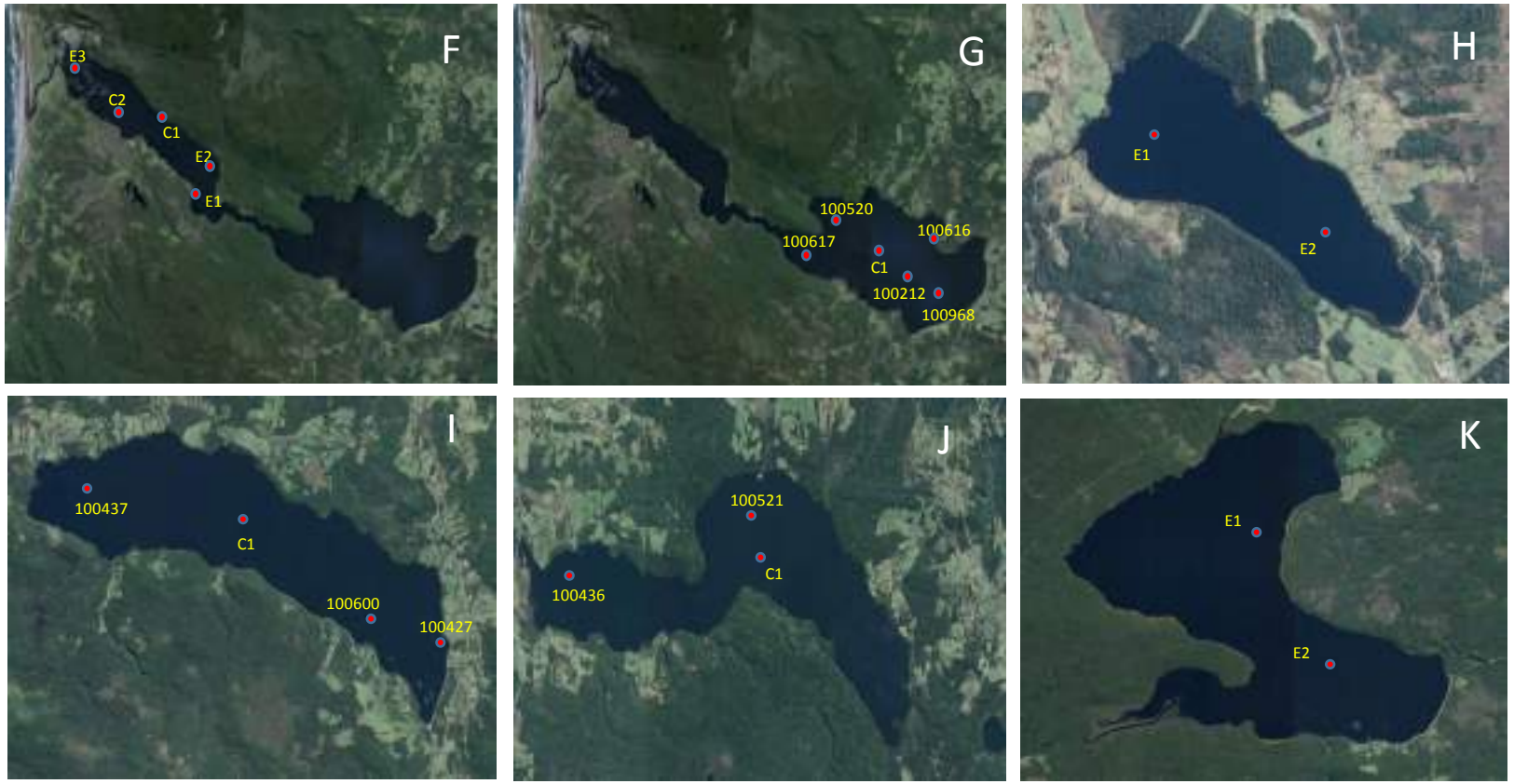


Figura 3. Estaciones de muestreo en los lagos chilotes en estudio (F= lago Cucao, G= lago Huillinco, H= lago Popetán, I= lago Natri, J= lago Tarahuín, K= lago Tepuhueico).

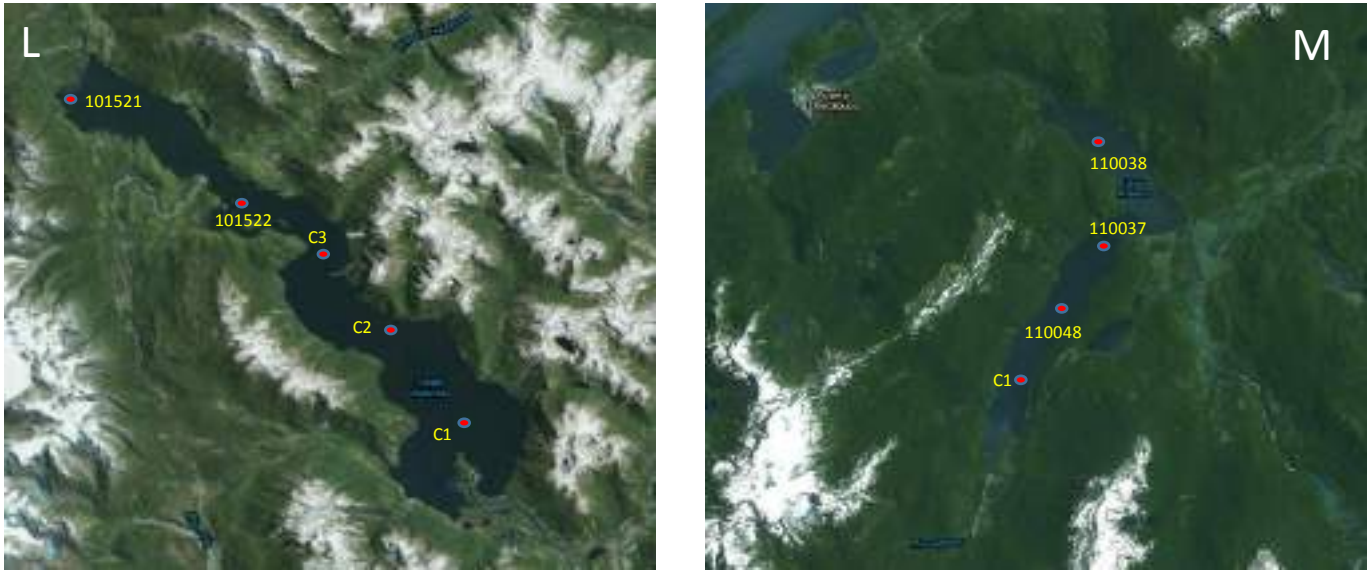


Figura 4. Estaciones de muestreo en los lagos Patagónicos en estudio (L= lago Yelcho, M= lago Riesco).

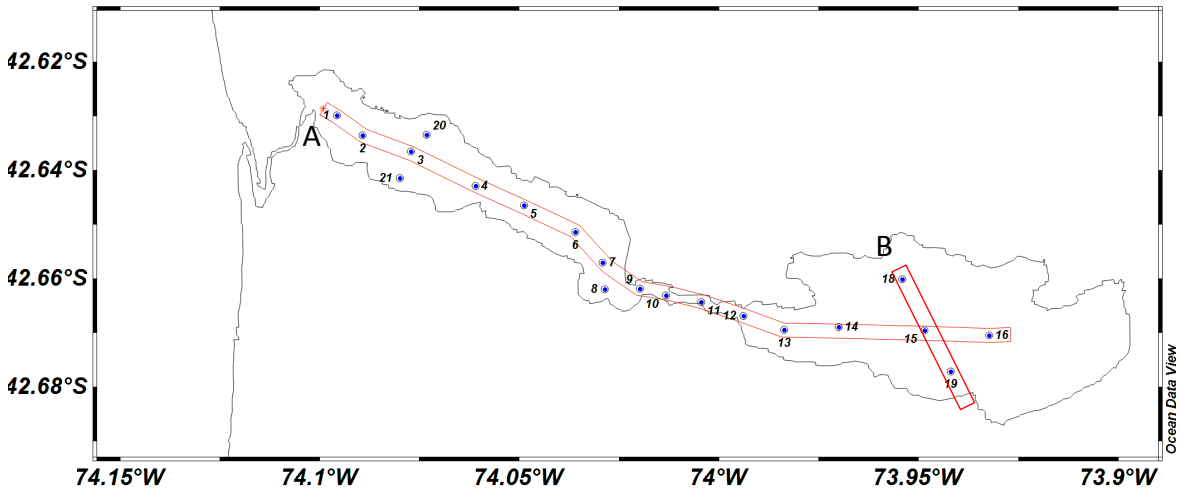


Figura 5. Estaciones de muestreo en los lagos Huillinco – Cucao para obtención de perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua. A= Transecta longitudinal B= Transecta latitudinal.

Figura 6. Ubicación geográfica de los equipos instalados: ADCP y correntómetro (rojo), estación meteorológica (amarillo), mareógrafos (blanco).

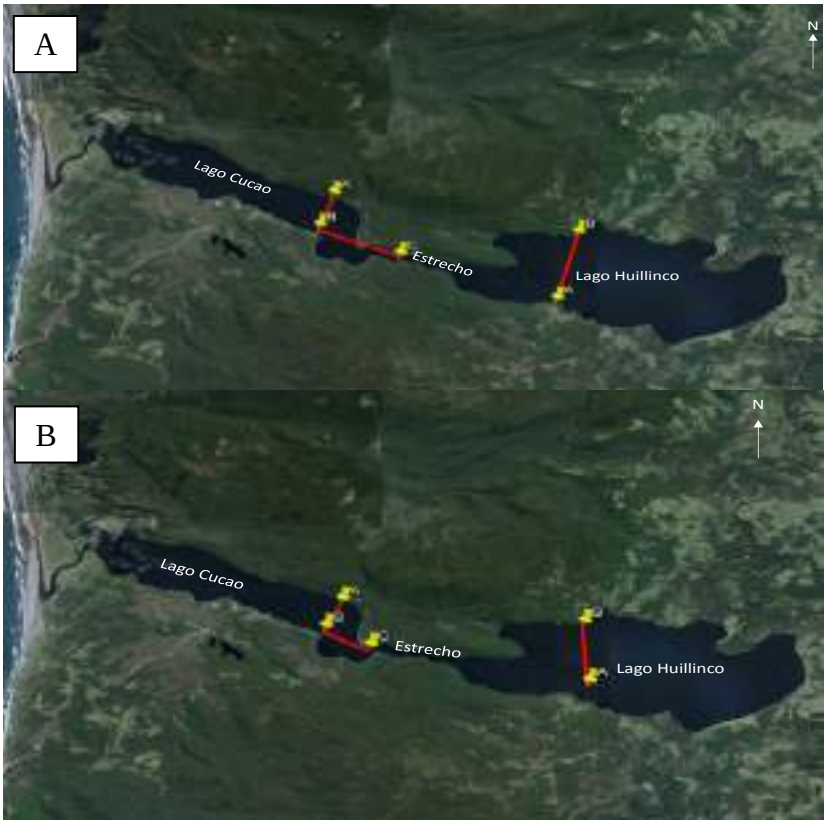


Figura 7. Secciones donde se efectuaron mediciones con ADCP remolcado. A) mes de octubre. B) mes de noviembre.

4.2.2 Variables fisicoquímicas de agua

En cada punto de muestreo de agua se medió la transparencia utilizando el disco secchi y se registraron las variables de pH con una sonda multiparamétrica, y conductividad (µS/cm), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) mediante un CTDO (Tabla 3-4 y 7 en ANEXO 1 (Sea and Sun, CTD75M), 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, posicionándose 2 segundos en cada estrato a medir definidos en la Tabla 3-4 y 7 en ANEXO 1. En el lago Cucao y Huillinco, además de la conductividad, se medió la salinidad.

En los mismos estratos 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^{3-}) mediante la utilización de una botella Niskin (capacidad 5 L). De los cuales se extrajeron 500 ml para el análisis de PT y NT, NH_4^+ y PO_4^{3-}, y fijados con ácido sulfúrico, los que fueron mantenidos a una

temperatura entre 2-6°C. Para los analitos NO_2^- y NO_3^-, se filtraron 250 ml por estrato con un filtro de 0,45 µm, y luego congeladas en botellas plásticas a -20°C.

El análisis de cada analito se realizó mediante las siguientes metodologías: fósforo total a través del Standard Methods 4500 PB4 y E (LD: 0,0004 mg/L); ortofosfato con técnica Standard Methods 4500PE (LD: 0,001mg/L); nitrógeno Kjeldhal con técnica Standard Methods 4500-NH3 D (2005) (LD: 0,01mg/L); nitrito con técnica Standard Methods 4110B (LD: 0,006mg/L); nitrato con técnica Standard Methods 4110B (LD: 0,006mg/L); nitrógeno total con técnica Standard Methods (LD: 0,01mg/L); y nitrógeno amoniacal con técnica Standard Methods 4500-NH3 D (2005) (LD: 0,02mg/L).

En los lagos chilotes, Cucao, Huillinco, Popetán, Tepuhueico, Natri, y Tarahuín, se consideró además el estudio de la cuantificación de carbono orgánico disuelto y la caracterización de materia orgánica disuelta. Este análisis no estaba comprometido en las actividades propuestas inicialmente en este proyecto, 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 estos lagos en particular. Para ello, se describe a continuación la metodología empleada:

Cuantificación de carbono orgánico disuelto (DOC)

Las muestras previamente acidificadas a un pH entre 2-3, se analizaron mediante combustión catalítica de alta temperatura y posterior detección infrarroja por medio de un autoanalizador HighTOC (Elementar Systems) utilizando aire sintético de alta pureza como gas de carga. Los análisis se realizaron a un flujo de aire sintético de 200 ml/min, con inyección de HCl clorhídrico al 0,8% (Merck) a temperatura de combustión de 1050ºC y utilizando agua ultrapura Lichrosolv® (Merck) como línea base referencia y ácido tartárico (Merck) como estándar de referencia para carbono orgánico.

Caracterización de DOM mediante fluorescencia

La espectroscopia de fluorescencia óptica ha sido aplicada para la caracterización de DOM en distintos sistemas límnicos (Baker, 2001; Holbrook *et al*., 2005). La caracterización de DOM utiliza matrices de excitación y emisión (EEM) convirtiéndose en una valiosa herramienta para caracterizar y cuantificar los cambios en la fluorescencia de DOM permitiendo el rastreo de diferentes fracciones en el entorno natural (Cory y McKnight 2005; Hall *et al*., 2005; Stedmon y Markager 2005a; Murphy *et al*. 2006). Previo a los análisis ópticos y fluorométricos de DOM, las muestras se aclimataron a temperatura ambiente (25 ºC). Para la identificación de fluoróforos característicos de los sistemas lacustres se realizó un análisis fluorométrico y óptico de las muestras utilizando un espectro - fluorómetro Varian Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer. Las longitudes de onda que se establecieron para generar la matriz de excitación y emisión (EEM) fueron de 300 a 600 nm (ancho de banda 0.5 nm) para la emisión y de 240 a 450 nm (ancho de banda 5 nm) para la excitación. Posteriormente se realizó una normalización bajo área del peak de Raman (Arp) a base de agua desionizada a una excitación de 350 nm, medida el mismo día que se realizan los análisis ópticos. La normalización Raman y los procedimientos de corrección espectral y de filtro interno, permiten

remover los ruidos de la medición y los efectos en la salida espectral de la fuente luminosa y pequeñas imperfecciones en los componentes en la capacidad del instrumento para transmitir la luz, que son propios para cada instrumento, dando como resultado espectros estandarizados en unidades Raman (R.U.) los cuales son directamente comparables a los espectros medidos y corregidos en otras máquinas. Para la identificación cualitativa y cuantitativa se realizó un análisis de factores paralelos (PARAFAC). PARAFAC descompone el conjunto de matrices en modelos de componentes que representan los grupos fluorescentes. Se utilizaron todas las EMM medidas para proporcionar un conjunto de datos robusto y facilitar el modelado de PARAFAC. Se logró validar un modelo con 4 componentes con el fin de identificar composición cualitativa de DOM en los lagos chilotes en estudio con elevado contenido húmico.

4.2.3 Clorofila a

Para el muestreo de clorofila *a* se utilizó el mismo contenido de la botella Niskin (capacidad 5 L) utilizada en el muestreo para variables fisicoquímicas en las mismas profundidades. Se extrajo 1 L 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 ºC hasta el momento de la extracción con acetona al 90%. Los extractos acetónicos (10 ml) fueron almacenados en oscuridad a 4 ºC 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).

4.2.4 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 (ver ANEXO 2 fotográfico).

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 estuvieron conformadas por muestras integradas de la columna de agua, desde la superficie hasta los 40 m de profundidad. Para ello, se colectaron sub-volúmenes iguales y equidistantes en la columna de agua. De cada lance se tomaron muestras

discretas de 125 ml en superficie, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 m de profundidad, respectivamente. Luego se homogeneizaron todas las sub-muestras en un contenedor, integrándose en 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 Mischke *et al*. (2012), el cual complementa análisis de diversidad florística y método cuantitativo de Utermöl. Para cada estación de muestreo, se analizaron 3 alicuotas de 1 ml de las muestras cualitativas en cámara Sedgewick Rafter obteniendo una diversidad fitoplanctónica inicial. Luego se procedió a realizar el análisis cuantitativo (método de Utermöl), consistente en conteo de la cámara completa de mesofitoplancton bajo aumento (10x), posteriormente se realizaron conteos por transecto con aumento (32x). 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 *et al.* (1982); 2. Chlorophyta (Algas verdes): Parra *et al.* (1982a); 3. Cyanophyceae (Algas verde-azules): Parra *et al.* (1982b) y 4. Chrysophyceae: Parra *et al.* (1982c).

4.2.5 Zooplancton

Para el muestreo de zooplancton, en cada estación de muestreo de columna de agua, se utilizó una red de 80 µm (apertura: 40 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 y se utilizaron las descripciones de Araya & Zuñiga, 1985; Willamson & 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 m^3 de agua filtrada (ver ANEXO 2 fotográfico).

4.2.6 Sedimento

Para el análisis de sedimento se extrajeron muestras en cada punto (n=3) (Tabla 5-6 y 8 en ANEXO 1) mediante la utilización de una draga de cierre hermético con ventanas abatibles (Petit Ponar, Wildco) controlada por un huinche. En las muestras de sedimento se medió *in situ* las variables de temperatura, pH y potencial redox desde los 3 primeros centímetros del sedimento utilizando un multiparamétrico (WTW Multiline 340i electrodo específico). Con la ayuda de una espátula se extrajo

desde una de las ventanas una muestra de sedimento desde los 3 primeros centímetros (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, permitiendo 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 (Ø) con el propósito de realizar la descripción de los datos mediante numeración entera (Folk, 1980), de acuerdo a la siguiente ecuación: Ø= - log2 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 permitieron 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 y selección) para inferir las condiciones asociadas al ambiente de depositación, 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).

4.2.7 Análisis estadístico

Con la data obtenida de las variables biológicas de columna de agua en cada lago, se realizaron análisis de varianza para conocer si existieron diferencias en la distribución espacial dentro de cada lago.

4.3. Objetivo específico 3.

Realizar una campaña de monitoreo en los lagos Rupanco, Chapo, Natri, Huillinco, y Tarahuín, de la Región de los Lagos, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de viento, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua, donde se realizan actividades de acuicultura.

4.3.1 Selección de época y puntos de muestreo en lagos Rupanco, Chapo, Natri, Huillinco y Tarahuín

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para estos lagos, los cuales ya fueron estudiados preliminarmente en la II etapa del Proyecto. Las estaciones de muestreo se presentan en detalle en las Tablas 3-6 en ANEXO 1, además de su época de muestreo en la Tabla 10 en ANEXO 1.

4.3.2 Variables fisicoquímicas de agua

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para estos lagos (Tabla 3-4 en ANEXO 1), los cuales ya fueron estudiados preliminarmente en la II etapa del Proyecto, y cuya metodología ya fue descrita con anterioridad en el objetivo específico 2.

4.3.3 Fitoplancton y Clorofila a

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para estos lagos, los cuales ya fueron estudiados preliminarmente en la II etapa del Proyecto, y cuya metodología ya fue descrita con anterioridad en el objetivo específico 2.

4.3.4 Zooplancton

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para estos lagos, los cuales ya fueron estudiados preliminarmente en la II etapa del Proyecto, y cuya metodología ya fue descrita con anterioridad en el objetivo específico 2.

4.3.5 Sedimento

Se conservó el mismo diseño y estaciones de muestreo para estos lagos (Tabla 5-6 en ANEXO 1), los cuales ya fueron estudiados preliminarmente en la II etapa del Proyecto, y cuya metodología ya fue descrita con anterioridad en el objetivo específico 2.

4.3.6 Análisis estadístico

Con la data obtenida de las variables biológicas de columna de agua en cada lago, se realizaron análisis de varianza para conocer si existieron diferencias en la distribución espacial dentro de cada lago.

4.4 Objetivo específico 4.

Realizar análisis tendientes a determinar la capacidad de carga para los lagos Ranco, Puyehue y Cucao, considerados en la segunda etapa del proyecto.

Para los lagos Araucanos Ranco y Puyehue se utilizó el modelo de capacidad de carga de la OECD (1982), método que fue validado en el taller de Expertos en Limnología, que se realizó el 1 de junio del 2015 en Puerto Montt, una vez finalizada la segunda etapa del proyecto. No obstante, en el caso del lago Cucao perteneciente a los lagos Chilotes, se generó el acuerdo de que para estos lagos considerados altamente vulnerables, no se justifica desarrollar modelos de capacidad de carga, sino más bien, concentrar los estudios en conocer su comportamiento ambiental a través de un balance de nutrientes, además de la incorporación de otras variables de trofía, como por ejemplo la cuantificación de carbono orgánico disuelto y la caracterización de materia orgánica disuelta (metodología ya ha sido descrito con anterioridad en el objetivo 2).

4.4.1 Caracterización de los usos de suelo de las cuencas de los lagos

Para cada lago, con el fin de estimar los aportes de nutrientes desde fuentes difusas, se determinó la superficie de la cuenca ocupada por los distintos usos de suelo mediante la utilización del Censo Vegetacional de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF, 2007) y sus actualizaciones regionales, utilizando el software ArcGis 10.

4.4.2 Balance hidrológico por sistema lacustre

Se realizó una estimación del balance hidrológico anual actualizado para los lagos araucanos considerados en este objetivo, utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

R = entradas ríos y/o esteros
P = Precipitaciones
S = Salidas efluente
Ev = Evaporación del lago
D = Drenaje profundo del lago
ΔL = Variación de la reserva del lago

Primeramente, se calculó y determinó la cuenca hidrográfica de cada lago, 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-cuencas de cada lago. Este análisis raster se vectorizó y geo procesó 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 y 2013), con la cual se generaron análisis espaciales a partir de la definición de cuencas y sub-cuencas para obtener el uso de suelo por cada unidad hidrográfica definida anteriormente, utilizando el software ArcGis 10.

Una vez definidas las subcuencas, el uso de suelo, y las características y series de suelo para cada una de las subcuencas, se estimaron las entradas de agua provenientes de ríos, laderas y pequeños esteros a cada lago 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 y de literatura.

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

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

b) $S = (25400 – 254\ CN)/CN$

Donde,

CN = Curva número (0<CN>100)
CN es igual 100 para suelos impermeables y menor a 100 para suelos naturales.

Se aplicó la CN a las subcuencas definidas por cuenca de lago, considerando el grupo hidrológico de suelo, de acuerdo a sus capacidades de infiltración. El volumen de escorrentía para cada una de las subcuencas con distintos usos de suelo, se obtuvo calculando una CN ponderada para cada subcuenca y luego utilizando las ecuaciones a) y b). La metodología de la CN considera 4 grupos hidrológicos (A, B, C y D) que poseen distintas capacidades de infiltración (Ward y Trimble 2003). En el caso de las cuencas de los lagos en estudio, se consideraron suelos de clase A (con alta capacidad de infiltración), suelo de clase B (con moderada capacidad de infiltración), y suelo D (con nula o escasa capacidad de infiltración). Para una cuenca hecha de varios tipos de suelo y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.

Las precipitaciones se obtuvieron de estaciones meteorológicas de la red Agro meteorológica del INIA cercanas a los lagos o en su defecto de la DGA.

Para determinar la variabilidad estacional de caudales de los efluentes de los lagos Ranco y Puyehue, específicamente en los respectivos desagües, se realizaron las siguientes actividades:

- Generar estadística de caudales medios mensuales para el punto en estudio.
- Validar la estadística mediante un aforo realizado en época de estiaje.
- Analizar la estadística validada, considerando probabilidades de excedencia de 5, 10, 20, 50, 85 y 95%, con gráficos de variación estacional, indicando el tipo de distribución de frecuencia que mejor se ajusta para cada mes.

Para la generación de caudales de los efluentes en el punto de interés de los lagos Ranco y Puyehue, se utilizó la metodología de **transposición de cuencas**, la cual permite generar caudales para cuencas donde no existe información fluviométrica observada, a partir de datos en cuencas con información fluviométrica existente. Esta metodología consiste en determinar un coeficiente o factor de transposición (*FT)*, de acuerdo a las características morfométricas e hidrológicas de las cuencas con información fluviométrica, y multiplicarlo por la estadística existente para generar datos en la cuenca sin información.
El procedimiento utilizado para la generación de caudales se detalla a continuación:

- Selección de una estación fluviométrica que se considere representativa.
- Definición de cuencas hidrológicas, utilizando información de escala 1:50,000, de la estación fluviométrica y del punto de interés (en este caso, desagüe del lago Llanquihue).
- Estimación del área de cada cuenca.
- Estimación de la precipitación efectiva anual de cada cuenca.
- Cálculo del Factor de Transposición *(FT*):

$$F.T. = \frac{(P1 - E1) * Área1}{(P2 - E2) * Área2}$$

Donde:
Área1: Área de drenaje de la cuenca sin datos (Km2)
P1: Precipitación anual de la cuenca sin datos (Km2)
E1: Evapotranspiración anual de la cuenca sin datos (Km2)
Área2: Área de drenaje de la cuenca con datos (Km2)
P2: Precipitación anual de la cuenca con datos (Km2)
E2: Evapotranspiración anual de la cuenca con datos (Km2)

En el caso específico del lago Llanquihue, dado que en este caso toda la información fluviométrica a utilizar está dentro de la cuenca del río Maullín, en un área geográfica relativamente reducida, y considerando que la información meteorológica disponible no permite diferenciar precipitaciones y evapotranspiración para distintos puntos dentro de esta área, el factor de transposición puede determinarse simplemente como:

$$F.T. = \frac{Área1}{Área2}$$

Generación de los caudales en el punto de interés mediante el método de transposición de cuencas:

Donde:
Q1: Caudal generado
Q2: Caudal conocido

$$Q1 = Q2 * F.T.$$

En relación a la evaporación de cada lago, se utilizaron los datos disponibles en la red (Campos *et al*., 1987).

4.4.3 Balance de nutrientes por sistema lacustre

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

El balance de nutrientes se calculó mediante la siguiente ecuación:

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

Donde

[P] :	concentración de fósforo total (P en mg/m³)
V :	volumen lago (m³)
Jint:	aporte fósforo interno (mg/dt)
Jext:	aporte fósforo 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 que ingresa al lago se mezcla completamente,
II. La concentración de fósforo en el flujo de salida es igual a la concentración en el lago,
III. La pérdida de fósforo 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 P total 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 cada cuenca del lago 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 = Lcuencas + LAfluentes + Lprec + LHum**

Donde,

Jext: aporte fósforo externo
Lcuencas: carga fósforo por cuencas
LAfluentes: carga fósforo por ríos afluentes
Lprec: carga fósforo por precipitaciones
LHum: carga fósforo 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 *et al.* 2011, Little *et al*. 2008, Oyarzún *et al*. 2007-2004-1998-1997, Godoy *et al*., 2001, entre otros). Estos índices de exportación de nutrientes, específicamente PT y NT son de acuerdo a los diversos usos que se le esté dando a la tierra, como son: bosque nativo, bosques renovales, praderas (con o sin ganado), agricultura, matorrales, plantaciones, nieve/suelo desnudo, y precipitaciones.

En cuanto a la concentración de fósforo total en las precipitaciones, se utilizaron los valores de concentración de nutrientes según literatura.

La carga de fósforo que aporta la salmonicultura (en balsas jaula) directamente al lago, se determinó realizando un retro cálculo a partir de los datos de producción de peces. Se estimó que cada tonelada de pez producida aportaría 9,3 kg de fósforo al lago (Wang *et al*., 2012) (donde la producción neta = producción bruta – abastecimiento). En consecuencia, el aporte de fósforo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces. Se analizaron las tablas de datos de producción de peces de los informes sectoriales actualizados para el año 2015.

La carga de fósforo total aportada por la población ubicada en la cuenca de los lagos en estudio, se calculó según la metodología de la primera y segunda etapa de este proyecto (misma metodología de Campos, 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 4,1 gr de fósforo total (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, para los lagos con información turística, se consideró un flujo de turistas por un tiempo de residencia de 3-5 días al año.

Los valores de RILES o descargas de actividades antrópicas se obtuvieron de la Superintendencia de Servicios SANITARIOS (SISS), o en su defecto de las declaraciones de Impacto Ambiental.

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

Para la determinación de contenido de fósforo 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	**Plago = [P]geo * Vol**

Donde:

P lago: promedio geométrico de concentración de fósforo en la columna del lago (mg/m³)
Vol: 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 del lago. 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 indicó la distribución de volumen para cada estrato.

c) Determinación de la descarga por el efluente

Se asume, según el modelo de Volllenweider, 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 obtendrá de la DGA, o en su defecto de literatura disponible, la cual fue multiplicado por el promedio de la concentración de fósforo de la columna de agua desde las estaciones control de máxima profundidad.
La ecuación para determinar la descarga por el afluente es la siguiente:

Ecuación 4	**$Lefl = Q_1 * [P]_1 + Q_2 * P_2 + \ldots\ldots + Q_n * P_n$**

Donde:

Lefl: egreso de fósforo (p.e. en kg o ton) por efluente durante un año
Q_n: caudal promedio durante período n (m^3), p.e. un año
$[P]_n$: promedio de concentración de fósforo 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 µg/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 UACH (2013) en la primera parte del proyecto, 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	$\mathbf{Lc = 10\ qs\cdot(1+\sqrt{Tw})}$

Ecuación 6	$\mathbf{Lc = 17\cdot(z\ prom/Tw)^{0,6} * z\ prom^{0,4}}$

Donde:

Lc: carga crítica de fósforo por área del lago por año (mg/m^2*año)
z: profundidad media (volumen/área) del lago (m)
τw: 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 fósforo total (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 (mg/m²/año) = Ptotal * 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/√ Tw))

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

Ecuación 8	**[P]lago = 1,55 [[P]in / (1+√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 una lenta tasa de renovación queda un mayor porcentaje de P retenido en el lago y viceversa. Se citan en literatura diferentes fórmulas para calcular R (Nürnberg, 1998; Ryding & Rast, 1989; 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/ √ 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 P 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)

4.5 Objetivo específico 5.

Modelos de capacidad de carga de los lagos Llanquihue, Rupanco, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco

En el taller de Expertos en Limnología, que se realizó el 1 de junio del 2015 en Puerto Montt, una vez finalizada la segunda etapa del proyecto, se validó el uso del modelo de capacidad de carga propuesto por la OECD (1982) en lagos araucanos. No obstante, en el caso de los lagos chilotes, se generó el acuerdo de que para estos lagos considerados altamente vulnerables, no se justifica desarrollar modelos de capacidad de carga, sino más bien, concentrar los estudios en conocer su comportamiento ambiental a través de un balance de nutrientes, además de la incorporación de otras variables de trofía, como por ejemplo la variable óptica de color y/o materia orgánica disuelta coloreada.

4.5.1 Modelos de capacidad de carga para los lagos Llanquihue, Rupanco y Chapo

a) Balance hídrico y determinación del caudal de desagüe de los lagos

La metodología para determinar el Balance hidrológico ya ha sido descrito en detalle en el Objetivo anterior (Objetivo 4).

Para determinar la variabilidad estacional de caudales de los efluentes de los lagos Llanquihue y Rupanco, específicamente en los respectivos desagües, se realizaron las siguientes actividades:

- Generar estadística de caudales medios mensuales para el punto en estudio.
- Validar la estadística mediante un aforo realizado en época de estiaje.
- Analizar la estadística validada, considerando probabilidades de excedencia de 5, 10, 20, 50, 85 y 95%, con gráficos de variación estacional, indicando el tipo de distribución de frecuencia que mejor se ajusta para cada mes.

Para la generación de caudales de los efluentes en el punto de interés, se utilizó la metodología de **transposición de cuencas**, la cual permite generar caudales para cuencas donde no existe información fluviométrica observada, a partir de datos en cuencas con información fluviométrica existente. Esta metodología consiste en determinar un coeficiente o factor de transposición (*FT)*, de acuerdo a las características morfométricas e hidrológicas de las cuencas con información fluviométrica, y multiplicarlo por la estadística existente para generar datos en la cuenca sin información.

El procedimiento utilizado para la generación de caudales se detalla a continuación:

- Selección de una estación fluviométrica que se considere representativa.
- Definición de cuencas hidrológicas, utilizando información de escala 1:50.000, de la estación fluviométrica y del punto de interés (en este caso, desagüe del lago Llanquihue).
- Estimación del área de cada cuenca.
- Estimación de la precipitación efectiva anual de cada cuenca.

- Cálculo del Factor de Transposición *(FT*):

$$F.T. = \frac{(P1 - E1) * Área1}{(P2 - E2) * Área2}$$

Donde
: Área de drenaje de la cuenca sin datos (Km²)
Área1:
P1: Precipitación anual de la cuenca sin datos (Km²)
E1: Evapotranspiración anual de la cuenca sin datos (Km²)
Área2: Área de drenaje de la cuenca con datos (Km²)
P2: Precipitación anual de la cuenca con datos (Km²)
E2: Evapotranspiración anual de la cuenca con datos (Km²)

En el caso específico del lago Llanquihue, dado que en este caso toda la información fluviométrica a utilizar está dentro de la cuenca del río Maullín, en un área geográfica relativamente reducida, y considerando que la información meteorológica disponible no permite diferenciar precipitaciones y evapotranspiración para distintos puntos dentro de esta área, el factor de transposición puede determinarse simplemente como:

$$F.T. = \frac{Área1}{Área2}$$

Generación de los caudales en el punto de interés mediante el método de transposición de cuencas:

Donde:
Q1: Caudal generado
Q2: Caudal conocido

$$Q1 = Q2 * F.T.$$

Considerando la información disponible, se utilizó el método descrito para comparar la transposición desde la estación 'Río Maullín en Las Quemas' hasta el desagüe del lago Llanquihue. Adicionalmente, se analizó la información medida en el desagüe del lago, para el período 1929-1946.

En el caso del lago Rupanco, dentro de la red de estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas, existe una estación ubicada justamente en el lugar de interés. La estación 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco' cuenta con estadística de caudales medios para el período comprendido entre 1986 y 2015, con algunos meses sin información. Cabe destacar que la estación 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco' cuenta con tecnología satelital que monitorea altura y caudales del río en

forma diaria desde el año 2013. Esta información permitió rellenar la mayor parte de los vacíos existentes en la estadística de caudales medios mensuales.

En el caso del lago Chapo, se obtuvo información de caudales diarios y cotas entregados por la Represa de Canutillar, ubicada en el único desagüe del lago.

b) Balance de nutrientes

Sólo para el caso del lago Llanquihue, se actualizó el balance de nutrientes con información de la concentración de fósforo en 3 estaciones del año. La metodología para determinar el Balance de nutrientes ya ha sido descrito en detalle en el Objetivo anterior (Objetivo 4).

c) Modelo de capacidad de carga crítica y actual

Para calcular la carga crítica y actual de fósforo por lago, se utilizó el modelo desarrollado por la OECD (1982), metodología que ha sido ampliamente detallada en el objetivo anterior (Objetivo 4).

4.5.2. Clasificación de trofía y balance de nutrientes en lagos Araucanos, Chilotes, y Patagónicos.

Para evaluar el estado trófico de los lagos se utilizaron los límites fijados en la Guía de Norma Secundaria (CONAMA, 2005) para los principales parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT, y NT), de acuerdo a la siguiente Tabla:

Tabla 1. Límites utilizados para la clasificación del estado trófico de lagos.

	Ultraoligotrofía	Oligotrofía	Mesotrofía	Eutrofía
Transparencia (m)	> 20	10 - 20	5 - 10	< 5
Fósforo total (µg/L)	< 5	5 - 10	1 - 20	>20
Nitrógeno total (µg/L)	< 60	60 - 250	250 - 400	> 400
Clorofila a	< 1	1 - 3	3 - 10	>10

Según lo recopilado de trabajos asociados a estos lagos chilotes, 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 o sobrepasada. Por ello, se procedió a buscar estimadores de trofía que permitieran complementar la evaluación del

estado trófico/ambiental de estos lagos, por medio de la cuantificación de carbono orgánico disuelto y la caracterización de materia orgánica disuelta, cuya metodología ya fue descrita en el objetivo 2 (numeral 4.2.2).

También, se evaluó el estado trófico histórico de los lagos recopilando información disponible sobre los parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el caso de los lagos araucanos y patagónicos, mientras que en los lagos chilotes se incluyeron además otras variables químicas decidoras de estos lagos en particular, como son el amonio, nitrato y ortofosfato.

4.6 Objetivo específico 6.

Difundir la información generada en el proyecto a través de Seminarios y/o Talleres

4.6.1 Difusión de información a través de seminarios

Los principales resultados de este proyecto serán dados a conocer a la comunidad científica, técnica, administrativa estatal y privada, junto con los usuarios o stakeholders de las cuencas en estudio a través de un seminario de difusión. Este seminario será realizado el último mes de ejecución del proyecto, para junio de 2016 o una vez que el proyecto haya sido aprobado. Para ello se confeccionarán materiales de difusión referentes al proyecto, los que serán difundidos entre el público asistente.

5. RESULTADOS

5.1 Objetivo específico 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.

5.1.1 Revisión Bibliográfica

La cantidad de estudios es restringida y éstos han sido desarrollados particularmente en los últimos 50 años. A partir del análisis bibliográfico se recopilaron 108 informes y artículos científicos (Tabla 11 en ANEXO 1) desarrollados en los lagos en estudio (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue, Chapo, Popetán, Huillinco, Cucao, Tarahuín, Natri, Tepuhueico, Yelcho y Riesco) y sus cuencas. Las investigaciones se iniciaron en 1963 por Thomasson, analizando la composición fitoplanctónica y zooplanctónica de lagos araucanos. La mayoría de los estudios se encuentran centrados en los lagos araucanos (Figura 8), principalmente en el lago Llanquihue con 44 investigaciones, seguido por el lago Puyehue (38) y Rupanco (34). Mientras que en el lago Popetán se han desarrollado un menor número de estudios (5).

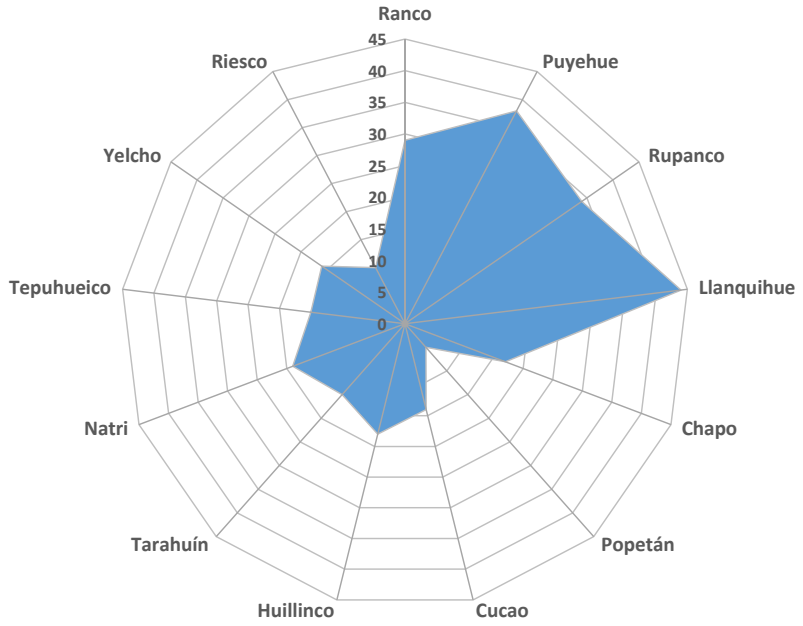


Figura 8. Número de estudios científicos asociados a los lagos en estudio.

Existen detalladas investigaciones de todos los lagos en estudio, realizadas principalmente por Campos *et al*. entre los años 1982 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 en los efectos de la acuicultura, paleolimnología y el componente biológico de estos cuerpos de agua. Sin embargo, se requieren nuevas investigaciones que evalúen las condiciones actuales de estos lagos, considerando a los diferentes actores que influyen en su estado, con información detallada y actualizada, complementado con nuevas herramientas de trabajo e incorporando nuevas aristas

De la información requerida para la modelación de capacidad de carga y balance hidrológico de los lagos en estudio, y que fue solicitada a entidades gubernamentales y privados, se obtuvo información existente de los caudales de los efluentes de lagos (MOP-DGA, COLBUN); precipitación (INIA, DGA – MOP); evaporación (INIA, DGA – MOP), RILES (sólo hasta el año 2012); censo poblacional (INE); número de turistas por localidad (SERNATUR entregó datos en relación a las comunas); y Tablas de producción por centro acuícola (Subsecretaría de pesca y Acuicultura).

5.1.2 Descripción general de lagos

Lagos Araucanos

Los lagos Araucanos (39°S – 41,5°S) (Figura 1a y 2**,** y Tabla 1 en ANEXO 1) tienen un origen fundamentalmente glaciar, definido hace unos 11.000 años (Brüggen, 1950), lo que actualmente son faldeos precordilleranos fueron alguna vez gigantes montañas de hielo glaciar que al avanzar socavaron y pulieron los basamentos rocosos, y tras su retirada, dejaron lo que actualmente se denomina lagos Araucanos. A esto se debe que los lagos sean muy profundos, teniendo entre 100 y 317 m. Las capas superficiales del agua en estos lagos tienden a comportarse de acuerdo a las fluctuaciones de la temperatura ambiental. Así, en invierno los vientos ejercen una dinámica que homogenizan la temperatura del agua (entre 8 y 10°C) desde la superficie hasta el fondo, y en verano, la energía del sol es absorbida en gran parte por los primeros metros de agua formando una termoclina. En general presentan una baja productividad biológica y baja diversidad de especies en comparación con los lagos de otras latitudes con ecosistemas similares. A continuación se realiza una breve descripción por lago Araucano en estudio:

Lago Ranco: Tiene una superficie de 429,6 km² y una cuenca hidrográfica siete veces mayor que la superficie del lago, correspondiente a 3.079,2 km² (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es de 199 m y 122,1 m, respectivamente. Según lo reportado en literatura y a lo obtenido en esta etapa de proyecto el tiempo de renovación varía entre 4 y 6 años. Este lago posee 2 concesiones acuícolas (Tabla 3 en Anexo 1), las que no se encuentran operativas desde el año 2012.

Lago Puyehue: Tiene una superficie de 158,8 km² y una cuenca hidrográfica siete veces mayor que el lago, con 1141,4 km² de superficie (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es de 123 m y 76 m, respectivamente. Su tiempo de renovación, según lo reportado en literatura y a lo obtenido en esta etapa del proyecto, oscila entre 3,4 y 4 años. El lago Puyehue tiene 2 concesiones acuícolas (Tabla 3 en Anexo 1), sin embargo los centros no operaron durante el 2015.

Lago Rupanco: Tiene una superficie de 234,8 km^2 y una cuenca hidrográfica 3,2 veces mayor, correspondiente a 751,5 km² (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es 273 m y 162 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es entre 8,5 y 13 años. Este lago presenta 7 concesiones acuícolas (Tabla 3 en Anexo 1), de las cuales 2 estaban operativas en el transcurso del 2015.

Lago Llanquihue: Tiene una superficie de 870 km^2 y una cuenca hidrográfica con 776,6 km^2 de superficie (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es 317 m y 182 m, respectivamente. Según literatura y lo calculado en las etapas anteriores y la actual de este proyecto, su tiempo de renovación varía entre 49 a 70 años. El lago Llanquihue posee 12 concesiones acuícolas (Tabla 3 en Anexo 1), de los cuales 5 centros poseen información de producción para el año 2015.

Lago Chapo: El lago/embalse Chapo tiene una superficie de 46,1 km^2 y una cuenca hidrográfica seis veces mayor, correspondiente a 274,4 km^2 (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media corresponde a 298 m y 151 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es de entre 3,4 años y 9 años. El lago Chapo posee 6 concesiones acuícolas (Tabla 3 en Anexo 1), de las cuales solo una presentó producción en el transcurso del 2015.

Lagos Chilotes

Corresponden a pequeños ecosistemas lacustres situados en la isla grande de Chiloé (Figura 1b y 3, y Tabla 1 en ANEXO 1), isla que posee la mayor densidad de lagos a lo largo de la cordillera de la Costa. Mayormente son de origen glaciar, y en algunos casos también tectónico (Huillinco-Cucao) (Villalobos *et al*., 2003a). Ésta es una región de clima mediterráneo húmedo con influencia oceánica. Los bosques lluviosos de la isla de Chiloé contienen ensambles de bosques nativos, además de turberas y otras plantas acuáticas parcialmente sumergidas en las zonas bajas inundadas. En comparación con los grandes lagos Araucanos, los de Chiloé son relativamente someros (entre 5 a 58 m de profundidad), y están a poca altura respecto al nivel del mar, con aguas de color café, producto de la gran cantidad de materia orgánica en disolución. En general, los lagos de Chiloé son ligeramente ácidos (pH<7) y los niveles de nutrientes les otorgan el carácter eutrófico. Las características de forma, la poca profundidad, reducido tamaño y, por ende, pequeños volúmenes de agua, hacen que la mayoría de los lagos de Chiloé no se estratifiquen térmicamente, y por ende, frente a una fertilización forzada un evento hipóxico podría afectar a toda la columna de agua y a los organismos que en ella habitan. De distinta forma se comportan los lagos Huillinco y Cucao, que

presentan una fuerte influencia oceánica, estratificándose químicamente la columna de agua, con una fuerte tendencia a un aumento de salinidad en profundidad. A continuación se realiza una breve descripción por lago en estudio:

Lago Popetán: Se ubica en el noreste de la Isla Grande de Chiloé, a unos 8 km al sur de Quemchi. Es un lago distrófico y de un tamaño muy reducido, tiene una superficie de solo 1,7 km² y una cuenca hidrográfica 12,8 veces mayor al lago, correspondiente a 21,3 km² (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es solamente 17,4 y 8,1 m, respectivamente. Su tiempo de renovación calculado es de 0,2 años aproximadamente. Este lago posee un concesión acuícola (Tabla 3 en Anexo 1), que no se encuentra activa desde el año 2010.

Lago Cucao: Es un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas (Villalobos *et al*. 2003a). Además es un lago meromíctico (no mezcla completamente) con una estratificación química bajo 7-14 m de profundidad donde se ubica el monimolímnion anóxico (Villalobos *et al*. 2003a). Tiene una superficie de 10,4 km² y una cuenca hidrográfica 3,7 veces mayor, con 39 km² de superficie (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es de solo 25 m y 12 m, respectivamente. Su tiempo de renovación se calculó en 0,062 años (22,6 días). El lago Cucao tiene una concesión acuícola (Tabla 3 en Anexo 1), concesión que no se encuentra en funcionamiento desde el año 2009.

Lago Huillinco: Considerado un lago distrófico-mixotrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas (Villalobos *et al*. 2003a). 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 monimolímnion anóxico (Villalobos *et al*. 2003a). Tiene una superficie de 18,6 km² y una cuenca hidrográfica 27,4 veces mayor (Tabla 2 Anexo 1). Su profundidad máxima y media corresponde a 47 m y 20,7 m, respectivamente. Su tiempo de renovación se estimó en 0,2 años. Este lago posee 5 concesiones (Tabla 3 en Anexo 1), las que no están activas desde el año 2013.

Lago Tarahuín: Es un lago distrófico, con una superficie de 7,9 km² y una cuenca hidrográfica 7,3 veces mayor (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es de tan solo 33 m y 22,2 m, respectivamente. Su tiempo de renovación es de 2,7 años. El lago Tarahuín tiene 2 concesiones (Tabla 3 en Anexo1), las que no están en funcionamiento desde el año 2013.

Lago Natri: Corresponde a un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas (Villalobos *et al*. 2003a). El lago Natri es un lago pequeño, con 7,8 km^2 de superficie y está emplazado en una cuenca hidrográfica once veces mayor, con 86,6 km^2 de superficie (Tabla 2 en anexo 1). Su profundidad máxima y media es 58 m y 35 m, respectivamente. El tiempo de renovación del lago Natri es de 3,5 años. Este lago posee tres concesiones (Tabla 3 en Anexo 1), los que no presentaron producción en el transcurso del año 2015.

Lago Tepuhueico: Tiene una superficie de 14,3 km² y una cuenca hidrográfica 11,2 veces mayor que la superficie del lago (Tabla 2 en Anexo 1). Su profundidad máxima y media es de tan solo 25 m

y 9 m, respectivamente. El tiempo de renovación calculado para el lago Tepuhueico es 0,2 años aproximadamente. Este lago tiene una concesión acuícola (Tabla 3 en Anexo 1), la que no se encuentra en funcionamiento desde el año 2009. Por sus características morfológicas (tamaño, profundidad) este lago, como todos los lagos de la Isla grande de Chiloé, tiene un hipolimnion reducido en comparación con el epilimnion que convierte el lago en un cuerpo frágil frente al aumento de trofía y consecuentemente al consumo de oxígeno en el hipolimnion (Villalobos *et al*. 2003a).

Lagos Patagónicos

Localizados en la vertiente occidental de la cordillera Patagónica Andina (Figura 1c-d y 4, y Tabla 1 en ANEXO 1), las cuencas de los lagos Riesco y Yelcho forman parte de la zona hidrográfica denominada por Niemeyer y Cereceda (1984) como cuencas Patagónicas de Ríos Caudalosos Trasandinos. Con más de una veintena de lagos grandes y pequeños, los lagos Riesco (denominados dentro del grupo de los lagos Sur-patagónicos) y Yelcho (correspondientes a los lagos Nor-patagónicos) se destacan por su gran parecido al conjunto de los lagos Araucanos. Se caracterizan por ser lagos profundos y poseen una cubeta en forma de "U" o "V". Por sus bajas temperaturas y escasa cantidad de nutrientes, estos lagos resultan poco productivos (oligotróficos). Como la zona litoral sólo representa una mínima porción del total de su superficie y las costas suelen ser abruptas, la vegetación acuática queda restringida a un delgado anillo costero, que normalmente es inexistente en sectores sometidos a un fuerte oleaje. A continuación se realiza una breve descripción para los lagos Patagónicos en estudio:

Lago Yelcho: Este lago forma parte de la hoya hidrográfica del río Futaleufú. El lago presenta una superficie de 120,9 km² y una cuenca hidrográfica 17,4 veces mayor (Tabla 2 en Anexo 1). La profundidad máxima y media del lago Yelcho es de 238 m y 110 m, respectivamente. Su volumen es 13,3 km³, y el tiempo de renovación es 0,5 años aproximadamente. La región presenta un clima templado-lluvioso con influencia oceánica (Prado *et al*., 1999). Es un lago templado, con aguas poco transparentes y con estratificación térmica estival y mezcla completa durante los meses de invierno (Prado *et al*., 1999). Los valores máximos de nutrientes registrados en la columna de agua lo indican como mesotrófico (WWF, 2010). Con nivel intermedio de productividad primaria producto de la presencia de nutrientes, aunque Soto (2002) lo menciona como oligotrófico de baja transparencia y señala que las concentraciones de clorofila a registran un patrón anual característico, presentando una mínima en febrero y una máxima en abril. El lago Yelcho presenta dos concesiones (Tabla 3 en Anexo 1), las que no se encuentran en funcionamiento desde año 2013.

Lago Riesco: Este lago pertenece a la hoya hidrográfica del río Aysén, y tiene un área de 14,7 km², y profundidad máxima de 130 m (Tabla 2 en Anexo 1). Está ubicado en el extremo norte de la Patagonia andina, a 29 m sobre el nivel del mar, emplazado en un valle que fue remodelado durante la última glaciación. Su cuenca hidrográfica posee un clima templado lluvioso con una leve influencia oceánica (Geller *et al*., 1992); tiene un área de 315,4 km² compuesta por 22 subcuencas, de las

cuales la más importante corresponde al río Cóndor (71% área total) (WWF, 2010). El lago Riesco tiene forma de fiordo, más largo que ancho y con un desarrollo sinuoso de la línea costera. Está compuesto por dos brazos cuyas profundidades máximas son 120 y 90 m (Campos *et al*., 1999). Es un lago oligotrófico, muy transparente, profundo y monomíctico, es decir, presenta una estratificación térmica estival y mezcla completa invernal (Campos *et al*., 1999). El lago Riesco posee tres concesiones (Tabla 3 en Anexo 1), de las cuales ninguna presentó producción durante el año 2016.

5.2 Objetivo específico 2 y 3.

Realizar una campaña de monitoreo en los lagos Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán y Yelcho de la Región de los Lagos, y el lago Riesco de la Región de Aysén, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua donde se realizan actividades de acuicultura.

Realizar una campaña de monitoreo en los lagos Rupanco, Chapo, Natri, Huillinco, y Tarahuín, de la Región de los Lagos, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de viento, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua, donde se realizan actividades de acuicultura.

5.2.1 Lago Ranco

a) Análisis fisicoquímicos agua

En los sitios muestreados se registraron variaciones de temperatura entre la superficie y el fondo (Figura 9, Tabla 12 en ANEXO 1). Específicamente en las estaciones más profundas (Control 1 y Control 2) se registró termoclina a los 40 m de profundidad, mientras que en los centros con acuicultura (100972, 101955 y E3) la termoclina tendió a debilitarse. En general, la temperatura superficial en todos los sitios de estudios fue de 15°C, disminuyendo a 10,5° C a mayor profundidad. En tanto, la concentración de oxígeno disuelto presentó similar tendencia a lo observado con la temperatura, registrándose aprox. 13 mg/L en superficie y disminuyendo en profundidad, a excepción del sitio E3 en donde el oxígeno aumentó hasta los 35 m, decreciendo luego a los 40 m de profundidad. En general, se observó una columna bien oxigenada, con valores de 8 a 11 mg/l de oxígeno disuelto.

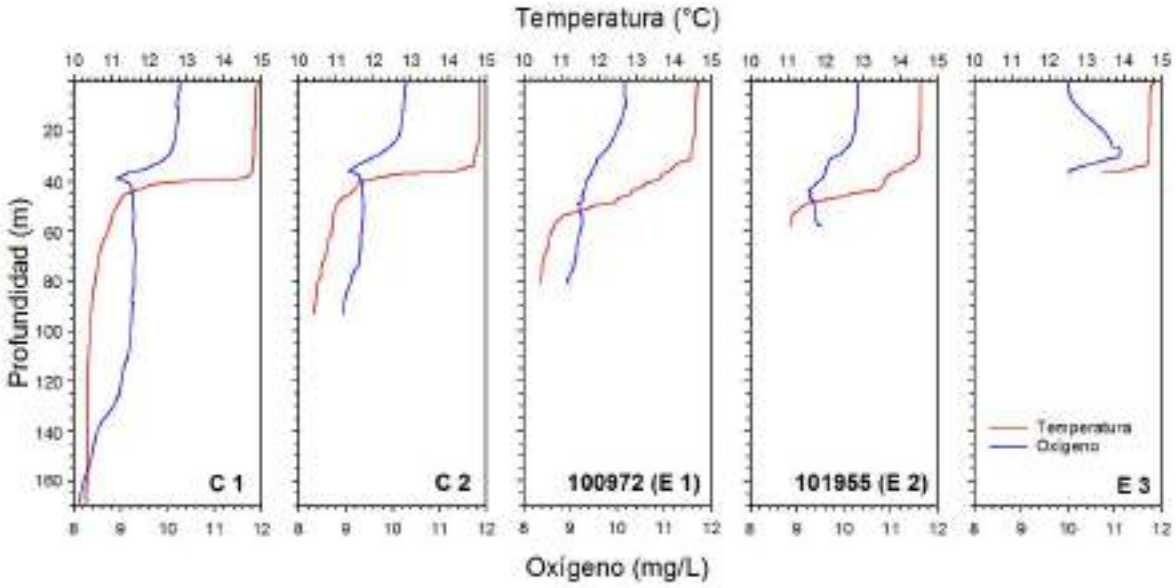


Figura 9. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los centros analizados del lago Ranco.

En las Figuras 10 y 11 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua para cada estación estudiada (Tabla 12 en ANEXO 1). A partir de ello, se visualizan valores de compuestos nitrogenados menores a 100 µg/L. El nitrito tendió a valores cercanos a 1 µg/L y el amonio a valores cercanos a 20 µg/L en la mayoría de las profundidades muestreadas, a excepción de los sitios C1 y 100972 donde el amonio registró valores similares al nitrato. Los valores de fósforo (PT y P-PO_4) fueron en su mayoría menores a 20 µg/L, registrándose una columna de agua homogénea en las estaciones control (C1 y C2). En las estaciones de menor profundidad, se registró un leve aumento de la concentración en profundidad, mientras que en la estación 101955 se registró una mayor concentración en el fondo.

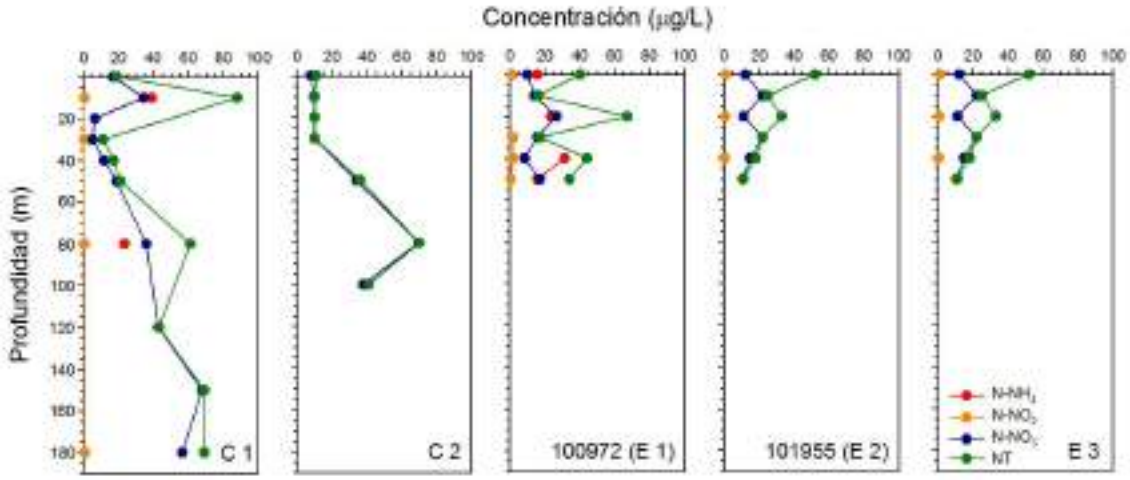


Figura 10. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Ranco.

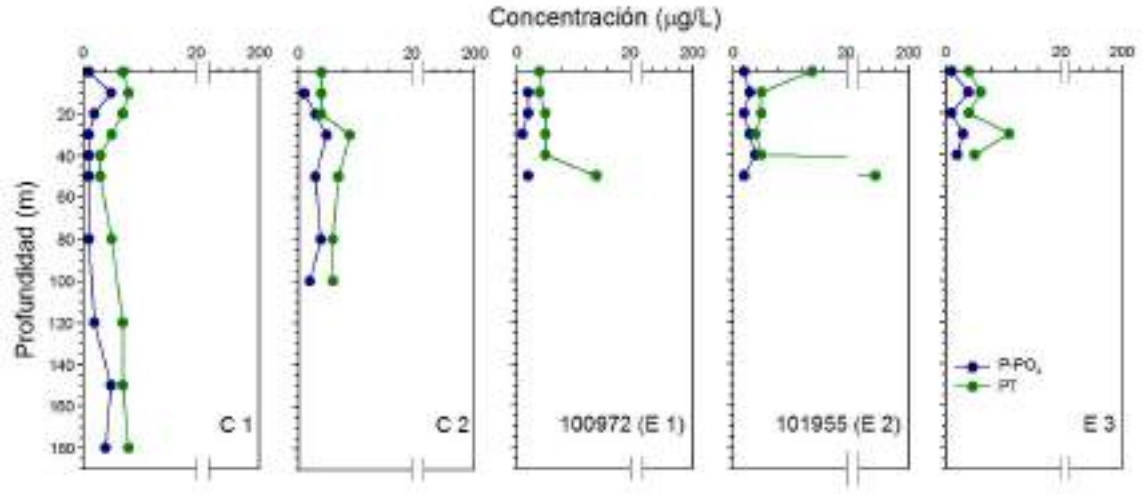


Figura 11. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Ranco.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

En otoño de 2015 la abundancia fitoplanctónica en el lago Ranco se mantuvo en torno a las 50.000 cél L^{-1}, salvo en la estación C2 donde se encontraron solo 20.000 cél L^{-1} (Tabla 2).

Se registró una diversidad florística de 27 taxa (Tabla 2). La riqueza de taxa por estación fluctuó entre 12 y 21, la estación C1 presentó la mayor riqueza. El grupo dominante en este lago fueron las diatomeas, en las estaciones C1 y 101955 las Cianofíceas aportaron con más de 10% de abundancia relativa. Los taxa más representativos de este grupo fueron *Aulacoseira spp* con abundancias relativas entre 69 y 81 % en las estaciones control, en las estaciones restantes se incorporó *Cyclotella spp* con abundancia entre 28 y 47%. El grupo de las Cianobacterias representado por *Dolichospermum sp.* (ex *Anabaena*), se observó en dos de las cinco estaciones con una abundancia relativa ≥ 10% y estuvo ausente solo en la estación C2. De las Clorofícea *Hormidium* spp registró una abundancia relativa con valores significativos entre ≤1% hasta 8%. Con abundancia inferior al 5% se registró *Ceratium hirundinella*. No se encontró *D. geminata* aun cuando este lago se encuentra dentro del área plaga FAN de esta microalga.

Tabla 2. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en el lago Ranco durante otoño de 2015

Lago	**Ranco**				
Estación	**C1**	**C2**	**100972**	**101955**	**E3**
Densidad total (célL-1)	58.110	22.807	49.045	53.986	58.521
Grupo	%	%	%	%	%
Diatomeas	72	86	86	66	89
Crisofíceas	2	3	7	2	0
Clorofíceas	10	7	0	11	7
Cianobacterias	10	0	3	17	2
Criptoficeas	2	0	1	0	0
Euglenoficeas	0	0	0	0	0
Dinoficeas	4	4	2	3	2

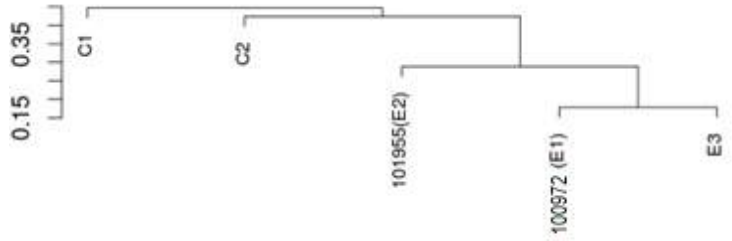


Figura 12. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Ranco en otoño de 2015.

El análisis de conglomerados del fitoplancton en lago Ranco mostró que las estaciones control (C1 y C2) estuvieron separadas de las estaciones asociadas a los centros acuicultura (Figura 12), durante el periodo analizado.

Zooplancton

El lago Ranco presentó una riqueza total de 8 taxas de zooplancton, mayoritariamente crustáceos y un representante de rotífera. Se registraron hembras con huevos en todas las especies de crustáceos maxilipodos, además de estadio nauplius. La densidad zooplanctónica osciló entre 0,69 y 2,43 cél L^{-1} (Tabla 3).

Tabla 3. Abundancia de microcrustáceos en el lago Ranco, en otoño de 2015.

Estación /Taxa	Ranco				
	C1	C2	100972	101955	E3
Crustacea / Maxilopoda					
Boeckella gracilipes	1,25	1,07	0,42	1,09	0,76
hembra con huevos	0,041	0	0	0,001	0,010
Tumeodiaptomus diabolicus	0,45	0,42	0,07	0,16	0,16
hembra con huevos	0,01	0,004	0	0,06	0,04
Mesocyclops longisetus	0,29	0,15	0,04	0,21	0,34
hembra con huevos	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01
Tropocyclops prasinus	0,34	0,26	0,02	0,07	0,40
hembra con huevos	0,003	0	0	0,001	0,003
Nauplius	0	0	0	0,01	0,02
Crustacea/ Brachiopoda					
Daphnia ambigua	0	0	0	0,002	0
Daphnia pulex	0,003	0,004	0	0,003	0,01
Bosmina chilensis	0,01	0,03	0,02	0,04	0,19
Rotifera /Monogononta					
Filinia longiseta	0,02	0,10	0,11	0	0,08
Número total de cél L^{-1}	**2,43**	**2,05**	**0,69**	**1,66**	**2,02**
Riqueza de Taxa	**7**	**7**	**6**	**8**	**8**

Figura 13. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Ranco.

El análisis de conglomerados o cluster del lago Ranco agrupa las estaciones control (C1 y C2) con la 101955, diferenciandose de las E3 y la 100972 (Figura 13).

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Ranco se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías de concesiones de acuicultura, denominadas Centro 100972 (E1), Centro 101955 (E2) y Estación 3. Los resultados del análisis granulométrico muestran que en el Centro 100972 el máximo aporte estuvo dado por la fracción sedimentaria del fango (32%, 42,7%, y 34,4% en las estaciones 1, 2, y 3, respectivamente) (Tabla 14 en ANEXO 1). El menor aporte estuvo representado por sedimento de mayor tamaño. En el Centro 101955, los máximos aportes sedimentarios estuvieron dados por arena media (24,9%) en la estación 1, arena fina (34,6%) en la estación 2, y grava (22,7%) en la estación 3. En la estación 1 y 2, la grava estuvo en menor proporción representada. En el centro 3, la fracción mayormente representada correspondió a sedimento fino (arena fina a fango), registrándose 44% de fango en la estación 3.

El análisis de la fracción textural por centro indicó que el centro 100972 estuvo compuesto mayormente por mezclas de arena-fango, de similar composición que la Estación 3, la cual a su vez presentó escasa o nula presencia de grava. El centro 101955 estuvo compuesto mayormente por mezcla de arena-fango-gravosa, a excepción de una muestra considerada grava-arenosa (Figura 14).

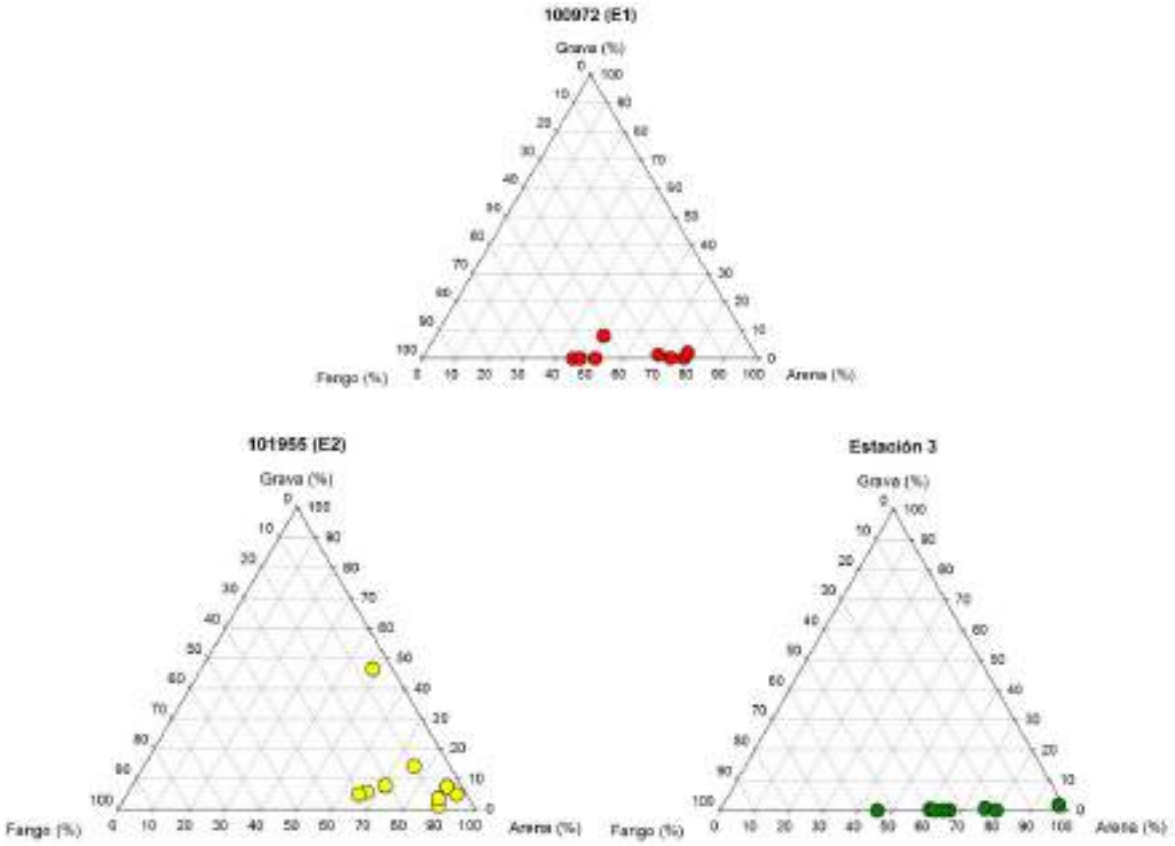


Figura 14. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100972 (E1), 101955 (E2) y estación 3 del lago Ranco.

A partir del análisis textural del sedimento de todas las estaciones muestreadas en el lago Ranco (Figura 15), se observó que el sedimento estuvo compuesto mayormente de arena (entre 40% a 100%) y fango (< 60%), con escasa participación de grava.

En relación a las características de los sedimentos, el tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena muy fina y fina, a excepción de algunas muestras del centro 101955 con arena mediana y gruesa (Tabla 15 en ANEXO 1). De manera general, el grano medio fue más fino en los centros 100972 y Centro 3.

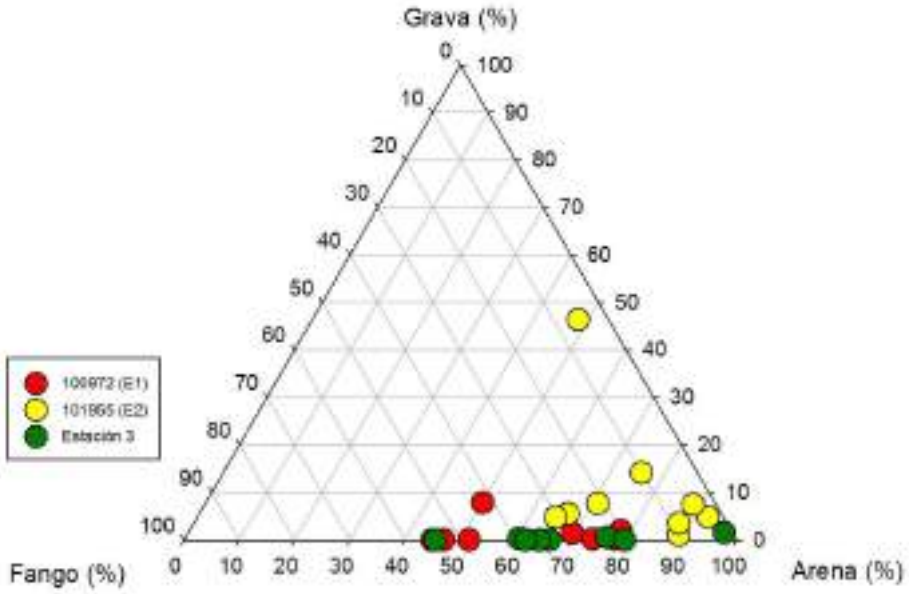


Figura 15. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Ranco.

En tanto los resultados de materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cerca a los centros de acuicultura en el lago Ranco mostraron que las estaciones que presentaron valores mayores a 10% corresponden a: las estaciones 2 y 3 del Centro 100972 (27,7 y 22,3%, respectivamente), y las estaciones 2 y 3 del Centro 3 (16,2 y 16,1%, respectivamente) (Tabla 4 y en la Figura 16).

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

Según los resultados del pH, se observó un pH que tiende a lo ácido en la mayoría de las muestras. Además, los valores registrados se encuentran fuera del límite de aceptabilidad (≥6.8).

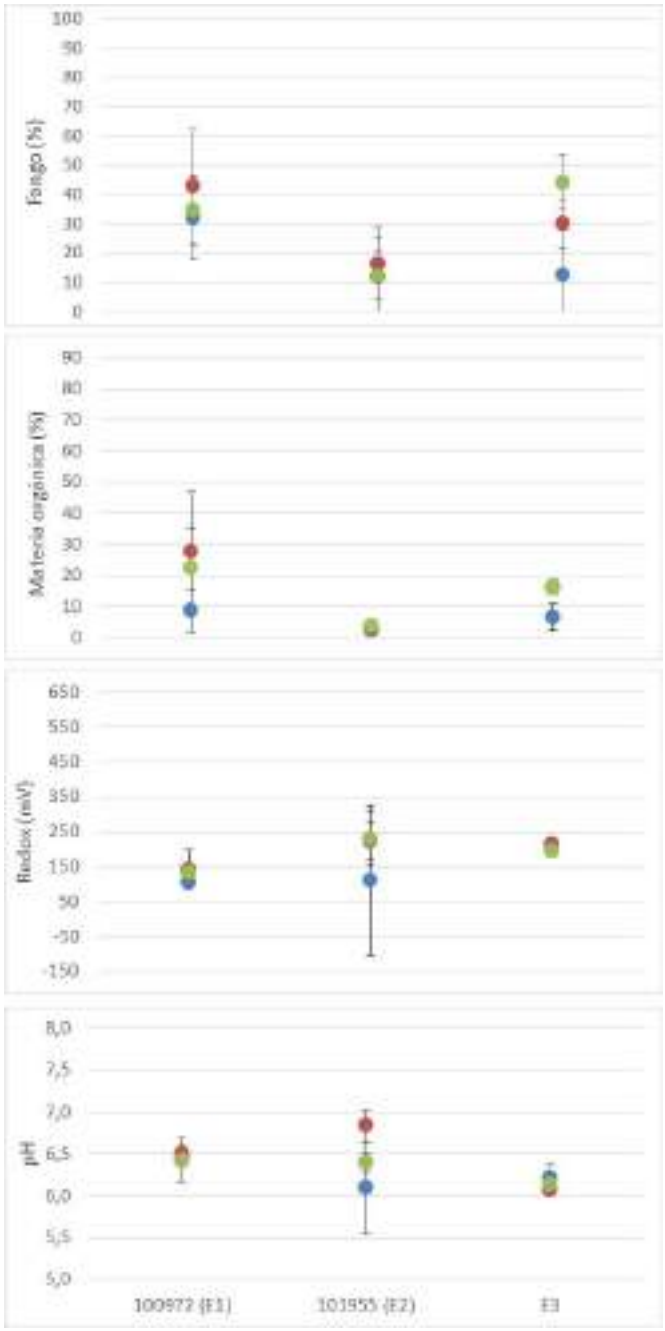


Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Ranco.

Tabla 4. Lago Ranco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	pH
Centro 100972	1	10	8,8	104,0	6,4
	2	10	27,7	144,0	6,5
	3	21	22,2	133,3	6,4
Centro 101955	1	30	2,4	111,0	6,1
	2	15	2,9	225,3	6,8
	3	10	3,5	230,3	6,4
Centro 3	1	12	6,4	210,0	6,2
	2	10	16,1	213,3	6,0
	3	6	16,1	194,6	6,1

d) Correntometría Lagrangeana

Como se aprecia en la Figura 17, las corrientes en el tramo A y B se dirigieron mayormente hacia el este, mientras que en el tramo C su orientación fue hacia el sur (Tabla 16 en ANEXO 1). En el lago Ranco se registraron corrientes promedios de 0,05 m/s, 0,06 m/s, y 0,04 m/s en los tramos A, B, y C. Las velocidades máximas por tramo registradas fueron de 0,25 m/s, 0,22 m/s y 0,39 m/s para los tramos A, B, y C. En general, la velocidad de la corriente fue mayor en superficie que en profundidad (Tabla 5).

Figura 17. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A, B y C en el lago Ranco. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Tabla 5. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Ranco.

Lago Ranco	Tramo A				Tramo B				Tramo C			
	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)
Promedio	0,03	0,02	0,11	0,07	0,05	0,08		0,05	0,05	0,03		
DS	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02		0,05	0,04	0,03		
Máx.	0,25	0,19	0,14	0,19	0,22	0,14		0,33	0,39	0,36		

5.2.2. Lago Puyehue

a) Análisis fisicoquímicos agua

La temperatura superficial en todos los sitios en estudio fue cercana a los 11° C. Si bien, la temperatura disminuyó levemente a mayor profundidad, no se registró formación de termoclina. En los sitios de máxima profundidad (Control 1 y 2) la temperatura registrada fue de 7,1° C en profundidad. La columna de agua en todas las zonas en estudio se mostró bien oxigenada y bastante homogénea, a excepción de la estación Control 2 con valores cercanos a 5 mg/L en profundidad (~ 100 m) (Figura 18, Tabla 17 en ANEXO 1).

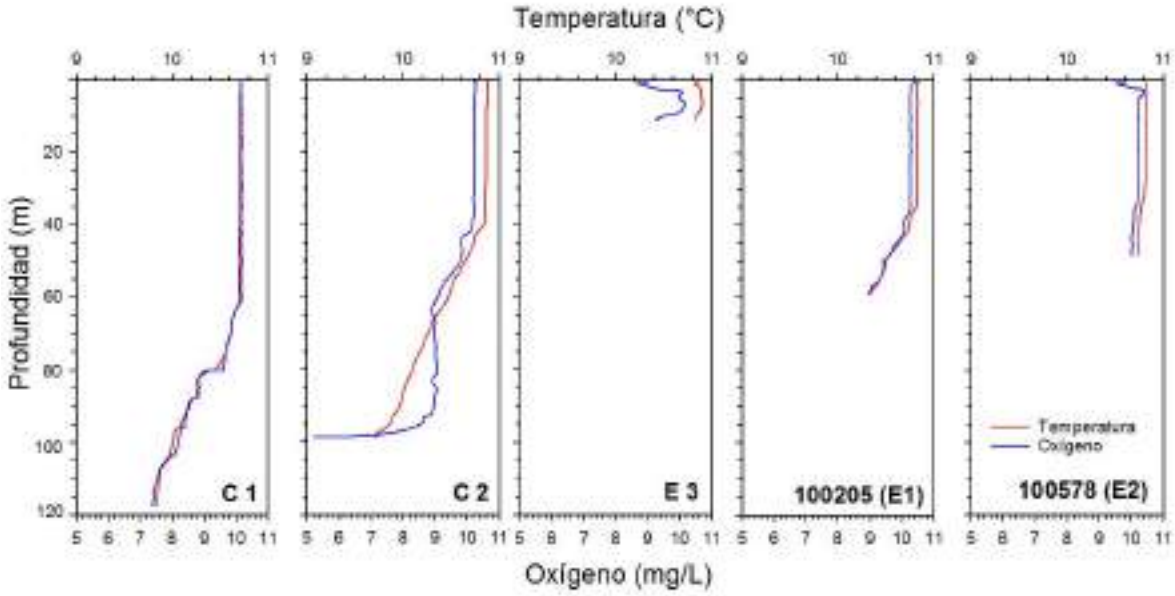


Figura 18. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Puyehue, en invierno del 2015.

En las figuras 19 y 20 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua para cada estación estudiada (Tabla 17 en ANEXO 1). A partir de ello, se visualizan valores de compuestos nitrogenados menores a 200 µg/L. El nitrógeno total, mostró una leve tendencia de aumentar a profundidad, conformándose mayoritariamente por nitrato. Los valores de nitrito tendieron a valores cercanos a 1 µg/L, mientras que el amonio presentó valores homogéneos en la columna de agua (alrededor de 50 µg/L). Los valores de fósforo (PT y P-PO_4) en general fueron menores a 20 µg/L, registrándose homogeneidad del valor en el perfil vertical de la columna de agua en todas las estaciones, a excepción de la estación E3 que registró 110 µg/L de PT a 20 m.

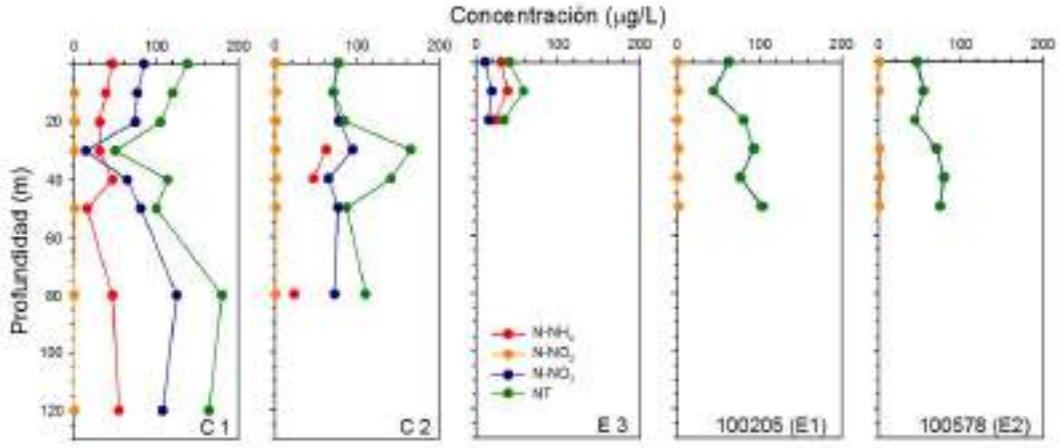


Figura 19. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Puyehue.

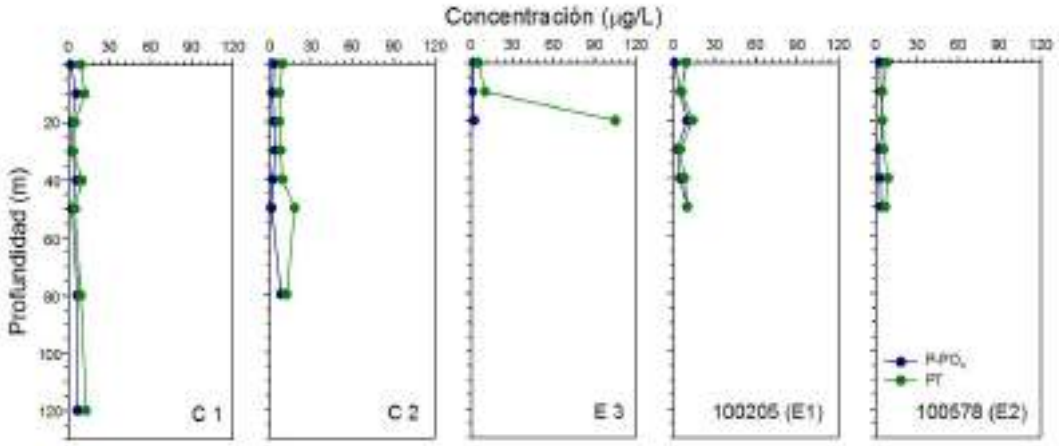


Figura 20. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Puyehue.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La densidad fitoplanctónica fue bastante homogénea dentro de las estaciones de muestreo, alrededor de 28.610 ± 4.048 cél L-1, donde C2 y E3 fueron las más abundantes respectivamente (Tabla 6).

La diversidad florística para el lago Puyehue en invierno de 2015 fue de 21 taxa. Dentro de las estaciones de muestreo se registraron como máximo 15 taxa en la estación E2 y mínimo 8 taxa en la estación C1. El grupo más representativo de la diversidad fitoplanctónica fueron las diatomeas. La especie más abundante y representativa de las estaciones de muestreo fue *Cyclotella spp*, con 56 a 70% de abundancia relativa, *Aulacoseira spp* con 13 a 23 % y *Fragillaria crotonensis* entre un 4% y 18% de abundancia relativa. En baja concentración pero presente en todas las estaciones se registró *Ceratium hirundinella*. No se encontró la microalga plaga FAN *D. geminata* (Tabla 18 Anexo 1).

Tabla 6. Densidad celular y abundancia relativa por para los principales grupos de fitoplancton en el lago Puyehue durante invierno de 2015.

Lago	**Puyehue**				
Estación	**C1**	**C2**	**E3**	**E1**	**E2**
Densidad total (célL-1)	27791	34396	32085	24537	24240
Grupos	%	%	%	%	%
Diatomeas	100	99	99,4	99	99
Cloroficeas	0	0	0	0	0
Criptoficeas	0	0	0,1	0	0
Dinofíceas	0	1	0,4	1	1

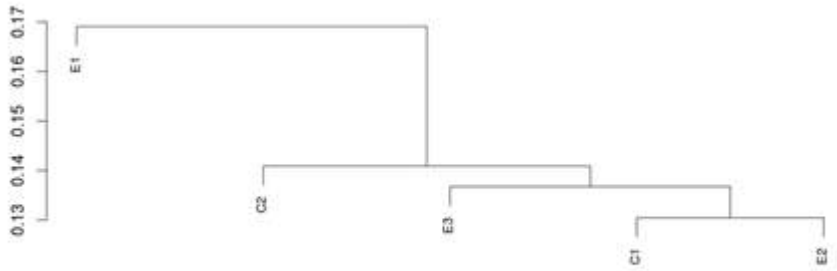


Figura 21. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Puyehue en otoño de 2015.

Según el análisis de conglomerados, la estación E1 (100205) del lago Puyehue parece ser la que más se diferencia de las otras de acuerdo a la composición fitoplanctónica que habita en sus aguas (Figura 21).

Zooplancton

Tabla 7. Abundancia de microcrustáceos en el lago Puyehue, en otoño de 2015.

Estación/Taxa	Puyehue				
	C1	C2	100205	100578	E3
Crustacea / Maxilopoda					
Tumeodiaptomus diabolicus	0,0004	0,01	0,02	0,001	0,11
hembra con huevos	0	0	0	0	0,003
Mesocyclops longisetus	0,02	0,06	0,03	0,01	0,01
Metacyclops mendocinus	0	0,01	0,02	0,01	0,02
Nauplius	0	0	0,01	0,0002	0,04
Crustacea/ Brachiopoda					
Daphnia pulex	0,00	0,02	0,41	0,02	0,03
Bosmina chilensis	0	0	0	0	0,0004
Alona cambuoei	0	0	0	0,0002	0,0004
Chidorus sphaericus	0	0	0,001	0	0
Rotifera /Monogononta					
Filinia longiseta	0,34	0,38	0,07	0,09	0,11
Número total de cél L^{-1}	**0,36**	**0,48**	**0,56**	**0,13**	**0,32**
Riqueza de Taxa	**3**	**5**	**7**	**7**	**8**

En el lago Puyehue durante el otoño de 2015, se registraron 9 taxas de microcrustáceos, mayoritariamente crustáceos y 1 rotífero (Tabla 7). Las abundancias zooplanctónicas fueron bajas, fluctuando entre 0,13 y 0,56 cél L^{-1}.

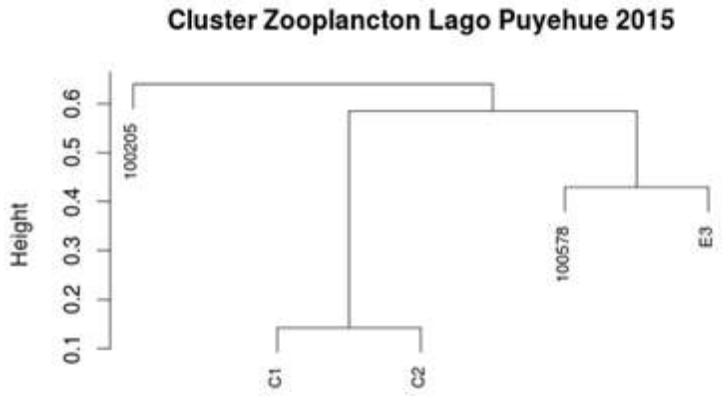


Figura 22. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Puyehue.

El análisis de conglomerados del lago Puyehue indicó 3 agrupaciones de estaciones de acuerdo a su composicion zooplanctónica, diferenciándose claramente los sitios de control (C1 y C2), la 100205 (E1) y las 100578 (E2)-E3 (Figura 22).

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Puyehue se muestrearon 3 bahías cercanas a los centros de cultivo, los que se denominaron Centro 100205, Centro 100578 y Centro 3. De los análisis granulométrico se observó que en el Centro 100205, en la estación 1 el fango predominó (59%), en la estación 2 la arena media y fina (21,8% y 22,2%, respectivamente), y en la estación 3 la grava fue la fracción dominante (30,7%) (Tabla 19 en ANEXO 1). En el Centro 100578, la fracción sedimentaria predominante para la estación 1 fue el fango (36,4%), mientras que en las estaciones 2 y 3 fue la arena fina (32% y 33,2%).

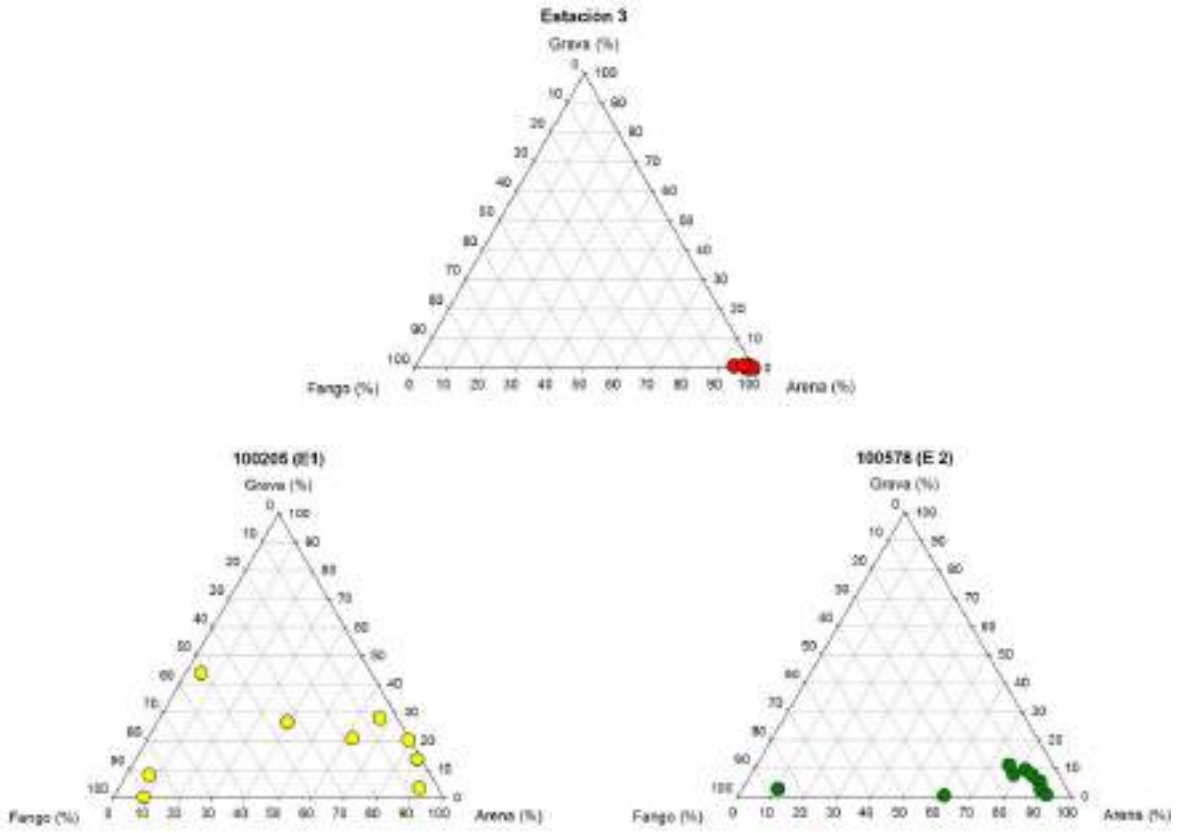


Figura 23. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones estación 3, 100205 (E1) y 100578 (E2) del lago Puyehue.

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 23), se observó en general dominancia de arena en el centro 100205, y en algunos casos predominancia del fango. Se registró menor presencia de grava (< 30%), a excepción de una muestra de la estación 3 con valores cercanos a 40% de grava. En el centro 100578, el sedimento estuvo conformado mayormente por arena (60 a 93%), salvo de una muestra que presentó altos porcentajes de fango (90%), la participación de grava fue escasa en todas las estaciones (< 13%). El centro 3 estuvo compuesto principalmente por arena, con porcentajes de contribución mayores al 90%. La participación de grava o arena fue insignificante o nula.

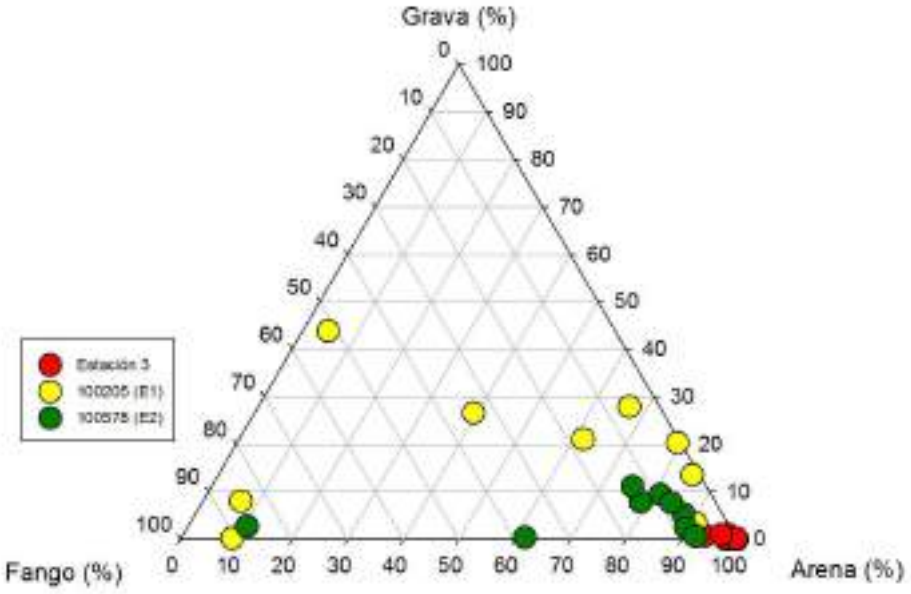


Figura 24. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Puyehue.

Al realizar un análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Puyehue (Figura 24), se observó que en general la arena fue la mayor contribuyente. También se visualizó similitud de la fracción textural en los Centros 3 y Centro 100578, compuestos mayormente por arena. En el caso del Centro 100205, si bien, en general, el sedimento estuvo compuesto principalmente por arena, también se registraron valores altos de fango, con contribuciones mayores al 80%. El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena media y fina (Tabla 20 en ANEXO 1).

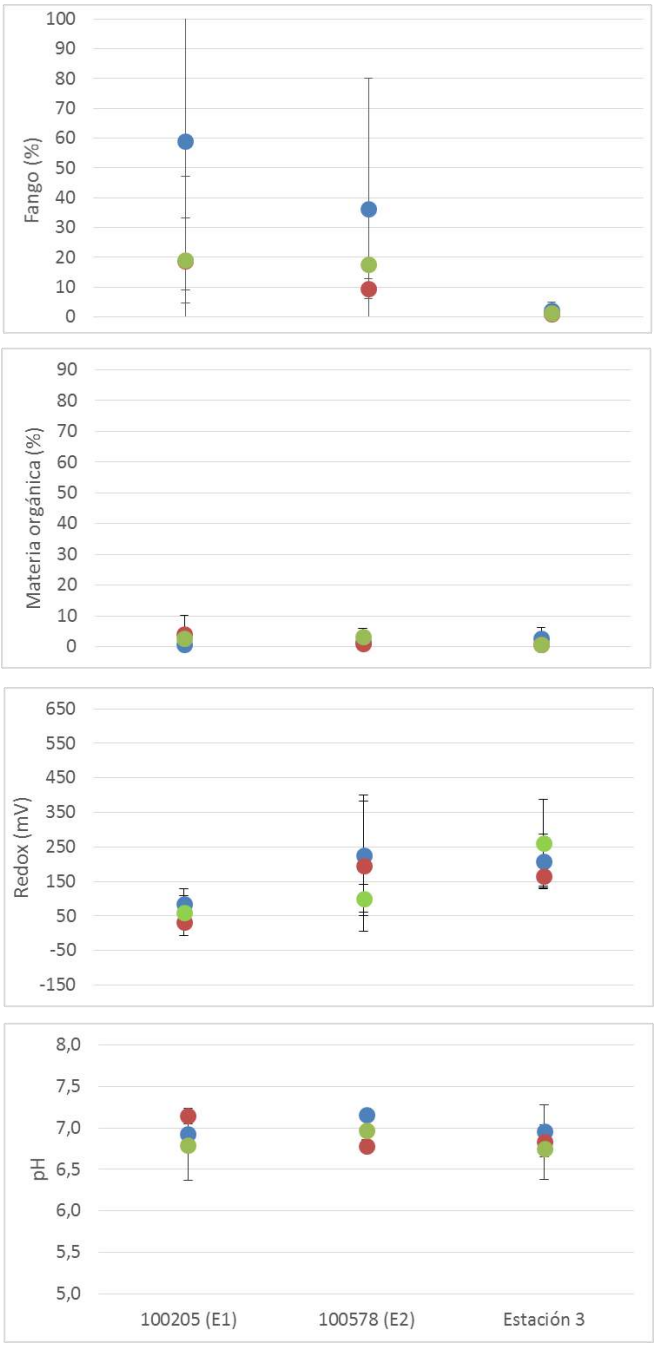


Figura 25. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox(mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Puyehue.

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 8 y en la Figura 25. En relación a los resultados de materia orgánica, todas las estaciones presentaron valores menores a 10%. En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento estuvo sobre el límite de aceptabilidad considerado por las CPS e INFA que fijan valores entre >50 mV y >75 mV, a excepción de la estación 2 del centro 100205 que registró 33 mV. Los valores de pH se encontraron sobre el límite de aceptabilidad considerado por la CPS e INFA (≥ 6,8).

Tabla 8. Lago Puyehue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	pH
Centro 100205	1	12	0,7	83,7	6,9
	2	13	4,0	33,0	7,2
	3	15	2,6	59,7	6,8
Centro 100578	1	22	1,5	225,7	7,2
	2	41	1,0	195,0	6,8
	3	26	3,3	100,7	7,0
Centro 3	1	15	2,6	208,3	7,0
	2	12	0,7	165,7	6,8
	3	15	0,6	261,7	6,8

d) Correntometría Lagrangeana

Como se aprecia en la Figura 26, las corrientes en el tramo B y C se dirigieron mayormente hacia el este, mientras que en el tramo C su orientación fue hacia el nor-oeste (Tabla 21 en ANEXO 1). En el lago Puyehue se registraron corrientes promedios de 0,008 m/s, 0,02 m/s, y 0,03 m/s en los tramos A, B, y C. Las velocidades máximas por tramo registradas fueron de 0,03 m/s, 0,05 m/s y 0,03 m/s para los tramos A, B, y C. En cuanto a las velocidades según profundidad, se observó solamente en el tramo A que la corriente en profundidad es mayor (a 15 m). En el resto de las mediciones, la velocidad de la corriente tiende a ser mayor en superficie (Tabla 9).

Figura 26. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A, B y C en el lago Puyehue. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Tabla 9. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Puyehue.

Lago Puyehue	Tramo A				Tramo B				Tramo C			
	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)
Promedio	0,008	0,01	0,014		0,01	0,008	0,011		0,011	0,011	0,008	
DS	0,007	0,005	0,000		0,012	0,01	0,009		0,009	0,009	0,009	
Máx.	0,03	0,02	0,02		0,04	0,05	0,03		0,03	0,03	0,03	

5.2.3. Lago Rupanco

a) Análisis fisicoquímicos agua

En todos los sitios en estudio, control y con concesiones de acuicultura, se registró una leve disminución de la temperatura a mayor profundidad. En general, la temperatura en superficie fue de 12°C, y en profundidad descendió a 10°C. En relación al oxígeno disuelto, se registraron valores sobre 10 mg/L en superficie, alcanzando valores menores a 5 mg/L en profundidad en los centros 101707, C1, 101851, 100625 (Figura 27, Tabla 22 en ANEXO 1).

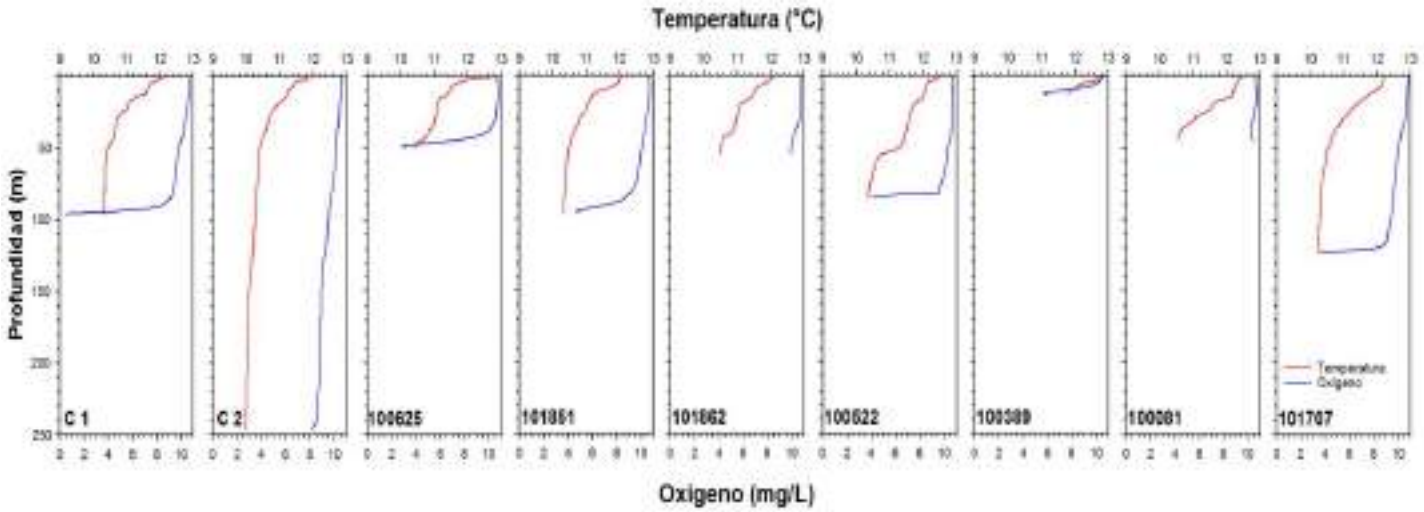


Figura 27. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Rupanco.

En las Figuras 28 y 29 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua para cada estación estudiada (Tabla 22 en ANEXO 1). A partir de ello, se visualizan valores de compuestos nitrogenados menores a 150 µg/L. El nitrógeno total, en general, presentó valores oscilantes en superficie, aumentando levemente a mayor profundidad. Los valores de nitrito detectados fueron menores al límite de detección (<1 µg/L) por lo que no se visualiza en las figuras mencionadas. Los valores de fósforo (PT y P-PO_4) en general fueron menores a 20 µg/L, registrándose homogeneidad del valor en la columna de agua en todas las estaciones, a excepción de la estación 100625 que presentó 90 µg/L de PT a 60 m.

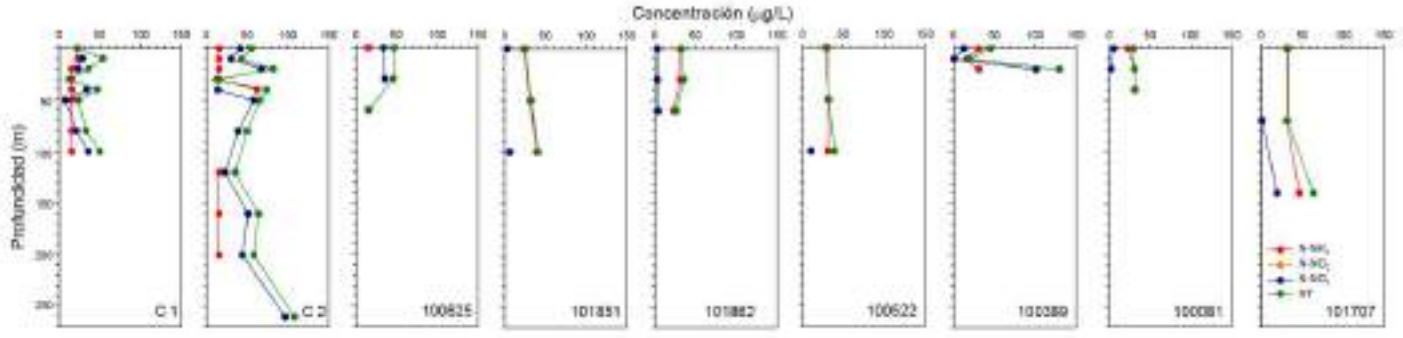


Figura 28. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Rupanco.

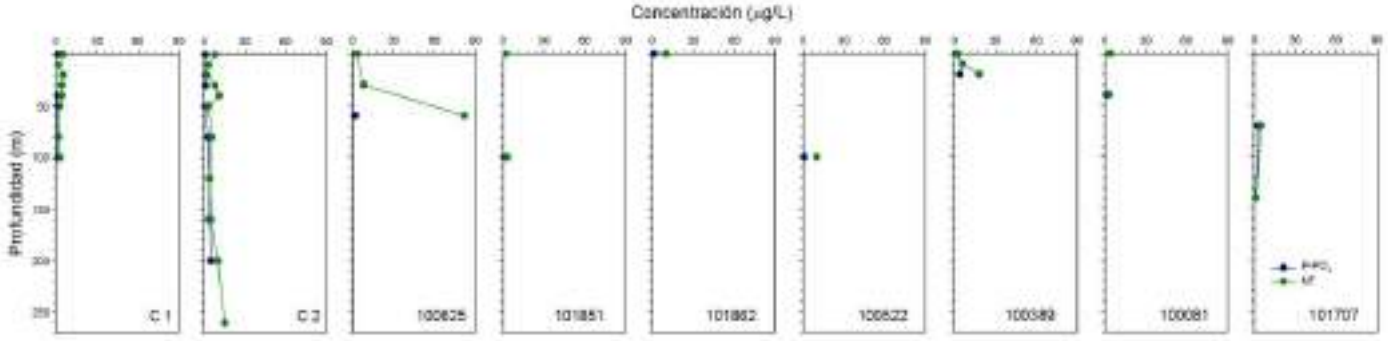


Figura 29. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Rupanco.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La abundancia fitoplanctónica en el lago Rupanco durante la primavera de 2015, se mantuvo en torno a las 148.551 cél L^{-1}± 30.561. La mayor densidad fitoplanctónica se registró en la estación 101862, localizada en el extremo terminal de la bahía de Piedras Negras y la menor concentración fue observada en el centro 100522, la cual se encuentra más cercana al afluente principal (Tabla 10).

La diversidad florística del lago Rupanco durante la primavera de 2015 constó de 38 taxa, oscilando entre 12 y 19 taxa en las estaciones de muestreo. En todas las estaciones de muestreo el grupo más abundante y diverso fueron las Diatomeas, registrando para ellas entre un 64 y 99% de la abundancia relativa, registraron también abundancia generalmente sobre un 5% las Crisofíceas. *Tabellaria fenestrata* aporto a la abundancia de la estación entre 52 y 83%, así también fue representativo *Dinobryon spp* el cual contribuyó entre un 9% y 36 % (Tabla 10). Con menor porcentaje de abundancia relativa pero con representatividad espacial *Aulacoseira spp.,* estuvo presente con un *3 a 9%,* así también *Fragillaria crotonensis* entre 2 a 7% de abundancia relativa (Tabla 23 en Anexo 1). Por otro lado el grupo de los dinoflagelados fue poco abundante pero se registró presencia de *Ceratium spp* en todas las estaciones de muestreo (Tabla 10). No se encontró la microalga plaga FAN *D. geminata*.

Tabla 10. Densidad célular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Rupanco durante primavera de 2015

Lago	Rupanco								
Estación	**C1**	**C2**	**100625**	**101851**	**101862**	**100522**	**100389**	**10081**	**101707**
Densidad total (céllL-1)	139476	130745	168391	121965	213718	114242	143130	170933	143363
Grupo	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Diatomeas	97	99	86	98	91	84	82	80	64
Crisoficeas	2	1	14	2	9	16	18	19	34
Cloroficeas	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0	0

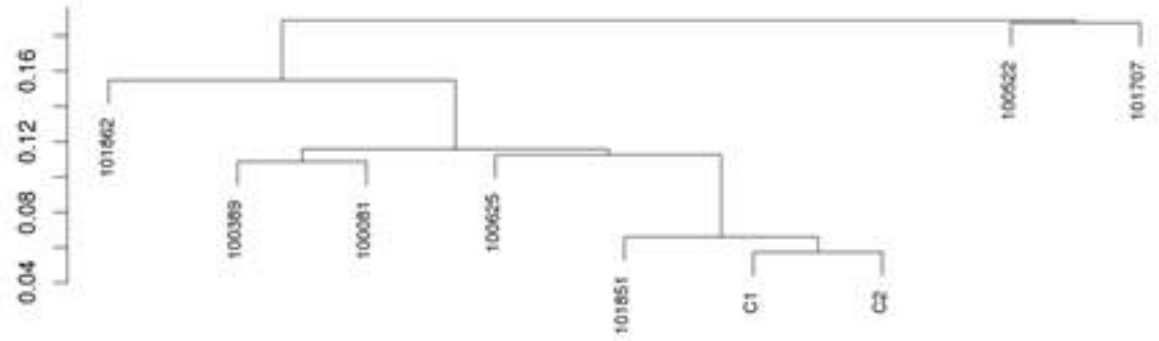


Figura 30. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Rupanco en primavera de 2015.

Al analizar las diferentes estaciones del lago Rupanco de acuerdo a la composición de especies, el análisis de conglomerados nos indicó que las estaciones 100522 y 101707 se diferenciarían de las demás estaciones (Figura 30).

Zooplancton

En el lago Rupanco la riqueza del zooplancton fue de 8 taxas (Tabla 11), con la misma proporción de crustáceos, maxilipodos y brachiopodos. Se registraron hembras con huevos de *T. diabolicus*. La abundancia zooplanctónica de las estaciones en estudio fluctuó entre 0,18 y 3,60 cél L^{-1}.

Tabla 11. Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco, en primavera de 2015.

Estación/Taxa	Lago Rupanco								
	C1	C2	100625	101851	101862	100522	100389	100081	101707
Crustacea / Maxilopoda									
Tumeodiaptomus diabolicus	0,40	0,56	0,85	0,39	1,07	2,10	1,32	0,13	0,11
hembra con huevos	0,02	0,02	0,01	0,02	0,06	0,16	0,10	0,03	0,004
Mesocyclops longisetus	0,49	0,50	1,50	0,56	0,36	0,92	0,09	0,27	0,07
Metacyclops mendocinus	0,05	0,10	0	0	0,04	0	0	0	0
Nauplius	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0
Crustacea/ Brachiopoda									
Daphnia pulex	0,02	0,09	0,08	0,24	0,18	0,10	0,03	0,07	0,0003
Ceriodaphnia dubia	0	0,01	0,08	0,14	0,14	0,16	0,02	0,03	0,001
Bosmina chilensis	0,20	0,21	0,42	0,11	0,24	0,17	0,09	0,03	0,005
Alona cambuoei	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0
Rotifera /Monogononta									
Conochilus unicornis	0	0	0	0,004	0,11	0	0	0,02	0
Número total de cél L^{-1}	**1,18**	**1,47**	**2,94**	**1,46**	**2,22**	**3,60**	**1,65**	**0,58**	**0,18**
Riqueza de Taxa	**6**	**7**	**6**	**7**	**9**	**6**	**6**	**9**	**6**

De acuerdo al cluster de concentración zooplanctónica en lago Rupanco, las estaciones en general parecieron ser muy similares (Figura 31).

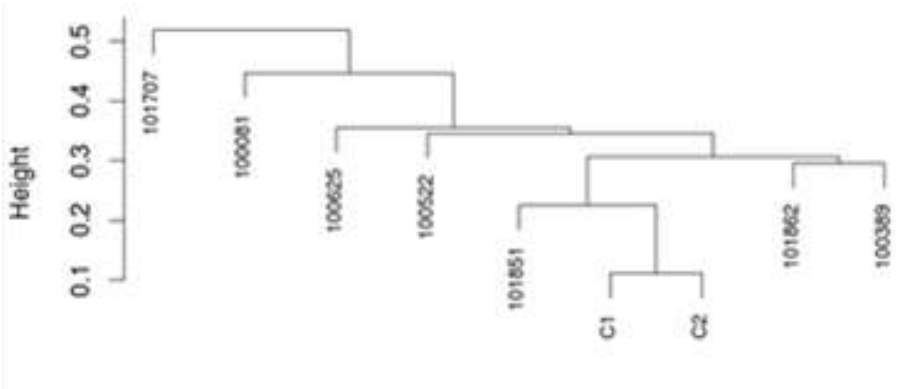


Figura 31. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Rupanco.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Rupanco se muestrearon 7 bahías ubicadas en las cercanías de centros de acuicultura, correspondientes a los: Centro 101707, Centro 100081, Centro 100389, Centro 100522, Centro 101851, Centro 101862 y el Centro 100625. Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la Tabla 24 en ANEXO 1. Al respecto, en el centro 101707, se observó que en las estaciones 1 y 3 el fango fue el componente principal del sedimento (84,1% y 86,9% respectivamente), mientras que en la estación 2 la arena media y fina fueron las dominantes. En el Centro 100081, la componente de la fracción sedimentaria dominante difirió entre estaciones. En la estación 1 predominaron la grava (29,1%) y la arena muy gruesa (20,3%); en la estación 2 la arena fina (23,3%) y arena muy fina (23,7%); mientras que en la estación 3 dominó ampliamente el fango con 55,3%.

En el Centro 100389, en la Estación 1 se observó un mayor aporte de fango (29,9%), mientras que en la estación 2 se registraron dominancias de arena fina (22%) y muy fina (21%) y en la estación 3 se conformó mayormente de arena media (33,1%). En relación a lo observado en el Centro 100522, el sedimento estuvo conformado en gran parte por grava y arena media.

En el sedimento del Centro 101851, las estaciones 1 y 2 estuvieron compuestas principalmente de arena gruesa, media y fina, con escasa participación de grava, en la estación 3 predominó el fango con un 44%. En relación a la fracción sedimentaria del Centro 101862, el fango predominó en la estación 1 y 3 (35,4% y 42,5% respectivamente), mientras que en la estación 2 el mayor aporte estuvo dado por arena media y arena fina (26,7% y 21,1% respectivamente).

El sedimento del centro 100625, específicamente en la estación 1 y 3, el sedimento se conformó mayormente por arena. En la estación 2 se mostró una clara predominancia del fango (59,2%) con escasa participación de grava.

Al analizar los parámetros de textura por bahía con acuicultura (Figura 32), se observó que la mayor parte de los sedimentos están compuestos principalmente por arena, a pesar que en algunos casos se observó alta contribución de fango.

En el centro 101707 se registró la conformación de dos grupos, uno compuesto principalmente por arena (> a 70%), mientras que el segundo por fango (80% a 90% de fango). Se registró escasa contribución de grava.

En el centro 100081, se registraron altos porcentajes de arena (35 - 96%), mientras que los porcentajes del fango fueron variados (1% a 65%). La participación de la grava fue menor al 40% en todos los casos.

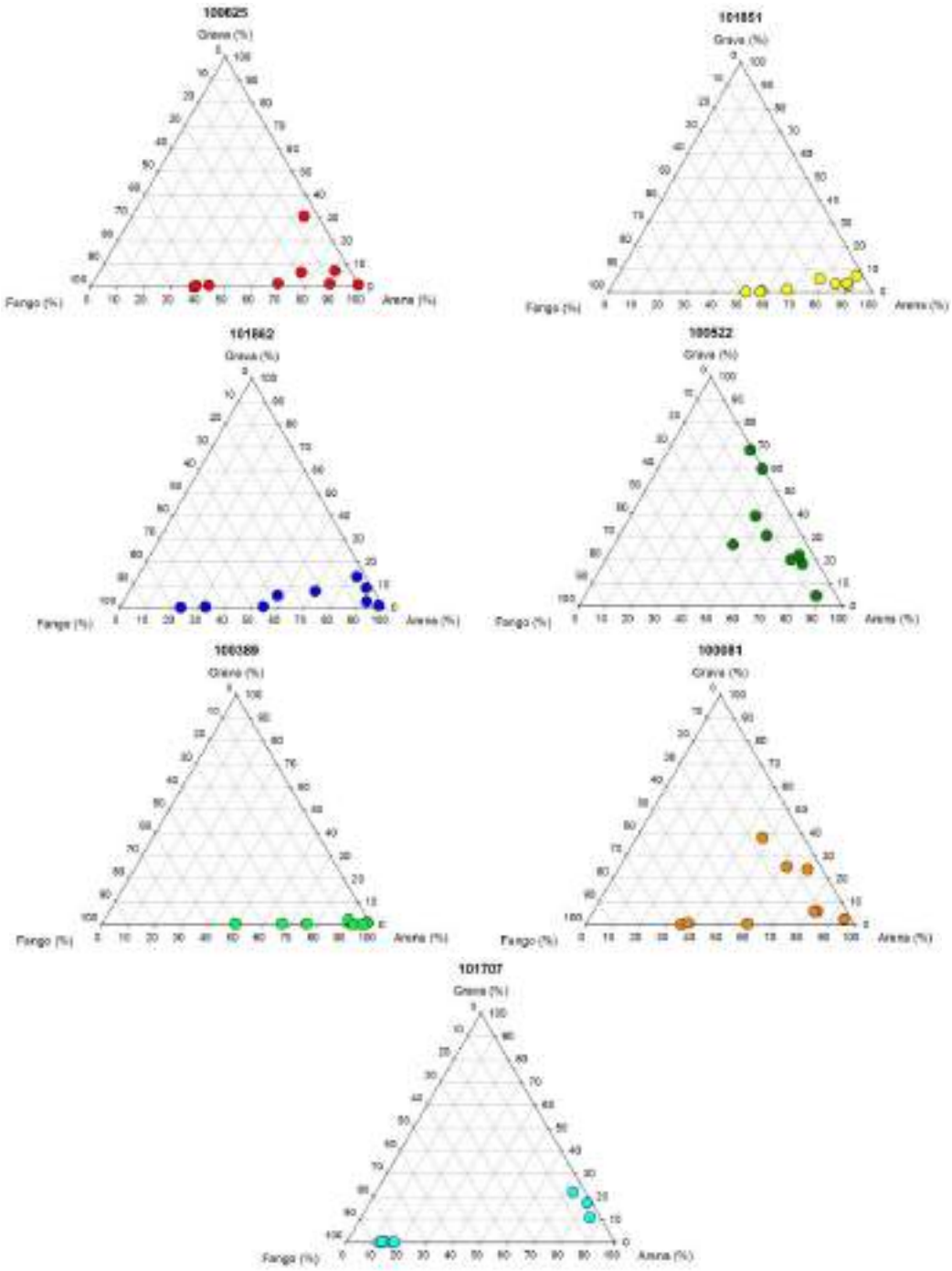


Figura 32. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100625, 101851, 101862, 100522, 100389, 100081 y 101707 del lago Rupanco.

En el centro 100522, todas las muestras presentaron porcentajes menores a 30% de fango, arena sobre 30%, y un amplio rango de grava (5% - 70%). El sedimento del centro 101851 estuvo compuesto principalmente por arena (> a 68%), escasa participación de grava (< a 10%), y fango menor a 32%. El sedimento del centro 101862 se conformó por arena y fango, y reducidos porcentajes de grava (< a 12%). Los rangos de porcentajes de contribución de arena fueron desde 22% a 100%, mientras que el fango entre 1 - 80%.

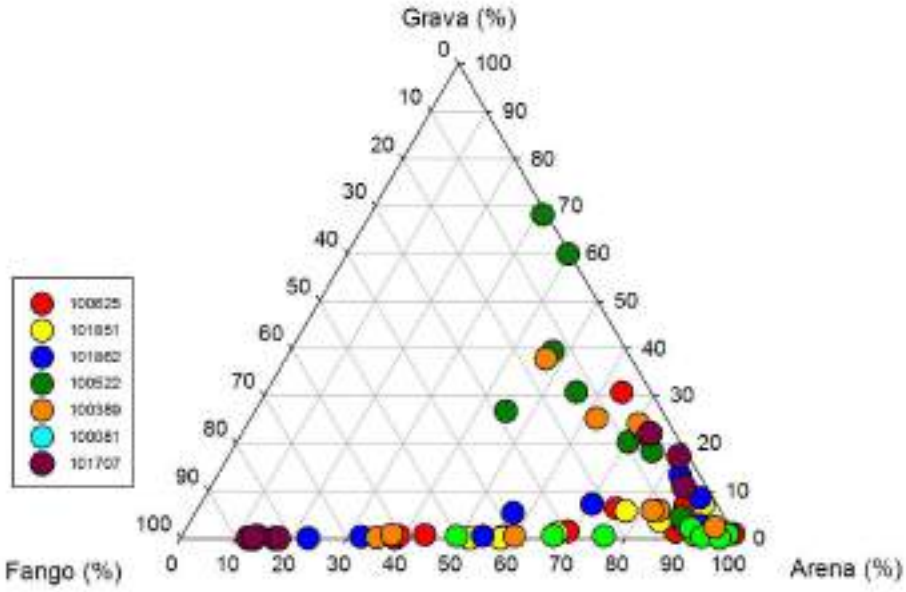


Figura 33. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Rupanco.

En general, tal como ya se comentaba con anterioridad, se visualiza en la Figura 33 que los sedimentos de las zonas estudiadas en el lago Rupanco estuvieron compuestos mayormente por arena y fango, y en general escasa contribución de grava. Se exceptúa de este comportamiento el centro 100522 con mayor contribución de grava.

El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena mediana y gruesa, así como también limo grueso. De manera general, el tamaño de grano medio es más grueso en el centro 100522, mientras que en el centro 101707 el grano medio fue más fino (Tabla 25 en ANEXO 1).
En relación a la materia orgánica, el sedimento del centro 100081 presentó altos porcentajes de materia orgánica (19 a 51,8%). El resto se encontró dentro de los límites de aceptabilidad (Tabla 12 y Figura 34). Con respecto al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento estuvo sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. El pH tendió a la acidificación von valores menores a 7.

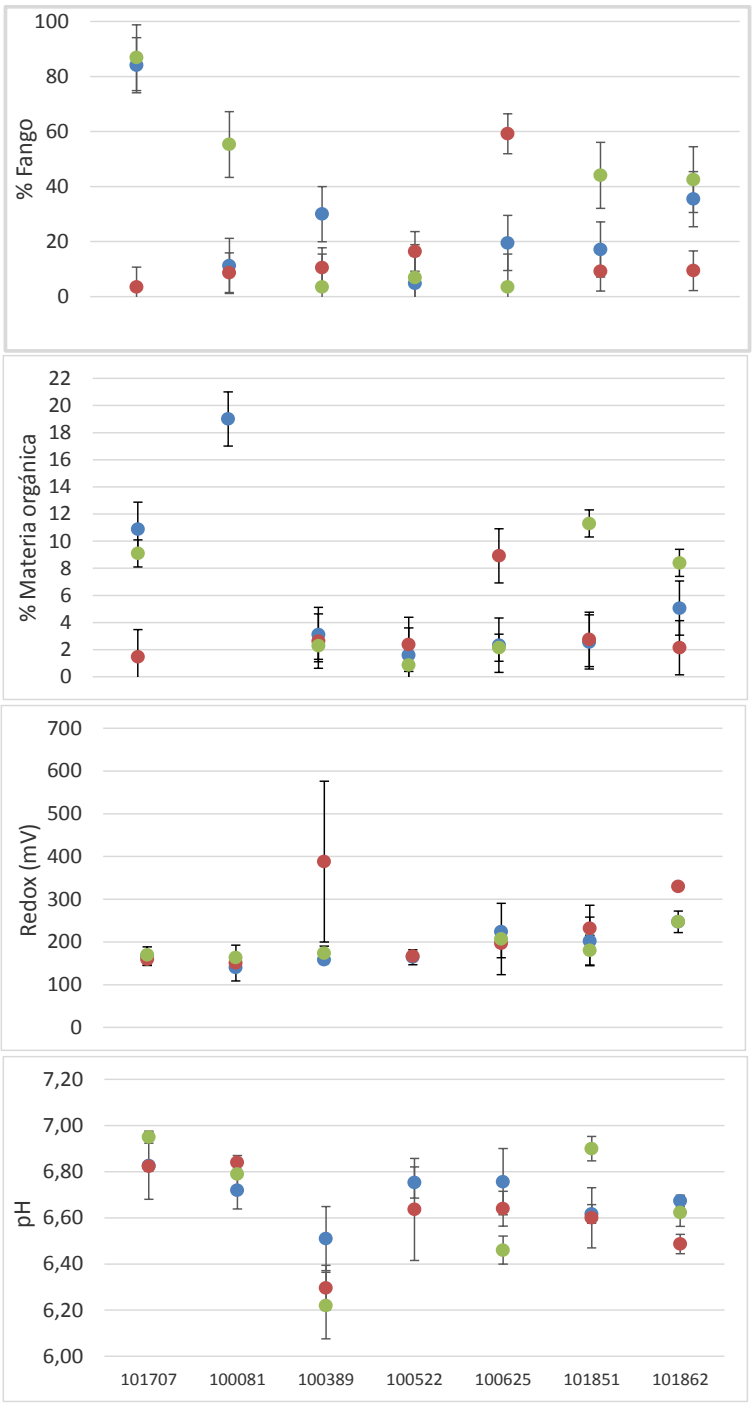


Figura 34. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Rupanco.

Tabla 12. Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	%MO	Potencial Redox	pH
101707	1	65	10,9	167,0	6,8
	2	30	1,5	159,7	6,8
	3	64	9,1	169,7	7,0
100081	1	32	19,0	140,3	6,7
	2	41	30,4	150,7	6,8
	3	18	51,8	163,7	6,8
100389	1	70	3,1	158,3	6,5
	2	50	2,6	388,0	6,3
	3	67	2,3	173,3	6,2
100522	1	50	1,6	164,3	6,8
	2	48	2,4	167,0	6,6
	3	37	Fondo pedregoso		
100625	1	40	2,3	223,8	6,8
	2	55	8,9	196,5	6,6
	3	15	2,1	206,9	6,5
101851	1	67	2,6	202,0	6,6
	2	30	2,8	232,0	6,6
	3	90	11,3	180,1	6,9
101862	1	60	5,1	247,0	6,7
	2	42	2,1	329,7	6,5
	3	48	8,4	247,3	6,6

a) Correntometría Lagrangeana

En el presente proyecto no se comprometió realizar estudios de correntometría lagrangeana en este lago.

5.2.4. Lago Llanquihue

a) Análisis fisicoquímicos agua

Primera campaña (verano 2015)

En la primera campaña de muestreo del lago Llanquihue no se realizaron perfiles físico-químicos. Sin embargo, se tomaron muestras de agua en todas las estaciones para análisis de nutrientes. En las figuras 35 y 36 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua para cada estación estudiada, correspondiente a la campaña realizada en enero del 2015 (Tabla 26 en ANEXO 1). Los compuestos nitrogenados presentaron concentraciones menores a 250 µg/L. El nitrógeno total, en general, presentó valores homogéneos en la columna de agua, cercanos a 50 µg/L, a excepción de las estaciones C1 y C2, con 200 µg/L de NT a 80 y 20 m de profundidad, respectivamente. Los valores de nitrito y amonio tendieron a 1 µg/L y 20 µg/L, respectivamente. Las concetraciones de PT y $P\text{-}PO_4$ registradas en la columna de agua fueron bajas, no superando los 7 µg/L.

Segunda campaña (invierno 2015)

En invierno del 2015, la temperatura registrada en el lago Llanquihue en todos los sitios en estudio fue homogénea en la columna de agua, con valores cercanos a 11°C. De igual forma se comportó el oxígeno disuelto, con valores cercanos a 10 mg/L en la columna de agua. En la zona control 1 a profundidades mayores de 250 m, el oxígeno disuelto disminuyó a 0,7mg/L, mientras que en el centro 100628 disminuyó a 6 mg/L (Figura 37, Tabla 27 en ANEXO 1).

En las figuras 38 y 39 se muestran las concentraciones de nutrientes en perfil vertical de la columna de agua para cada estación estudiada, correspondiente a la campaña realizada en agosto del 2015 (Tabla 27 en ANEXO 1). Los valores de compuestos nitrogenados fueron menores a 300 µg/L. El nitrógeno total, presentó valores homogéneos en la columna de agua cercanos a 100 µg/L, a excepción de las estaciones 100510 y 100100, con valores fluctuantes en la columna de agua. En la estación 100510 los compuestos nitrogenados tendieron a disminuir en profundidad, mientras que la estación 100100 presentó mayor concentración de NT en profundidad. En general, la concentración de amonio fue similar al NT. Los valores de fósforo (PT y $P\text{-}PO_4$) fueron bajos, menores a 10 µg/L, salvo en la estación 100545 que presentó una mayor concentración de PT en profundidad (200 µg/L).

Tercera campaña (verano 2016)

Durante verano de 2016, la temperatura superficial se mantuvo en 18°C en todas las estaciones de muestreo (Figura 40, Tabla 28 en ANEXO 1). En las estaciones control y concesiones más profundas se produjo estratificación térmica a los 50 m de profundidad, registrándose ~ 8°C entre los 50 m y el fondo. En las estaciones someras las temperaturas se mantuvieron en torno a los 18 °C entre superficie y fondo.

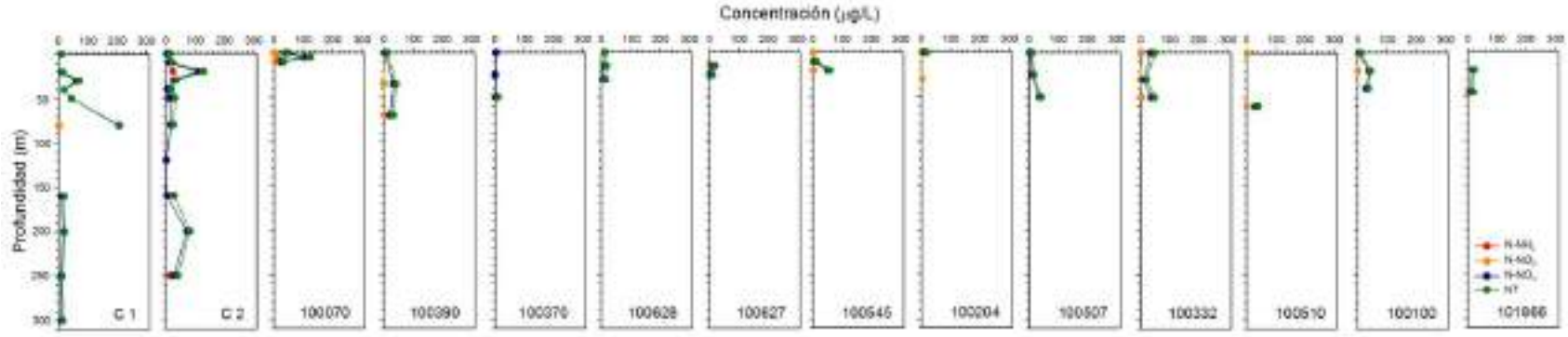


Figura 35. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2015.

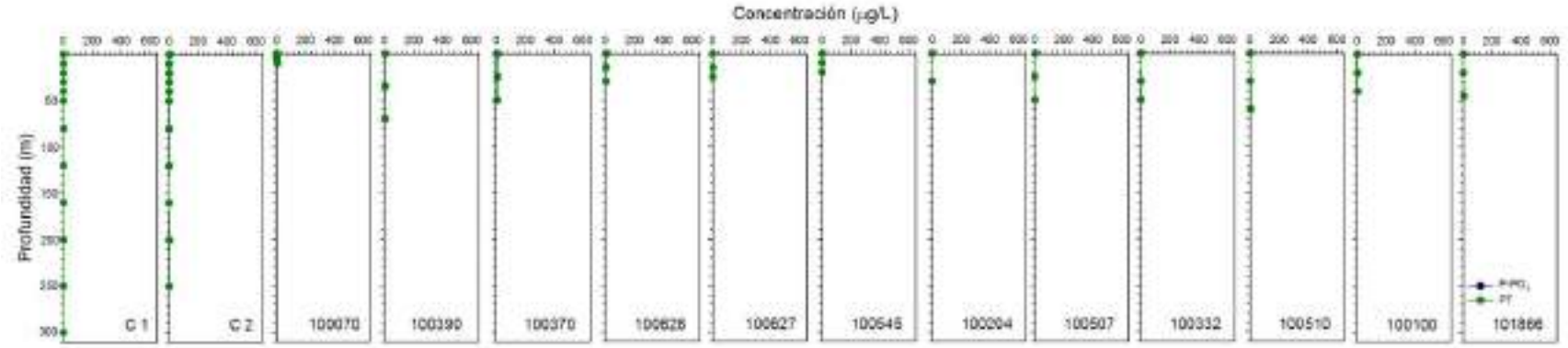


Figura 36. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2015.

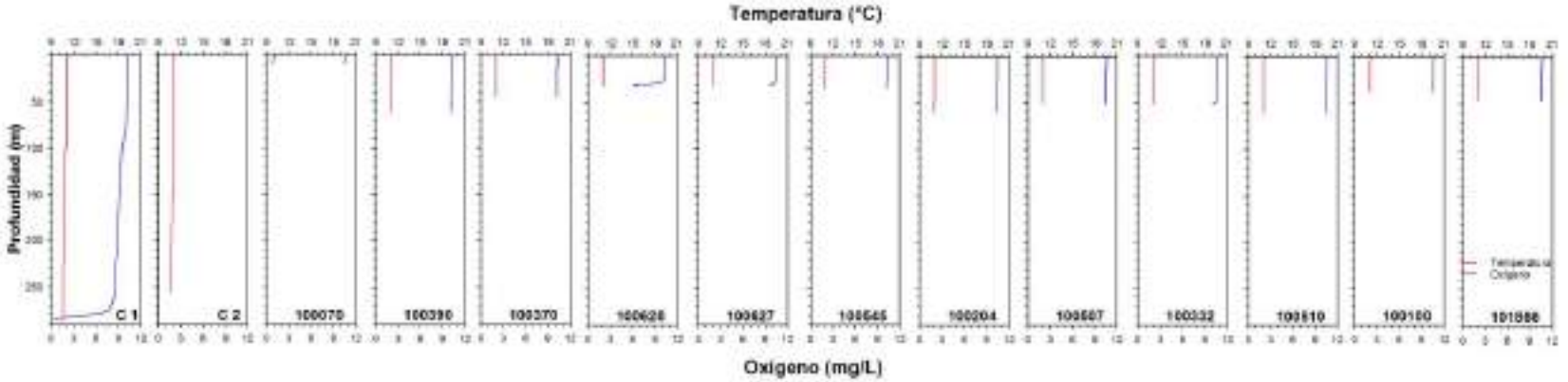


Figura 37. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio en el lago Llanquihue en invierno (agosto del 2015), segunda campaña.

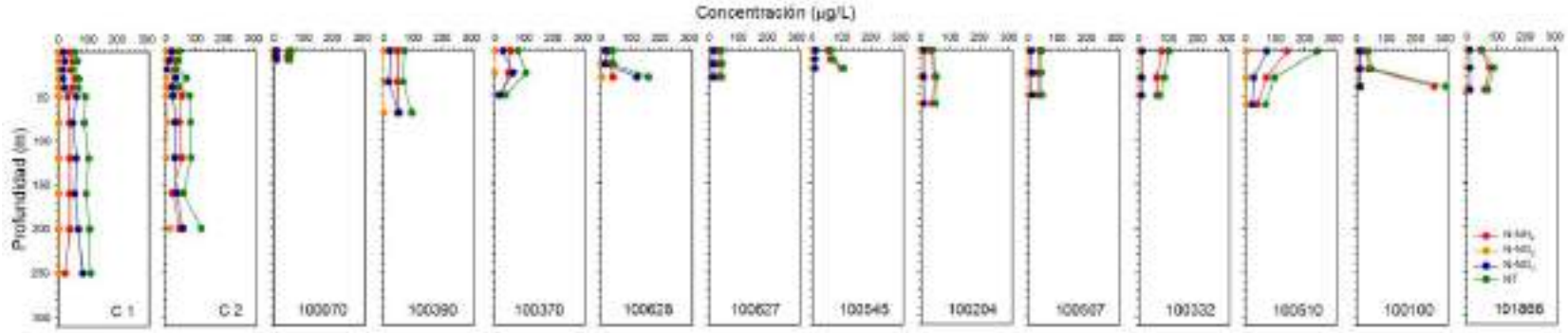


Figura 38. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en agosto del 2015.

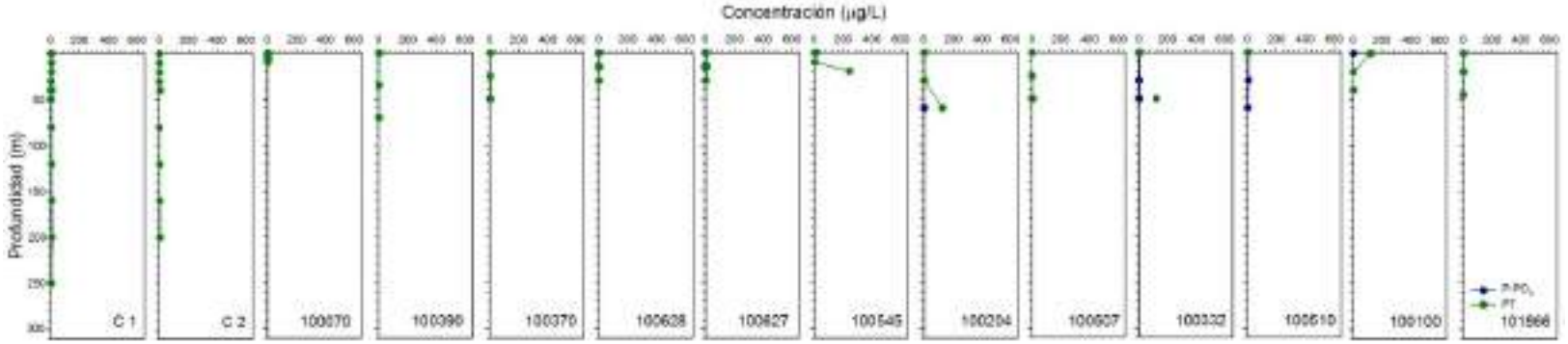


Figura 39. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en agosto del 2015.

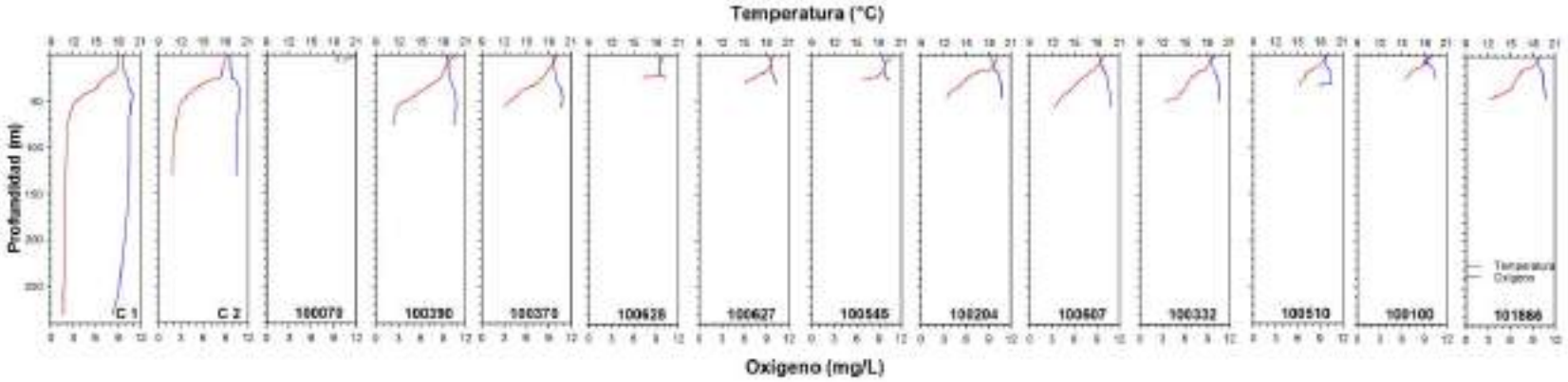


Figura 40. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio en el lago Llanquihue en Verano (enero y febrero del 2016), tercera campaña.

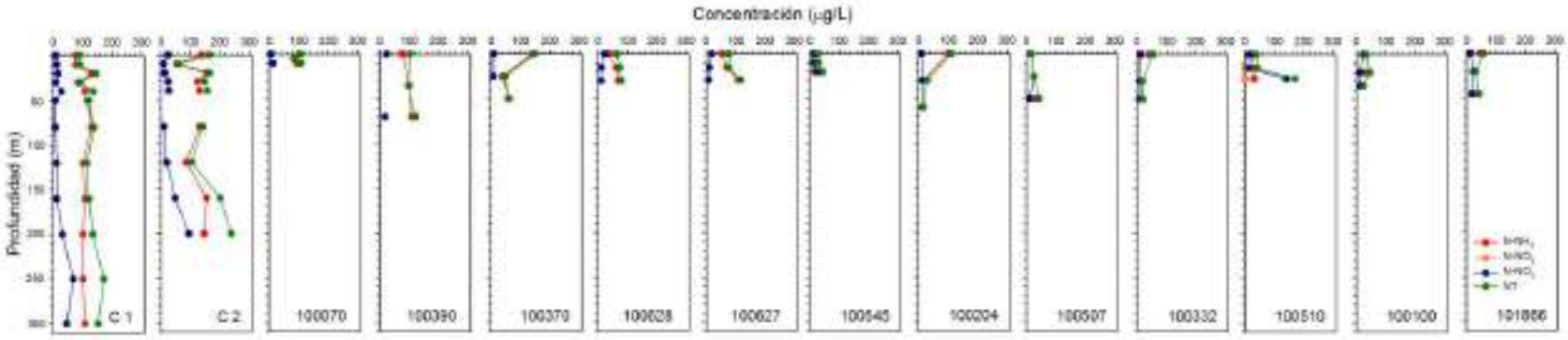


Figura 41. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2016.

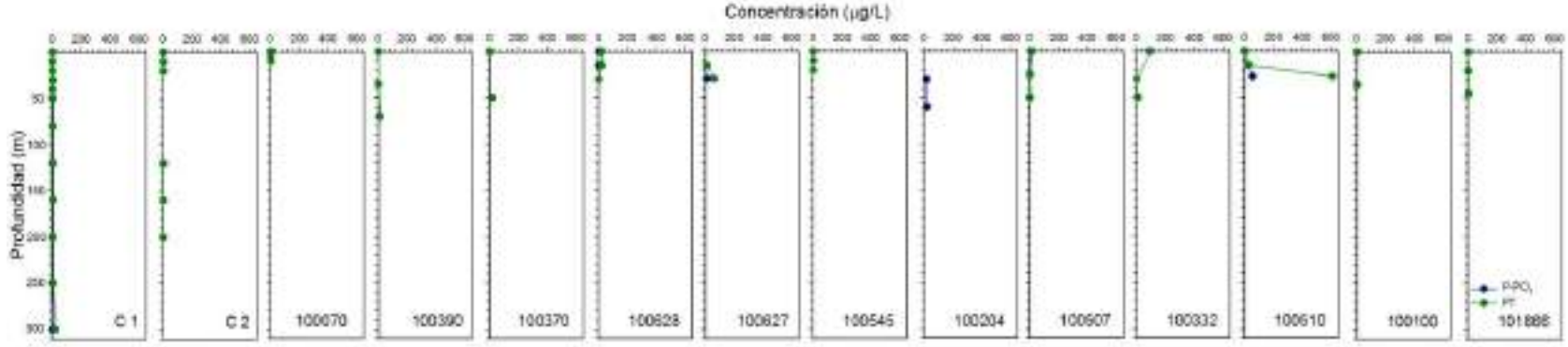


Figura 42. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Llanquihue en enero del 2016.

La concentración de oxígeno disuelto se mantuvo alrededor de 9 a 12 mg/L en la columna de agua, observándose las mayores concentraciones entre los 30 y 50 m de profundidad, para luego disminuir gradualmente a 9 mg/L en el fondo. En la estación C2 se presentó una falla del sensor de oxígeno, por lo cual no se obtuvo data de este parámetro.

En las Figuras 41 y 42 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua para cada estación estudiada, correspondiente a la campaña realizada en enero del 2016 (Tabla 28 en ANEXO 1). Las concentraciones de los compuestos nitrogenados fueron menores a 240 µg/L. La concentración del amonio fue similar al NT, mientras que el nitrito registró en general valores menores al límite de detección (< 1 µg/L). Los valores de fósforo (PT y P-PO_4) fueron bajos, tendientes a 1 µg/L, salvo en la estación 100510 que presentó una mayor concentración de PT en profundidad (600 µg/L).

b) Análisis de parámetros biológicos

Primera campaña (verano 2015)
En la primera campaña de muestreo del lago Llanquihue no se realizaron muestreos para análisis de fitoplancton y zooplancton.

Segunda campaña (invierno 2015)

Fitoplancton

Las densidades fueron muy variables en el muestreo de invierno en el lago Llanquihue, oscilando entre 10.627 cél L^{-1} y 199.771 cél L^{-1}, en las estaciones 100628 y 100070, respectivamente (Tabla 13).

La composición fitoplanctónica fue diversa, se registraron 60 taxa. La riqueza de taxa entre las estaciones de muestreo fluctuó entre 11 y 30 taxa. Observándose una menor diversidad en las estaciones control (C1 y C2), en el área sur este y sur oeste del lago (estaciones 100390, 100370, 100070 y 100332) de 11 a 18 taxones, en cambio las estaciones ubicadas al norte del río Maullín y en el área norte del lago presentaron una mayor diversidad de taxa entre 21 y 30 taxa.

Las diatomeas *Cyclotella spp y Aulacoseira spp*, dominaron el fitoplancton en la mayoría de las estaciones de muestreo, salvo en la estación 100510 que la Cianobacteria *Phormidium spp* presentó un 40% de la abundancia relativa. La Dinofícea *Peridinium spp* presente en las estaciones 100628 y 100332 aportaron con un 37,6% y 17,6% de la abundancia relativa, respectivamente. La Crisofícea *Dinobryon spp* generó un 13,1% de la abundancia en la estación 101866 y Clorofícea *Dictyosphaerium sp.* un 10,7% en la estación 100510. No se registró la microalga plaga *D. geminata* (Tabla 29 en ANEXO 1).

Tabla 13. Densidad célular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Llanquihue invierno de 2015.

Lago	Llanquihue													
Estación	**C1**	**C2**	**100070**	**100390**	**100370**	**100628**	**100627**	**100545**	**100204**	**100507**	**100332**	**100510**	**100100**	**101866**
Densidad total (célL-1)	52729	35971	199771	153074	24131	10627	11540	31231	29276	25336	13818	124627	82605	99889
Grupos	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Diatomeas	92	93	80	89	86	56	91	92	77	92	73	41	84	85
Crisoficeas	8	6	9	4	8	5	4	0	2	0	4	2	7	13
Cloroficeas	0	0	3	3	4	0	0	0	13	4	4	13	0	0
Cianobaterias	0	0	6	0	0	0	4	8	0	0	0	43	0	0
Dinoflagelados	0	1	2	2	1	39	1	0	9	3	18	0	9	0
Euglenoficeas	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Criptoficeas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De acuerdo al análisis de conglomerados, la concentración del fitoplancton del lago Llanquihue en invierno no parece agruparse en las estaciones (Figura 43), pero si hay asociaciones de especies con estaciones determinadas (eg. *Nitzschia* con 101707, *Gomphonella* y *Gomphonema* con 100389, entre otros).

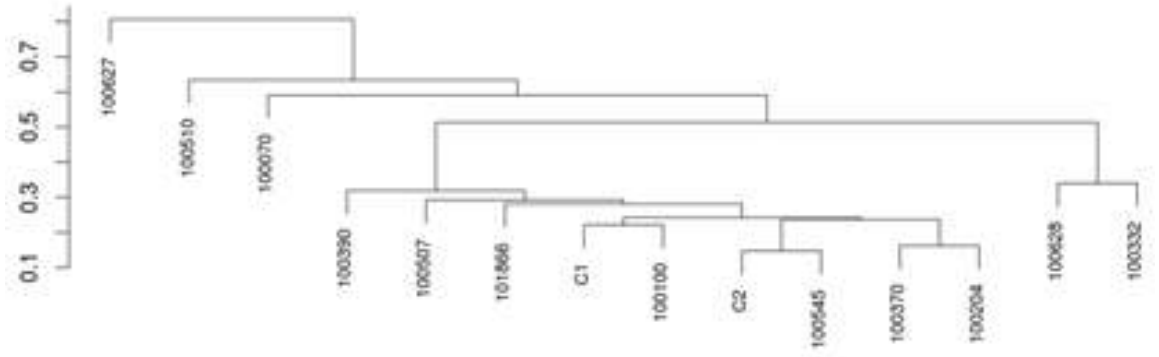


Figura 43. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Llanquihue en invierno de 2015.

Zooplancton

En el lago Llanquihue durante el invierno de 2015, se observaron 11 taxas, compuesto de 9 crustáceos, hembras con huevos de maxilipodos, nauplius y 2 rotíferos (Tabla 14). La abundancia osciló entre 0,15 y 2,82 cél L^{-1}.

Tabla 14. Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue, en invierno de 2015.

Estación/Taxa	Llanquihue Invierno						
	C1	C2*	100070	100390	100370	100628	100627
Crustacea / Maxilopoda							
Boeckella gracilipes	0,04	0	0,72	0,30	0,03	0,02	0,18
hembra con huevos	0	0	0	0,01	0	0	0
Tumeodiaptomus diabolicus	0,004	0,04	0,16	0,03	0,02	0	0,02
hembra con huevos	0	0	0	0,01	0,003	0	0,004
Mesocyclops araucanus	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,16
hembra con huevos	0	0	0	0	0,003	0	0
Nauplius	0,003	0	0,13	0	0,02	0,01	0,08
Crustacea/ Brachiopoda							
Daphnia pulex	0,33	1,35	0,66	0,73	1,38	0,08	0,31
Ceriodaphnia dubia	0,001	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02
Bosmina chilensis	0,001	0	0,19	0	0	0	0
Macrothrix sp.	0	0	0,01	0	0	0	0
Alona cambuoei	0	0	0,01	0	0	0	0
Rotifera /Monogononta							
Asplanchna sp.	0	0	0,01	0	0	0	0
Filinia longiseta	0,04	0,06	0,88	0,03	0,10	0,05	0,20
Número total de cél L^{-1}	**0,44**	**1,46**	**2,82**	**1,15**	**1,59**	**0,18**	**0,97**
Riqueza de Taxa	**8**	**4**	**11**	**6**	**7**	**6**	**8**

Continuación Tabla 14. Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue, en invierno de 2015.

Estación/Taxa	Llanquihue Invierno						
	100545	100204	100507	100332*	100510*	100100*	101866*
Crustacea / Maxilopoda							
Boeckella gracilipes	0,02	0,03	0,10	0	0	0	0
Tumeodiaptomus diabolicus	0,14	0,01	0,05	0,25	0,05	0,02	0,44
Mesocyclops araucanus	0,10	0,18	0,10	0,03	0,10	0,32	0,14
Nauplius	0,04	0,03	0,01	0	0	0	0
Crustacea/ Brachiopoda							
Daphnia pulex	1,17	0,66	0,15	0	0	0	0,06
Ceriodaphnia dubia	0,02	0	0	0	0	0	0
Bosmina chilensis	0	0	0	0	0	0,003	0
Rotifera /Monogononta							
Filinia longiseta	0	0,14	0,06	0,08	0	0	0,14
Número total de cél L $^{-1}$	**1,47**	**1,05**	**0,47**	**0,36**	**0,15**	**0,34**	**0,78**
Riqueza de Taxa	**6**	**6**	**6**	**3**	**2**	**3**	**4**

El Lago Llanquihue durante el invierno nos muestra que las estaciones 100332 y 101866 son las que mas se diferencian del resto, apreciándose esto en la Figura 44.

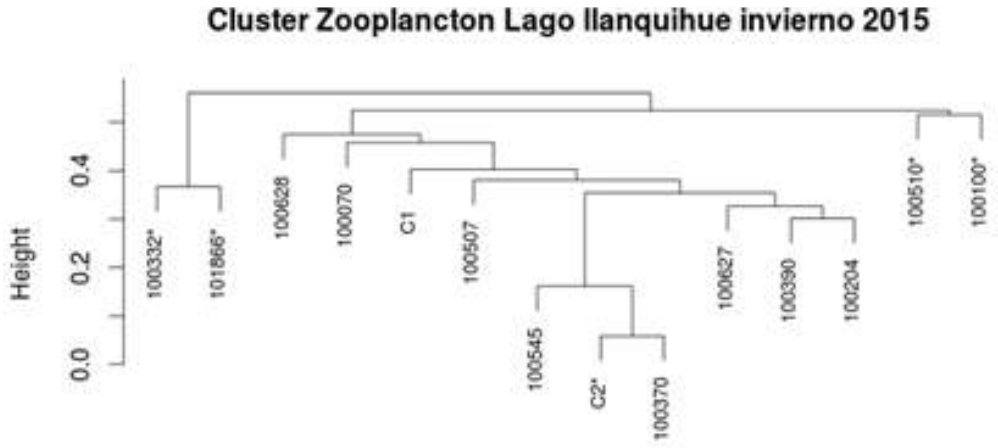


Figura 44. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Llanquihue, en invierno del 2015.

Tercera campaña (verano 2016)

Fitoplancton

Las densidades fitoplanctónicas en el lago Llanquihue durante el verano de 2016 oscilaron entre 16.610 y 75.549 cél L^{-1}, registrándose la mayor abundancia en la estación C2 y la menor en la estación 100370 (Tabla 15).

La diversidad fitoplanctónica del lago Llanquihue durante el verano de 2016, constó de una riqueza de 39 taxas. La mayor riqueza se registró en la estación Pto. Rosales 100070 con 23 taxa. El grupo de las diatomeas fue el más abundante y diverso en todas las estaciones de muestreo, las Clorofíceas aportaron con abundancias relativas que oscilaron entre 1 y 19 %, salvo en la estación 100370 que presentó una abundancia relativa ≤ 1%. La Diatomea *Aulacoseira spp* tuvo una abundancia relativa entre *4 y 95%*, y *Cyclotella spp.* entre 16 y 56%, salvo en las estaciones 100370 y 100390. *De las* Clorofíceas los taxa con mayor abundancia relativa fueron *Microspora spp*, *Mougeotia spp y Crucigenia spp (*Tabla 30 en ANEXO 1). Las Dinofíceas estuvieron presentes en menor grado, *Ceratium hirundinella* con abundancia relativa ≤ 1%, generalmente presente en todas las estaciones de muestreo. La especie *Dolichospermum spp* se observó solo en las muestras cualitativas de la estación C1. No se registró la microalga plaga *D. geminata.*

Tabla 15. Densidad y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton en el lago Llanquihue en verano de 2016.

Lago	Llanquihue													
Estación	**C1**	**C2**	**100070**	**100390**	**100370**	**100628**	**100627**	**100545**	**100204**	**100507**	**100332**	**100510**	**100100**	**101866**
Densidad total (célL-	23.262	83.326	18.707	41.594	16.610	67.416	28.178	64.493	31.059	44.990	27.767	38.251	69.198	75.549
Grupo	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
Diatomeas	81	90	83	88	100	90	96	100	88	94	84	91	99	67
Cripsoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorficeas	19	9	8	12	0	3	4	0	12	6	16	9	1	11
Cianobacterias	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Criptoficeas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

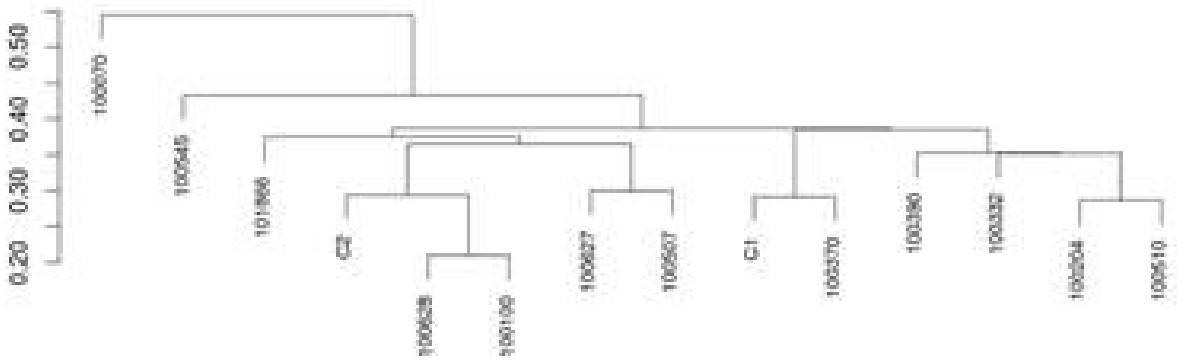


Figura 45. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Llanquihue en verano de 2016.

El fitoplancton del lago Llanquihue en verano nos muestra que estaciones como la 100545 y la 100070 parecen diferenciarse del resto debido a su composición comunitaria de fitoplancton (Figura 45).

Zooplancton

En el lago Llanquihue durante el verano de 2016 se registraron 11 taxas, 9 crustáceos y 2 rotíferos, igual proporción a la encontrada durante el invierno (Tabla 16). Así también se registraron hembras con huevos y naupilus. La abundancia fluctuó entre 0,36 y 22,83 cél L^{-1}, concentración mayor a la observada en invierno de 2015.

Tabla 16. Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue, en verano de 2015.

Estación/Taxa	Llanquihue Verano						
	C1	C2	100070	100390†	100370	100628	100627†
Crustacea / Maxilopoda							
Tumeodiaptomus diabolicus	1,27	1,66	0,20	0,74	0,37	0,013	0,01
hembra con huevos	0,06	0,03	0	0,03	0,01	0,002	0
Mesocyclops araucanus	0,73	0,39	0,07	0,12	0,05	0,004	0,01
hembra con huevos	0,04	0,03	0	0,01	0,003	0,002	0,001
Nauplius	0	0	0	0	0	0,01	0,02
Crustacea/ Brachiopoda							
Daphnia pulex	1,45	3,20	0,21	1,32	0,33	0,04	0,02
Bosmina chilensis	0	0	1,11	0	0	0,001	0,001
Macrothrix sp	0	0	0	0	0	0	0,001
Alona guttata	0	0	0	0	0	0	0,001
Camptocercus sp.	0	0	0	0	0	0	0,001
Chidorus sphaericus	0	0	0	0	0,001	0	0
Rotifera /Monogononta							
Asplanchna sp.	0	0	0	0	0	0,007	0,09
Filinia longiseta	6,53	27,02	21,23	6,10	2,88	0,28	0,33
Número total de cél L $^{-1}$	**10,08**	**32,33**	**22,83**	**8,33**	**3,64**	**0,36**	**0,48**
Riqueza de Taxa	**6**	**6**	**5**	**7**	**6**	**9**	**11**

Estación/Taxa	Llanquihue Verano						
	100545†	100204	100507†	100332†	100510†	100100	101866
Crustacea / Maxilopoda							
Tumeodiaptomus diabolicus	0,025	0,518	0,901	0,13	0,10	0,03	0,05
hembra con huevos	0,003	0,004	0,201	0	0	0	0
Mesocyclops araucanus	0,018	0,07	0,181	0,04	0,03	0,01	0,01
hembra con huevos	0,006	0	0,053	0	0	0	0
Antarctobiotus sp.	0	0	0	0	0	0	0,0005
Nauplius	0,077	0	0,003	0,02	0,07	0,02	0
Crustacea/ Brachiopoda							
Daphnia pulex	0,014	0,32	1,281	0,70	0,14	0,02	0,04
Ceriodaphnia dubia	0	0	0,005	0	0	0	0
Bosmina chilensis	0,0004	0	0	0	0,01	0	0,001
Chidorus sphaericus	0,012	0	0	0	0	0	0
Rotifera /Monogononta							
Asplanchna sp.	0	0	0	0	0,83	0	0
Filinia longiseta	0,743	2,13	0,45	13,42	13,01	0,58	0,38
Número total de cél L $^{-1}$	**0,90**	**3,05**	**3,07**	**14,30**	**14,19**	**0,65**	**0,48**
Riqueza de Taxa	**9**	**5**	**8**	**5**	**7**	**5**	**6**

De acuerdo al análisis de cluster, la composición comunitaria del zooplancton en el lago Llanquihue en verano del 2016, conformó principalmente 2 grupos (Figura 46).

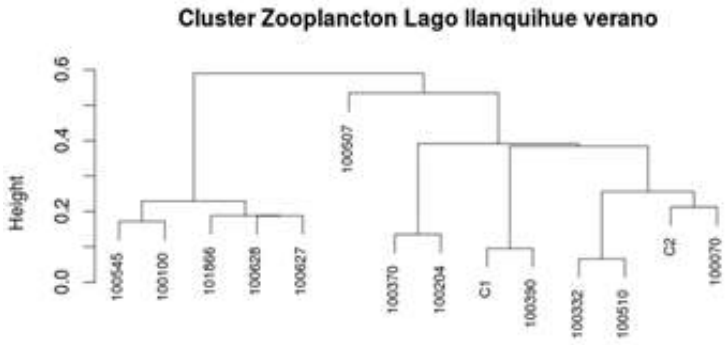


Figura 46. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Llanquihue, en verano del 2016.

a) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el presente proyecto no se comprometió realizar el estudio de variables físico-químicas en el sedimento en este lago.

b) Correntometría Lagrangeana

En el presente proyecto no se comprometió realizar estudios de correntometría lagrangeana en este lago.

5.2.5. Lago Chapo

a) Análisis fisicoquímicos agua

En general, la temperatura observada en el lago Chapo mostró valores cercanos a 9,5°C en superficie disminuyendo levemente a mayor profundidad, con formación incipiente de termoclina en los primeros 40 m superficiales. El oxígeno disuelto en tanto, fluctuó entre 10,5 mg/l en superficie y disminuyó a 8 mg/L a mayor profundidad (C2, C1, y 101051). Se exceptuó de este comportamiento el centro 100394, en donde la concentración de oxígeno disuelto aumentó en profundidad (Figura 47, Tabla 31 en ANEXO 1).

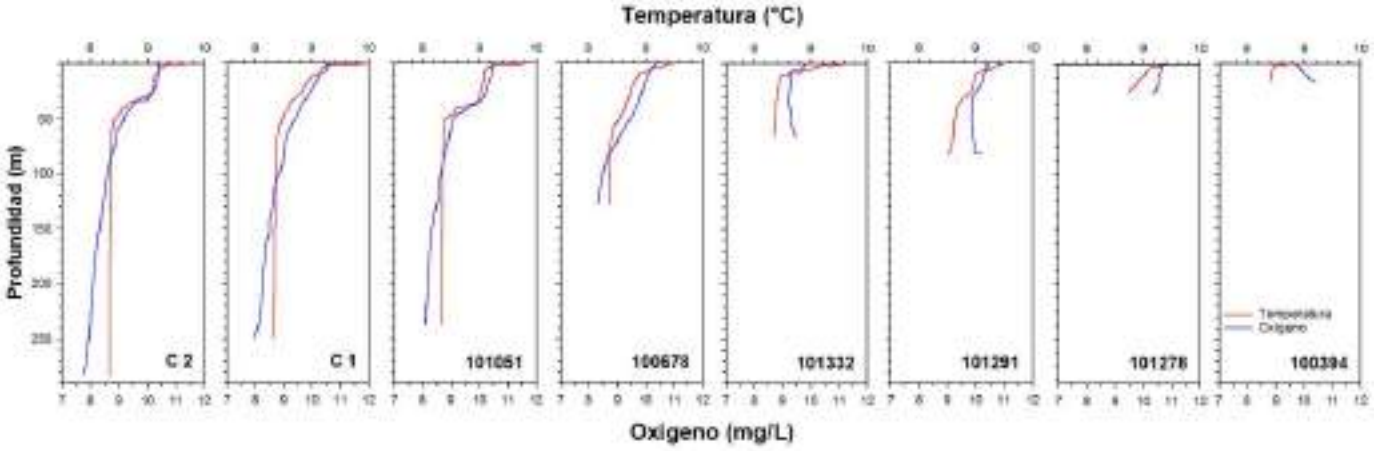


Figura 47. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios en estudio del lago Chapo.

En las Figuras 48 y 49 se muestran las concentraciones de nutrientes en la columna de agua en las estaciones de estudio (Tabla 31 en ANEXO 1). Los compuestos nitrogenados comprenden valores menores a 100 µg/L, con fluctuaciones en su concentración a través de la columna de agua. En general, los valores de amonio tendieron a ser similares a los de NT. Los perfiles de fosfatos (Figura 49) indican en general homogeneidad en la columna de agua, salvo las estaciones C2 con mayores valores de PT (40 µg/L) a 300 m de profundidad, y las estaciones 101332 y 101291 a 80 m (40 µg/L y 20 µg/L, respectivamente).

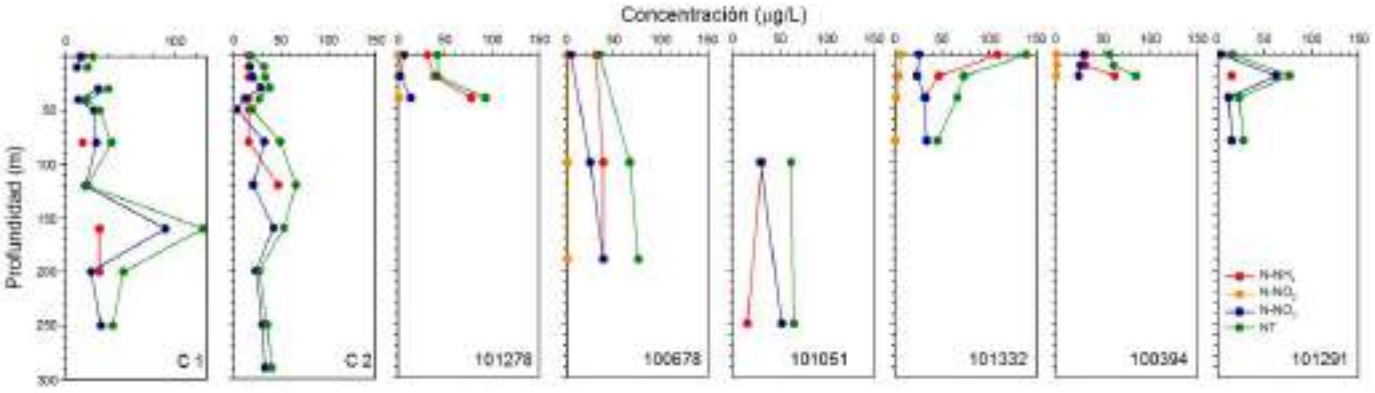


Figura 48. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Chapo.

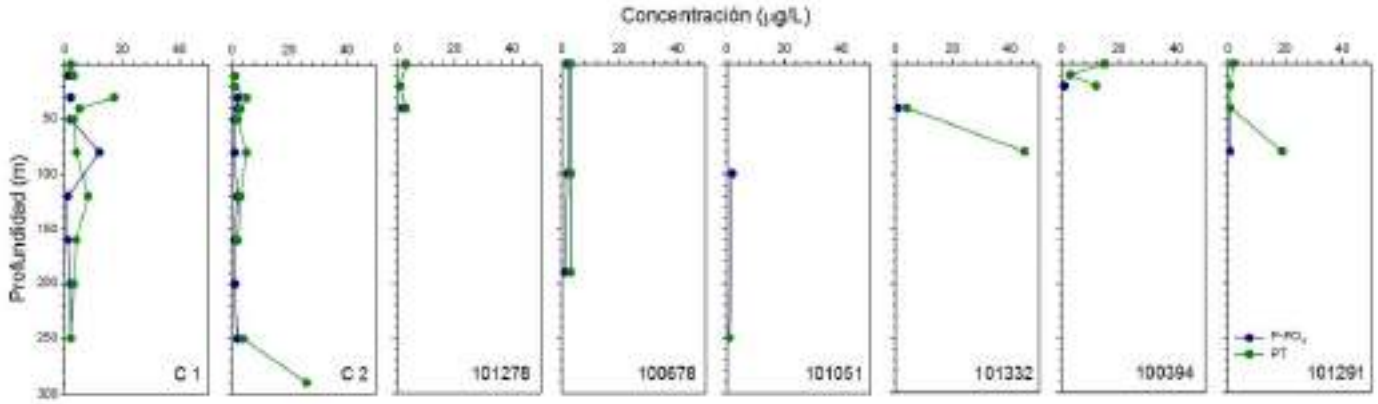


Figura 49. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Chapo.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

Las abundancias fitoplanctónicas bordearon las 250.000 cél L^{-1} y las mayores densidades se asociaron a las estaciones 100394, 101291 y C1 (Tabla 17.) asociadas al área de la desembocadura natural del lago.

La composición fitoplanctónica en primavera temprana de 2015, registró mayor abundancia de las Diatomeas entre un 96 y 100% de la abundancia relativa para este lago, Clorofíceas, Euglenofíceas y Dinofíceas se registraron exclusivamente en los análisis cualitativos. Cianofíceas y Criptofíceas se encontraron en abundancias menores a 1% (Tabla 17). La diversidad de taxa en el lago Chapo alcanzó 35 taxones, entre las estaciones de muestreo la diversidad fluctuó generalmente entre 7 y 11 taxa, salvo en la estación 100394 donde se encontraron 21 taxa en gran medida asociada esta mayor diversidad a diatomeas pennadas. Los taxa más representativos fueron *Sinedra cf acus* con 65 y 87 % de la abundancia relativa, salvo en la estación 100394 que presentó solo 2% de la abundancia de la estación y *Tabellaria fenestrata* entre 12 y 39% de la abundancia relativa No se registró la microalga plaga *D. geminata*.

Tabla 17. Densidad celular y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton en el lago Chapo en primavera de 2015.

Lago	**Chapo**							
Estación	**C1**	**C2**	**101278**	**100678**	**101051**	**101332**	**100394**	**101291**
Densidad total (célL-1)	387.262	252.686	242.905	196.431	375.976	164.639	388.460	405.182
Grupo	%	%	%	%	%	%	%	%
Diatomeas	100	100	100	100	100	99	96	100
Crisoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas	0	0	0	0	0	0	4	0
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0	0
Criptoficeas	0	0	0	0	0	1	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenoficeas	0	0	0	0	0	0	0	0

El fitoplancton del lago Chapo se agrupó en 2 conjuntos de estaciones de muestreo principalmente 100394 localizada en la desembocadura del lago, siendo además la más somera de todas las estaciones, y las estaciones restantes en otro grupo (Figura 50). Las especies mas abundantes en la estación 100394 fueron *Tabellaria fenestrata* y *T. flocculosa*, versus las estaciones restantes donde *S. cf acus* fue la más abundante.

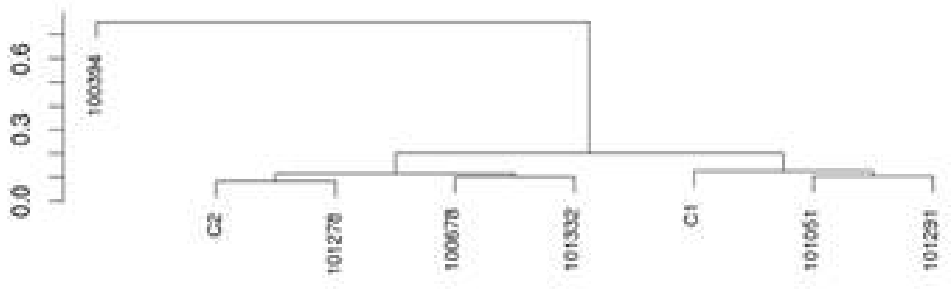


Figura 50. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Chapo en primavera temprana de 2015.

Zooplancton

En el lago Chapo, durante la primavera de 2015 se observaron 6 taxas, solo microcrustáceos, de los cuales fueron 5 Maxilipodos y 1 Brachiopodo (Tabla 18). Las abundancias fueron muy bajas, las que oscilaron entre 0,02 y 0,16 cél L^{-1}.

Tabla 18. Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo, en invierno de 2015.

Estación/Taxa	Lago Chapo							
	C1	C2	101278	100678	101051	101332	100394	101291
Crustacea / Maxilopoda								
Boeckella gracilipes	0,0005	0,0003	0	0	0	0,003	0,0019	0,0005
Acanthocyclops vernalis	0,002	0	0,0004	0,002	0,002	0	0,001	0,001
hembra con huevos	0,0008	0,0005	0	0	0,001	0	0	0,000
Mesocyclops araucanus	0,06	0,02	0,03	0,05	0,03	0,120	0,0006	0,02
hembra con huevos	0,0008	0	0	0,0003	0,0003	0,0005	0	0
Metacyclops mendocinus	0	0,0095	0,003	0,0093	0,0042	0	0,0006	0,003
Nauplius	0,1	0,07	0,009	0,02	0,04	0,1	0,02	0,01
Crustacea/ Brachiopoda								
Bosmina hagmanni	0,0003	0	0	0	0	0	0	0
Número total de cél L $^{-1}$	**0,16**	**0,09**	**0,05**	**0,08**	**0,08**	**0,25**	**0,02**	**0,04**
Riqueza de Taxa	**6**	**5**	**4**	**5**	**6**	**4**	**5**	**6**

De acuerdo al análisis de cluster en relación a la composición comunitaria del zooplancton, la estación 100394 parece ser la que mas se diferencia del resto de las estaciones del lago Chapo (Figura 51).

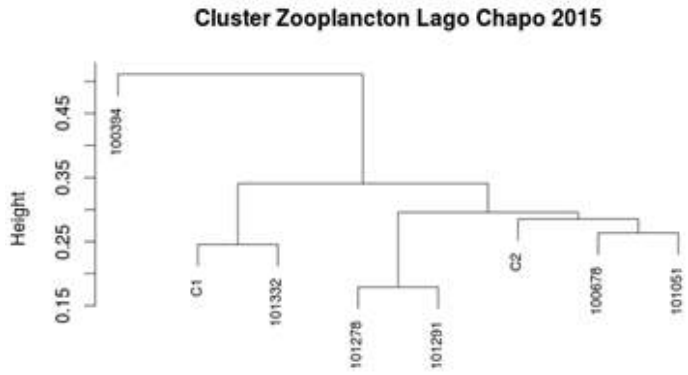


Figura 51. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Chapo.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Chapo se muestrearon 6 bahías en las cercanías de centros de acuicultura: Desagüe 1 (Centro 100394), Desagüe 2 (Centro 101291), Colulí (Centro 100678), Pitote (Centro 101051), Río sur (centro 101332) y Centro 101278.

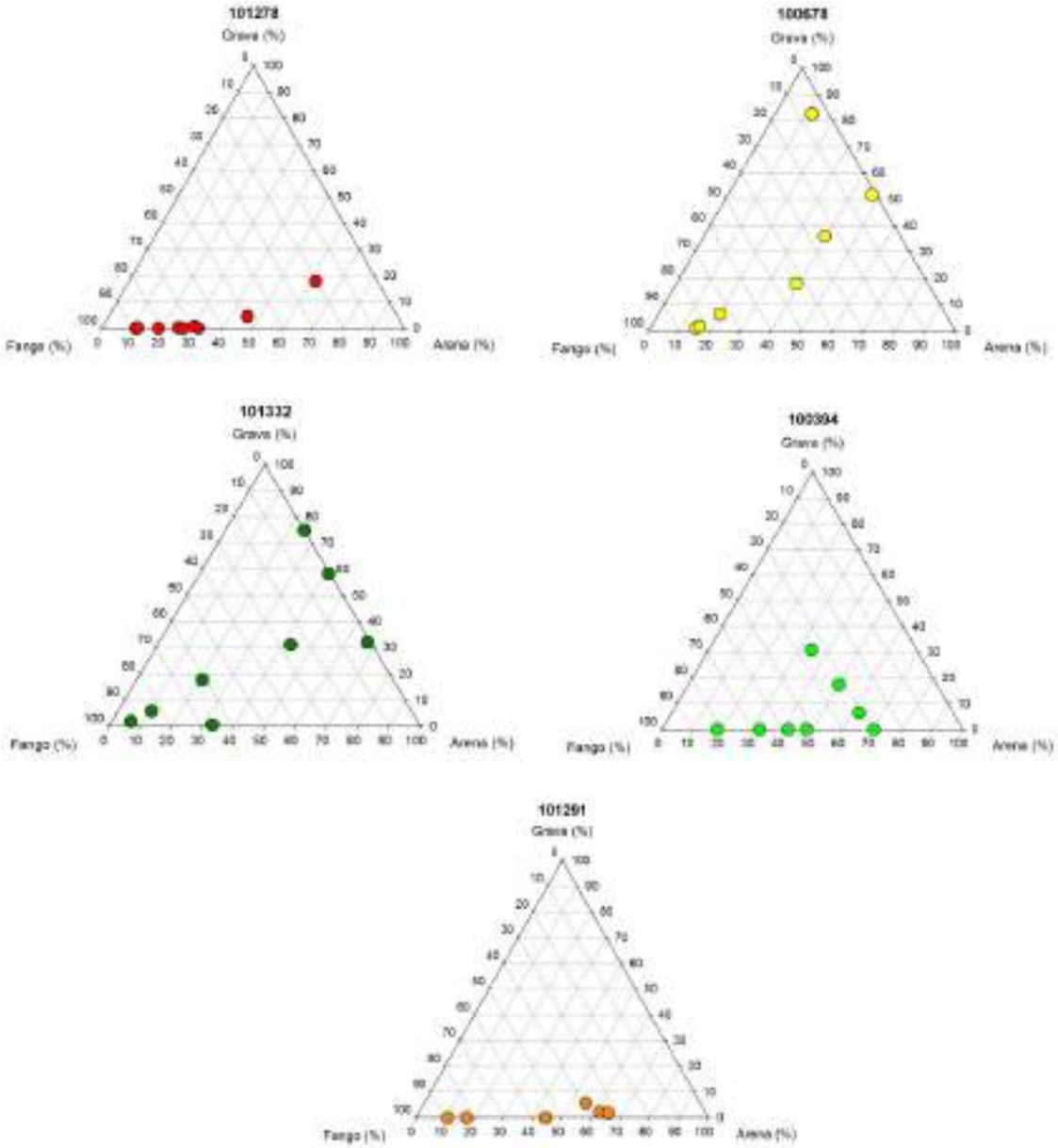


Figura 52. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 101278, 100678, 101332, 100394 y 101291 del lago Chapo.

En la estación 3 del centro 101291, así como también el Centro 101051 fue imposible obtener muestras para análisis de sedimento, debido a la presencia de fondo rocoso, además de numerables troncos que dificultaron la utilización de instrumentos tales como la draga. Los resultados del análisis granulométrico indicaron que el sedimento se compuso principalmente por fango (Tabla 33 en ANEXO 1).

El sedimento del centro 100394 presentó altos porcentajes de fango (31% a 61%), al igual que en los centros 101291 (69% a 42%), y 101278 (46% a 83%). En el centro 100678 el sedimento de las estaciones 1 y 2 se conformaron mayormente por fango, a excepción de la estación 3 que presentó alta contribución de grava (56%).

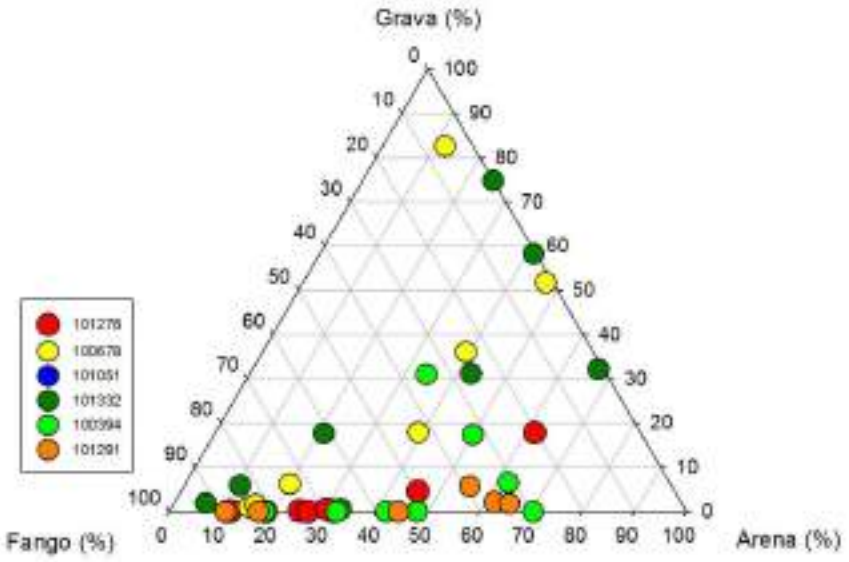


Figura 53. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Chapo.

Las figuras texturales (Figura 52) reforzaron lo anteriormente descrito. Los centros 100394 y 101291 presentaron mezclas granulométricas fango-gravoso y arena-fango-gravoso. Los sedimentos de los centros 100678 y 101332 presentaron similitudes en cuanto a sus mezclas, visualizándose por un lado un grupo fango-gravoso, y por el otro lado grava-fango-arenoso. El sedimento del centro 101278 estuvo conformado mayormente por fango.

En la Figura 53**,** en donde se agruparon las fracciones texturales de todas las estaciones muestreadas, se observó la tendencia a conformación de dos grupos, uno con mezclas gravo-fango-arenoso, y el otro fango-gravoso. También se refuerza la similitud entre los centros 101332 y 100678, y entre 101291 al 100394. El centro 101278 se caracterizó por sedimentos fangosos.

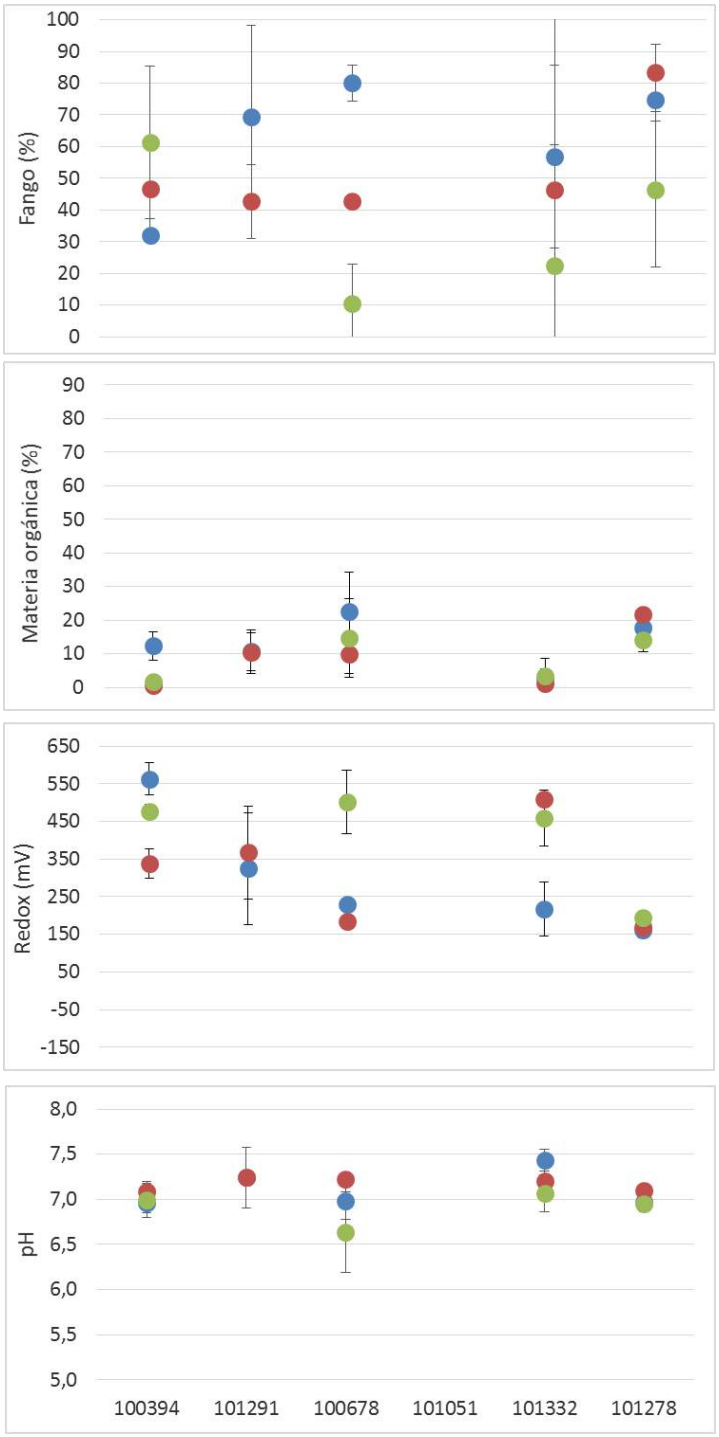


Figura 54. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Chapo.

El tamaño medio del grano en la mayoría de los casos correspondió a arena y limo. De manera general, el tamaño de grano medio fue más fino en el sedimento del centro 101278 (Tabla 34 en ANEXO 1).

Los resultados de materia orgánica en general se mostraron fluctuantes entre estaciones en cada centro (Figura 54 y Tabla 19), oscilando entre 0,5% a 22,5%. El mayor porcentaje de MO se registró en el centro 101278, el que a su vez estuvo compuesto principalmente por fango. El centro 100332 presentó menores valores de MO. Los valores de redox fueron positivos, mientras que el valor del pH se mantuvo en 7 (Tabla 19).

Tabla 19. Lago Chapo: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	pH
100394	1	6	12,4	562,7	7,0
	2	18	0,5	337,7	7,1
	3	25	1,8	477,0	7,0
101291	1	29	10,6	324,7	7,2
	2	11	10,6	367,7	7,2
	3	Fondo pedregoso			
100678	1	25	22,5	231,0	7,0
	2	30	9,8	185,3	7,2
	3	15	14,6	501,7	6,6
101051	1	Fondo pedregoso			
	2				
	3				
101332	1	91	2,6	217,3	7,4
	2	88	1,1	510,7	7,2
	3	41	3,5	459,3	7,1
101278	1	48	17,7	162,3	7,0
	2	20	21,6	168,7	7,1
	3	39	14,2	194,3	7,0

a) Correntometría Lagrangeana

En el presente proyecto no se comprometió realizar estudios de correntometría lagrangeana en este lago.

5.2.6 Lago Popetán

a) Análisis físico químicos del agua

La temperatura en ambas estaciones del lago Popetán muestra una disminución gradual en profundidad, desde 18°C en superficie a 10°C, mientras que el oxígeno se encontró mayormente estable en la columna de agua con valores cercanos a 9 mg/L, salvo en la E1 en donde el oxígeno fluctuó levemente en superficie (Figura 55, Tabla 35 en ANEXO 1).

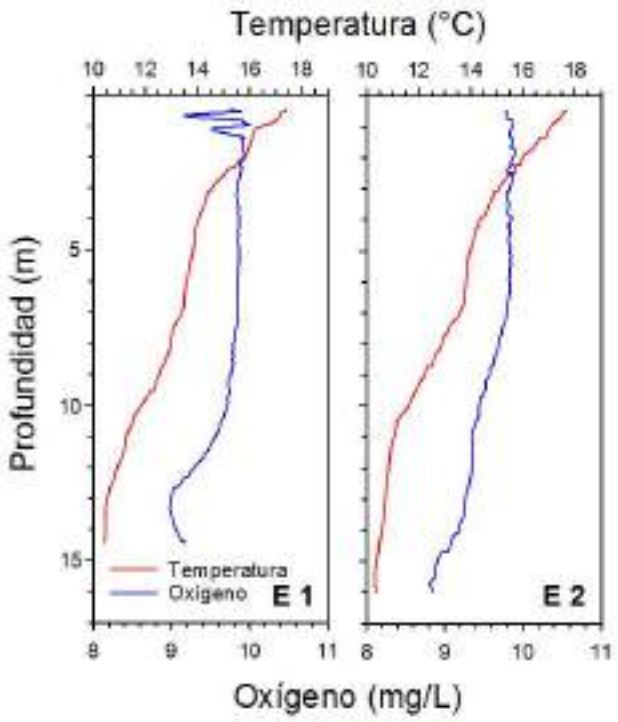


Figura 55. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Popetán.

En las Figuras 56 y 57 se muestran las concentraciones de nutrientes en el perfil vertical de la columna de agua en las estaciones de estudio (Tabla 35 en ANEXO 1). De acuerdo a ellas, los compuestos nitrogenados presentaron concentraciones menores a 100 µg/L y homogeneidad de su valor en profundidad. Las concentraciones de nitrito, en general, tendieron a estar por debajo del límite de detección (< 10 µg/L), mientras que la concentración del amonio fue similar a NT. Los elementos fosforados fueron menores a 15 µg/L, aumentando levemente en la estación E1 en profundidad.

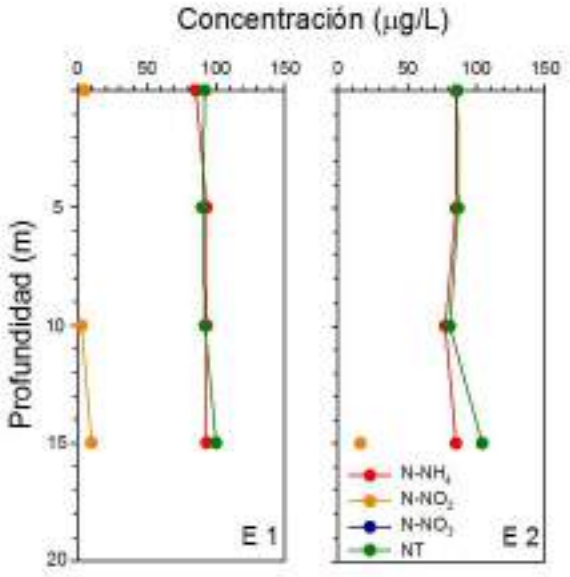


Figura 56. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Popetán.

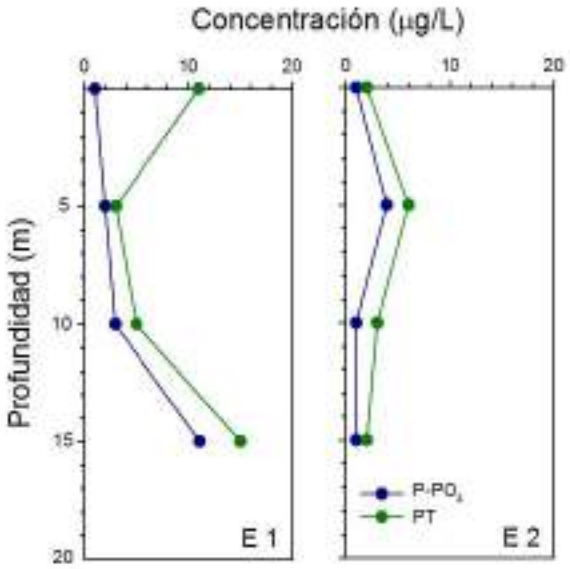


Figura 57. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Popetán.

De acuerdo a la caracterización de MOD, en este lago está dominado por carbono orgánico disuelto refractario de origen alóctono, con valores cercanos a 1 R.U. de ácidos húmicos. No se observó el predominio de los componentes de origen proteico (similar a proteína y triptófano), sino que el componente similar a ácidos húmicos UVA predominó cualitativa y porcentualmente (Figura 58).

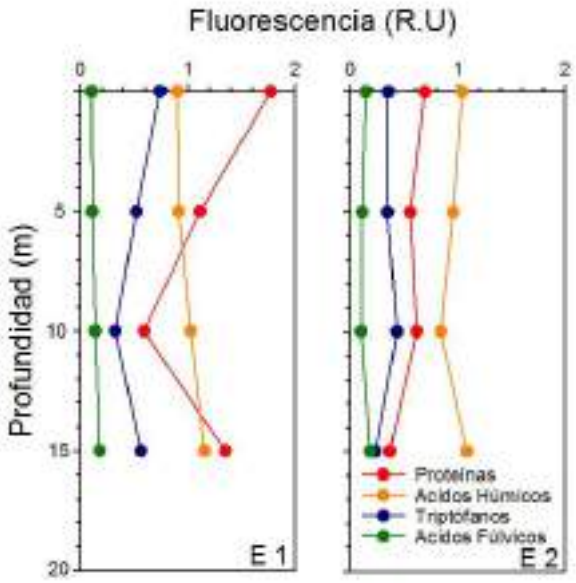


Figura 58. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Popetán.

En relación a la cuantificación de COD en el lago Popetán se analizaron dos estaciones de muestreo, donde el carbono orgánico disuelto se mantuvo en el rango de 3,7 – 4,4 mg C/L. Se observó de los resultados que este lago presenta poca variabilidad de concentraciones de carbono orgánico disuelto en cada estación muestreada y en su perfil vertical (Figuras 59).

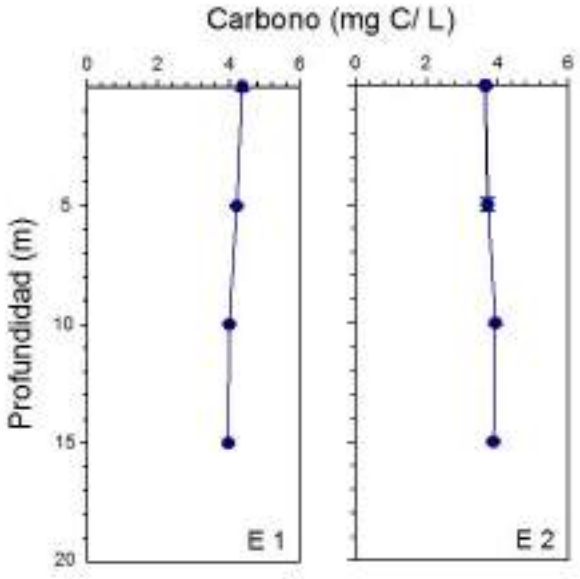


Figura 59. Concentraciones de COD en columna de agua del lago Popetán.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Popetán

En relación a lo anteriormente reportado (Tabla 20), las concentraciones de nitrógeno total en el lago Popetán son menores en la actualidad, evidenciando una condición oligotrófica para este parámetro. Según lo reportado por Prado *et al*. (1999) el nitrógeno total estuvo conformado principalmente por nitrógeno orgánico, a diferencia de lo que ocurre en la actualidad en que el amonio es el principal constituyente del nitrógeno. Situación similar ocurre con el fósforo, las concentraciones reportadas por Prado *et al*. (1999) fueron mayores y su principal constituyente fue la forma orgánica, en tanto en la actualidad el fósforo se encuentra conformado principalmente por ortofosfato. Las concentraciones de clorofila fueron similares a lo reportado en literatura para igual época del año, reflejando un estado oligotrófico para este parámetro trófico. Por otra parte la transparencia del lago Popetán es menor en la actualidad, sin embargo en ambos casos se observa una condición eutrófica.

Tabla 20. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Popetán.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	$N\text{-}NH_4$ (µg/L)	$N\text{-}NO_3$ (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)	Transparencia (m)	Época de muestreo
			Rango	Rango	Rango	Rango	Rango	Rango		
Prado *et al* ., 1999 (FIP IT 97 40)		0 - 10	8,54 - 97,5	14,01 - 263,2	124,5 - 896,2	2,07 - 14	8,9 - 112,75	0,14 - 6,81	3 - 4,5	De febrero 98 a enero 99

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	$N\text{-}NH_4$ (µg/L)		$N\text{-}NO_3$ (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		PO_4^- (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
III Etapa	E1	0-15	91,2	3,9	< 3		93,5	4,4	13	14,2	8,5	5,5	2,3	0,5	2,5	Verano 2016
	E2	0-15	83,5	3,9	< 3		90	10	5,3	5	3,3	1,9	2,03	0,97	2,5	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La densidad fitoplanctónica en verano de 2016 en el lago Popetán fluctuó entre 42.500 y 67.514 cél L^{-1}. Se observó una co dominancia entre Criptofíceas con un 39 y 47 % de abundancia relativa y Dinofíceas con 25 a 32% y Clorofíceas con 20 y 31 %. Los taxa más abundantes respectivamente para los grupos mencionados fueron *Cryptomonas spp., Peridinium* spp. y *Sphaerocystis sp.* (Tabla 21). La riqueza de taxa en el lago Popetan fue de 11 géneros, en ambas estaciones la riqueza de taxa fue 9. No se registró la microalga plaga *D. geminata*. (Tabla 36 en ANEXO 1). Para este lago no se realizó análisis de conglomerados, ya que al presentar solo dos estaciones no se puede realizar este análisis.

Tabla 21. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Popetán durante verano de 2016.

Lago	**Popetan**	
Estación	**E1**	**E2**
Densidad total (célL-1)	42500	67514
Grupo	%	%
Diatomeas	5	1
Cloroficeas	31	20
Criptoficeas	39	47
Dinoficeas	25	32
Cianobacterias	0	0

Zooplancton

En el verano de 2016 en el lago Popetán se encontraron 4 taxas, considerando a los nauplius como un posible taxa, dado que este estadio larval de los crustáceos puede atribuirse a varias especies (Tabla 22). La abundancia zooplanctónica fue baja, entre 0,32 y 0,36 cél L^{-1}.

Tabla 22. Abundancia de microcrustáceos en el lago Popetán en verano de 2015.

Estación/Especies	L. Popetán	
	E1	E2
Crustacea / Maxilopoda		
Tumeodiaptomus diabolicus	0,26	0,22
hembra con huevos	0,03	0,04
Nauplius	0,06	0,0005
Crustacea/ Brachiopoda		
Diaphanosoma chilense	0,002	0,0005
Bosmina hagmanni	0,01	0,04
Número total de cél L^{-1}	**0,36**	**0,32**
Riqueza de Taxa	**4**	**4**

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Popetán se muestrearon 2 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, denominadas Centro 1 y Centro 2. En la Tabla 37 en ANEXO 1 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto, se observó que la fracción sedimentaria predominante en ambos centros fue la arena, específicamente las arenas de tamaño grueso, medio y fino. En general el fango fue menor a 10%, mientras que la grava se encontró escasamente representada (< a 1,1%).

El tamaño medio en E1 estuvo representado mayormente por arena mediana, mientras que en el E2 arena mediana y fina. Los valores de selección fueron menores a 2,5, lo que indica una buena selección (tamaños de grano poco variables) (Tabla 38 en ANEXO 1).

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 60), se observó gran similitud en ambas estaciones, con altísima contribución de arena, registrándose porcentajes cercanos al 100%.

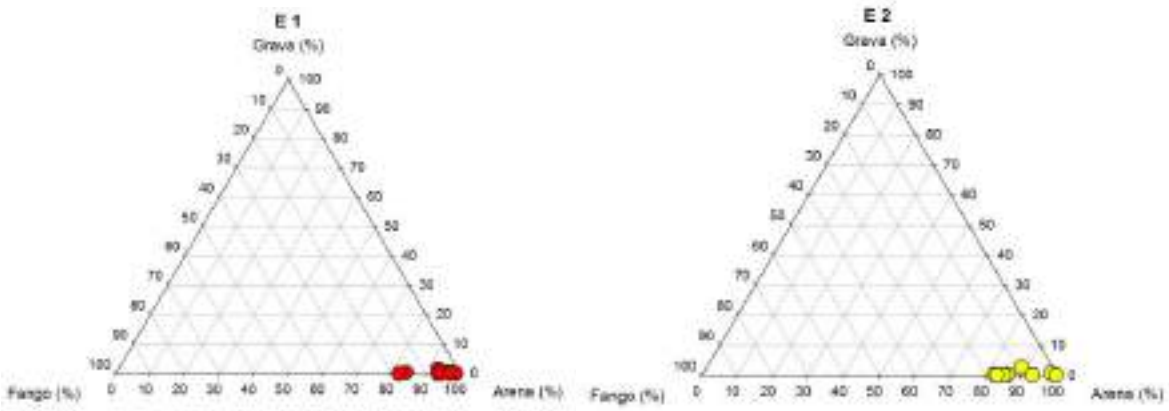


Figura 60. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 1 y 2 del lago Popetán.

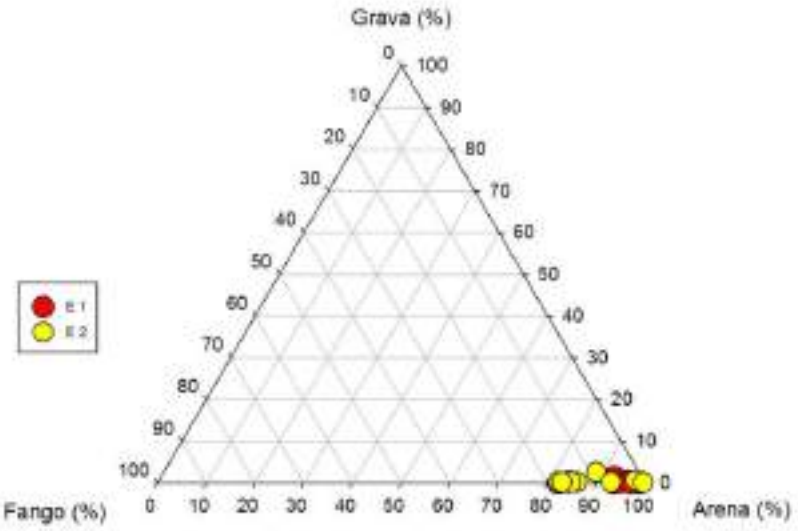


Figura 61. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Popetán.

Al realizar un análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Popetán (Figura 61), se refuerza lo anteriormente descrito, correspondiente a sedimento compuesto por arena.

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Popetán, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 23 y en la Figura 62.

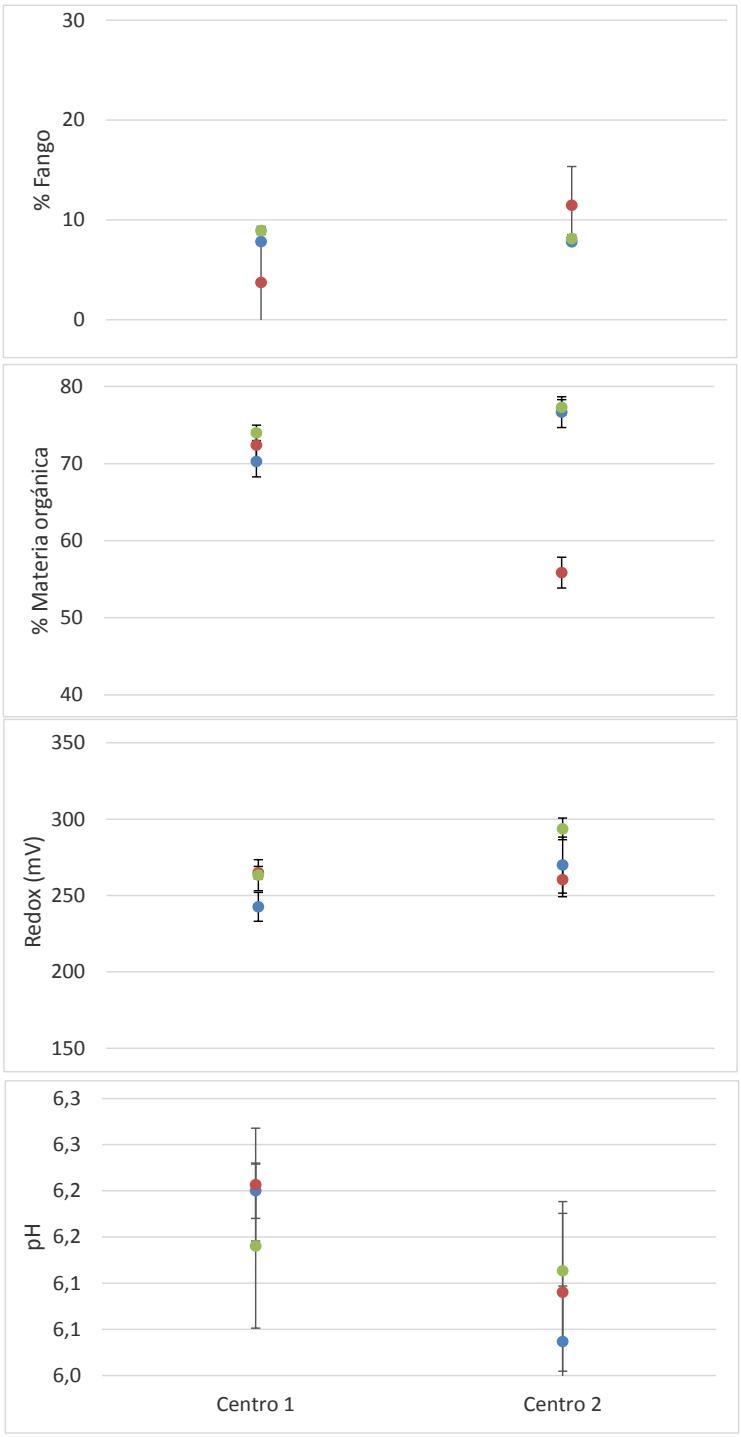


Figura 62. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), potencial redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Popetán.

En relación a los resultados de materia orgánica, todas las estaciones presentaron valores mayores a 55%. En relación al potencial redox, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV.

Según los resultados del pH, se observó un pH ácido en todas las muestras (<6,2).

Tabla 23. Lago Popetán: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	T°	pH
E1	1	10	70,3	242,7	14,2	6,2
	2	12	72,4	265,0	14,0	6,2
	3	15	74,0	263,3	13,5	6,1
E2	1	15	76,7	270,0	13,1	6,0
	2	12	55,9	260,3	13,6	6,1
	3	17	77,3	293,7	13,0	6,1

d) Correntometría lagrangeana

Como se aprecia en la Figura 63, las corrientes en el tramo estudiado se dirigieron primeramente hacia el oeste, para luego, dirigirse a la costa sur del lago. Se registraron corrientes promedios de 0,02 m/s a 0,05 m/s. En cuanto a las velocidades según profundidad, se observó que los derivadores en superficie recorrieron mayor distancia en comparación a los de profundidad, lo que se explica que en ciertos sectores la profundidad del lago fue menor a 5 m, lo que hizo que los derivadores de profundidad tocaran fondo (Tabla 24).

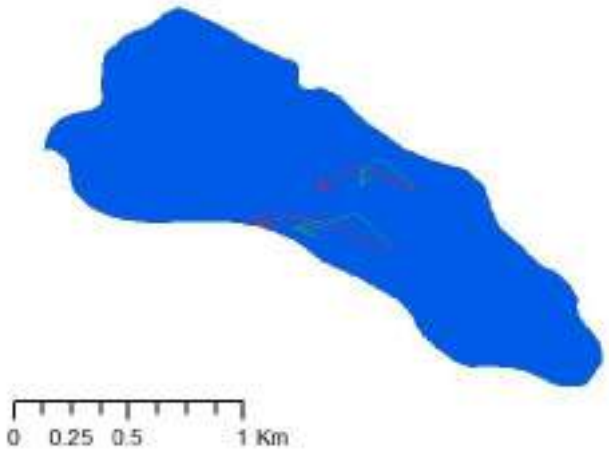


Figura 63. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo estudiado en el lago Popetán. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (5 m).

Tabla 24. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador para tramo estudiado en el lago Popetán.

Lago Popetán	Tramo corriente			
	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (5 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (5 m)
Promedio	0,03	0,02	0,05	0,03
DS	0,01	0,01	0,02	0,02
Máx.	0,13	0,08	0,13	0,11

La medición de velocidad y dirección del viento se realizó el día 6 de noviembre del 2015, registrándose (Tabla 39 en ANEXO 1), se registró una predominancia del viento proveniente del sur (Figura 64). La velocidad máxima fue de 13,7 m/s, mientras que la velocidad promedio calculada fue de 4,9 m/s, y un periodo de calma (velocidades menores a 2 m/s) de 6,83%.

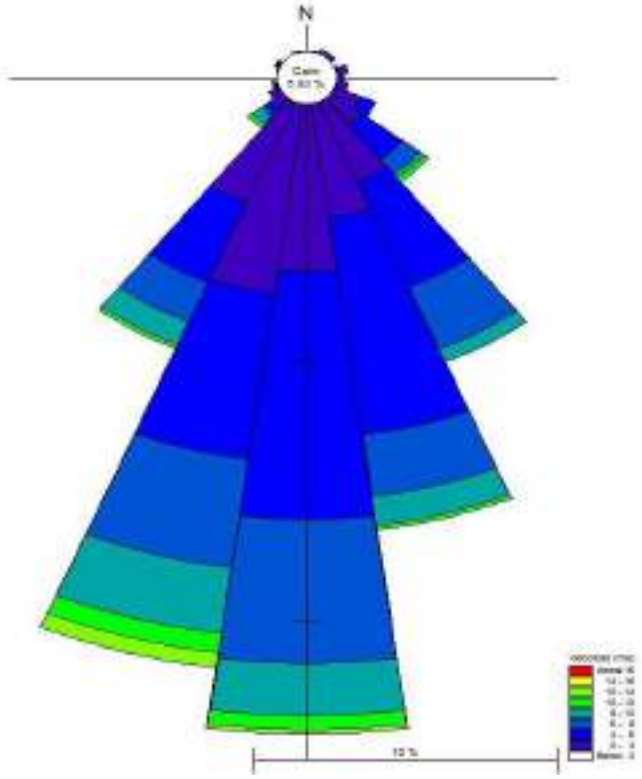


Figura 64. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Popetán.

5.2.7. Lago Cucao

a) Análisis físico químicos del agua

La Figura 65 refleja una columna de agua estratificada, aumentando la conductividad a mayor profundidad, con valores cercanos a 30.000 µS/cm a los 20 m, identificándose una clara picnoclina a partir de los 7 m (Tabla 40 en ANEXO 1). En tanto, la temperatura en superficie registró valores alrededor de 21°C, disminuyendo en profundidad a 12°C. El oxígeno, en superficie presentó valores cercanos a 8 mg/L, disminuyendo luego en profundidad, registrando incluso valores de 0 mg/L.

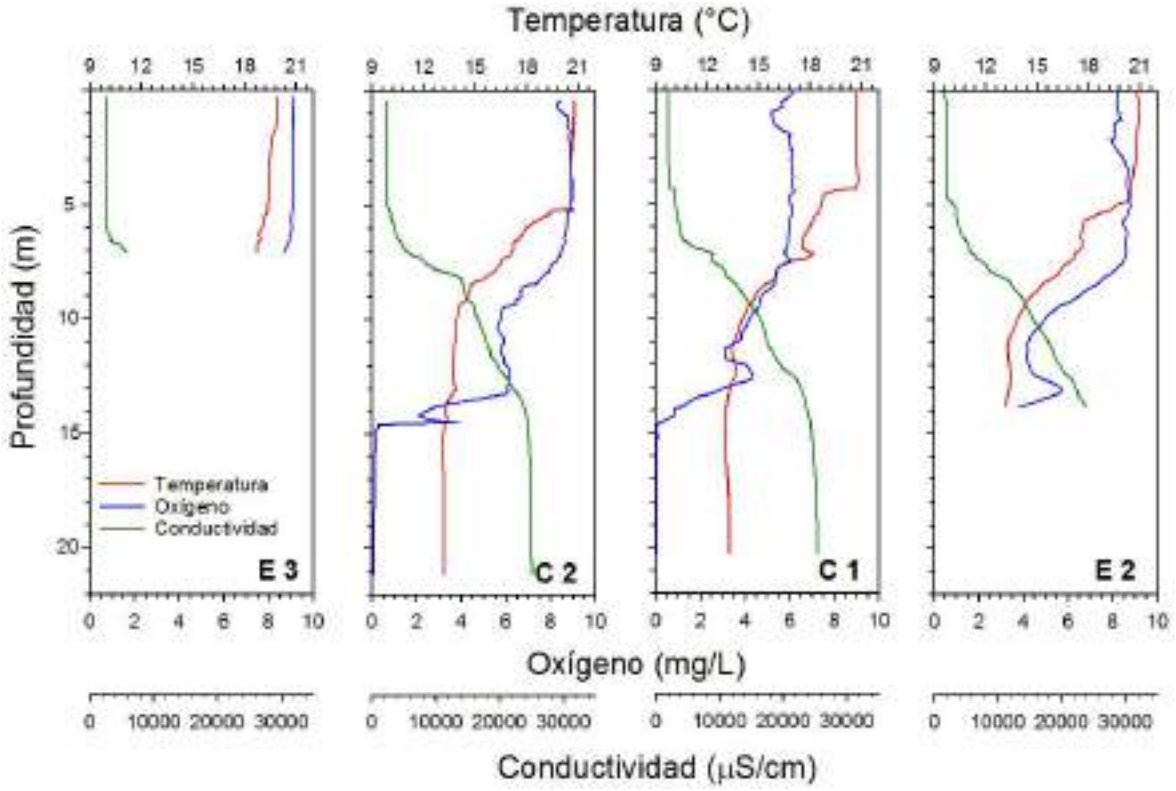


Figura 65. Perfiles temperatura (°C), oxígeno (mg/L) y conductividad (µS/Cm) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Cucao.

Las Figuras 66 y 67 muestran el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua en todas las estaciones de estudio (Tabla 40 en ANEXO 1). Las concentraciones de nitrógeno total fueron muy elevadas en todos los sitios (alrededor de 2000 µg/L), mientras que el amonio, nitrito y nitrato tienden a presentar valores bajos. El fosfato y PT poseen un comportamiento similar, con elevadas concentraciones, cercanas a 300 µg/L, presentándose mayoritariamente homogéneas a través de la columna de agua.

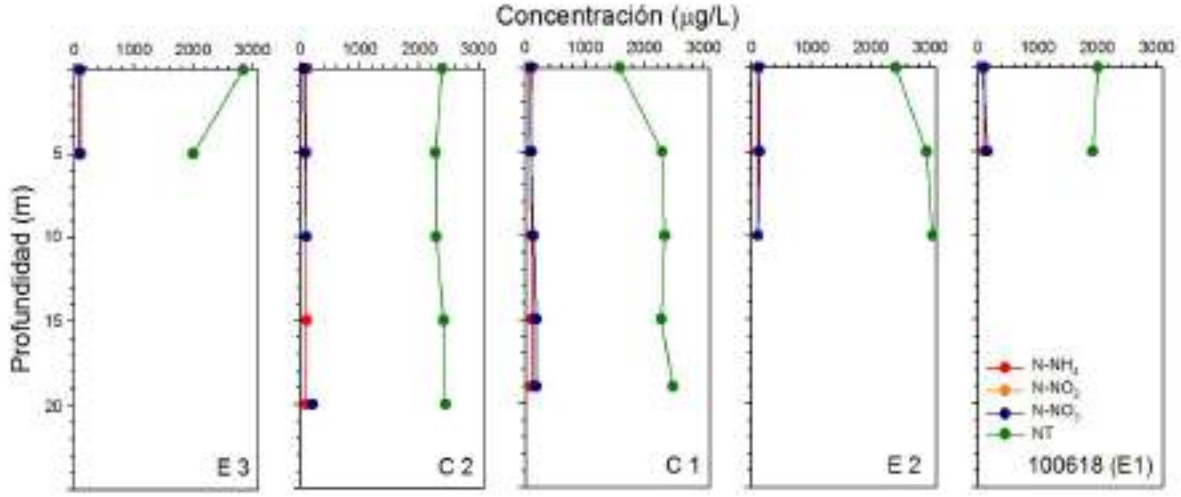


Figura 66. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Cucao.

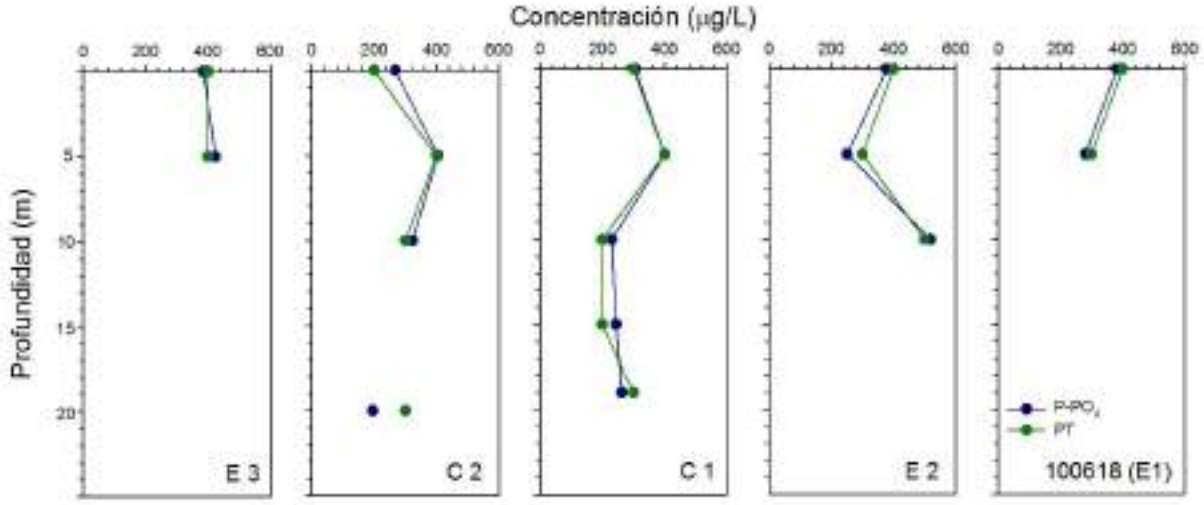


Figura 67. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Cucao.

De acuerdo a la caracterización de MOD, las intensidades máximas de fluorescencia del componente similar a proteína, se encontró en la superficie de la estación E3 del lago Cucao, que corresponde a la estación más cercana al mar (Figura 68). Mientras que las intensidades máximas para los componentes similares a ácidos húmicos UVA y ácidos fúlvicos, se encontraron en la

estación E2, en la zona central del lago, a las profundidades de 5 y 10 m, respectivamente. El componente similar a triptófano mostró su máxima intensidad en la estación E3 en la superficie del lago pudiendo estar relacionado a los asentamientos urbanos en la zona. A lo largo de las diferentes estaciones presentes en el lago Cucao, se observó en la mayoría de los casos, el predominio de los componentes de origen proteico (similar a proteína y triptófano) tanto en la superficie como en las profundidades muestreadas, a excepción de las estaciones C1 a la profundidad de 15 m y las estaciones C2 y 100618, a la profundidad de 5 m, en donde predomina cualitativa y porcentualmente el componente similar a ácidos húmicos UVA (origen alóctono). El componente similar a proteína es el que mayor variación tuvo a través de la gradiente de profundidades, mientras que el componente similar a ácidos fúlvicos es el que menor variación presentó.

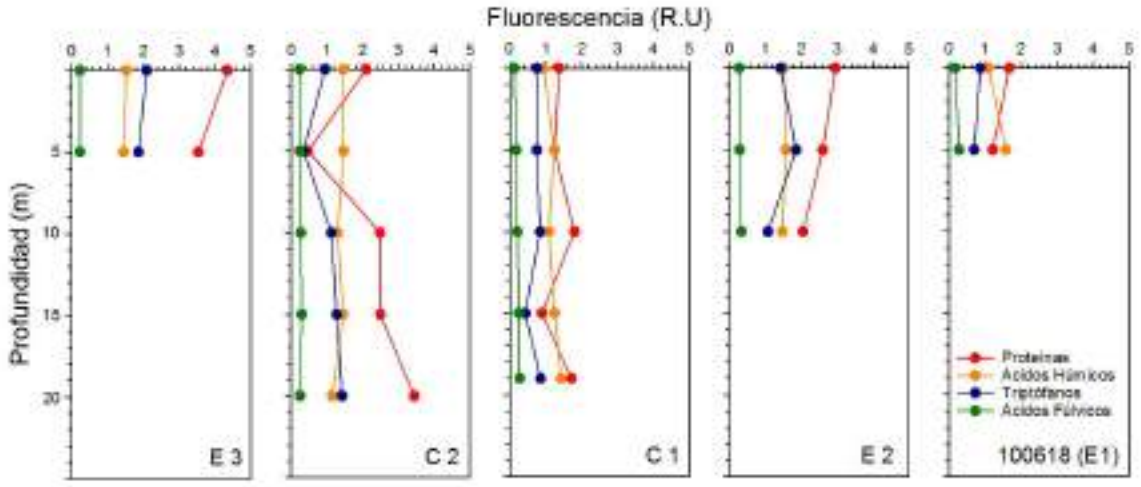


Figura 68. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Cucao.

En relación a las concentraciones de carbono (Figura 69), en las cinco estaciones el carbono orgánico disuelto se mantuvo en el rango de 4,4 – 7,1 mg C/L. La estación E3 mostró una baja variación, con 5,9 mg C/L en superficie y 5,6 mg C/L a 5m de profundidad. La estación C2 también presentó una distribución vertical relativamente homogénea, excepto el máximo de DOC observado a los 15m de profundidad con valores de 6,6 mg C/L. La estación C1 muestra una distribución relativamente homogénea respecto a los valores de carbono orgánico disuelto con tendencia leve a disminuir hacia el fondo, con excepción del mínimo de DOC observado a los 10m de profundidad con valores de 4,4 mg C/L. La estación 100618 que comprende sólo dos muestras a 0 y 5m de profundidad muestran una tendencia al aumento de 4,7 mg C/L en superficie a valores de 6,2 mg C/L a los 5m de profundidad. En la E2 se observó un máximo sub-superficial con valores máximos a 5m de profundidad (7,1 mg C/L).

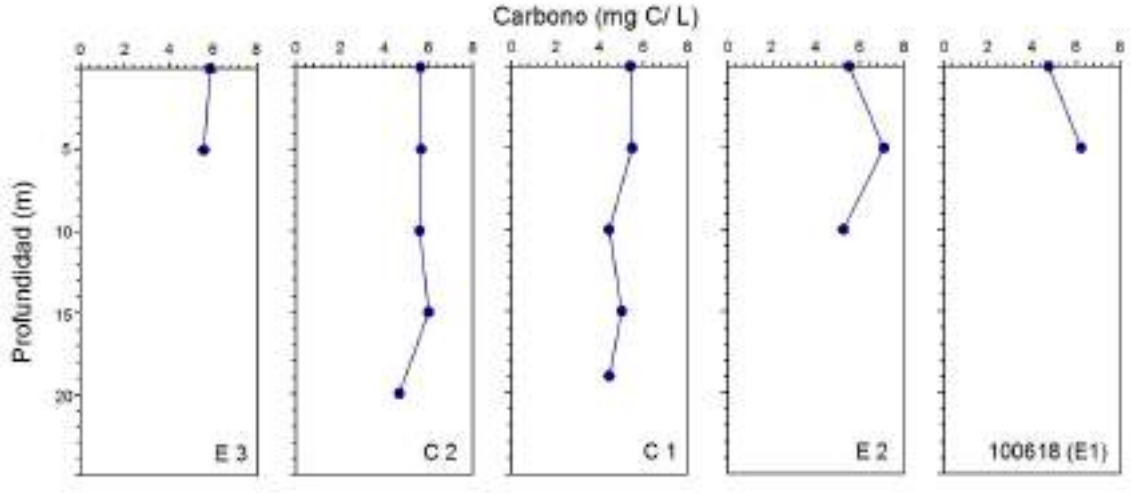


Figura 69. Concentración de COD en columna de agua del lago Cucao.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La abundancia fitoplanctónica fue variable en las diferentes estaciones del lago Cucao durante el verano de 2016. Cabe destacar que a diferencia de los otros lagos estudiados en el sistema de lagos conectados y con influencia marina Huillinco Cucao se realizó un muestreo en dos estratos. Se registraron densidades entre 40 a 3.845 cél L-1 (Tabla 25), obteniendo la mayor concentración en la estación E1, conformada principalmente por la diatomea *Cyclotella spp*. (3805 cél L-1), y la menor concentración fue registrada en la estación C1, en la cual no se registró la presencia de organismos en el estrato superficial (0 a 10 m), solo se referenciaron los organismos observados en los análisis cualitativos y en cambio en el estrato profundo (15 a 20) se registraron 40 cél L^{-1} exclusivamente de *Gonatozygon spp*.

La riqueza fitoplanctónica en el lago Cucao registró 23 taxas, entre las estaciones de muestreo osciló entre 3 y 12 taxa, en las estaciones E1 y E3 respectivamente. Las Diatomeas fueron el grupo más diverso y abundante en la mayor parte del lago, la estación C1 presentó la menor diversidad y abundancia. La baja densidad puede atribuirse a la hidrodinámica del sistema. Este grupo fue dominante en las estaciones E2, E1 y C2 con abundancias entre un 77% y 100% de la abundancia relativa respectivamente (Tabla 41 en Anexo 1). *Dinobryon spp* presentó abundancia relativa entre 11 y 31% en las estaciones E2 y E3 respectivamente, finalmente con abundancia de 11% para la estación E2 se observó *Cryptomonas spp*.

No se registró la presencia de la Diatomea plaga Fan *D. geminata* en el lago Cucao.

Tabla 25. Densidad celular y abundancia relativa para grupos principales de fitoplancton en el lago Cucao durante verano de 2016.

Lago	**Cucao**					
Estación	**E3**	**C2**	**C1**	**C1 prof**	**E2**	**E1**
Densidad total (célL-	1620	200	0	40	360	3845
Grupo	%	%	%	%	%	%
Diatomeas	67	100	0	0	78	100
Crisoficeas	31	0	0	0	11	0
Cloroficeas	2	0	0	100	0	0
Criptoficeas	0	0	0	0	11	0
Euglenoficeas	0	0	0	0	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0

El análisis de Cluster obtenido de las concentraciones de fitoplancton por estación de muestreo del lago Cucao nos indicó una clara diferencia entre las estaciones E1, E2 y E3, respecto al sitio de control C1 en profundidad, C1 y C2. Las estaciones E se diferencian claramente de las control (C) y estas últimas entre sí (Figura 70).

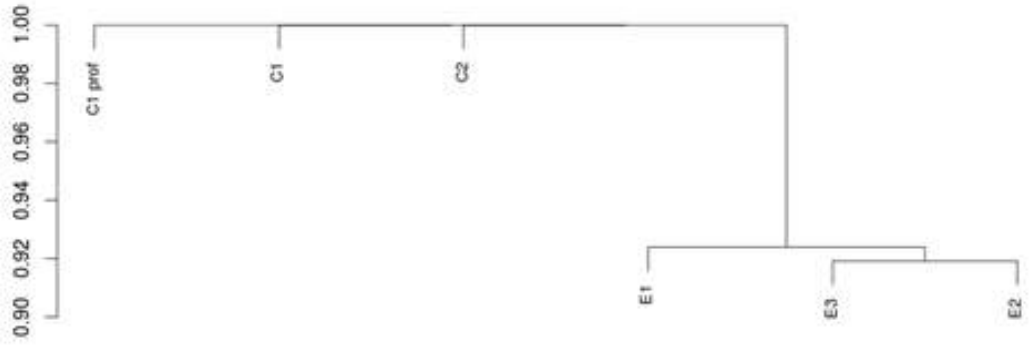


Figura 70. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Cucao en verano de 2016.

Zooplancton

En el lago Cucao durante el verano de 2016, se observaron 5 taxas, 4 crustáceos y 1 rotífero (Tabla 26). La abundancia zooplanctónica fluctuó entre 0,32 y 9,14 cél L^{-1}. En el lago Cucao, son coincidentes la baja densidad de fitoplancton y zooplancton en las estaciones C1 y C2. Posiblemente ésto se relacione con el dinamismo de la columna de agua, en el área media y más profunda del lago.

Tabla 26. Abundancia de microcrustáceos en el lago Cucao, en verano de 2016.

Estación/Taxa	Lago Cucao				
	E3	C2	C1	E2	100618
Crustacea / Maxilopoda					
Tumeodiaptomus diabolicus	0,9	0,2	0,6	4,2	6,2
hembra con huevos	0,02	0,01	0,03	0,3	0,3
Nauplius	0,02	0,01	0,02	0,09	1,02
Crustacea/ Brachiopoda					
Diaphanosoma chilense	0,91	0,13	0,16	1,59	1,37
Bosmina hagmanni	0	0,001	0	0,01	0,13
Rotifera /Monogononta					
Filinia longiseta	0	0	0	0	0,18
Número total de cél L^{-1}	**1,85**	**0,32**	**0,80**	**6,15**	**9,14**
Riqueza de Taxa	**3**	**4**	**2**	**4**	**5**

El lago Cucao nos muestra que pese a tener solamente 3 estaciones de muestreo estas se diferencian claramente unas de otras debido a su composición de zooplancton, en especial C1 del resto de las dos estaciones (Figura 71).

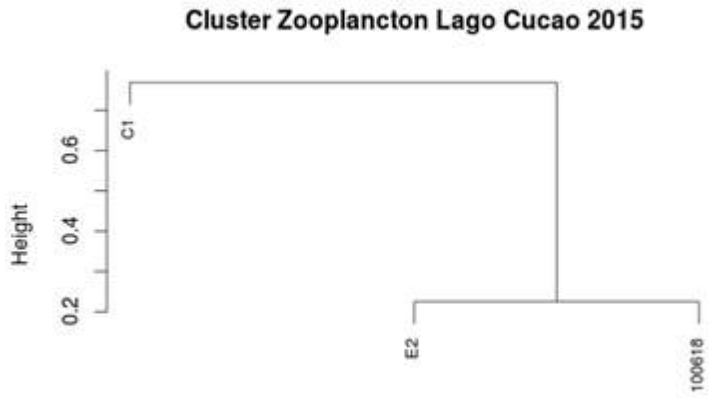


Figura 71. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Cucao.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Cucao se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías en donde alguna vez se realizaron cultivos de salmónidos (Centro 1, Centro 2 y Centro 3). Sin embargo, estos centros se encontraron en estado de abandono, inclusive las instalaciones ya fueron desinstaladas y retiradas.
Los resultados del análisis granulométrico se presentan en la Tabla 42 en ANEXO 1. Al respecto, en el Centro 1, los resultados fueron bastante variables entre estaciones. Así, la estación 1 presentó gran contribución de arena media (45%), seguida de arena fina (29%), la estación 2 presentó un alto porcentaje de fango (71%), mientras que la estación 3 registró mayor contribución de grava (31%), seguido por el fango (21%). El Centro 2 presentó valores más homogéneos entre las estaciones, registrándose una mayor contribución del fango (91% en la estación 1; 82% en la estación 2; y 89% en la estación 3). En el Centro 3, específicamente en la estación 1 la mayor contribución estuvo dada por la arena fina y muy fina, y el fango (> 29%); en la estación 2 el mayor aporte lo registró el fango con un 82%; mientras que en la estación 3 la arena media y el fango fueron los principales contribuyentes (26% y 22% respectivamente).

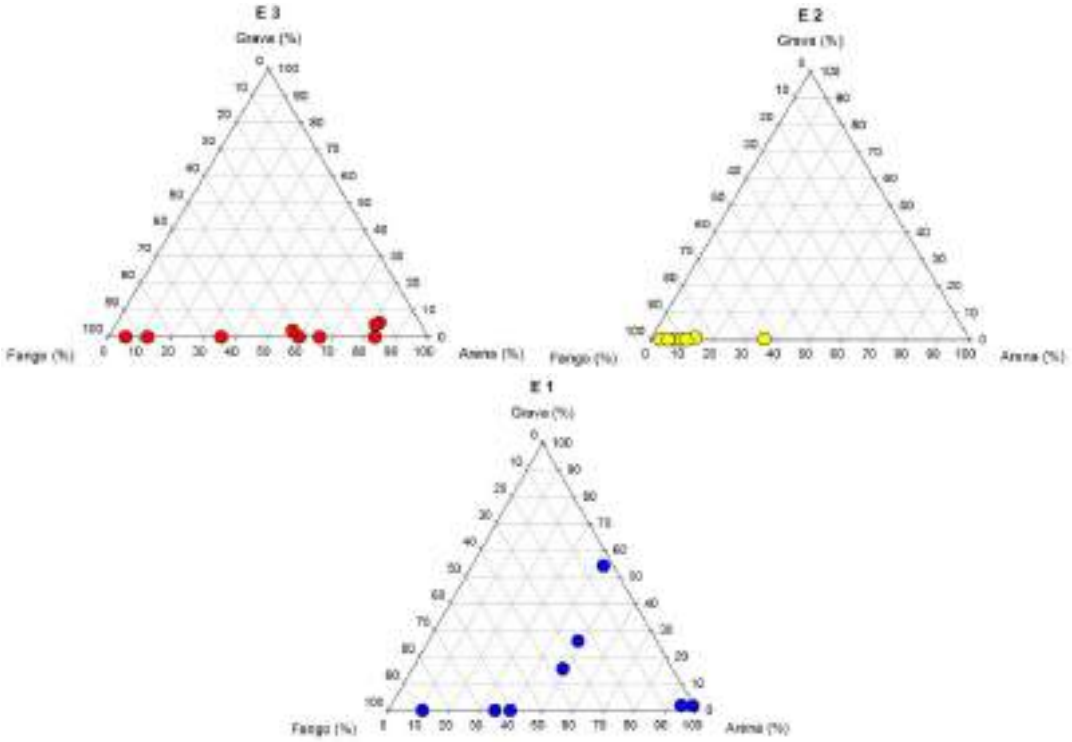


Figura 72. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 3, 2 y 1 del lago Cucao.

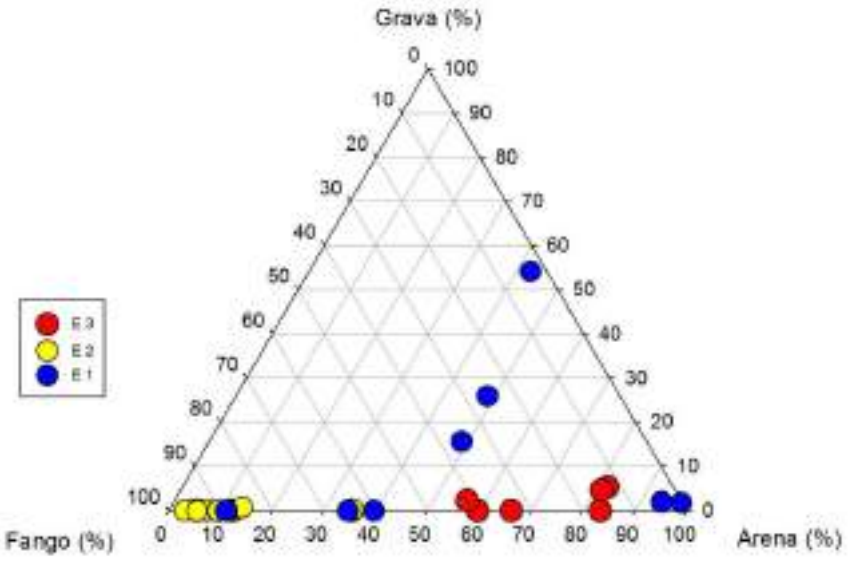


Figura 73. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Cucao.

Al analizar los parámetros de textura por bahía (Figura 72), la estación 3 presentó una composición de fango-arenosa a arena-fangosa; la estación 2 mayormente fangosa; mientras que la estación 1 presentó sedimento fango-arenoso, arena fango-gravoso, como también grava-arenosa.

Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Cucao (Figura 73), se observa una tendencia a la conformación de dos grupos: por un lado un grupo con altos porcentajes de fango (60 - 100%) y arena (1 - 40%). El segundo grupo presentó mayores porcentajes de arena (60 - 100%), y en menor grado fango. Sin embargo, también se registró algunas muestras con altos porcentajes de grava, cercanos al 60%.

Tabla 27. Lago Cucao: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Potencial Redox	T°	pH
E 1	1	14	3,6	-8,3	13,6	7,0
	2	13	31,9	-38,0	13,7	7,2
	3	13	14,6	-4,0	13,9	7,0
E 2	1	6	34,9	76,7	18,2	7,6
	2	12	32,4	-96,7	16,8	7,4
	3	6	33,7	86,7	17,5	7,4
E 3	1	15	3,8	246,3	14,8	7,2
	2	14	9,7	-105,7	14,7	7,4
	3	17	5,3	-71,3	15,6	7,4

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas en las cercanías a las concesiones de acuicultura otorgadas en el lago Cucao, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 27 y en la Figura 74. En relación a los resultados de materia orgánica, los mayores porcentajes se registraron en el Centro 2 (> a 32%), y en la estación 2 del Centro 1 (31,9%). En relación al potencial redox, el Centro 1 presentó valores negativos (entre -4 y -38 mV); el Centro 2 registró valores de entre 86,7 a -96,7 mV; mientras que en el Centro 3 rangos entre -105,7 y 246,3 mV. El pH fue bastante homogéneo (entre 7 a 7,4).

En cuanto al tamaño medio del sedimento, se observó predominancia de arena mediana en el Centro 1, limo grueso en el Centro 2, y arena muy fina en el Centro 3. La selección indicó que en general existió una buena selección (tamaños de grano poco variables) (S < 0,5) (Tabla 43 en ANEXO 1).

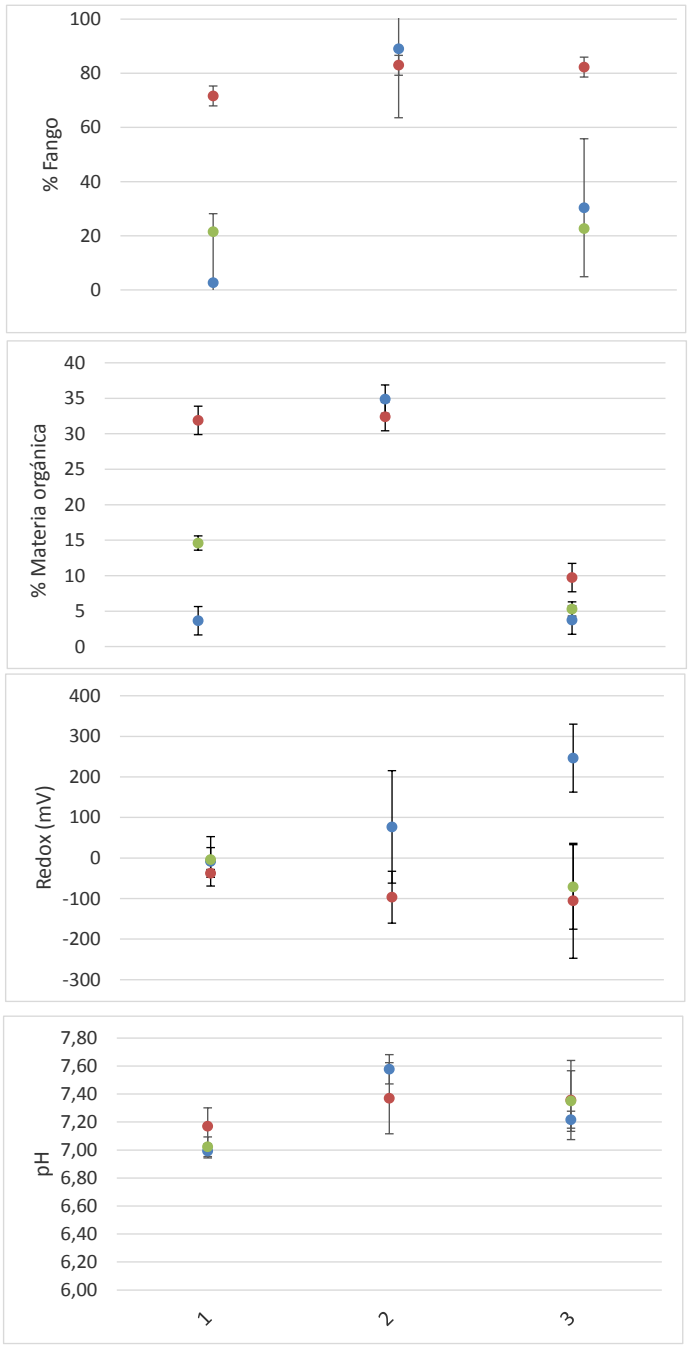


Figura 74. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Cucao.

d) Estudio de correntometría

Más adelante se tratará este tema en extenso.

5.2.8. Lago Huillinco

a) Análisis físico químicos del agua

Al igual que el lago Cucao, el lago Huillinco presentó similar tendencia en cuanto al comportamiento de las variables de conductividad, temperatura y oxígeno disuelto, observándose comienzos de una clara picnoclina, oxiclina y haloclina a los 7 m de profundidad. En profundidad, se registró anoxia con valores cercanos a 0 mg/L, y alta conductividad (30.000 µS/cm) (Figura 75, Tabla 44 en ANEXO 1).

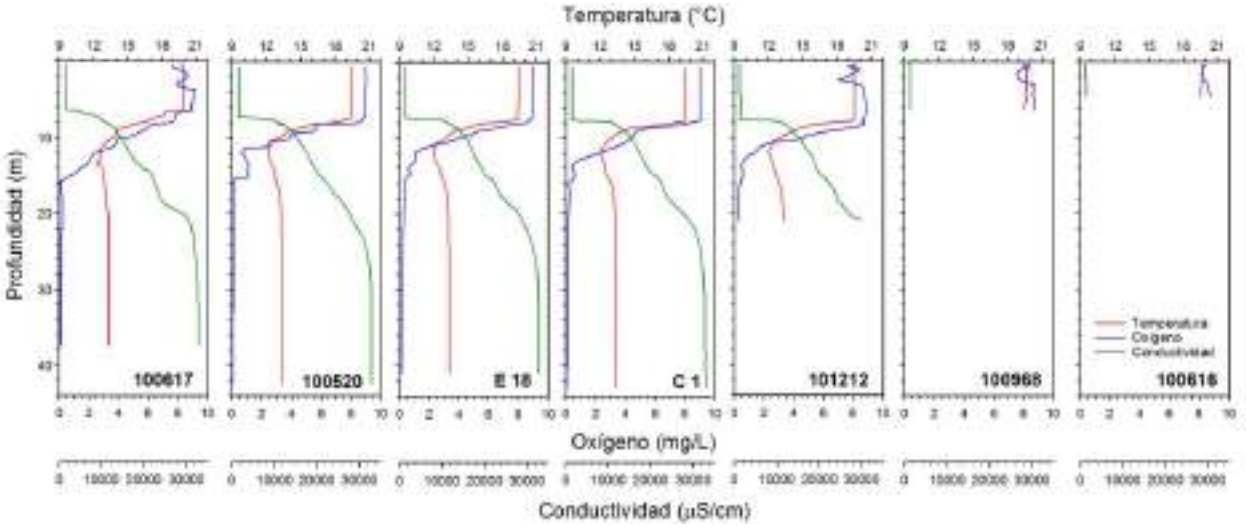


Figura 75. Perfiles temperatura (°C), oxígeno (mg/L) y conductividad (µS/Cm) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Huillinco.

Las Figuras 76 y 77 muestran las concentraciones de los nutrientes en la columna de agua en todos los sitios de estudio (Tabla 44 en ANEXO 1). Los valores de los compuestos nitrogenados registrados en todas las estaciones de estudio fueron altos, con valores cercanos a los 12000 µg/L cuando aumenta la profundidad. En general, los compuestos nitrogenados aumentaron en profundidad, salvo la estación 100520 que registró una disminución a 40 m. El fósforo y PT presentaron valores en su mayoría menores a 2000 µg/L, con tendencia a aumentar su concentración en profundidad.

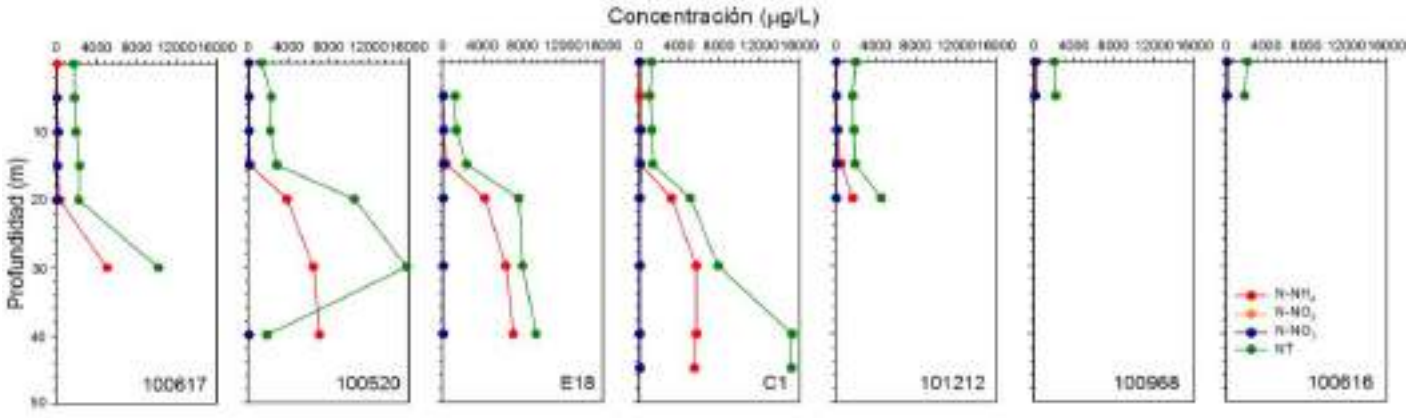


Figura 76. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Huillinco.

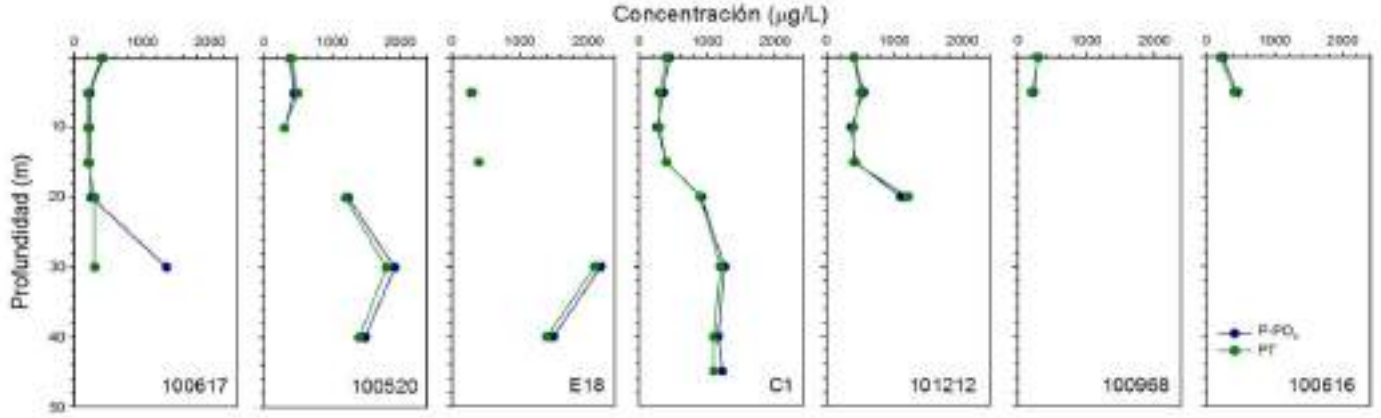


Figura 77. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Huillinco.

En relación a la caracterización de la MOD, las intensidades máximas de fluorescencia del componente similar a la proteína, se encontraron en la zona central del lago correspondiente a la estación C1, en la superficie del lago (0 m) (Figura 78). Mientras que las intensidades máximas para los componentes similares a ácidos húmicos UVA y ácidos fúlvicos, se encontraron en la estación C1, a las profundidades de 20 y 40 m, respectivamente. Indicando que la fracción más refractaria se concentra en los estratos más profundos. El componente similar a triptófano mostró su máxima intensidad en la estación C1 a los 5 m de profundidad. A lo largo de las diferentes estaciones presentes en el lago Huillinco, se observó en la mayoría de los casos, el predominio de los componentes de origen proteico (similar a proteína y triptófano) tanto en superficie como en profundidad, exceptuando el estrato de profundidad (30- 45 m) en la estación C1. Las estaciones 100968, 100616 y E18, en la superficie del lago (0 m) y la estación 100617 a la profundidad de 30 m, predomina cualitativa y porcentualmente el componente similar a ácidos húmicos UVA. El componente similar a proteína es el fluoróforo que mayor variación tuvo a través de la gradiente de profundidades, mientras que el componente similar a ácidos fúlvicos es el que menor variación presentó.

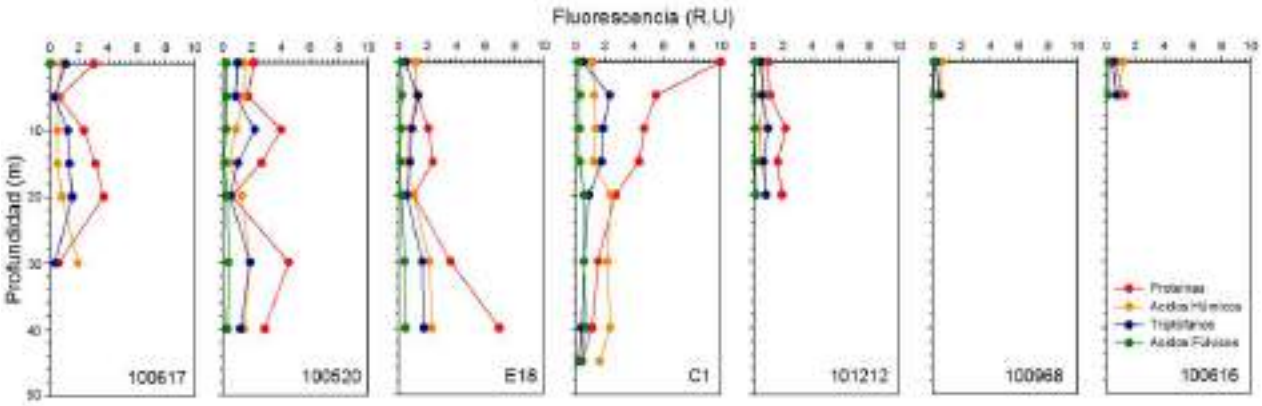


Figura 78. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Huillinco.

En tanto la concentración de carbono orgánico disuelto en el lago Huillinco se mantuvo en el rango de 2,4 – 10,1 mg C/L (Figura 79). Los valores máximos se registraron generalmente en el estrato profundo (30 – 40 m), mientras que los valores mínimos en superficie (0 – 5 m). En la estación 100617 se observó un mínimo sub-superficial a los 5m de profundidad con valores de 4,1 mg C/L, seguido por un leve aumento a 5,6 mg C/L a los 10m de profundidad, para luego disminuir nuevamente a concentraciones de 4,6 mg C/L. A mayor profundidad la concentración de DOC aumenta constantemente a un máximo a 30m de profundidad con valores que alcanzan los 10,1 mg C/L. En la estación 100520 se observó un máximo sub-superficial a 5m de profundidad con valores de 5,3 mg C/L, seguido por un mínimo (1,9 mg C/L) a los 15m de profundidad. A mayor profundidad la concentración de DOC aumenta constantemente, a un máximo a 40m de profundidad con valores que alcanzan los 6,8 mg C/L. En la estación E18 se observa un máximo sub-superficial a 5m de

profundidad con valores de 6,4 mg C/L, seguido por un mínimo con concentraciones de 2,4 mg C/L a los 10m de profundidad. A mayor profundidad la concentración de DOC aumenta constantemente a un máximo a 40m de profundidad con valores que alcanzan los 7,3 mg C/L. En estación Control 1 se observó un mínimo sub-superficial a 15m de profundidad con valores de 4,8 mg C/L. A mayor profundidad la concentración de DOC aumenta a un máximo a 30m de profundidad con valores que alcanzan los 9,6 mg C/L, para después disminuir nuevamente hasta valores de 6,8 mg C/L a 45m de profundidad. En la estación 101201 se poca variabilidad entre los 0 y los 15m de profundidad (2,9 - 3,3 mg C/L). A mayor profundidad la concentración de DOC aumenta a un máximo a 20m de profundidad con valores que alcanzan los 3,3 mg C/L. En la estación 100968 se analizaron dos muestras entre los 0 y los 5m de profundidad con valores de 3,7 mg C/L en superficie y aumentando a 6,6 mg C/L a 5m de profundidad. En la estación 100616 se analizaron dos muestras entre los 0 y los 5m de profundidad con valores de 4,0 mg C/L en superficie y disminuyendo a 3,5 mg C/L a 5m de profundidad.

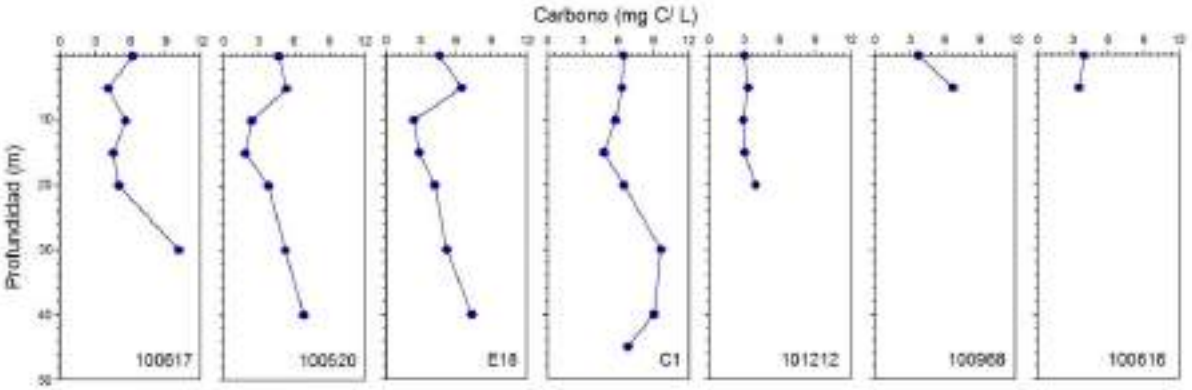


Figura 79. Concentración de COD en columna de agua del lago Huillinco.

b) Análisis de parámetros biológico

Fitoplancton

La abundancia fitoplanctónica durante el verano de 2016 fue variable en el lago Huillinco entre 0 (C1 en el estrato en profundidad) y 7.843 cél L^{-1} (100616) (Tabla 28).

La composición fitoplanctónica del lago Huillinco durante el verano de 2016, presentó una riqueza de 20 taxa. La riqueza fitoplanctónica fluctuó entre 1 y 11 taxa por estación, siendo la estación de muestreo 100616 la que presentó una mayor diversidad.

Las diatomeas fueron el grupo más diverso y dominante en las estaciones de muestreo dominaron numéricamente la comunidad fitoplanctónica, con abundancia relativa de 24% el grupo de las Euglenofíceas cobró importancia entre los 10 y 20 metros de profundidad. El taxa más representativo fue *Cyclotella spp* la cual estuvo presente en todas las estaciones de muestreo con abundancias relativas que fluctuaron entre 6 y 100%, *Tabellaria fenestrata* tuvo una menor representatividad espacial se encontró en las estaciones 100520, E18, C1 y 101212 profundidad, *Pinularia spp* solo se registró en la estación 100617 profundidad con una abundancia relativa de 100%, *Tabellaria flocculosa* se registró en la estación 100968 con 70% de abundancia relativa, en estación 101212 bajo los 10 m de profundidad se observó la Euglenoficea *Lepocinclis spp* con de 24%.

En la estación 100616, cercana al estero Notue, principal afluente del lago, se observó la mayor abundancia fitoplanctónica, la cual se relacionó con un 86% de abundancia relativa de *Diatoma spp*, junto con otras diatomeas pennadas que suman más de un 10% de la abundancia relativa.

No se registró la presencia de *D. geminata.*

Tabla 28. Densidad celular y abundancia relativa para principales grupos de fitoplancton taxa en el lago Huillinco durante verano de 2016.

Lago	Huillinco										
Estación	100617	100617 prof	100520	E18	E18 prof	C1	C1 prof	101212	101212 prof	100968	100616
Densidad total (célL-1)	516	40	739	4.521	40	619	0	1.239	2.638	1.660	7.843
Grupo	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
Diatomeas	100	100	100	99	100	94	0	100	76	100	99
Cloroficeas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenoficeas	0	0	0	0	0	6	0	0	24	0	1

El lago Huillinco presentó estaciones con 4 agrupaciones sin presentar diferencias entre las estaciones que son control y las estaciones asociadas a centros, asociándose el fitoplancton en 2 grupos principales (Figura 80).

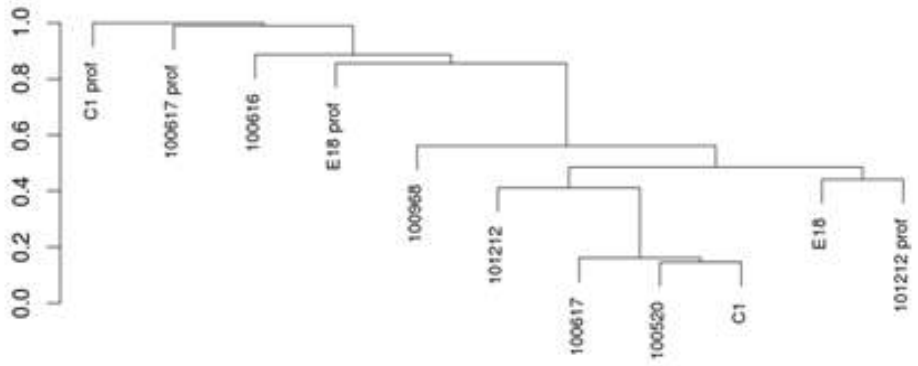


Figura 80. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Huillinco en verano de 2016.

Zooplancton

En el lago Huillinco durante el verano de 2016, se observaron 6 taxas, compuesta por 5 crustáceos y 1 rotífero (Tabla 29). La abundancia osciló entre 0,14 y 21,14 cél L^{-1}. Las especies más abundantes fueron *T. diabolicus* y *F. longiseta*, en la estación 100616 se registró la mayor densidad de microcrustáceos, coincidente con la máxima abundancia de fitoplancton.

Tabla 29. Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco, en verano de 2016.

Estación/Taxa	lago Huillinco						
	100617	100520	E18	C1	101212	100968	100616
Crustacea / Maxilopoda							
Tumeodiaptomus diabolicus	6,4	5,0	0,2	0,1	0,5	1,4	7,4
hembra con huevos	0,4	0,1	0,003	0,001	0,03	0,05	0,01
Antarctobiotus sp	0	0	0	0	0,001	0	0
Nauplius	0,21	0,01	0,02	0,01	0,10	0,50	2,96
Crustacea/ Brachiopoda							
Diaphanosoma chilense	1,29	0,10	0,11	0,01	0,01	0,01	0,06
Bosmina hagmanni	0,08	0,04	0,03	0,01	0,02	0,26	3,25
Rotifera /Monogononta							
Filinia longiseta	0,08	0,08	0,78	0,04	0,56	0,58	7,48
Número total de cél L^{-1}	**8,48**	**5,40**	**1,18**	**0,14**	**1,18**	**2,77**	**21,14**
Riqueza de Taxa	**6**	**6**	**6**	**6**	**7**	**6**	**6**

De acuerdo al análisis de cluster realizados sobre las concentraciones de zooplancton por estación de muestreo en el lago Huillinco, nos indicó que excepto la estación C1, el resto se agrupa en 2 subgrupos con sus respectivas composiciones comunitarias de zooplancton (**Figura 81**).

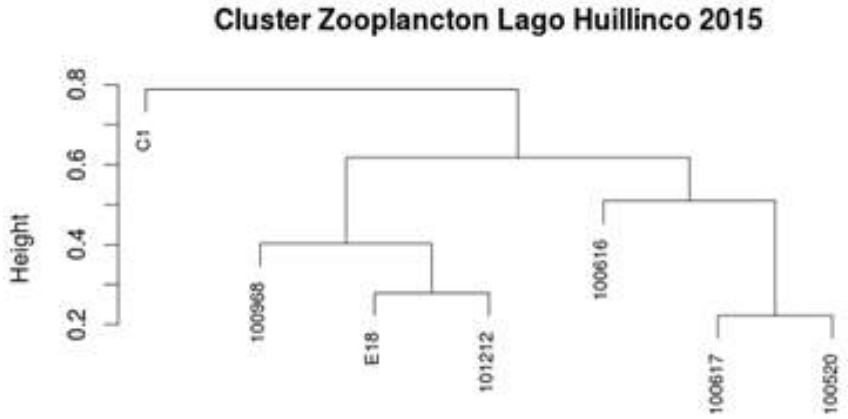


Figura 81. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Huillinco.

c) Análisis físico-químicos del sedimento

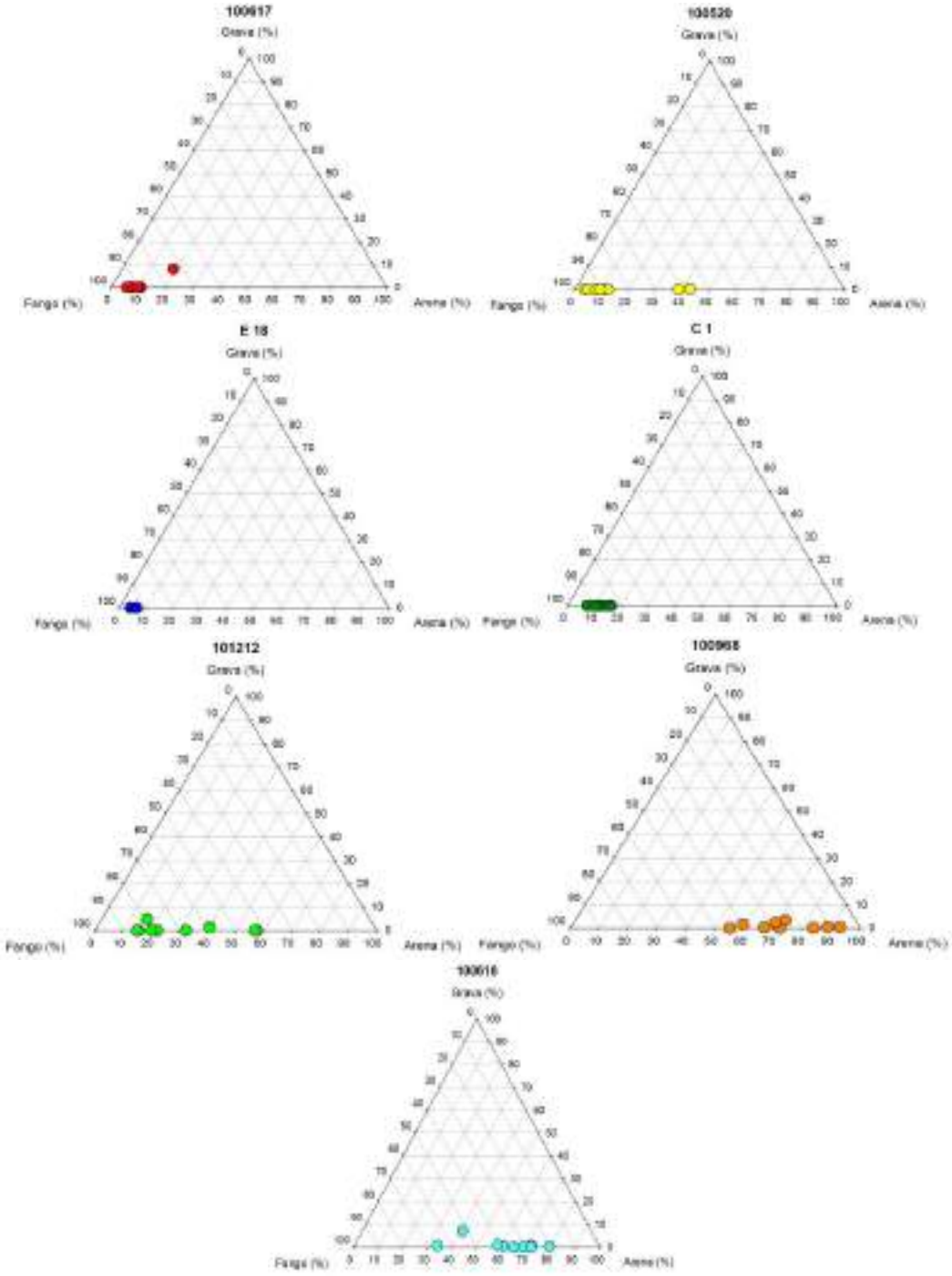


Figura 82. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100617, 100520, E18, C1, 101212, 100968 y 100616 del lago Huillinco.

En el lago Huillinco se muestrearon 7 sectores, 5 ubicados en las cercanías en donde alguna vez se realizó el cultivo de salmónidos (Centro 100617, Centro 100520, Centro 101212, Centro 100968, y Centro 100616) y dos en zonas de máxima profundidad (C1 y E18). Cabe señalar, que los centros de acuicultura anteriormente mencionados se encontraron en estado de abandono, inclusive las instalaciones ya fueron desinstaladas y retiradas.

Del análisis granulométrico (Tabla 46 en ANEXO 1), se desprendió que en el Centro 100617, el fango predominó con 73,4 a 91,8%. En la Estación 100520, el fango fue la fracción sedimentaria que dominó en todas las estaciones (78,4% a 93,6%). En la estación E18, al igual que la C1 el fango fue el mayor aportante, con valores sobre 90% de fango. En el centro 101212, el fango nuevamente predominó en todas las estaciones (68,4% en la estación 1; 82,4% en la estación 2, y 55,2% en la estación 3). En el caso del Centro 100968, los principales aportes estuvieron dados por la arena muy fina (46,3% en la estación 1; 51,6% en la estación 2 y 36,6% en la estación 3), seguidos por el fango y la arena fina. En el Centro 100616, predomina la arena muy fina en las estaciones 1 y 2 (39,6% y 47,7% respectivamente), seguido por el fango, mientras que en la estación 3 el fango presentó valores mayores a 50%.

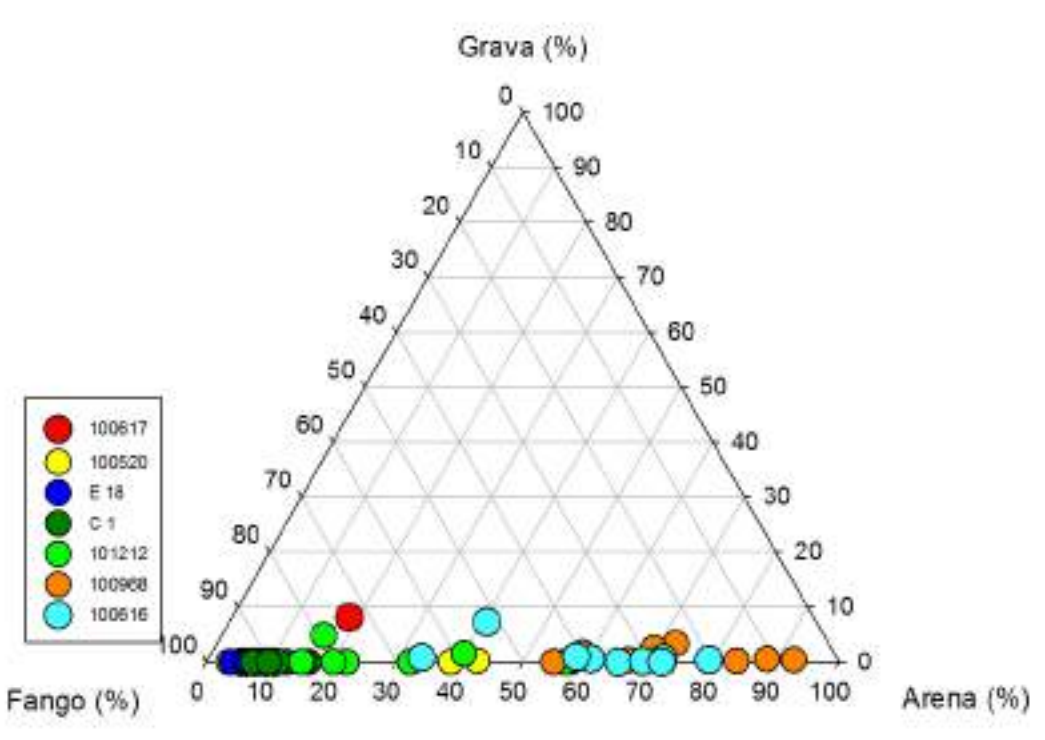


Figura 83. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Huillinco.

De acuerdo a los parámetros texturales del sedimento por bahía (Figura 82), se observó similitud entre las estaciones 100617, 100520, E18 y C1, con alta contribución de fango en su mayoría. En la estación 101212 el sedimento presentó una mezcla granulométrica de fango-arenosa, mientras que las dos estaciones restantes (100968 y 100616) mezclas de arena-fangosas.

Al realizar una análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Huillinco (Figura 83), se observó en general que la conformación de dos grupos: por un lago un grupo fango-arenoso, mientras que el segundo con mezclas sedimentarias de arena-fangosas.

Tabla 30. Lago Huillinco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Potencial redox	T°	pH
100617	1	26	33,4	-137,0	13,9	7,1
	2	31	43,3	-153,7	13,9	7,3
	3	24	Fondo duro			
100520	1	32	39,3	-167,7	13,8	7,0
	2	16	36,2	-174,3	13,6	7,0
	3	20	33,5	-154,3	13,8	6,9
E18	1	43	34,5	-163,0	15,1	7,0
C1	1	43	27,3	-175,3	13,6	7,3
	2	39	32,9	-151,3	13,8	7,4
	3	41	34,1	-149,0	13,7	7,4
101212	1	8	29,9	-127,7	14,8	7,4
	2	10	38,0	-152,3	12,7	7,7
	3	8	41,2	-93,0	16,3	7,2
100968	1	6	16,6	116,3	19,1	7,0
	2	4	8,5	170,7	19,6	7,0
	3	8	29,8	0,3	17,9	7,1
100616	1	5	15,6	109,3	19,4	6,9
	2	4	11,5	46,3	19,7	6,9
	3	4	8,0	174,3	19,6	6,9

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones estudiadas en el lago Huillinco, expresada en porcentaje, se muestra en la Tabla 30 y en la Figura 84. La materia orgánica resultante fluctuó entre 8% a 43,3%, con porcentajes generalmente mayores a 30%, a excepción del centro 100616 que registró entre 8% a 15,6%. No se muestran datos de la estación 3 del centro 100617, dado a la presencia de fondo duro.

En relación al potencial redox, sólo 2 centros (100616 y 100968) se encontrarían dentro del límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. Cabe notar que ambos centros presentaron profundidades menores a 8 m. El pH, en general, tendió a valores cercanos a 7.

De acuerdo a la media, en general la clasificación por centro fue la siguiente: limo grueso en los centros 100617, 100520, E18, C1, y 101212; y arena muy fina en los centros 100616 y 100968. Los valores de selección fueron menores a 2,5, lo que indicaría buena selección (tamaño de grano poco variables) (Tabla 47 en ANEXO 1).

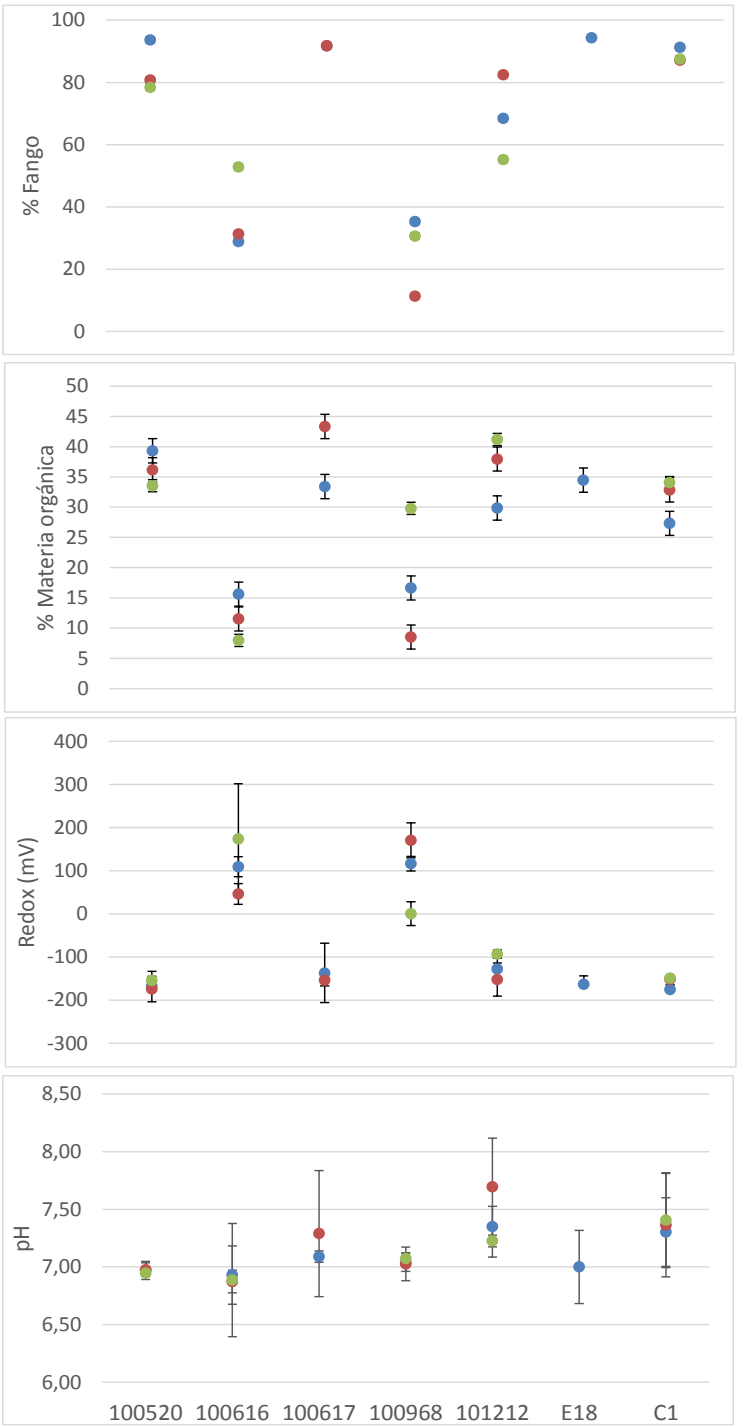


Figura 84. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Huillinco.

5.2.8 Lagos Huillinco-Cucao

En forma complementaria se realizó una campaña de estudio en octubre del 2015 (en condiciones de marea llenante y vaciante), con el fin de conocer en detalle el comportamiento de las variables físico-químicas de ambos lagos, que como ya se ha descrito con anterioridad, se consideran un solo cuerpo de agua, dado a que ambas cubetas están unidas por un canal. Por tanto, a continuación se presentan los resultados en forma conjunta:

De acuerdo a la Figura 85, en la transecta longitudinal (A) se muestra como la salinidad aumenta en profundidad, con valores cercanos a 30 psu en el lago Huillinco. La temperatura también aumenta levemente en profundidad, mientras que el oxígeno disminuye en profundidad presentándose anoxia en el Lago Huillinco. En relación a la transecta latitudinal en el lago Huillinco, se observa similar tendencia a lo descrito anteriormente, es decir hay un aumento de temperatura y salinidad a mayor profundidad, así como disminución de oxígeno con valores cercanos a 0 mg/L en profundidad.

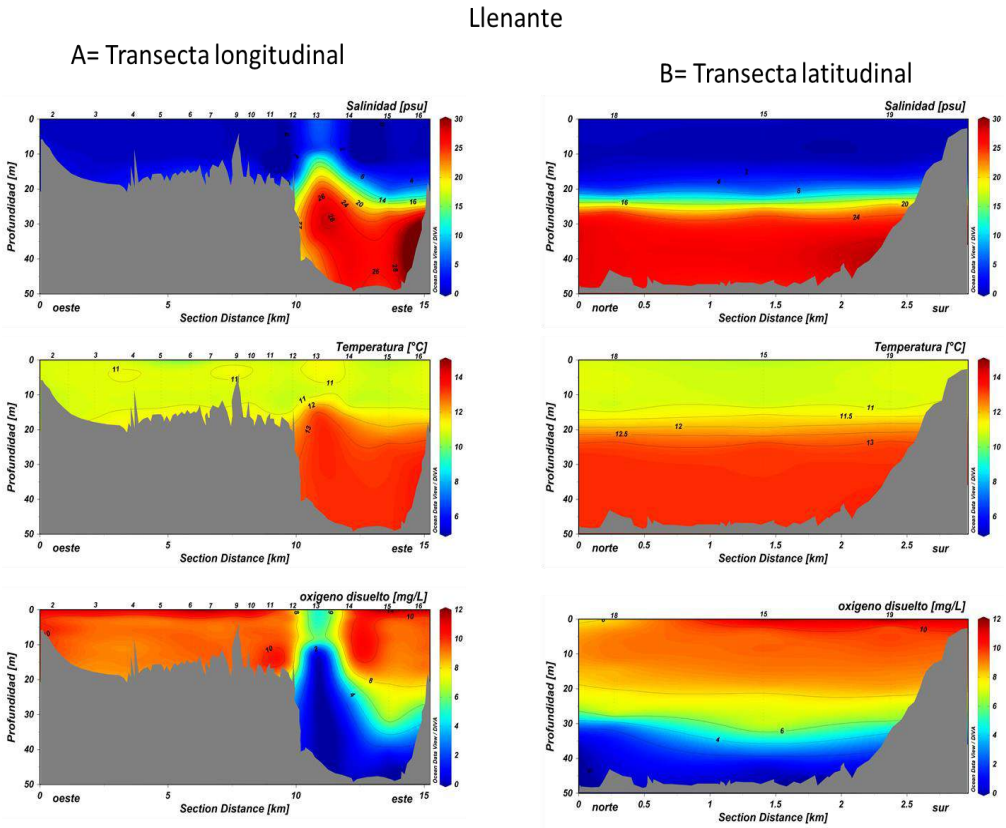


Figura 85. Perfil de Salinidad (psu), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) en ***Llenante*** en: A = transecta longitudinal de los lagos Cucao – Huillinco, y B = transecta latitudinal.

Durante la vaciante (Figura 86), se observa similar patrón a lo mencionado en condiciones de llenante, aumentando la salinidad y temperatura en profundidad, específicamente en el lago huillinco por poseer mayores profundidades, mientras que se observó anoxia en las zonas de máxima profundidad del lago Huillinco.

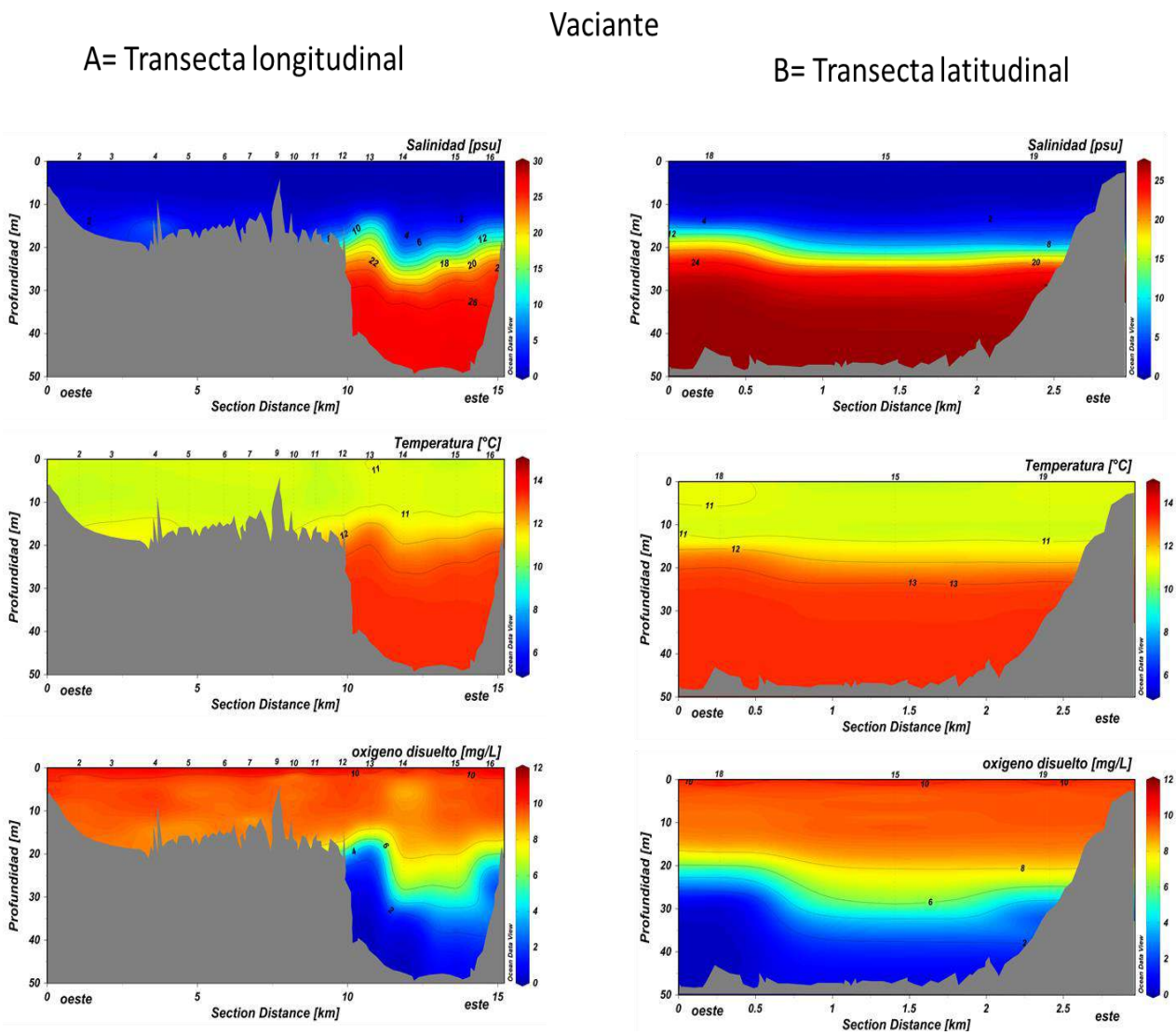


Figura 86. Perfil de Salinidad (psu), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) en ***Vaciante*** en: A = transecta longitudinal de los lagos Cucao – Huillinco, y B = transecta latitudinal.

d) Estudio de correntometría

ADCP Anclado

Estrecho Cucao (ADCP RDI)

Los perfiles verticales promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) (Figura 87) identificaron 2 capas de flujo. Con flujos hacia el suroeste (dirigiéndose al Cucao) en las capas superiores y flujos al noreste (en dirección al Huillinco) en las capas inferiores. Las intensidades medias no superaron los 4 cm/s.

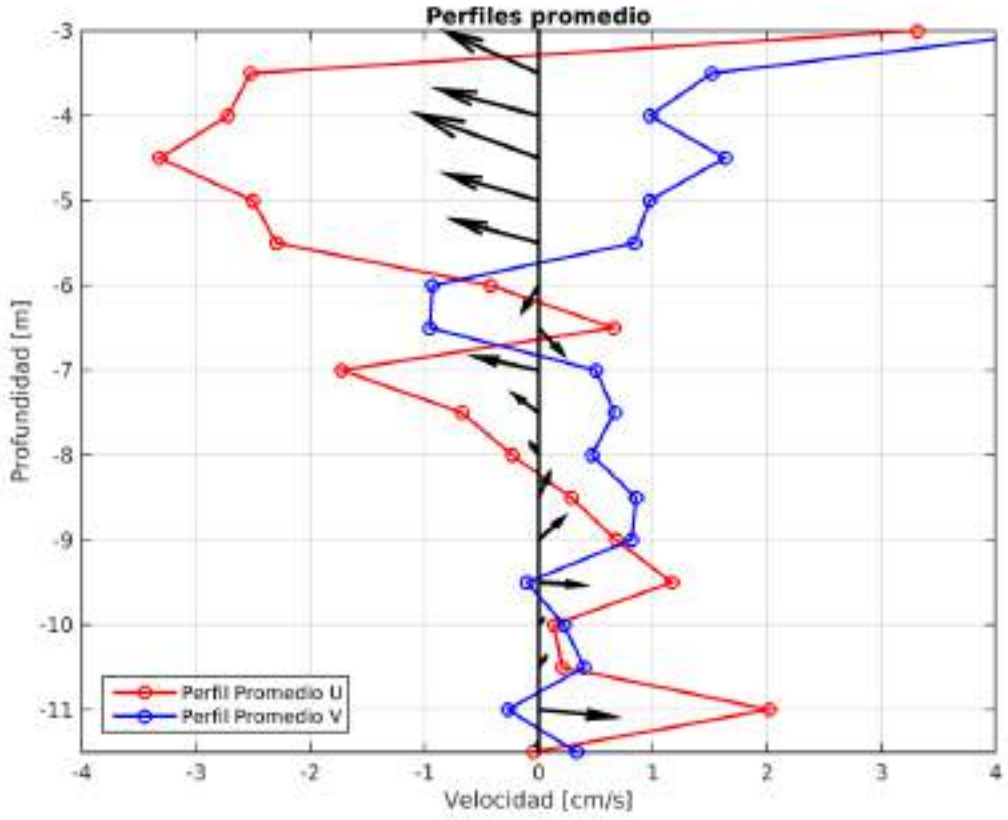


Figura 87. Perfiles verticales de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para el ADCP instalado en el estrecho ubicado entre el lago Cucao y Huillinco durante Octubre y Noviembre 2015.

Lago Huillinco.

La serie de corrientes de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en la capa de 20 m, identificó bajas intensidades (<5 cm/s), no observándose influencia mareal. El viento en la zona de estudio presentó una dirección predominante del noreste con mayores intensidades, seguida de dirección sur (Figura 88).

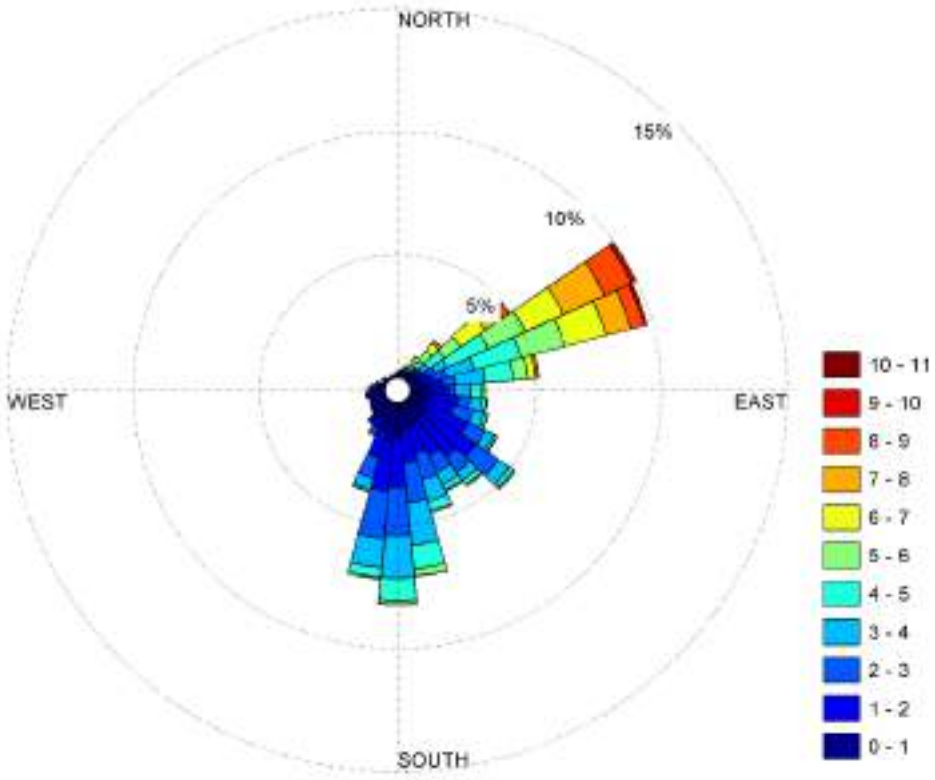


Figura 88. Histogramas de dirección y magnitud del viento y rosa de los vientos obtenidos de los registros del mes de Octubre en el lago Cucao.

Los mareógrafos instalados cercanos al lago Cucao mostraron una configuración similar, constatándose que las variaciones de este parámetro se debieron en gran parte a forzantes atmosféricos.

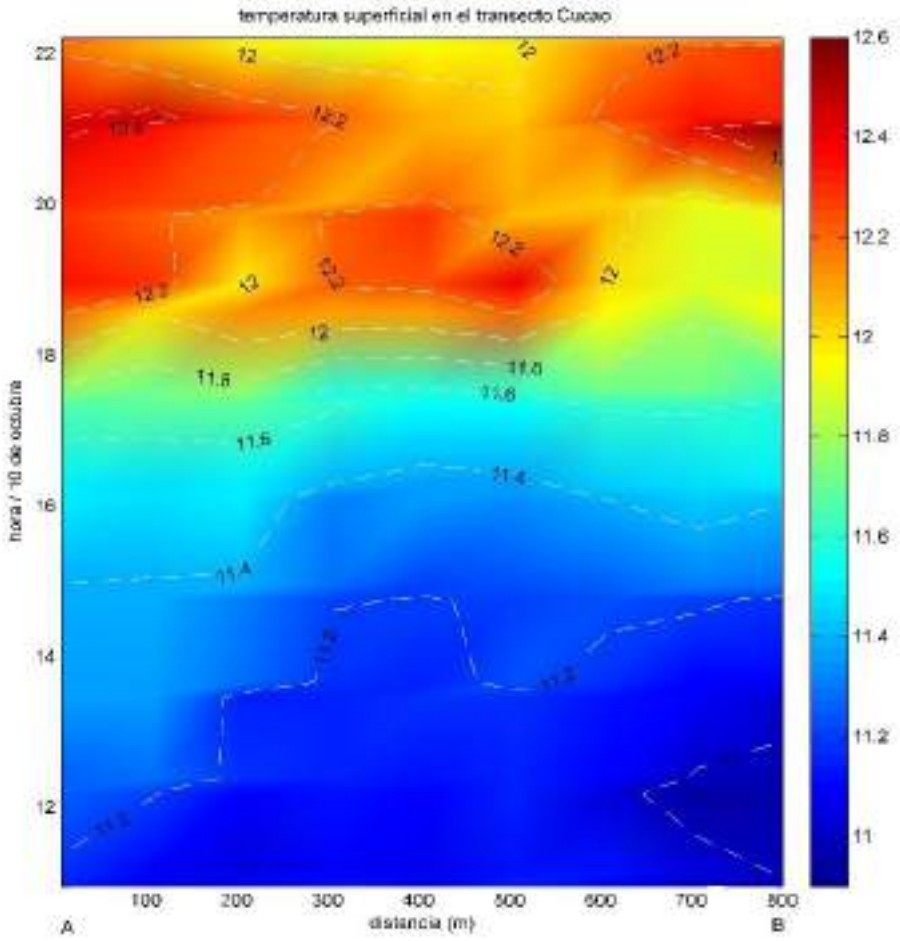


Figura 89. Temperatura superficial (°C) obtenida con ADCP remolcado en Cucao en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

ADCP Remolcado

El transecto que cruzó el lago Cucao (vértices A-B) durante octubre del 2015, exhibió una profundidad máxima de ~15 m. El flujo residual en este sector evidenció bajas intensidades (<10 cm/s). La circulación en este transecto podría estar siendo modulada por la morfología costera. Los datos de temperatura superficial obtenidos con el ADCP (Figura 99) evidenciaron un aumento a lo largo del día variando desde 11°C en la mañana a 12,4°C en la tarde.

El transecto longitudinal del estrecho que conecta el lago Cucao con el lago Huillinco (vértices B-C) enseñó una batimetría abrupta de baja profundidad variando de 7 m en su zona más somera hasta

a 14 m a mayor profundidad. El flujo residual en este sector presentó bajas intensidades (~5 cm/s). Dentro de los datos de temperatura superficial que se obtienen con el ADCP (Figura 90) se observó un aumento de temperatura a lo largo del día variando de 11°C en la mañana y a 12,6°C en la tarde, cercano al vértice B.

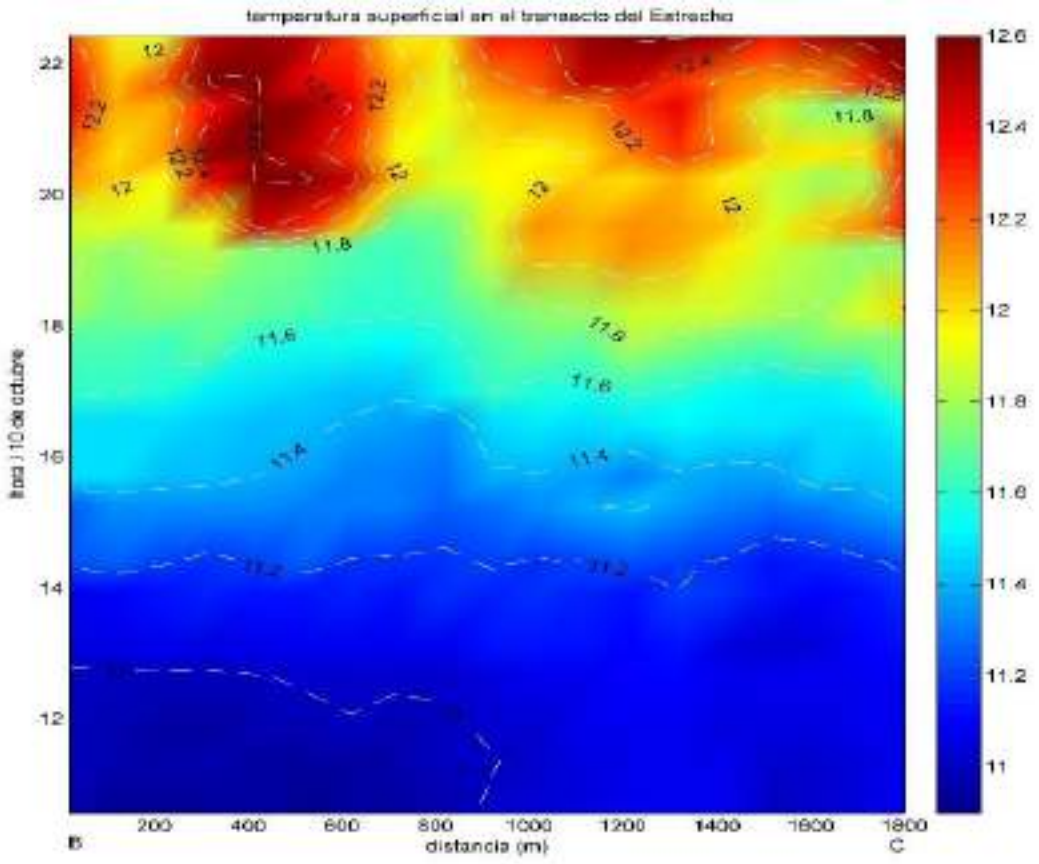


Figura 90. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en estrecho que conecta el lago Cucao con el lago Huillinco en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice B. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

El transecto que cruzó el lago Huillinco (vértices A-B) presentó una profundidad máxima de ~45 m. El flujo residual en este sector registró bajas intensidades (<10 cm/s). Los datos de temperatura superficial obtenidos con el ADCP (Figura 91) mostraron un aumento de temperatura de 11°C en la mañana hasta alcanzar los 13°C en las primeras horas de la tarde, volviendo a disminuir hasta 11,5°C.

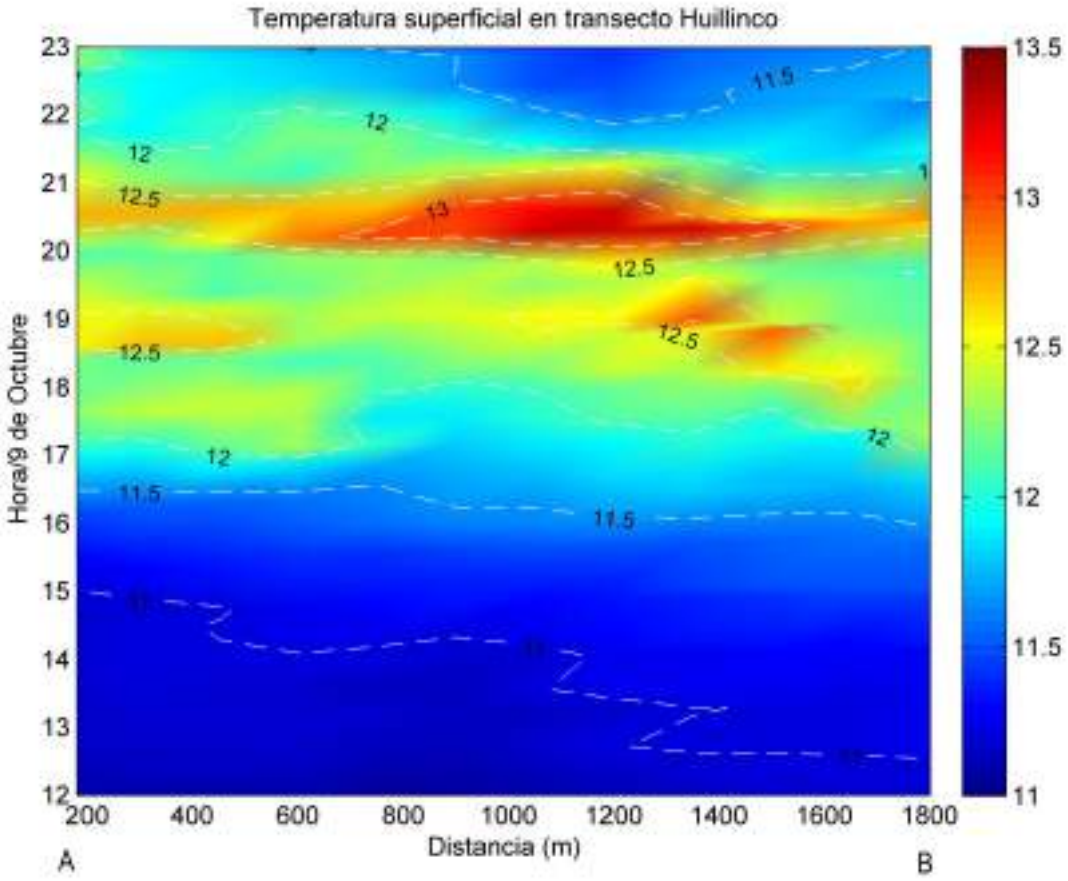


Figura 91. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en el lago Huillinco en Octubre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

En noviembre del 2015, el flujo residual U en el lago Cucao presentó una variación en forma transversal. El primer tramo consideró el vértice A y el centro (~400m), donde se distinguieron tres capas, un flujo de salida (hacia el oeste) en forma superficial; un flujo de entrada (hacia el este) en una delgada capa intermedia y flujos mayormente al oeste asociados al fondo. Mientras que en el segundo tramo (centro y vértice B) se vieron tres capas pero en dirección opuesta al primer tramo, con una capa superficial de entrada (al este); una capa intermedia de salida (al oeste), y una tercera capa de entrada. En general las intensidades no superaron los 4 cm/s. La temperatura superficial observada aumentó en el tiempo variando de 15,15°C a 15,45°C (Figura 92).

El flujo residual U en el estrecho identificó corrientes entrando al lago Huillinco en las capas superiores y corrientes saliendo del lago en las capas inferiores. Las temperaturas superficiales en el estrecho (Figura 93) evidenciaron temperaturas entre 14,5°C y 15,5°C. Los máximos de

temperaturas se focalizaron cerca del vértice C (próximo al Huillinco), mientras que las más frías se registraron cerca del vértice B (próximo al Cucao).

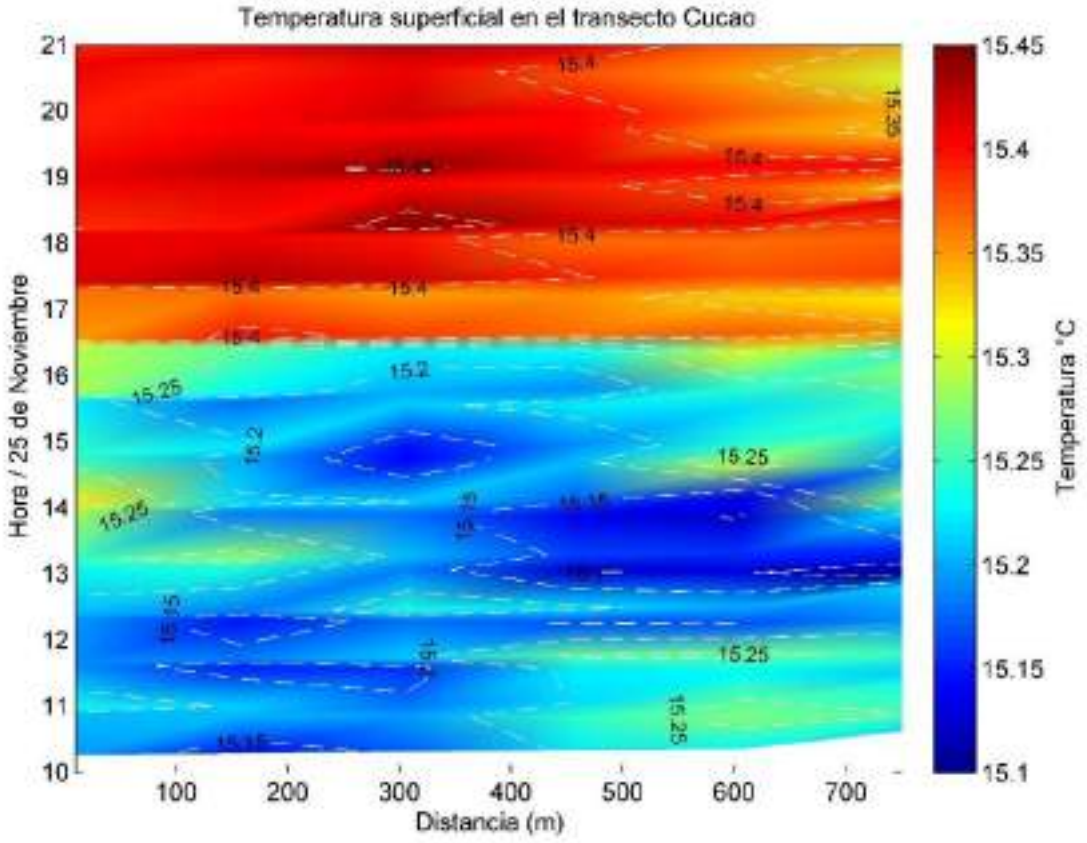


Figura 92. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en Cucao en Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

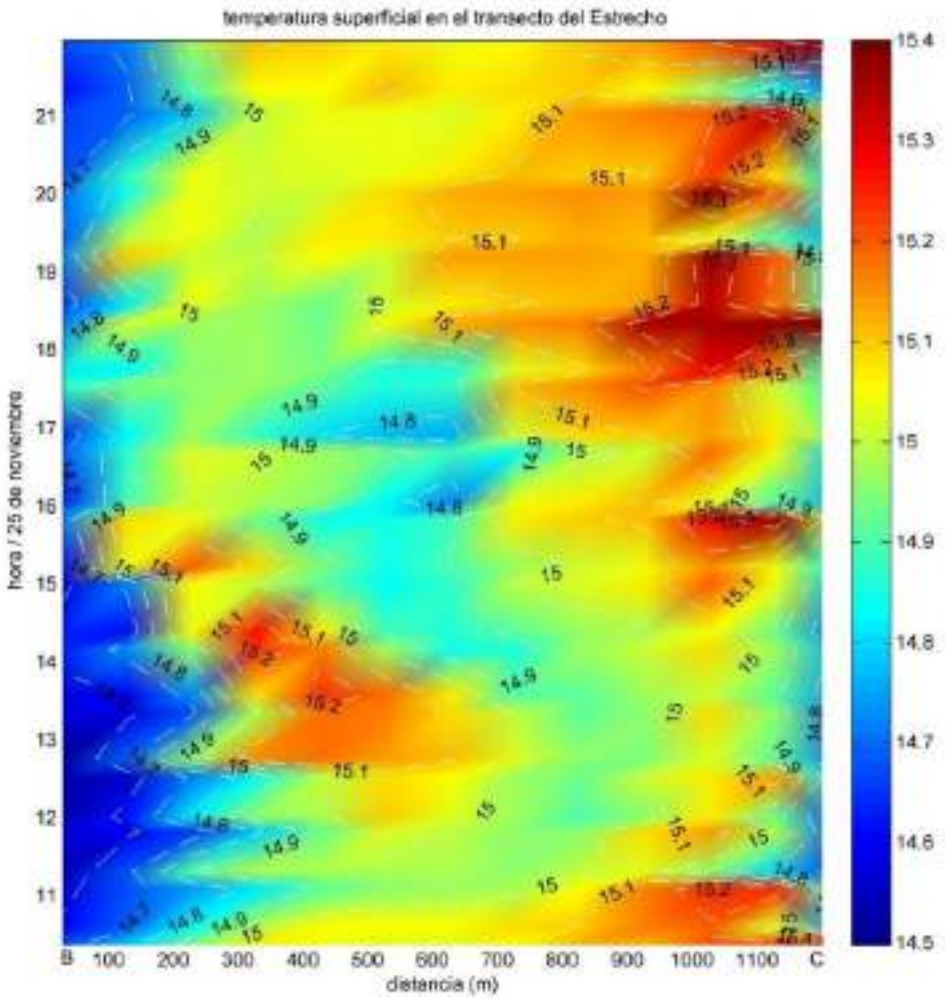


Figura 93. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en estrecho que conecta el lago Cucao con el lago Huillinco Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice B. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

El flujo residual U en el lago Huillinco evidenció mayormente flujos de entrada en la capa superior. Por debajo de esta capa se observaron flujos en dirección oeste, mientras que la tercera capa mostró flujos de entrada. Es importante mencionar que bajo los 20 m de profundidad no se observaron datos confiables, tal efecto podría estar asociado a problemas con el instrumento. La temperatura superficial en el lago Huillinco (Figura 94) registró un calentamiento que fue desde 14,5°C a las 11 AM hasta los 15°C a las 14 horas, siendo más intenso en el medio del canal.

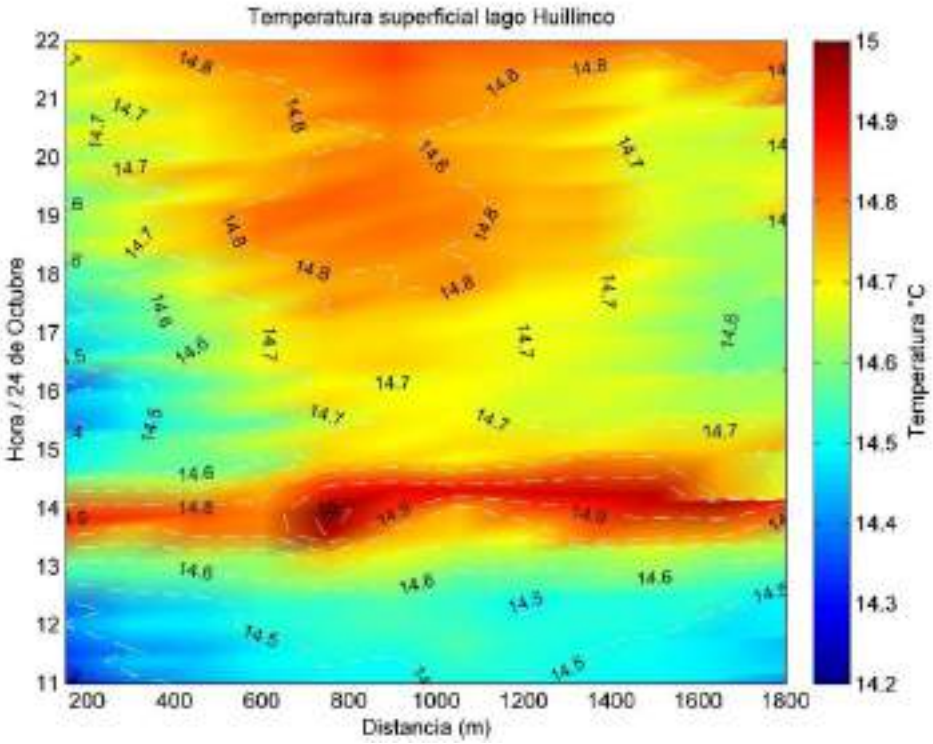


Figura 94. Temperatura superficial (°C) obtenida con el ADCP remolcado en el lago Huillinco en Noviembre 2015. El eje X indica la distancia (m) respecto al vértice A. El eje Y indica el paso del tiempo (en hora GMT) tomando como inicio la parte inferior del eje.

5.2.9. Lago Tarahuín

a) Análisis físico químicos del agua

De acuerdo a la Figura 95, los valores de oxígeno se aprecian estables en la columna de agua en la estación Control 1 y el centro 100436, mientras que en el centro 100521 tiende éste a disminuir levemente profundidad, registrándose 7mg/L a 24 m (Tabla 48 en ANEXO 1). La temperatura disminuye en profundidad, desde valores cercanos a 16°C en superficie a 10°C a 25 m de profundidad.

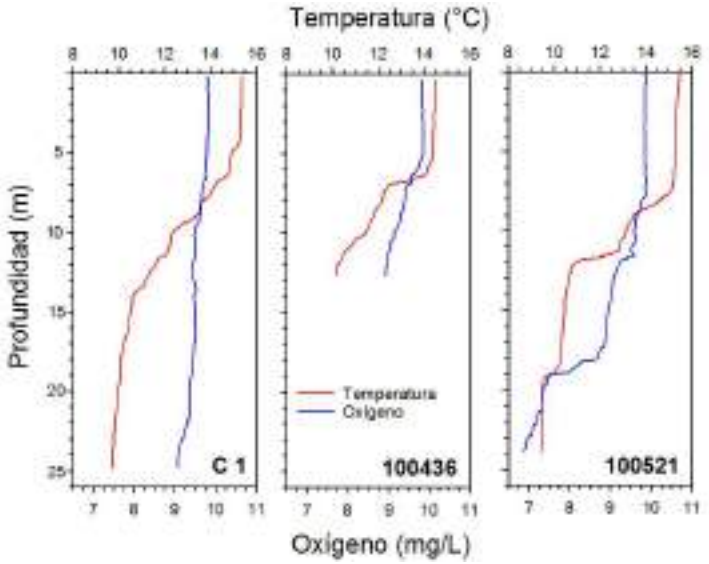


Figura 95. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Tarahuín.

En relación a los compuestos nitrogenados (Figura 96, Tabla 48 en ANEXO 1), se registraron valores homogéneos en la columna de agua en ambas estaciones (< 20 µg/L de NT), mientras que el PT presentó valores menores a 10 µg/L (Figura 97).

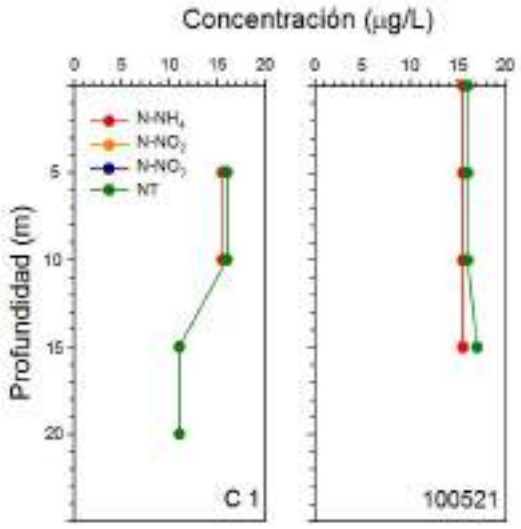


Figura 96. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tarahuín.

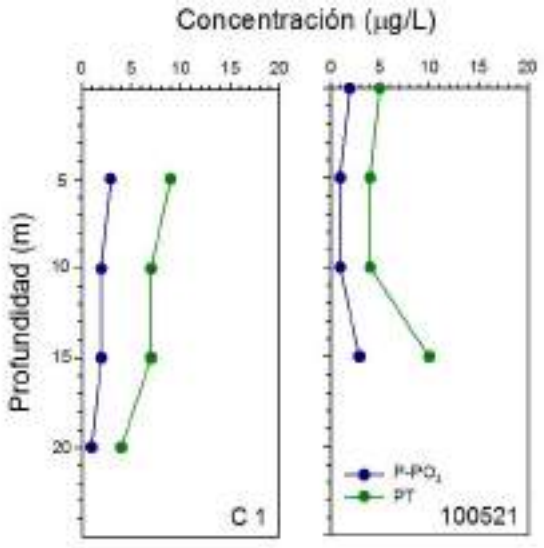


Figura 97. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tarahuín.

En relación a la caracterización de la MOD, las intensidades máximas de fluorescencia de los componentes similar a proteína y similar a triptófano, se encontraron en la estación C1 en la superficie del lago (Figura 98). A lo largo de las diferentes estaciones presentes en el lago Tarahuín, se observó en la mayoría de los casos, el predominio del componente con características húmicas (RDOC de origen alóctono) tanto en la superficie como en las profundidades muestreadas. El comportamiento de los componentes de fluorescencia fue homogéneo en las estaciones 100436 y 100521, mientras que la estación C1 presentó la mayor variación de éstos a través de la gradiente de profundidades. El componente similar a ácidos fúlvicos fue el que menor variación presentó en las distintas estaciones.

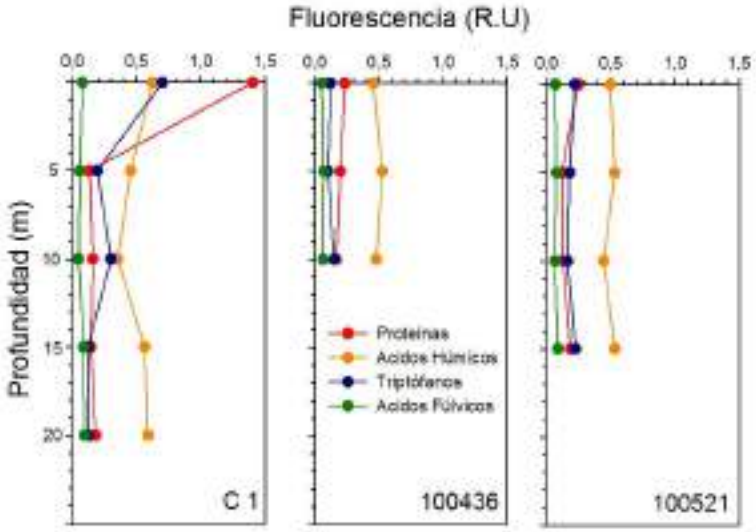


Figura 98. Caracterización de DOM en columna del lago Tarahuín.

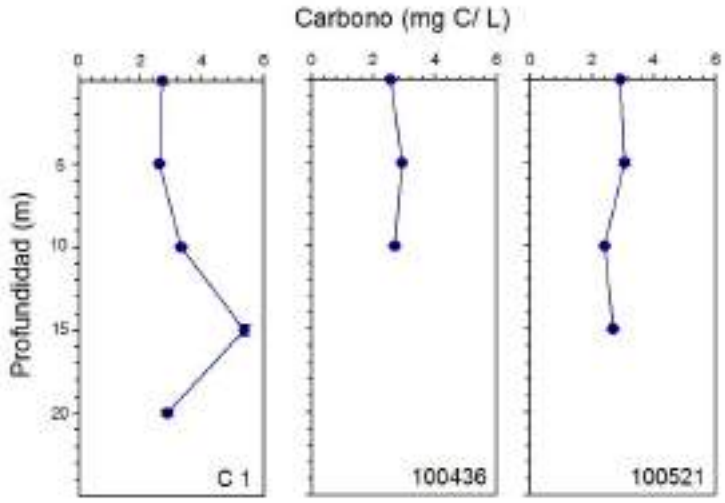


Figura 99. Concentración de DOC en perfil vertical de columna de agua en 100521, lago Tarahuín.

La concentración del carbono orgánico disuelto se mantuvo en el rango de 2,4 – 6,7 mg C/L (Figura 99). En las estaciones 100436 y 100521 se observó poca variabilidad de concentraciones de carbono orgánico disuelto en su perfil vertical. La estación C1 sin embargo presentó entre los 0 y 5m de profundidad concentraciones relativamente bajas de 2,7 y 2,6 mg C/L, para aumentar posteriormente a un máximo de DOC a 15m de profundidad, alcanzando valores de 5,4 mg C/L y luego disminuir a 2,9 mg C/L a los 20m de profundidad.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La densidad fitoplanctónica en el lago Tarahuín, fluctuó entre 784.133 y 2.608.668 cél L^{-1}, registrándose la mayor abundancia en la estación 100521, con 2.592.206 cél L^{-1}.

Durante la primavera de 2015 en el lago Tarahuín, la composición fitoplanctónica estuvo compuesta por 21 taxas, en las estaciones de muestreo se encontraron entre 9 a 15 taxas. El grupo más abundante en el lago Tarahuín durante la primavera de 2015 fueron las Cianobacterias con 97 a 99% de abundancia relativa de la estación. Los organismos fueron encontrados en largas colonias, las Diatomeas estuvieron presentes solo en porcentaje menor de 1 a 3%. La especie que dominó la abundancia del lago Tarahuín fue *Dolichospermum spp.* (ex Anabaena), la cual fluctuó entre un 94 y 99% de abundancia relativa por estación. Cabe destacar que se encontraron dos géneros potencialmente nocivos, *Dolichospermum spp.* y *Microcystis spp.* No fue posible determinar estos géneros a nivel específico, pero considera relevante determinar la especie y conocer si presentan toxicidad. No se registró *D. geminata* (Tabla 49 en ANEXO 1).

Tabla 31. Composición fitoplanctónica, densidad (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Tarahuín durante primavera de 2015.

Lago	Tarahuin		
Estación	**C1**	**100436**	**100521**
Densidad total (célL-1)	805.519	784.133	2.608.668
Grupo	%	%	%
Diatomeas	3	3	1
Crisoficeas	0	0	0
Cloroficeas	0	0	0
Cianobacterias	97	97	99
Dinoflagelados	0	0	0
Euglenoficeas	0	0	0

El lago Tarahuín nos presenta resultados que indicaron que la estación 100521 fue diferente, en su composición fitoplanctónica, de las otras 2 estaciones (Figura 100).

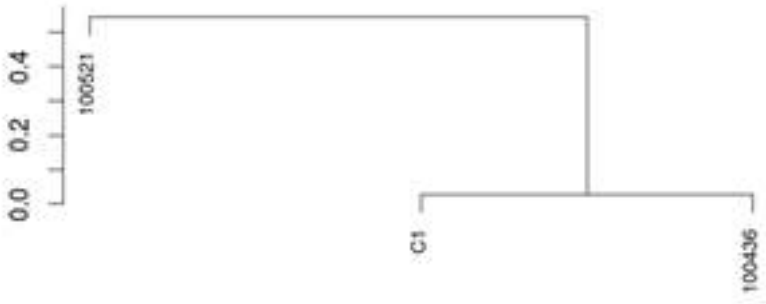


Figura 100. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Tarahuín, en primavera de 2016.

Zooplancton

Durante la primavera de 2015, en el lago Tarahuín se encontraron 6 taxas, 4 crustáceos y 2 rotíferos (Tabla 32). La abundancia osciló entre 0,58 y 0,92 cél L^{-1}, la especie más abundante fue *T. diabolicus*.

Tabla 32. Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuín, en verano de 2016.

Estación/Taxa	Lago Tarahuín		
	C1	100436	100521
Crustacea / Maxilopoda			
Tumeodiaptomus diabolicus	0,3	0,3	0,4
hembra con huevos	0,1	0,004	0,077
Mesocyclops longisetus	0,004	0	0,007
Nauplius	0,10	0,3	0,2
Crustacea/ Brachiopoda			
Bosmina hagmanni	0,05	0,08	0,107
Rotifera /Monogononta			
Keratella sp.	0,004	0,07	0,006
Conochilus unicornis	0,01	0,09	0,09
Número total de cél L^{-1}	**0,58**	**0,86**	**0,92**
Riqueza de Taxa	**6**	**5**	**6**

En el lago Tarahuín, la estación control se diferencia en su composición zooplanctónica de las otras 2 estaciones de muestreo (Figura 101).

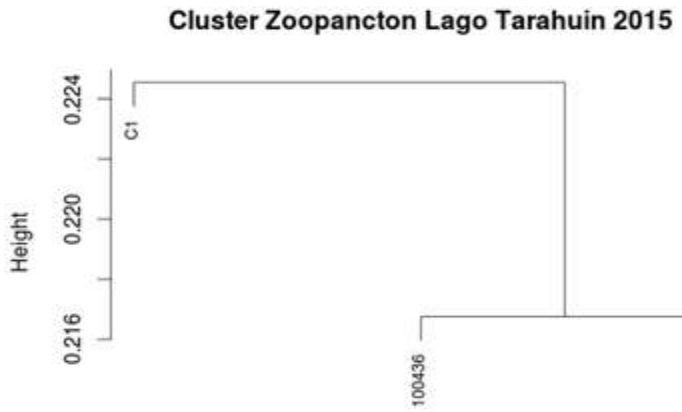


Figura 101. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Tarahuín.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Tarahuín se muestrearon 2 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, tales como los Centros 100436 y 100521. En la Tabla 50 en ANEXO 1 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto se observa similitud en la composición de las fracciones sedimentarias entre los centros, registrándose un altísimo porcentaje de Fango (> a 90%) en ambos centros, con nula participación de grava.

Al analizar los parámetros de textura por bahía o centro de cultivo (Figura 102) se observó similitud en ambas estaciones, con contribución mayor al 90% de fango.

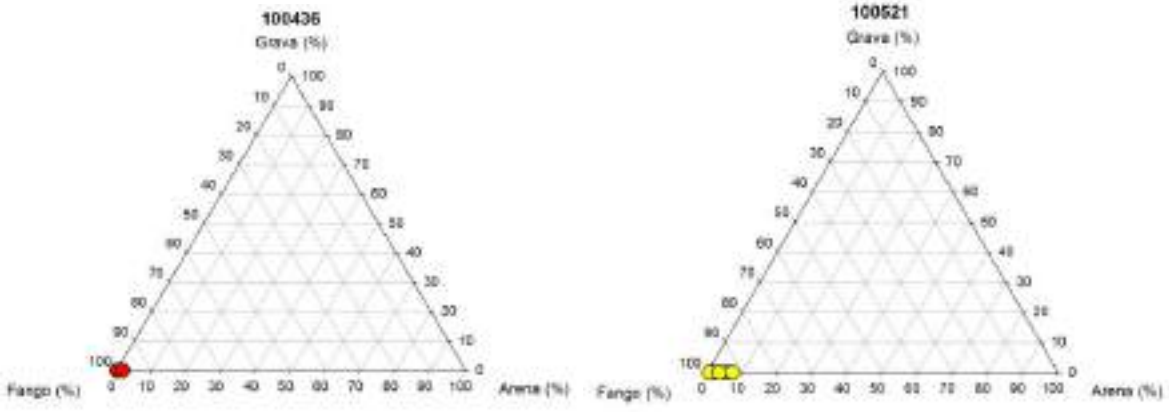


Figura 102. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100436 y 100521 del lago Tarahuín.

El análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Tarahuín (Figura 103) refuerza lo anteriormente descrito, siendo el fango la componente principal del sedimento.

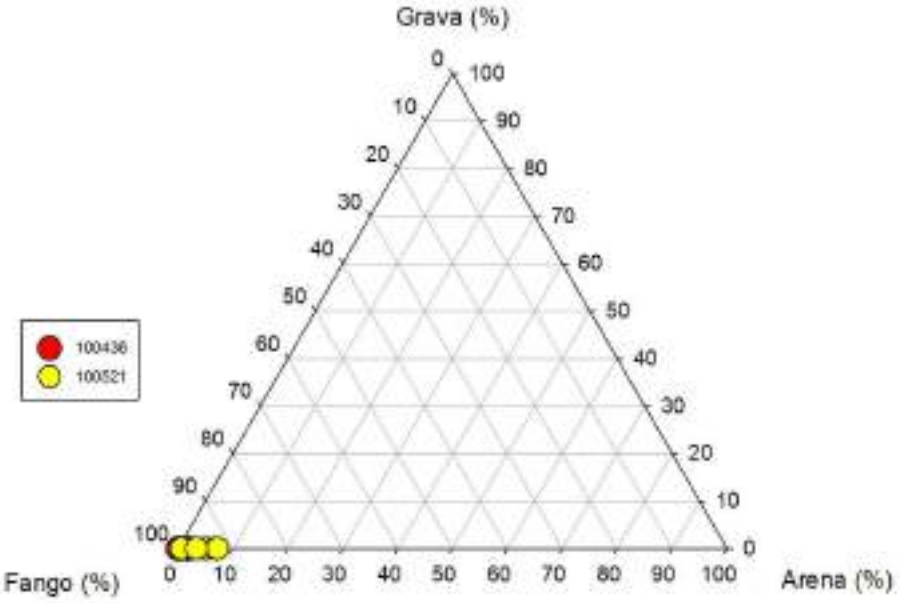


Figura 103. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Tarahuín.

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas en las cercanías a los centros de acuicultura en el lago Tarahuín, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 33 y en la Figura 104. En todas las estaciones se registraron valores mayores a 10% (entre 19,5% a 27,3%), siendo el Centro 100436 el que mayor porcentaje de MO registró.

Tabla 33. Lago Tarahuín: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de la variable química redox y profundidad (m) del sector. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Potencial Redox
100436	1	14	27,3	193,7
	2	14	23,8	171,0
	3	14	24,4	189,7
100521	1	14	19,5	180,3
	2	16	20,2	181,7
	3	18		178,7

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.

Según la media, la clasificación del sedimento analizado en el lago Tarahuín sería limo grueso. En cuanto a la selección, los valores fueron menores a 2,5, lo que corrobora una buena selección del grano, es decir el tamaño de los granos fue poco variable (Tabla 51 en ANEXO 1).

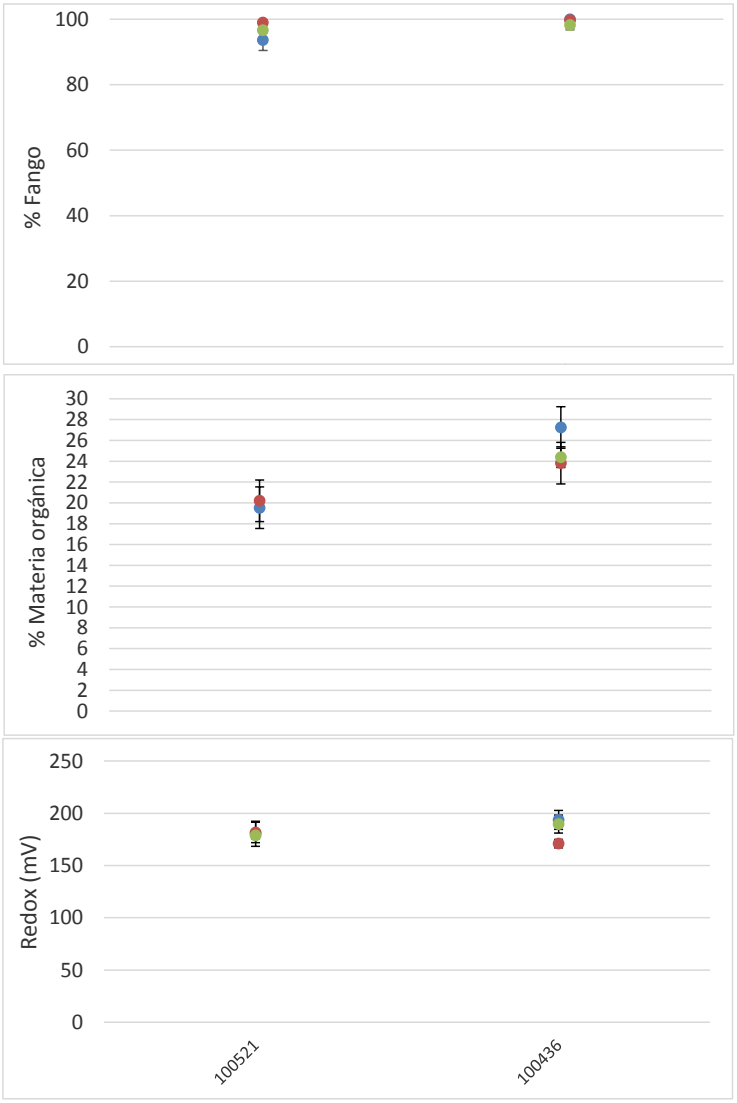


Figura 104. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Tarahuín.

e) Estudio de correntometría

El presente proyecto no contempló la realización de esta actividad.

5.2.10. Lago Natri

a) Análisis físico químicos del agua

Los perfiles mostraron diferencias entre las estaciones de muestreo dentro del lago Natri, se observó que la temperatura superficial osciló en las estaciones de muestreo entre los 18°C y cercano a los 21°C (Figura 105, Tabla 52 en ANEXO 1). En las estaciones 100437 y C1 no se produjo estratificación térmica, en la estaciones 100600 y 100427 se registró formación de termoclina en torno a los 15 a 20 m de profundidad. La concentración de oxígeno fue variable entre las estaciones de muestreo. Las estaciones 100600 y 100427 más cercanas a la desembocadura, oscilaron entre 6 y 9 mg/L, en cambio las estaciones C1 y 100437 presentaron concentraciones de oxígeno disuelto considerablemente más bajas cercanos a 7 mg/L, y un máximo registrado a los 12 m de profundidad.

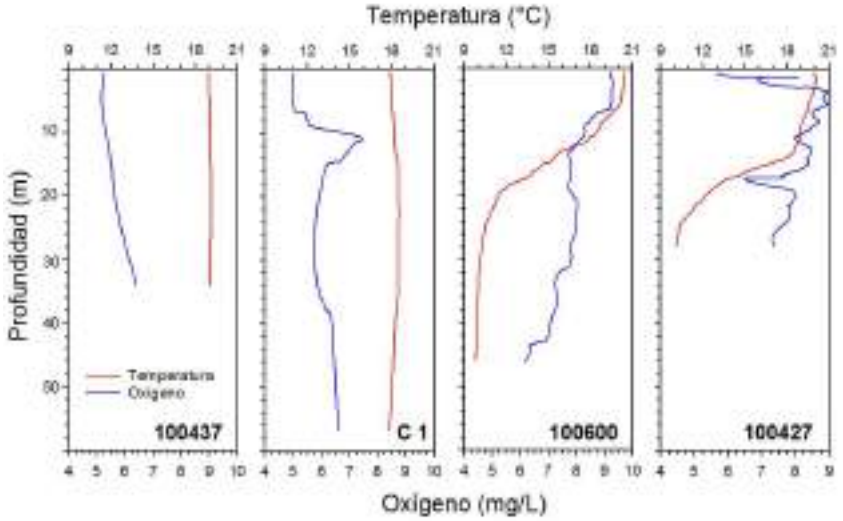


Figura 105. Perfiles temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Natri.

Los perfiles de nutrientes se muestran en las Figuras 106 y 107, registrándose un aumento de NT en profundidad, con valores cercanos a 250 µg/L (Tabla 52 en ANEXO 1). El nitrito tendió a valores bajo el límite de detección, mientras que en este lago el nitrato y amonio fueron de mayor importancia. En general, el PT presentó valores menores a 50 µg/L, a excepción de la estación C1 a 30 m de profundidad con 100 µg/L.

La caracterización de la MOD mostró que las intensidades máximas de fluorescencia del componente similar a proteína, se encontraron en la estación 100437 a la profundidad de 15 m (Figura 108). Mientras que las intensidades máximas para los componentes similares a ácidos húmicos UVA y ácidos fúlvicos, se encontraron en la misma estación a la profundidad de 30 m. El componente similar a triptófano mostró su máxima intensidad en la estación 100437 a la profundidad de 15 m.

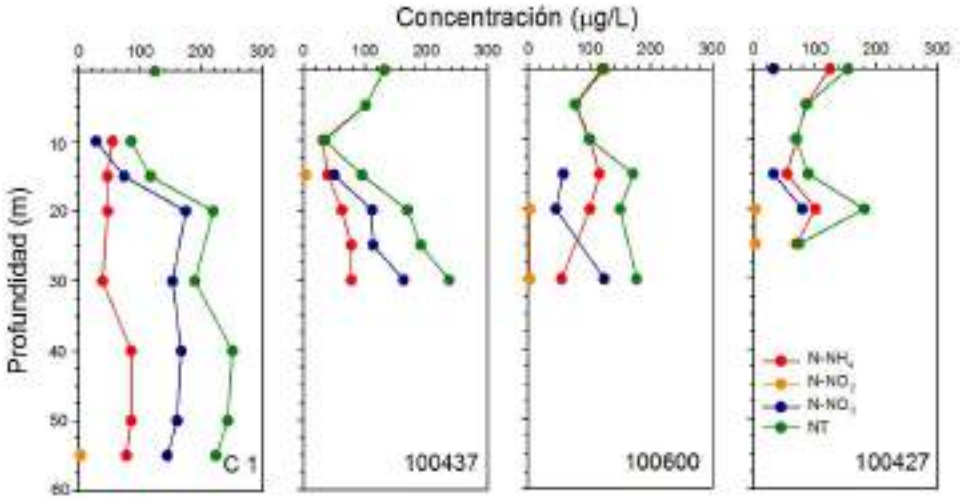


Figura 106. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Natri.

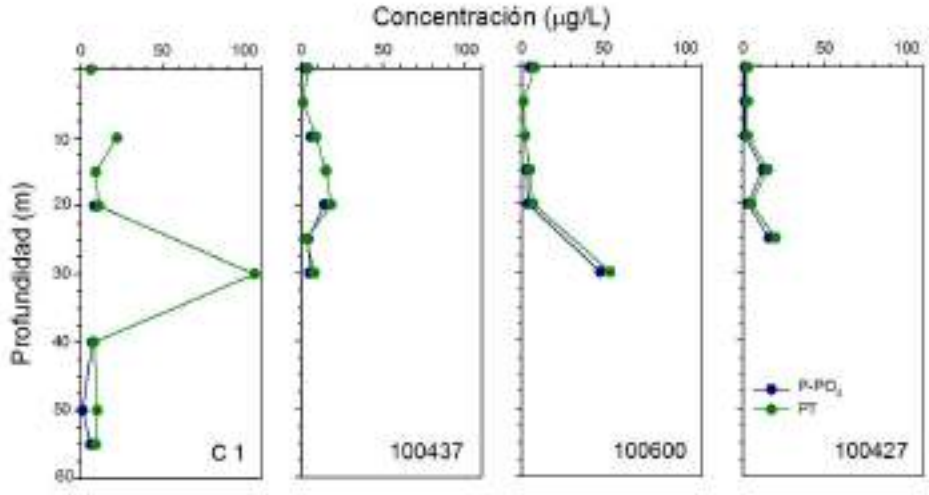


Figura 107. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Natri.

A lo largo de las diferentes estaciones presentes en el lago Natri, se observó en la mayoría de los casos, el predominio de los componentes de origen proteico (similar a proteína y triptófano) tanto en la superficie como en las profundidades muestreadas. El componente similar a proteína es el fluoróforo que mayor variación tuvo a través de la gradiente de profundidades, mientras que el componente similar a ácidos fúlvicos fue el que menor variación presentó.

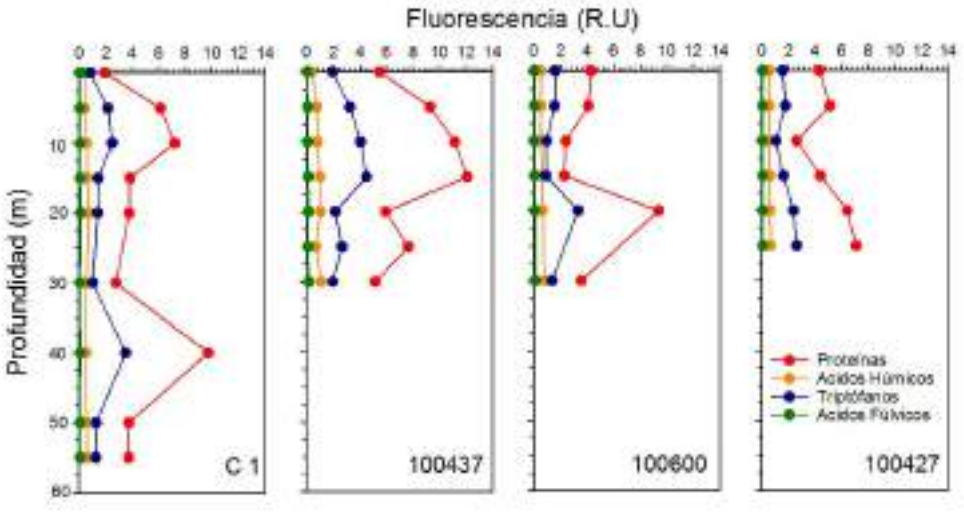


Figura 108. Caracterización de DOM en columna de agua del lago Natri.

La concentración de carbono orgánico disuelto del lago Natri se mantuvo en el rango de 2,6 – 3,6 mg C/L, observándose una baja variabilidad en las concentraciones de carbono orgánico disuelto en cada estación muestreada y a través de su perfil vertical (Figuras 109).

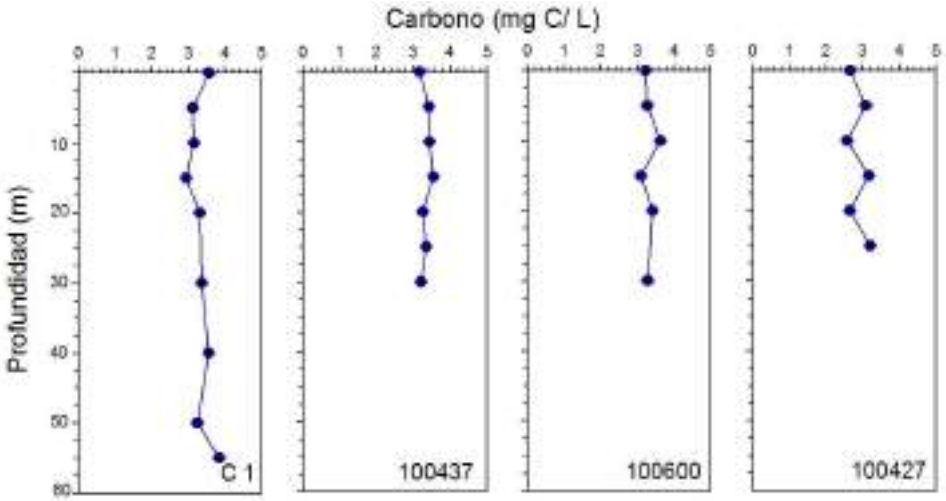


Figura 109. Concentración de COD en columna de agua del lago Natri.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La densidad más elevada se encontró en la estación 100600 con 508.212 cél L^{-1}, y la menor densidad se asoció a la estación C1 con 303.896 cél L^{-1}.

La riqueza de taxa en el lago Natri durante verano de 2016 fue de 12 taxa, en las estaciones de muestreo del lado este (100600 y 100427) la riqueza fue de 7 taxa y en las estaciones del lado oeste de 9 taxa. Las Clorofíceas fueron el grupo más abundante y diverso, las Diatomeas, Criptofíceas y Dinofíceas se presentaron en baja abundancia. El taxón dominante fue *Sphaerocystis spp.* con 94 y 97% de abundancia relativa. (Tabla 34, Tabla 53 en ANEXO 1). Con menor representatividad numérica pero presentes en las cuatro estaciones de muestreo con abundancias ≥1 se observaron *Fragillaria crotonensis* y *Cryptomonas spp*. No se registró *D. geminata.* (Tabla 53 en ANEXO 1).

Tabla 34. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Natri durante verano de 2016.

Lago	**Natri**			
Estación	**C1**	**100437**	**100600**	**100427**
Densidad total (célL-1)	303.896	451.315	508.212	440.931
Grupo	%	%	%	%
Diatomeas	2	4	2	2
Cloroficea	97	94	96	96
Criptoficea	1	1	1	2
Dinoflagelados	0	0	1	1

Las estaciones del lago Natri 100427 y 100600 se diferenciaron en su composición fitoplanctónica de la C1 y la 100437 (Figura 110), las primeras agrupan a la mayor cantidad de especies (Tabla N° 54 ANEXO 1)

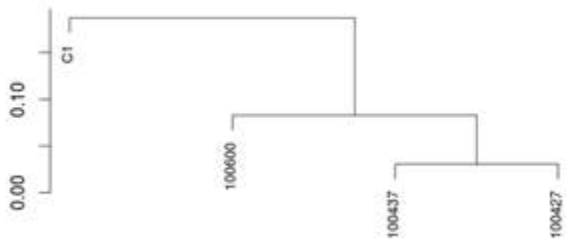


Figura 110. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Natri, en verano de 2016.

Zooplancton

En el lago Natri durante el verano de 2016, se observaron 7 taxas, compuestas solamente por crustáceos, de los cuales 3 fueron brachipodos, 3 maxilipodos y 1 naupluis (Tabla 35). La abundancia fluctuó entre 2,24 y 15,24 cél L^{-1}. La mayor abundancia se registró en la estación 100437, siendo *D. duplex* la especie con mayor densidad asociada.

Tabla 35. Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri, en verano de 2016.

Estación/Taxa	Lago Natri			
	C1	100427	100600	100437
Crustacea / Maxilopoda				
Tumeodiaptomus diabolicus	0,87	3,28	2,1	3,1
hembra con huevos	0,01	0,08	0,1	0,02
Mesocyclops longisetus	0,15	0,72	0,56	0,24
hembra con huevos	0,005	0,02	0,01	0,02
Lofferella sp	0,07	0	0,21	0
Nauplius	0	0,03	0	0
Crustacea/ Brachiopoda				
Diaphanosoma chilense	0	0,04	0,01	0,04
Daphnia pulex	1,14	2,56	1,15	11,82
Bosmina hagmanni	0	0,01	0	0
Número total de cél L^{-1}	**2,24**	**6,74**	**4,11**	**15,24**
Riqueza de Taxa	**6**	**5**	**5**	**4**

De acuerdo al análisis de cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo en el lago Natri, se obtuvo que las estaciones se agrupan en 2, siendo solo una la estación que se diferencia del resto, específicamente la estación 100437 (Figura 111).

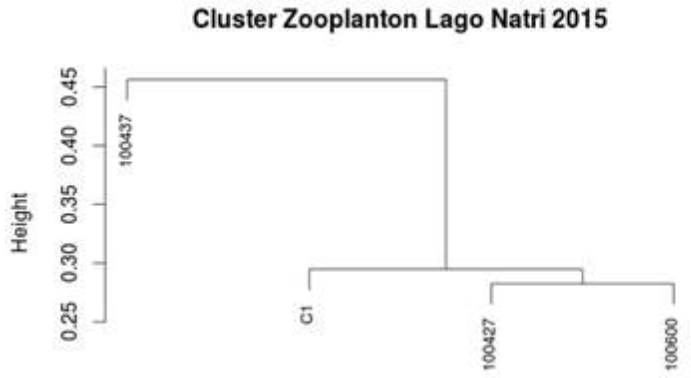


Figura 111. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Natri.

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 100600 y Centro 100427. De los resultados del análisis granulométrico presentado en la Tabla 54 en ANEXO 1, se desprendió que en el centro 100437, específicamente en la estación 1, el mayor aporte correspondió a arena fina y muy fina (32% y 34%), en la estación 2 la arena gruesa predominó con un 34,2%, mientras que en la estación 3 la arena muy fina hizo su mayor aporte con 39,9%. En el Centro 100600, en la estación 1 la arena fina, muy fina y media hicieron su mayor aporte, mientras que en la estación 2 predominó mayormente la arena media y fina, y en la estación 3 la grava (28,3%). En el Centro 100427, en general, se observó que la arena media, fina y muy fina predominaron, mientras que en la estación 3 se sumó además la fracción sedimentaria fango.

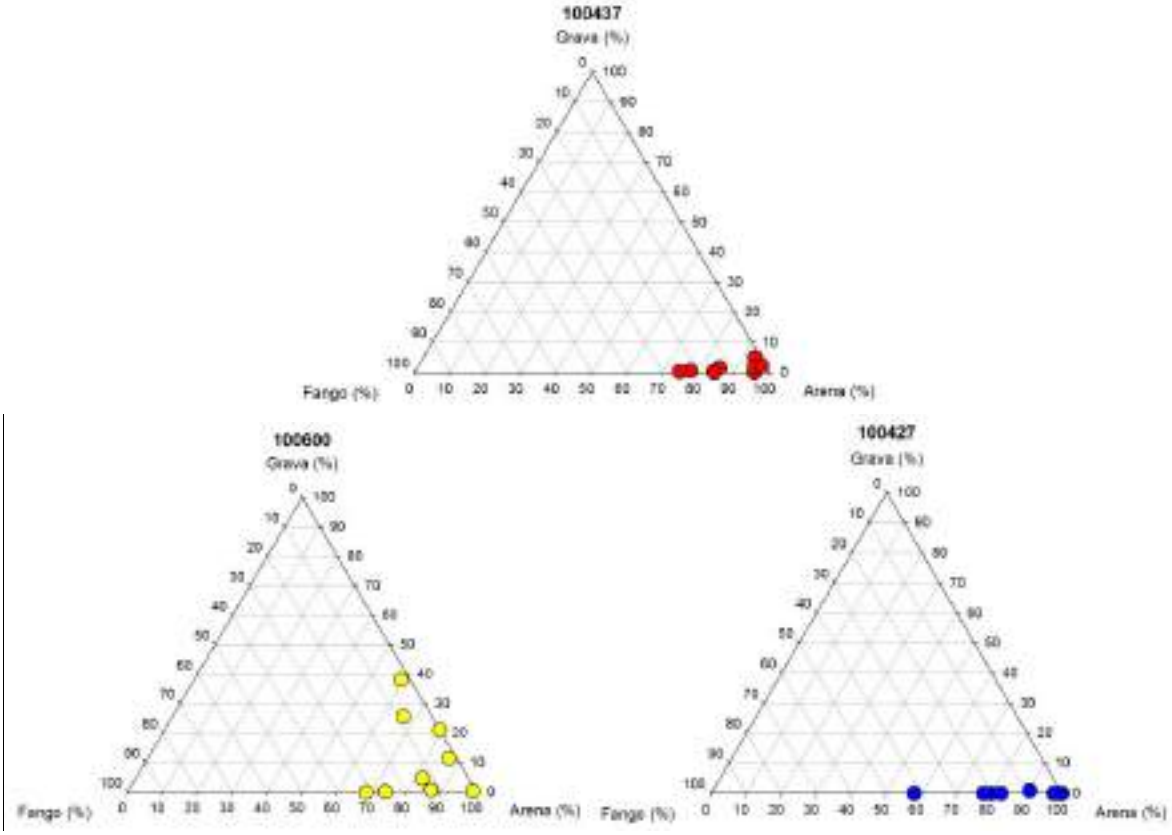


Figura 112. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 100437, 100600 y 100427 del lago Natri.

Los parámetros de textura por centro de cultivo indicaron similitud entre las estaciones 100437 y 100427 (Figura 112), con alta contribución de arena (mezclas granulométricas arena-fangosas a arena). En la estación 100600 se presentaron valores altos de arena, así como también mezclas grava-arenosa y arena-gravosas.

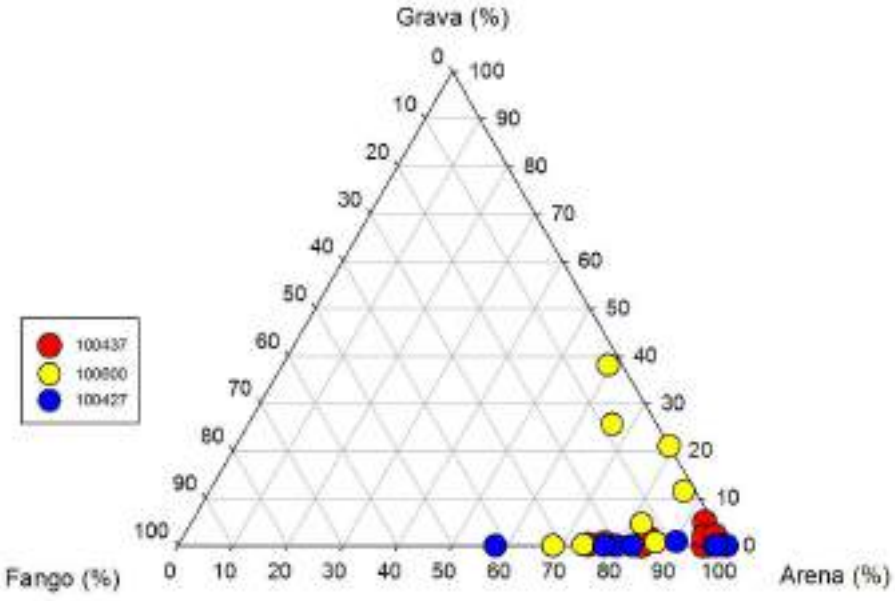


Figura 113. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Natri.

El análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Natri reforzó lo anteriormente descrito (Figura 113), es decir una similitud en la composición de mezclas granulométricas en las estaciones 100427 y 100437 (arena fangosa a arena), mientras que en la estación 100600 algunas muestras se desprendieron del comportamiento anteriormente mencionado, con mayor contribución de 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 muestra en la Tabla 36 y en la Figura 114. En general, las estaciones presentaron valores mayores a 10%, a excepción de la estación 2 del Centro 100437, y estación 2 y 3 del Centro 100600. En relación al potencial redox, todas las estaciones presentaron valores positivos, 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, en los Centros 100437 y 100427 se registraron valores levemente ácidos (entre 6,4 a 6,9), mientras que en el Centro 100600 los valores fueron cercanos a 7.

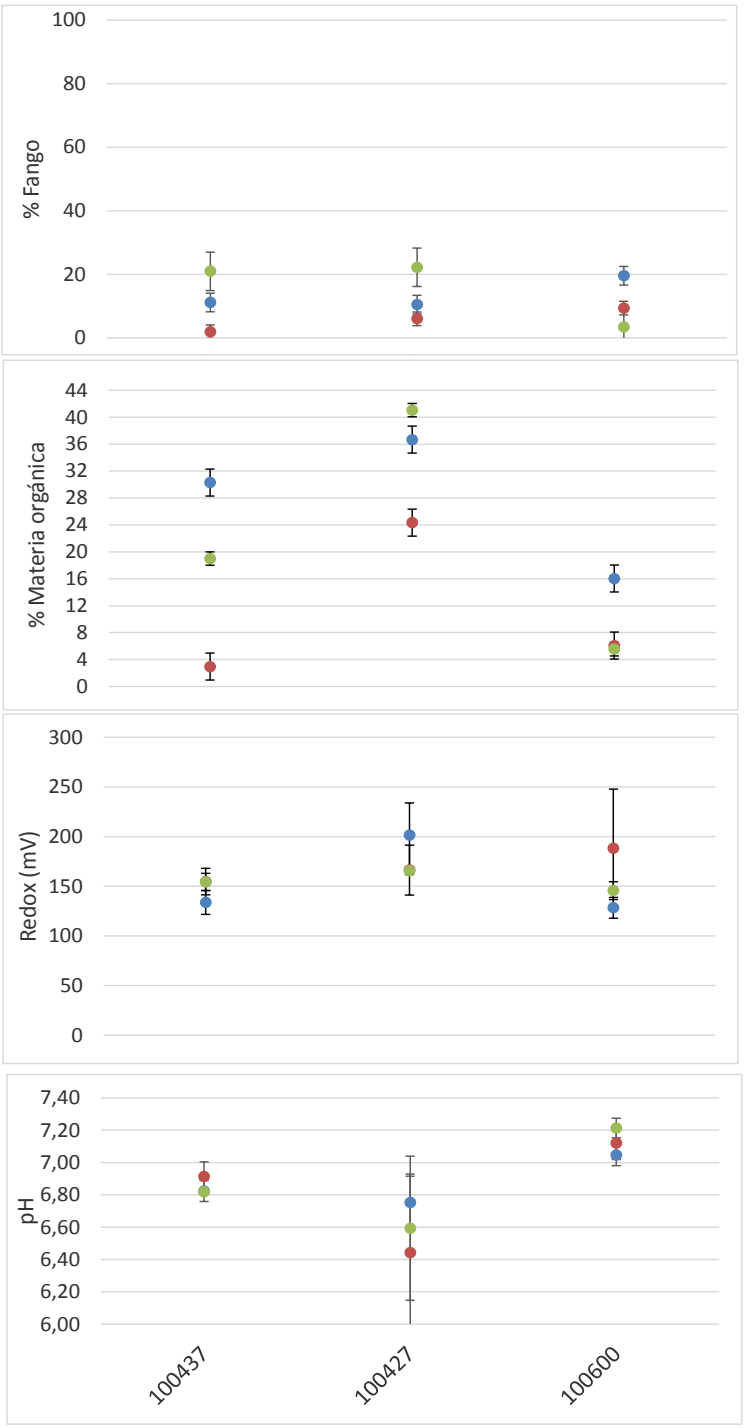


Figura 114. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Natri.

Tabla 36. Lago Natri: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Potencial Redox	T°	pH
100437	1	28	30,3	133,7	13,4	6,8
	2	15	30,0	154,7	20,4	6,9
	3	15	19,0	154,3	15,6	6,8
100600	1	33	16,0	128,3	13,4	7,0
	2	27	6,1	188,3	14,2	7,1
	3	18	5,6	145,7	13,7	7,2
100427	1	24	36,7	201,6	11,5	6,8
	2	22	24,3	166,3	11,9	6,4
	3	23	41,1	165,7	12,5	6,6

De acuerdo a los valores de la media, el sedimento del Centro 100437, específicamente en la estación 1 se clasificó como arena fina, en la estación 2 como arena gruesa y mediana, mientras que en la estación 3 arena muy fina. Las estaciones 1 y 2 del Centro 100600 se clasificaron como arena fina, y la estación 3 tendió a representarse por arena gruesa y mediana. Las estaciones 1 y 2 del centro 100427 tendieron a clasificarse como arena fina, y en la estación 3 arena muy fina y mediana. Los valores de selección en todos los casos fueron menores a 2,5, lo que indicaría una buena selección del grano, es decir el tamaño del grano sería poco variable (Tabla 55 en ANEXO 1).

d) Estudio de correntometría

En el presente proyecto no se comprometió la realización de este estudio.

5.2.11. Lago Tepuhueico

a) Análisis físico químicos del agua

Los perfiles de temperatura y oxígeno del lago Tepuhueico presentaron una similar tendencia en las dos estaciones de muestreo (Figura 115, Tabla 56 en ANEXO 1), donde la temperatura bordeo los 20°C desde superficie hasta los 8 a 9 m de profundidad y luego disminuyó acercándose a los 16°C cercano al fondo. Hubo formación de termoclina en torno a los 8,5 m de profundidad. El oxígeno disuelto siguió la misma tendencia que la temperatura siendo mayor en superficie que en el fondo, en superficie los valores fueron cercanos a 8,5 mg/L, y en el fondo cercano a 5,5 mg/L.

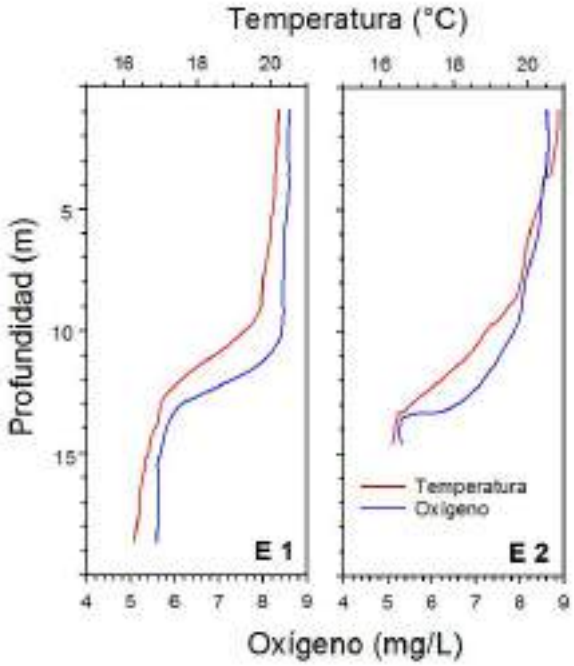


Figura 115. Perfiles físico-químicos (temperatura en °C y oxígeno en mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Tepuhueico.

Las Figuras 116 y 117 muestran el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua en los sitios de estudio del lago Tepuhueico (Tabla 56 en ANEXO 1). Los compuestos nitrogenados presentaron valores menores a 200 µg/L, siendo la concentración del amonio similar a la del NT. El PT presentó valores menores a 60 µg/L, aumentando en profundidad en la estación C1, mientras que en la estación 100521 (E2) disminuyó en profundidad. No se graficaron los resultados del ortofosfato por presentar valores bajo el límite de detección.

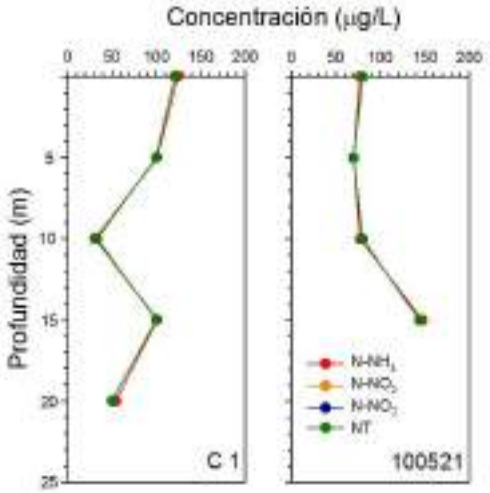


Figura 116. Perfiles de $N\text{-}NH_4$ (µg/L), $N\text{-}NO_2$ (µg/L), $N\text{-}NO_3$ (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tepuhueico.

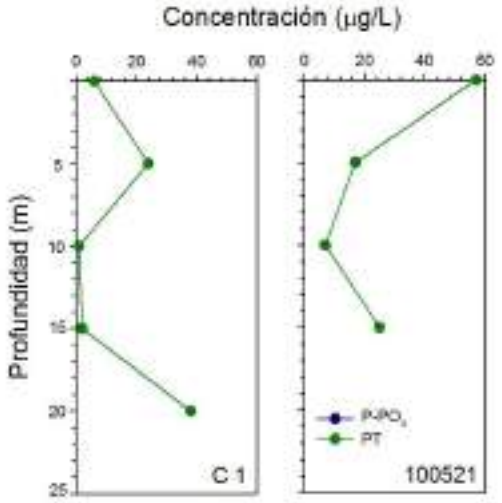


Figura 117. Perfiles de $P\text{-}PO_4$ (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Tepuhueico.

La caracterización de la MOD mostró que las intensidades máximas de fluorescencia de los componentes similar a proteína y similar a triptófano, se encontraron en la estación E1 en la superficie del lago (Figura 118). Mientras que las intensidades máximas para los componentes similares a ácidos húmicos UVA y ácidos fúlvicos, se encontraron también en la estación Tepuhueico E1, pero a la profundidad de 15 m. El componente similar a proteína es el fluoróforo que mayor variación tuvo a través de la gradiente de profundidades, mientras que el componente similar a

ácidos fúlvicos fue el que menor variación presentó. En este lago los componentes de origen autóctono (LDOC) presentan una presencia importante en comparación con los componentes del DOM de origen alóctono (RDOC).

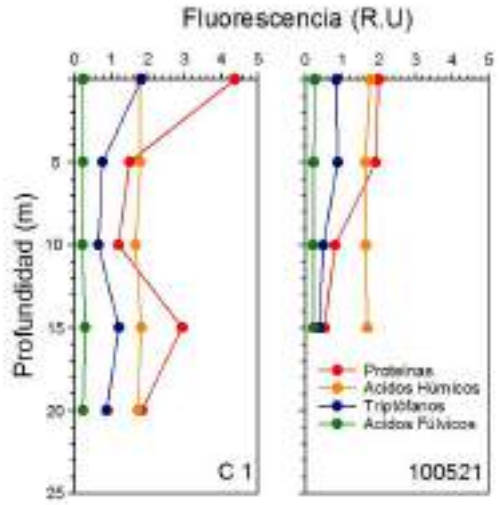


Figura 118. Caracterización de MOD en columna de agua del lago Tepuhueico.

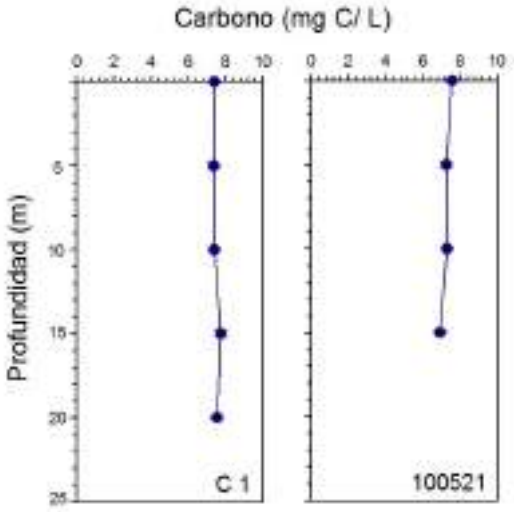


Figura 119. Concentración de COD en columna de agua del lago Tepuhueico.

En ambas estaciones de muestreo (E1 y E2) la concentración de carbono orgánico disuelto se mantuvo en el rango de 6,9 – 7,7 mg C/L (Figuras 119). Se observó de los resultados que este lago presenta poca variabilidad de concentraciones de carbono orgánico disuelto en cada estación muestreada y en su perfil vertical.

Tabla 37. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tepuhueico.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	NH_4 (µg/L)		NO_3 (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		$P\text{-}PO_4$ (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
Campos *et al*., 1997 (FIP IT 96 54)	Centro del lago	0-20	6,9	6,9	469,8	62,7	230,3	58,2	2,3	0,5	16	7,6	1,6**	1	---	Primavera 1996-1997
		0-20	14,2	10,6	365,8	46,7	267,7	52,9	2,5	0,9	17	13,8	6,2**	5,9	---	Verano 1997
		0-20	21	11,4	443,3	183,9	240,6	32,9	3,5	1,3	15,7	8	5,9**	4,9	---	Otoño 1997
		0-20	13,5	9,9	500,9	50,2	302,8	34,5	2,7	0,4	14,7	3,6	0,8**	0,2	---	Invierno 1997
	Balsas-Jaulas	*	62,2	8,1	445	27	346,2	65,9	3,1	0,9	21	6	---	---	---	Primavera 1996-1997
		*	12,6	12,8	325,5	72,4	317,9	118	3,5	2,2	17,6	4,2	---	---	---	Verano 1997
		*	28,7	19,8	596,2	65,2	465,6	240	6,8	6	27,4	8,2	---	---	---	Otoño 1997
		*	38,5	30,5	465,7	60,7	386,8	38,6	5,6	4,6	77,1	51,3	---	---	---	Invierno 1997
III Etapa	E1	0-20	106	49,3	< 3	---	80,8	37,4	< 1	---	14,2	16,2	1,2	0,5	2	Verano 2016
	E2	0-15	120	46,9	< 3	---	93,5	34,0	< 1	---	26,5	21,6	1,5	0,5	2	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tepuhueico

Con respecto al nitrógeno total, este indica una condición oligotrófica, estado reportado para dos estaciones del estudio de Campos *et al*. (1997) (Tabla 37), sin embargo las concentraciones de nitrógeno total obtenidas en este estudio son menores a las reportadas anteriormente. El principal constituyente del nitrógeno total en este estudio es el amonio, a diferencia de lo obtenido por Campos *et al*. (1997). Las concentraciones de fósforo total indican una condición mesotrófica y eutrófica, al igual que lo reportado en literatura (Campos *et al*., 1997). Para ambos casos el fósforo total está conformado mayoritariamente por fósforo orgánico. En este estudio la clorofila indicó una condición oligotrófica, en tanto los resultados obtenidos por Campos *et al*. (1997) fueron variables entre las estaciones evaluadas, de una condición ultraoligotrófica a mesotrófica. En cuanto a la transparencia se aprecia un estado eutrófico.

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

La abundancia fitoplanctónica en el lago Tepuhueico fue de 220.648 ± 25.716 célL^{-1}, siendo similar en ambas estaciones de muestreo.

La riqueza fitoplanctónica en el lago Tepuhueico fue de 11 taxa, oscilando entre 4 y 10 % en las estaciones de muestreo. En la comunidad fitoplanctónica del lago Tepuhueico en verano de 2016, dominaron las diatomeas, principalmente *Urosolenia aff eriensis,* aun cuando se registraron otras Diatomeas, ésta aporto al menos con un 99,5% a la abundancia relativa por estación de muestreo (Tabla 38). Las Clorofíceas o algas verdes fueron registradas solamente en las muestras cualitativas de fitoplancton. No se registró la presencia de *D. geminata* (Tabla 57 en ANEXO 1).

Tabla 38. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Tepuhueico.

Lago	Tepuhueico	
Estación	**E1**	**E2**
Densidad total (célL-1)	238.832	202.464
Grupo	%	%
Diatomeas	100	100
Crisoficeas	0	0
Cloroficeas	0	0

Zooplancton

En el lago Tepuhueico se observó una riqueza de 4 taxas, conformada tan solo por crustáceos brachipodos y maxilipodos (Tabla 39). La abundancia osciló entre 2,70 y 2,97 cél L^{-1}, siendo la especie más abundante *B. gracilipes*.

Tabla 39. Abundancia de microcrustáceos en el lago Tepuhueico, en verano de 2016.

Estación/Taxa	Tepuhueico	
	E1	E2
Crustacea / Maxilopoda		
Boeckella gracilipes	1,84	2,27
hembra con huevos	0,05	0,19
Mesocyclops araucanus	0,618	0,430
Crustacea/ Brachiopoda		
Diaphanosoma chilense	0,15	0,05
Bosmina hagmanni	0,04	0,03
Número total de cél L^{-1}	**2,70**	**2,97**
Riqueza de Taxa	**4**	**4**

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Tepuhueico se muestrearon 2 sectores, denominadas Centro 1, y Centro 2. En la Tabla 58 en ANEXO 1 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Al respecto, se observó que en el Centro 1, en las estaciones 1 y 2 los máximos aportes estuvieron dados por el fango, arena media y fina, mientras que en la estación 3 la grava estuvo mayormente representada. En el Centro 2 no hubo presencia de grava, sino más bien arena media, fina y muy fina, además del fango.

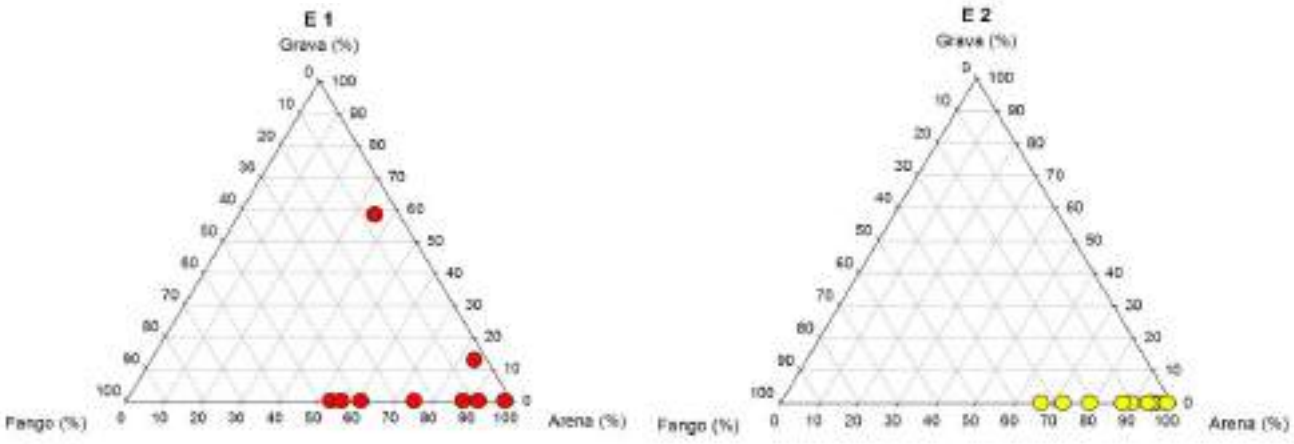


Figura 120. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 1 y 2 del lago Tepuhueico.

Los parámetros de textura por centro de cultivo (Figura 120) indicaron similitud en ambas estaciones, presentando mezclas granulométricas arena-fangosas, a excepción de una muestra de la estación E1 con mezcla grava-arenosa.

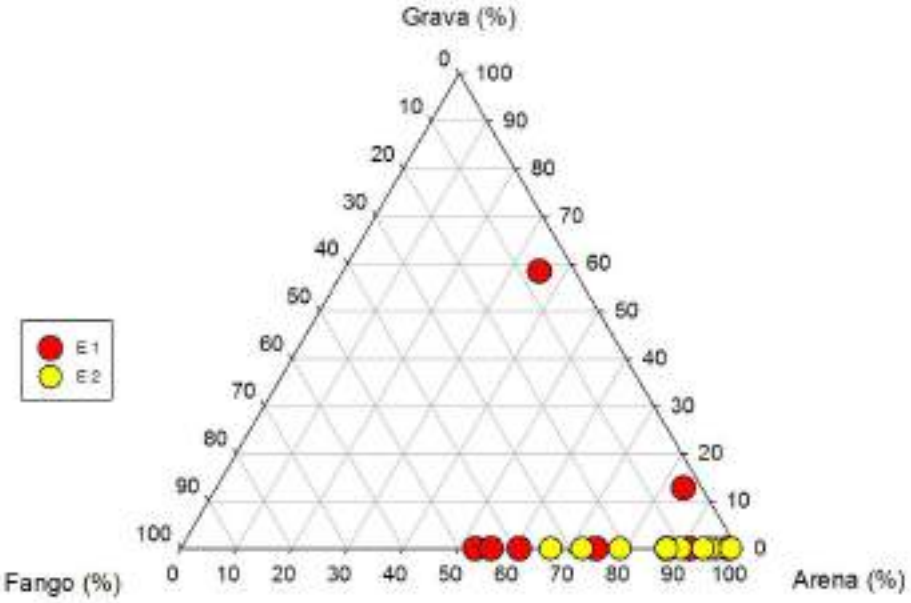


Figura 121. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Tepuhueico.

Al realizar un análisis textural del sedimento en todas las estaciones muestreadas en el lago Tepuhueico (Figura 121), se observó que ambas estaciones tendieron a mezclas granulométricas arena-fangosas, sin embargo, se visualizó nítidamente que la estación 2 presentó mayor contribución de arena.

Tabla 40. Lago Tepuhueico: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (potencial redox, T° y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Código Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	T°	pH
Centro 1	1	21	57,7	190,0	16,7	6,8
	2	18	61,5	198,0	16,6	7,7
	3	20	26,4	217,7	17,3	6,7
Centro 2	1	14	56,1	215,5	18,0	7,3
	2	16	51,5	228,5	17,5	7,1
	3	16	61,8	234,0	16,5	7,4

La materia orgánica presente en los sedimentos analizados en el lago Tepuhueico, expresada en porcentaje, se muestra en la Tabla 40 y en la Figura 122. En relación a estos resultados, todas las estaciones presentaron valores mayores a 10%, con valores incluso cercanos a 61%.

En relación al potencial redox, en todas las estaciones se registraron valores sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por la CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. De acuerdo a los resultados de pH, sólo dos estaciones registraron valores fuera del límite de aceptabilidad (> a 6,8).

La clasificación sedimentológica según la media indicó que, las estaciones 1 y 2 del Centro 1 están representadas por arena muy fina y fina, mientras que la estación 3 por arena gruesa y muy gruesa. La estación 1 del Centro 2 se clasificó como arena fina, mientras que la estación 2 estuvo representada por arena muy fina, fina y mediana. El sedimento de la estación 3 se clasificó como arena fina y mediana. Los valores de selección fueron en todos los casos menores a 2,5, lo que estaría indicando una buena selección de granos, es decir el tamaño del grano es poco variable (Tabla 59 en ANEXO 1).

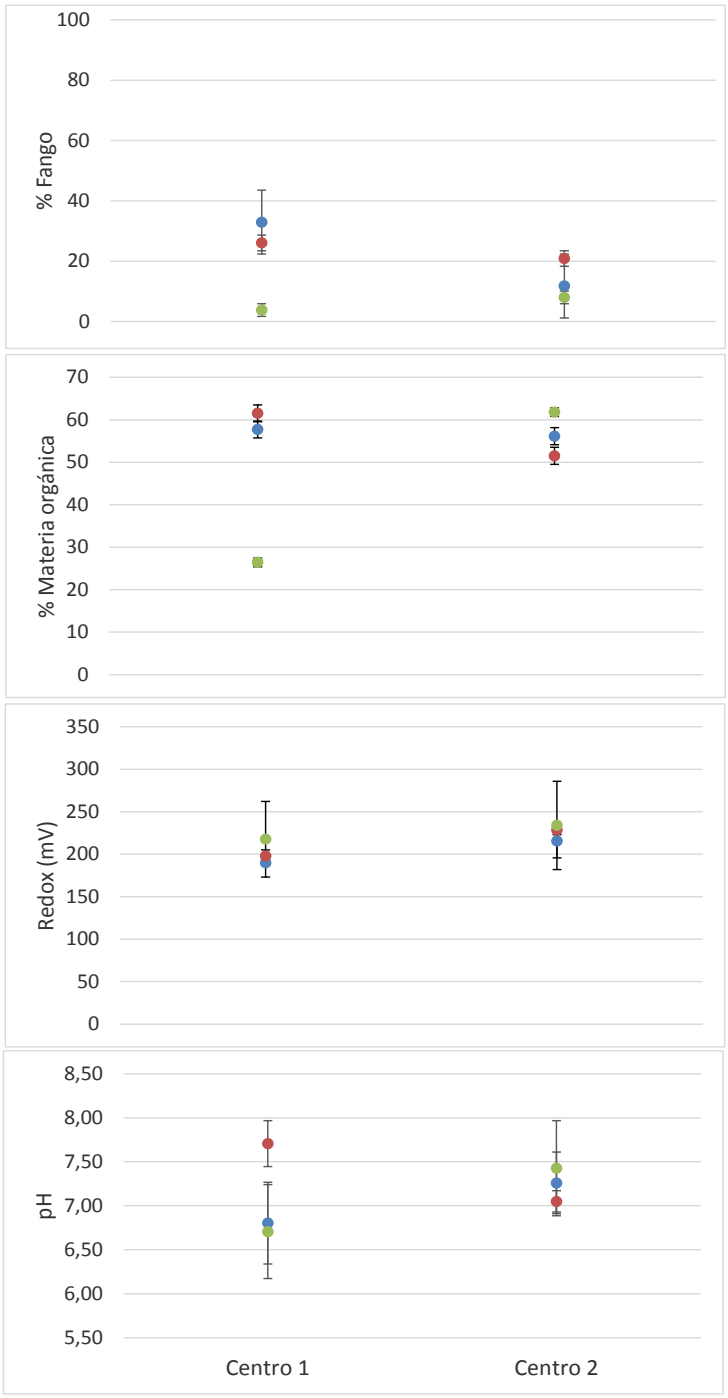


Figura 122. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Tepuhueico.

d) Estudio de correntometría

Como se aprecia en la Figura 123, las corrientes en el tramo estudiado se dirigieron primeramente hacia el oeste, para luego, dirigirse a la costa sur del lago. Se registraron corrientes promedios de 0,03 m/s a 0,12 m/s. En cuanto a las velocidades según profundidad, se observó que los derivadores en superficie recorrieron mayor distancia en comparación al de profundidad, lo que se explica que el derivador de profundidad (a 5 m de profundidad) tocó fondo (Tabla 41).

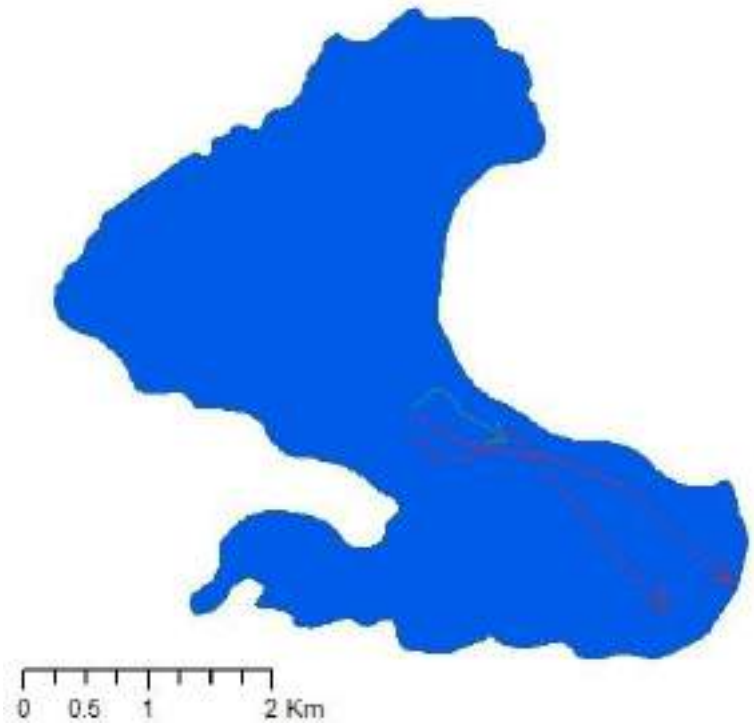


Figura 123. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo estudiado en el lago Tepuhueico. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (5 m).

Tabla 41. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador para tramo estudiado en el lago Tepuhueico.

Lago Tepuhueico	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (5 m)	Sup. 2 (0 m)
Promedio	0,12	0,03	0,10
DS	0,05	0,01	0,06
Máx.	0,22	0,08	0,25

La medición de velocidad y dirección del viento se realizó el día 4 de noviembre del 2015, registrándose (Tabla 60 en ANEXO 1), se registró una predominancia del viento proveniente del sur, y en menor grado del nor-oeste y norte (Figura 124). La velocidad máxima fue de 12,2 m/s, mientras que la velocidad promedio calculada fue de 3,5 m/s, y un periodo de calma (velocidades menores a 2 m/s) de 24,3%.

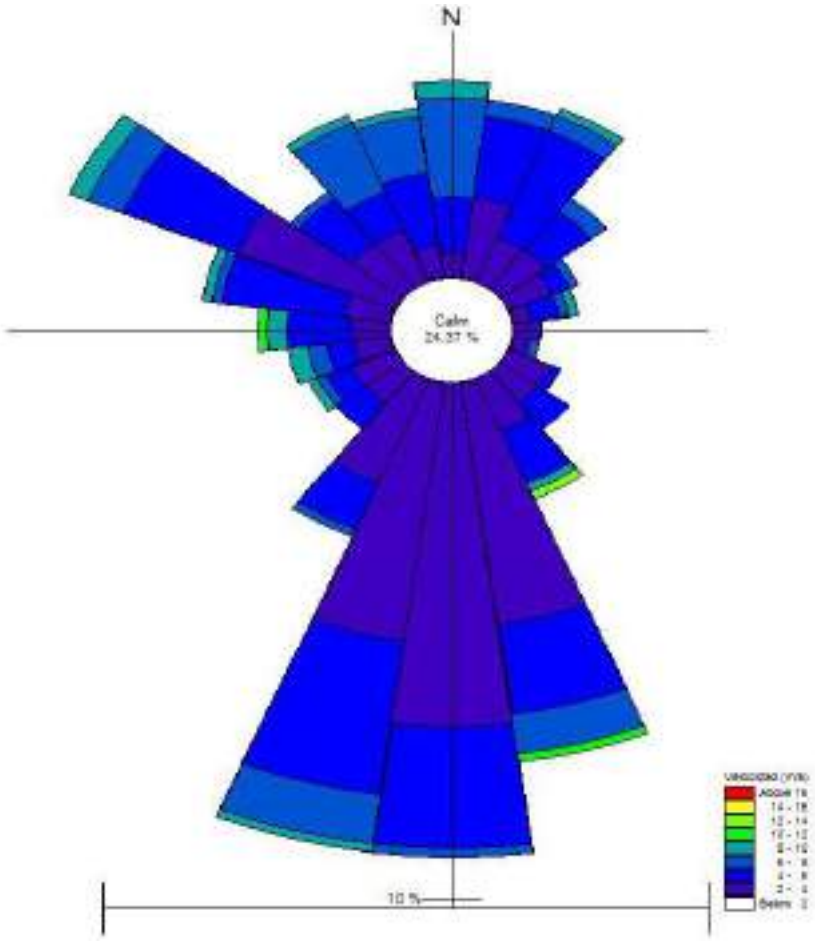


Figura 124. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Tepuhueico.

5.2.12. Lago Yelcho

a) Análisis fisicoquímicos de agua

Los perfiles de columna de agua muestran una clara termoclina en torno a los 35 m de profundidad, en superficie los valores fueron levemente superiores a 16°C y en profundidad alcanzaron los 8 °C

(Figura 125, Tabla 61 en ANEXO 1). Los antecedentes registrados de oxígeno disuelto fueron variables dentro de las estaciones, pero se mantuvieron en torno a los 9 a 10 mg/L en la mayor parte de la columna de agua, en cambio en superficie y 5 m de profundidad se registraron valores más bajos cercanos a 7.

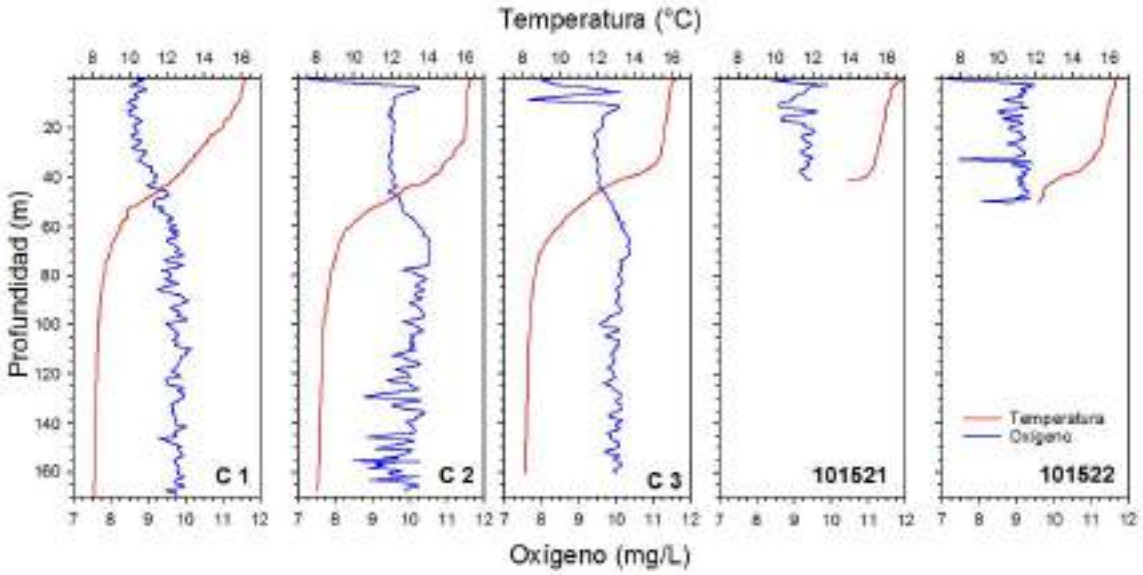


Figura 125. Perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/L) de la columna de agua en los sitios de estudio del lago Yelcho.

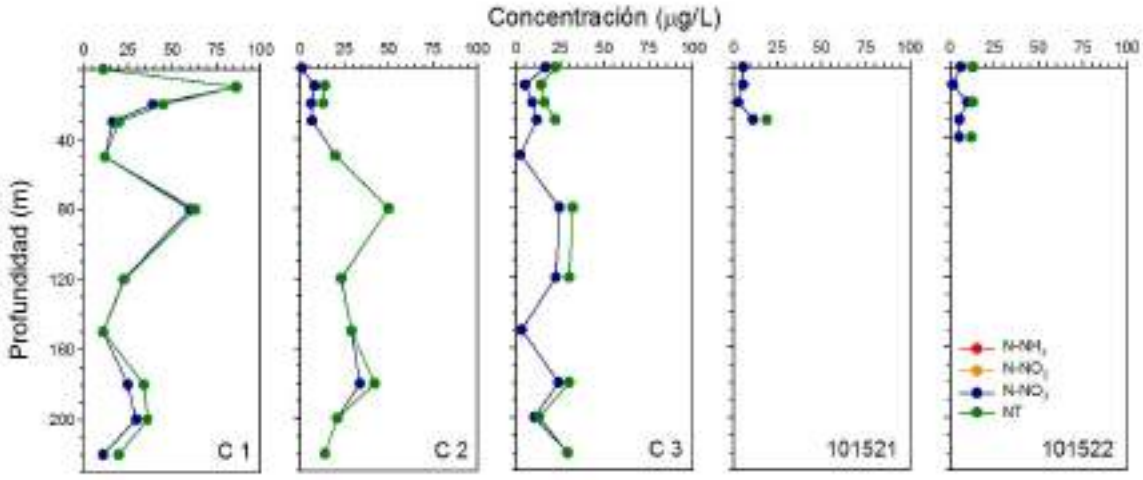


Figura 126. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Yelcho.

En las Figuras 126 y 127, se grafican la concentración de los nutrientes en la columna de agua. Se registraron valores menores a 90 µg/L de compuestos nitrogenados (Tabla 61 en ANEXO 1). En la estación C1 se observó un aumento de NT a 10 y 80 m de profundidad (alrededor de 90 µg/L), mientras que en la C2 un aumento a 80 m (50 µg/L). Valores de nitrato fueron similares a los reportados para NT, mientras que el amonio y nitrato se encontraron bajo el límite de detección. En cuanto al PT, en las estaciones C1, C2 y C3 tendió a aumentar a 20 de profundidad, no así en las estaciones 101521 y 101522 que presentaron valores más altos en superficie.

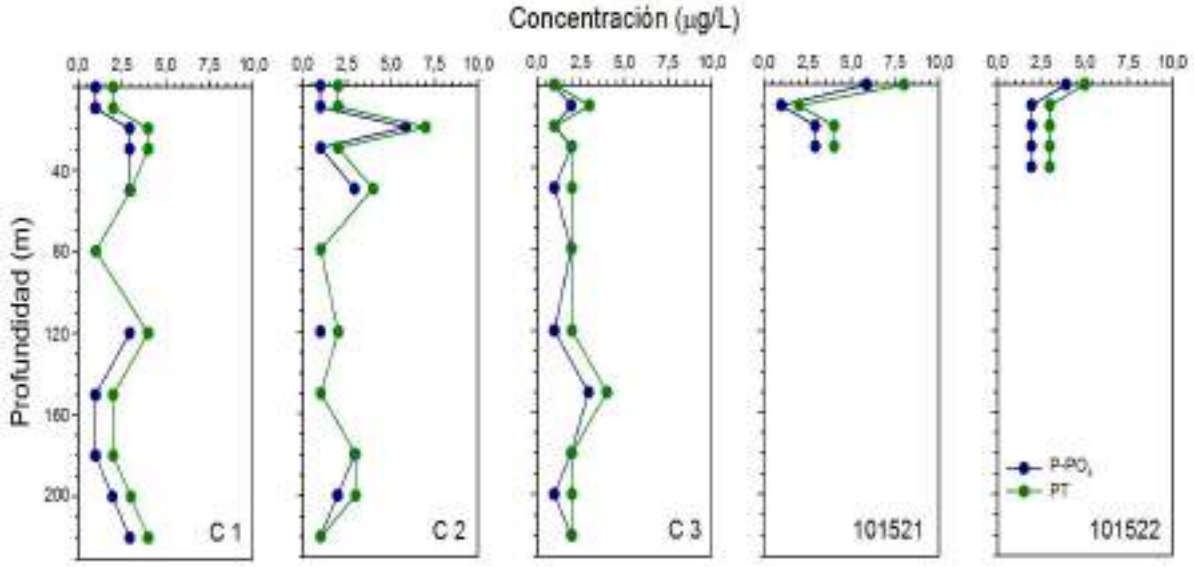


Figura 127. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Yelcho.

Parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Yelcho

Los resultados obtenidos en la III etapa del proyecto de los parámetros NT, PT y clorofila a mostraron que el lago aún se encuentra en estado de ultraoligotrofía, salvo la transparencia que se caracterizó por un estado de mesotrofía (Tabla 42).

Tabla 42. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la III etapa del proyecto, en el lago Yelcho.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
III etapa	C1	0-220	32,8	23,9	2,8	1,1	0,2	0,2	7	Verano 2015
	C2	0-220	25,1	13,0	2,5	1,8	0,2	0,1	8	
	C3	0-220	23,1	7,5	2,1	0,8	0,2	0,1		
	101521	0-30	19,0	0,0	4,5	2,5	0,2	0,1		
	101522	0-40	12,7	0,6	3,4	0,9	0,2	0,0		

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

El lago Yelcho, durante el verano tardío de 2015 presentó la mayor densidad fitoplanctónica en la estación C1 con 91.944 cél L^{-1}, esta estación de muestreo se localiza en la parte alta, aledaña a uno de sus mayores afluente, el río Futaleufú. La menor densidad fitoplanctónica se asoció a la estación 101521 con 12.137 cél L^{-1}, la más cercana al efluente del lago Yelcho – Río Yelcho. (Figura 43a).

Se registraron 25 taxas, en las estaciones de muestreo la riqueza osciló entre 6 y 20 taxa, la mayor riqueza se produjo en estación 101521 la más cercana al efluente. Las Diatomeas fueron el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica del lago Yelcho, solo en la estación C1 hubo abundancia significativa de 27% de Crisofíceas. La Diatomea *Tabellaria fenestrata* fue la especie más abundante en todas las estaciones con abundancias relativas entre 41 y 82 %, *Synedra spp*., aporto con 4 y 48 % de la abundancia relativa. Por otro lado, solo en la estación C1 se observó la Criptofícea *Dinobryon sp*., con una abundancia relativa de un 27 % (Tabla 62 en ANEXO 1). En el lago Yelcho no se encontró *D. geminata* en las muestras de columna de agua, aun cuando este lago se encuentra en área plaga FAN.

Tabla 43a. Composición fitoplanctónica, densidad celular (cél L^{-1}) y abundancia relativa (%) por taxa en el lago Yelcho durante verano de 2016.

Lago	Yelcho				
Estación	**C1**	**C2**	**C3**	**101521**	**101522**
Densidad total (célL-1)	91.944	30.108	46.476	12.137	80.378
Grupo	%	%	%	%	%
Diatomeas	73	98	100	99	100
Crisoficeas	27	0	0	0	0
Cloroficeas	0	2	0	0	0
Cianobacterias	0	0	0	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	0
Criptoficeas	0	0	0	0	0
Euglenoficeas	0	0	0	1	0

En el lago Yelcho las estaciones se diferenciaron de acuerdo a la composición de especies del fitoplancton (Figura 128).

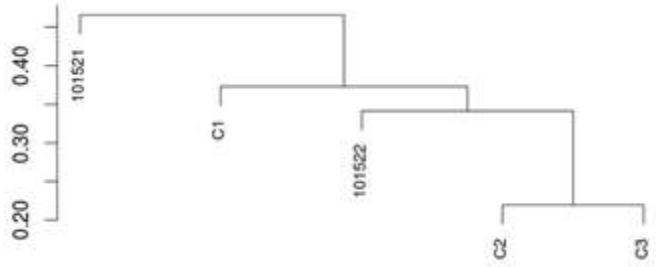


Figura 128. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Yelcho, en verano de 2015.

Zooplancton

La fauna zooplanctónica en el verano de 2015, estuvo compuesta por 5 taxas, crustáceos maxilipodos y brachipodos, además de nauplios (Tabla 43b). La densidad oscilo entre 0,04 y 3,07 cél L^{-1}. La especie más abundante fue *D. duplex* seguida por *M. araucanus*.

Tabla 43b. Abundancia de microcrustáceos en el lago Yelcho.

Estación/Taxa	Yelcho				
	C1	C2*	C3	101521	101522
Crustacea / Maxilopoda					
Boeckella gracilipes	0	0,01	0,02	0,05	0,01
Mesocyclops araucanus	0,04	0,12	0,08	0,49	0,07
hembra con huevos	0	0	0	0	0,001
Nauplius	0	0	0	0	0,004
Crustacea/ Brachiopoda					
Daphnia pulex	0,001	0	0,002	2,42	0,05
Bosmina chilensis	0,0004	0,002	0,01	0,11	0,01
Número total de cél L $^{-1}$	**0,04**	**0,13**	**0,10**	**3,07**	**0,15**
Riqueza de Taxa	**3**	**3**	**4**	**4**	**5**

En lago yelcho las estaciones C2, C3 y 101522 parecieran ser similares en cuanto a su composición zooplactónica, siendo más diferentes la C1 y finalmente la 101521 (Figura 129).

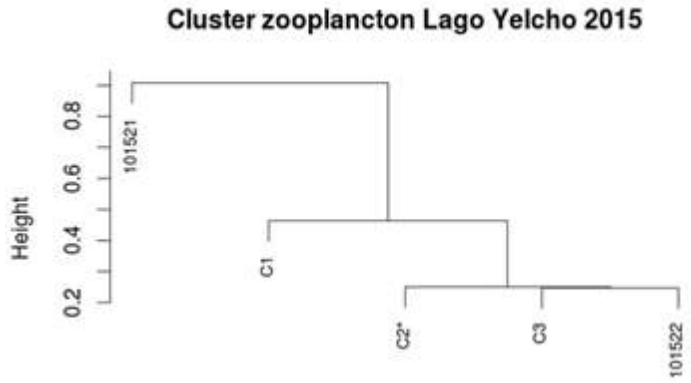


Figura 129. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Yelcho.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Yelcho se muestrearon 2 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, denominadas Centro 101521 y Centro 101522. En la Tabla 63 en ANEXO 1 se presentan los resultados del el análisis granulométrico. Al respecto, se observó que en el Centro 101521, en la estación 1 predominaron el fango (38%) y arena muy fina (35%), mientras que en la estación 2 arena fina (30%) y arena media (26%), y en la estación 3 se registró mayormente aporte de sedimento fino

(35% de arena muy fina; 28% de fango; y 28% de arena fina. En el Centro 101522, la arena muy fina predominó en la estación 1 (24%), mientras que en la estación 2 y 3 la mayor contribución estuvo dada por el fango (25% y 30% respectivamente).

Al analizar los parámetros de textura por centro de cultivo (Figura 130), se visualiza una clara similitud en cuanto a las fracciones texturales del sedimento en ambos centros, denotando que el principal contribuyente fue la arena, catalogándose según Folk (1970) como una mezcla arena-fangosa.

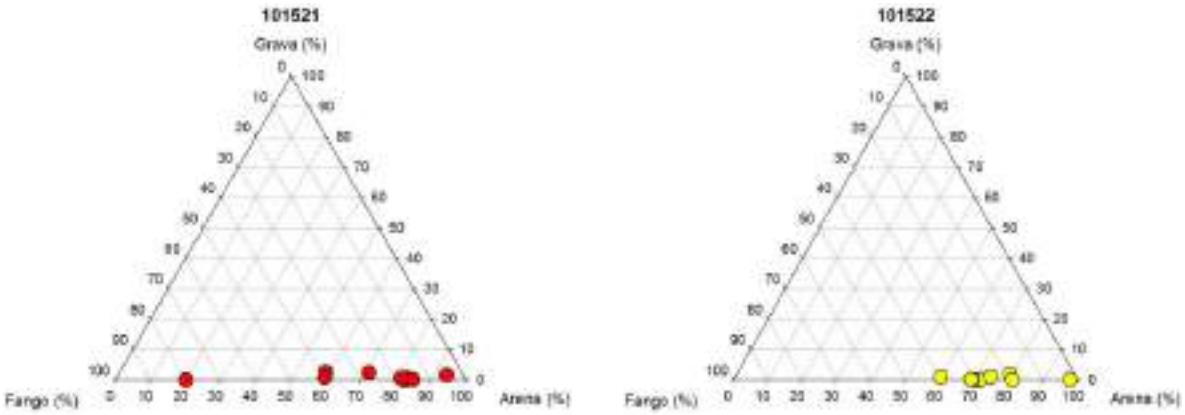


Figura 130. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 101521 y 101522 del lago Yelcho.

Al agrupar todas las muestras (Figura 131) se realza la similitud entre ambas estaciones, caracterizándose el sedimento como arena-fangoso, a excepción de una muestra del centro 101521 con presencia de mezcla fango-arenosa.

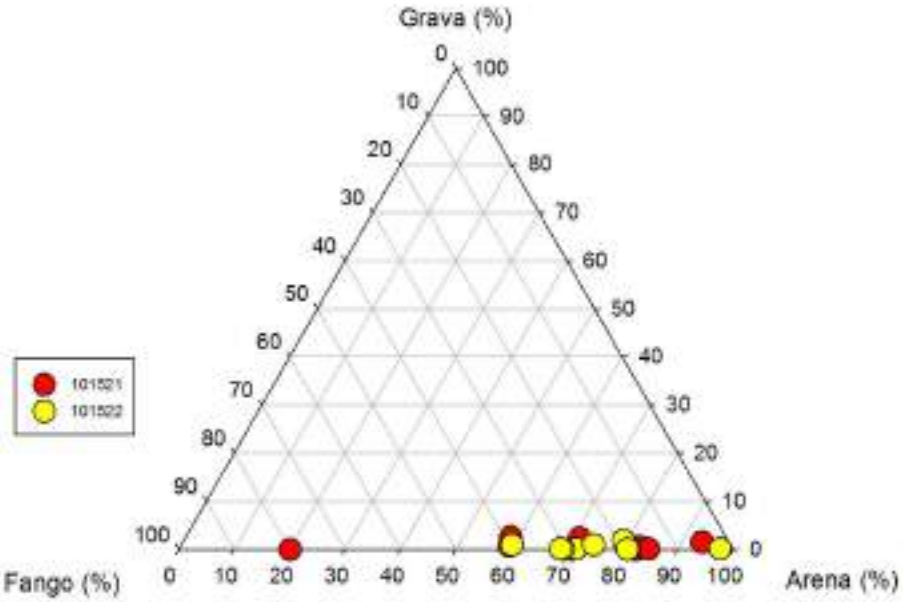


Figura 131. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Yelcho.

El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena fina y muy fina, a excepción de una estación del centro 101521 con presencia de limo grueso. 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 indicó una selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como fue el caso de dos réplicas como se muestra en la Tabla 64 en ANEXO 1. Los valores de selección en todos las muestras (S<2,5) indicarían una buena selección (tamaños de grano poco variables).

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a las concesiones de acuicultura en el lago Yelcho, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 44 y en la Figura 132. En relación a los resultados de materia orgánica, sólo se registraron valores mayores a 10% en la Estación 2 y 3 del Centro 101522 (11,2% y 19,4% respectivamente). El 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 respectivamente. Según los resultados del pH, se observó un pH ácido en la mayoría de las muestras, además, los valores registrados se encontraron fuera del límite de aceptabilidad (<7.1).

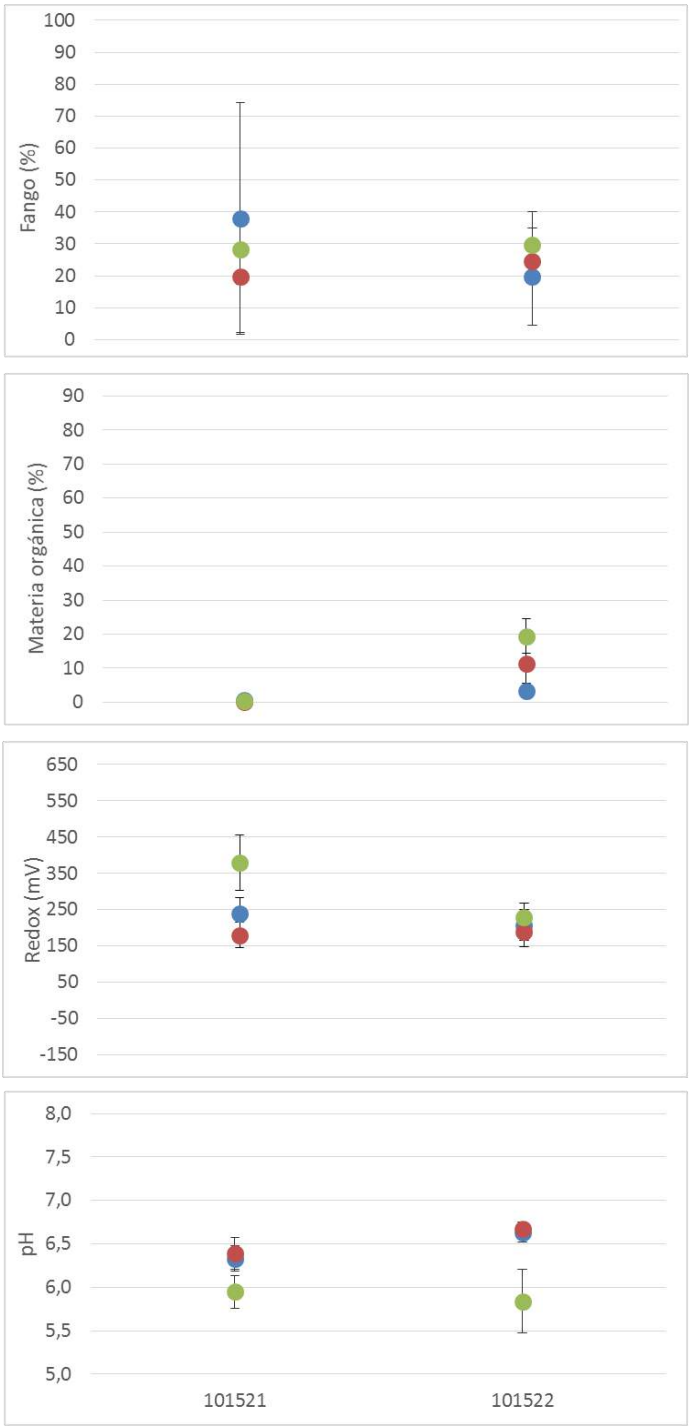


Figura 132. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Yelcho.

Tabla 44. Lago Yelcho: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	%MO	Redox	pH
101521	1	20	0,7	239	6,3
	2	20	0,1	180	6,4
	3	20	0,5	380	5,9
101522	1	20	3,4	208	6,6
	2	20	11,2	189	6,7
	3	20	19,4	230	5,8

d) Correntometría Lagrangeana

Como se aprecia en la Figura 133, las corrientes en el tramo A se dirigieron primeramente hacia el oeste, para luego, previo a llegar a la costa, cambiar rumbo al sur. En cambio, la corriente del tramo B se orientó hacia el este. Se registraron corrientes promedios de 0,05 m/s en el tramo A, y 0,1 m/s en el tramo B. En cuanto a las velocidades según profundidad, se observó que en el tramo A la corriente fue similar en superficie como en profundidad (15 m). De igual manera se comportó el tramo B, a excepción de una medición en profundidad que registró alta velocidad de corriente (0,17 ± 0,04 m/s) (Tabla 45).

Figura 133. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A y B en el lago Yelcho. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Tabla 45. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Yelcho.

Lago Yelcho	Tramo A				Tramo B			
	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)
Promedio	0,06	0,06	0,04		0,06	0,17	0,07	0,08
DS	0,03	0,03	0,03		0,04	0,04	0,03	0,04
Máx.	0,4	0,4	0,4		0,7	0,53	0,25	0,25

Durante el periodo de medición de la velocidad y dirección del viento en las riveras del lago Riesco (26/03/2015 al 27/03/2015) (Tabla 65 en ANEXO 1), se registró una predominancia del viento proveniente del Nor-oeste (Figura 134), y en menor proporción desde el Sur. La velocidad máxima fue de 10,4 m/s, mientras que la velocidad promedio calculada fue de 3,28 m/s, y un periodo de calma (velocidades menores a 2 m/s) de 33,22%.

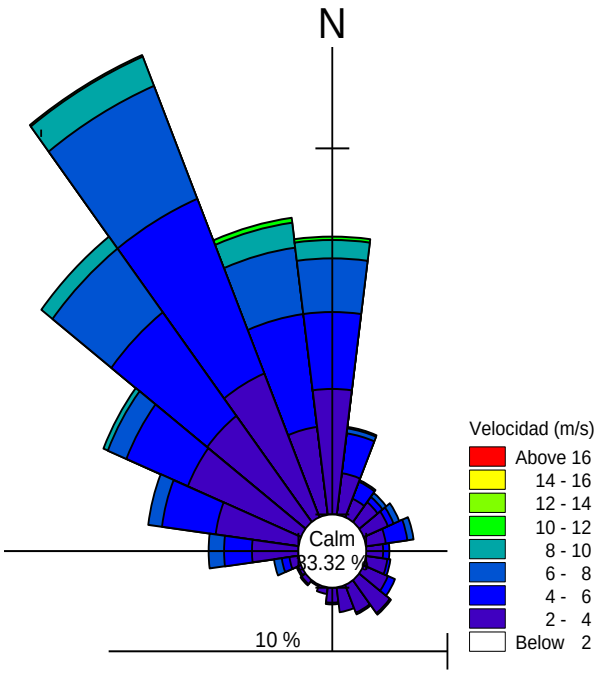


Figura 134. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Yelcho.

5.2.13. Lago Riesco

a) Análisis fisicoquímicos agua

La temperatura superficial del agua registrada en todos los sitios en estudio (C1, 110048 y 110038) fluctuó entre 14° C en superficie y 6°C en profundidad (Figura 135, Tabla 66 en ANEXO 1), registrándose una termoclina poco diferenciada hasta los 50 m con una diferencia de 7°C. La concentración de oxígeno disuelto en superficie fue de 10 mg/L, tendiendo a disminuir a mayor profundidad, registrándose 3 mg/L a 100 m de profundidad.

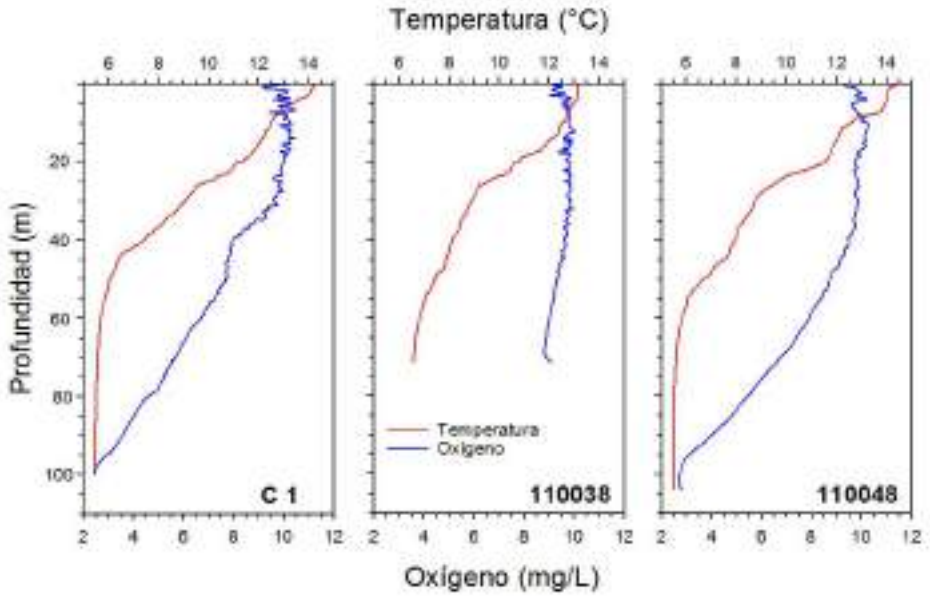


Figura 135. Perfiles físico-químicos (temperatura en °C y oxígeno en mg/L) de la columna de agua en los sitios en estudio del lago Riesco en marzo del 2015.

En las Figuras 136 y 137 se muestra el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua en todos los sitios de estudio (Tabla 66 en ANEXO 1). Las estaciones 110037 y 110038 presentan homogeneidad en los valores en la columna de agua (<50 µg/L), mientras que en C1 mayores valores de NT se registraron en superficie y a 80 m de profundidad (120 µg/L). En la estación 110048 el mayor valor se registró a 15 m (28 µg/L). La mayor contribución al NT es el nitrato, con similares concentraciones. En tanto el nitrito y amonio tendieron a estar cercanas o bajo el límite de detección. El PT fue menor a 6 µg/L en todas las estaciones, observándose homogeneidad en la columna de agua, salvo la estación C1, con mayores valores a 20 y 70 m de profundidad (6 µg/L).

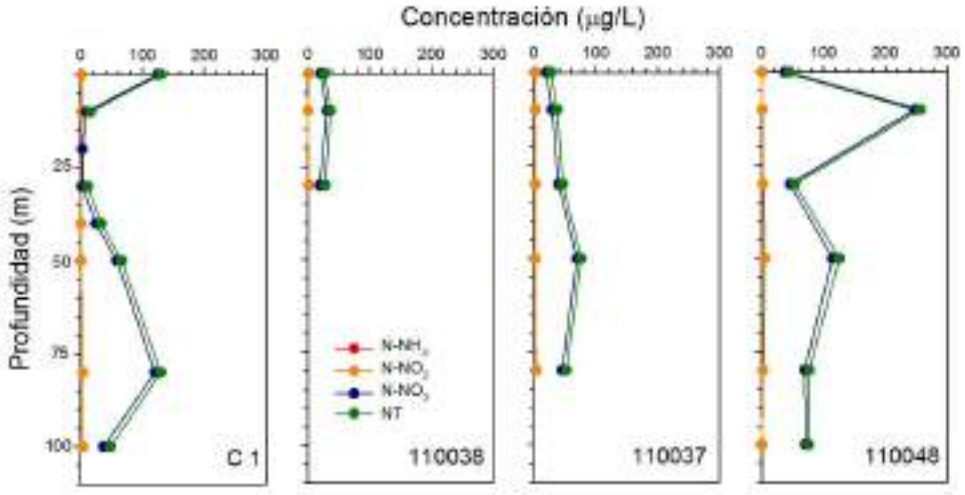


Figura 136. Perfiles de N-NH_4 (µg/L), N-NO_2 (µg/L), N-NO_3 (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Riesco.

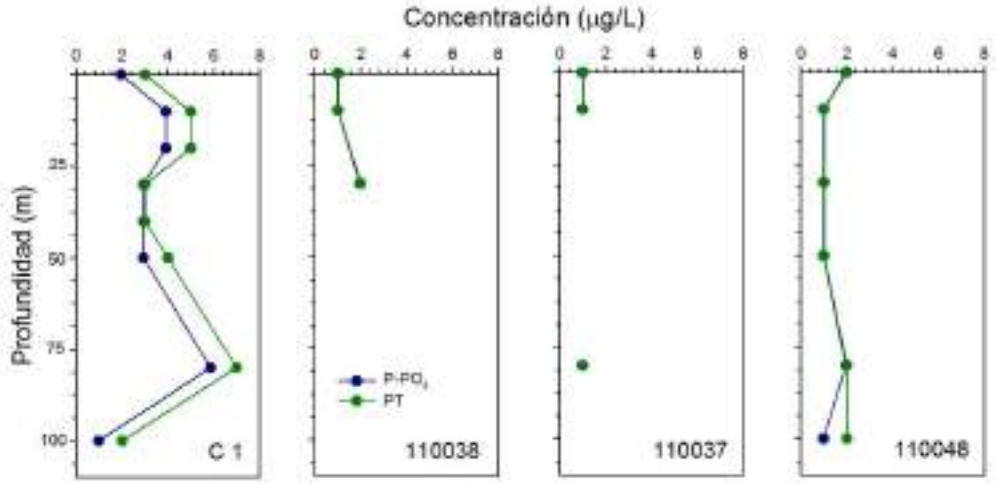


Figura 137. Perfiles de P-PO_4 (µg/L) y fósforo total (µg/L) en la columna de agua de las estaciones analizadas del lago Riesco.

Parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Riesco

Los parámetros de trofía evaluados en la III etapa del proyecto indican que las concentraciones de NT varían entre el estado de ultra a oligotrofía, mientras que los resultados de PT y la clorofila a indicaron un estado de ultraoligotrofía, no así la transparencia, que registró valores dentro del rango de la mesotrofía (Tabla 46).

Tabla 46. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la III etapa del proyecto, en el lago Riesco.

Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
III etapa	C1	0-100	61,6	49,6	4,0	1,6	0,3	0,3	7	Verano 2015
	110038	0-50	30,6	5,3	1,3	0,6	0,8	0,4	7,5	
	110037	0-80	47,6	18,5	1,0	0,0	0,5	0,5	7,5	
	110048	0-100	105,7	79,3	1,5	0,5	0,5	0,4	6,5	

b) Análisis de parámetros biológicos

Fitoplancton

En verano del 2015 en el lago Riesco, se encontraron densidades celulares que fluctuaron entre 1.040 cél L^{-1} y 14.605 cél L^{-1}. Las menores abundancias se registraron en la estación C1, estación de muestreo más cercana al afluente principal. En tanto las mayores densidades celulares se registraron en la estación 110038 y 110037, las cuales se localizan en la parte media del lago.

En el muestreo realizado en verano de 2015 en el lago Riesco se encontraron 19 taxas, en las estaciones de muestreo la riqueza de taxa fluctuó entre 4 y 12 especies, obteniéndose la mayor riqueza en la estación 110037. Las diatomeas fueron el grupo más abundante y diverso con 10 taxas de los cuales 2 solo fueron registrados en los análisis cualitativos. La especie más abundante fue *Tabellaria fenestrata* cuya abundancia relativa fluctuó entre 84 y 98%, así también *Tabellaria floculossa* fue la segunda especie con mayor abundancia relativa de este lago con valores entre 1 y 8%, salvo C1 donde no se observó. No se registró la presencia de *D. geminata* (Tabla 67 en ANEXO 1).

Tabla 47. Densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en el lago Riesco durante verano de 2015.

Clase	Lago Riesco	C1		110038		110037		110048	
		1040	100	14605	100	14565	100	5682	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Bacillariophyceae	*Gomphoneis spp*	0	0	0	0	40	0	0	0
	Cymbella sp	0	0	x	0	x	0	0	0
	Navicula spp	0	0	40	0	0	0	0	0
Fragilariophyceae	*Asterionella formosa*	0	0	x	0	80	1	0	0
	Diatoma spp	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	960	92	14165	97	14205	98	4762	84
	Tabellaria floculossa	0	0	400	3	120	1	480	8
	Fragilaria crotonensis	0	0	0	0	80	1	280	5
	Synedra spp	0	0	0	0	40	0	120	2
	Ulnaria ulna	0	0	0	0	0	0	40	1
Chrysophyceae	*Dinobryon sp*	0	0	x	0	x	0	0	0
Xanthophyceae	*Characiopsis sp*	40	4	0	0	0	0	0	0
Chlorophyceae	*Sphaerocystis sp*	0	0	0	0	x	0	x	0
	Monoraphidium sp	40	4	0	0	0	0	0	0
	Coelastrum spp	0	0	x	0	x	0	x	0
	Stigeoclonium sp	0	0	0	0	x	0	0	0
Trebouxiophyceae	*Geminella sp*	x	0	0	0	0	0	0	0
Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)	*Mougeotia sp*	0	0	x	0	x	0	0	0
Dinophyceae	*Ceratium hirundinella*	0	0	0	0	0	0	x	0
Riqueza de taxa (S)		4		8		12		8	

El análisis de conglomerado muestra principalmente que el fitoplancton de la estación C1 se diferencia de la estación 110048 (Figura 138).

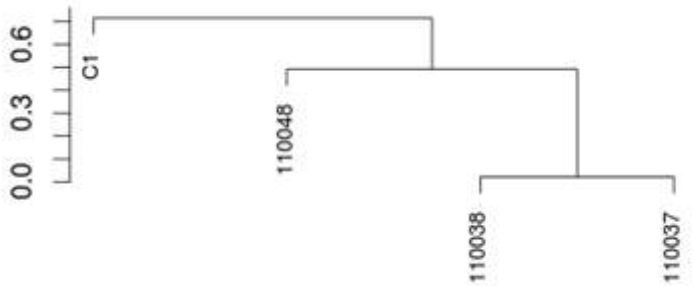


Figura 138. Análisis de conglomerados para la concentración de fitoplancton en el lago Riesco, en verano de 2015.

Zooplancton

En el lago Riesco durante el verano de 2015 se observaron 5 taxas de zooplancton, exclusivamente de crustáceos, tanto maxilipodos como brachipodos (Tabla 48). La especie más abundante fue *D. duplex*.

Tabla 48. Abundancia de microcrustáceos en el lago Riesco, verano de 2015.

Estación/Especies	Riesco			
	C1*	110038	110037	110048
Crustacea / Maxilopoda				
Boeckella gracilipes	0,0002	0,08	0,03	0,01
Parabroteas sarsi	0	0,0003	0	0,0001
Tropocyclops prasinus	0,0002	0,0028	0,0001	0,0003
Nauplius	0	0	0,0004	0
Crustacea/ Brachiopoda				
Daphnia pulex	0,08	0,01	0,08	0,09
Número total de cél L $^{-1}$	**0,08**	**0,10**	**0,11**	**0,10**
Riqueza de Taxa	**3**	**4**	**4**	**4**

El análisis de cluster de la composición zooplanctónica indicó que la estación 11038 se diferencia del resto de las estaciones (Figura 139).

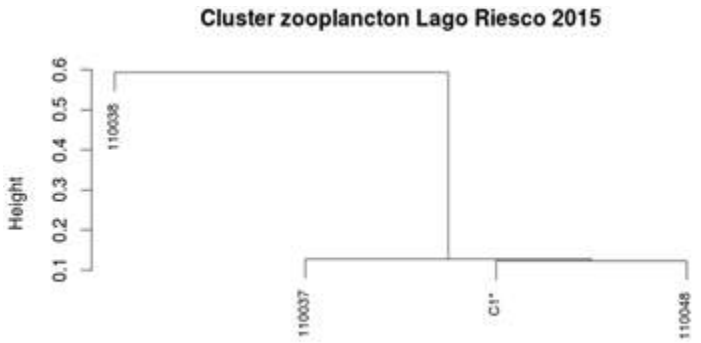


Figura 139. Cluster de la concentración de zooplancton por estación de muestreo del lago Riesco.

c) Análisis fisicoquímicos sedimentos

En el lago Riesco se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías de centros de cultivo, denominadas Centro 110037, Centro 110038 y Centro 110048. En la Tabla 68 en ANEXO 1 se

presentan los resultados sobre el análisis granulométrico. Los resultados indicaron que los centros 110037 y 110038 se caracterizaron por sedimentos arenosos, principalmente compuestos por arena media, fina y gruesa. En cambio en el centro 110048, la estación 1 y 3 presentó altos valores de fango, y escasa ausencia de grava.

Al analizar los parámetros de textura por centro de cultivo (Figura 140), se observó nuevamente similitud entre los centros 110038 y 110037, caracterizados por presentar sedimentos arenosos, a excepción de una muestra en el centro 110038 con presencia de mezclas grava-arenosas. En el centro 110048 se apreció una conformación de dos grupos, uno areno-fangoso, y el otro fango-arenoso.

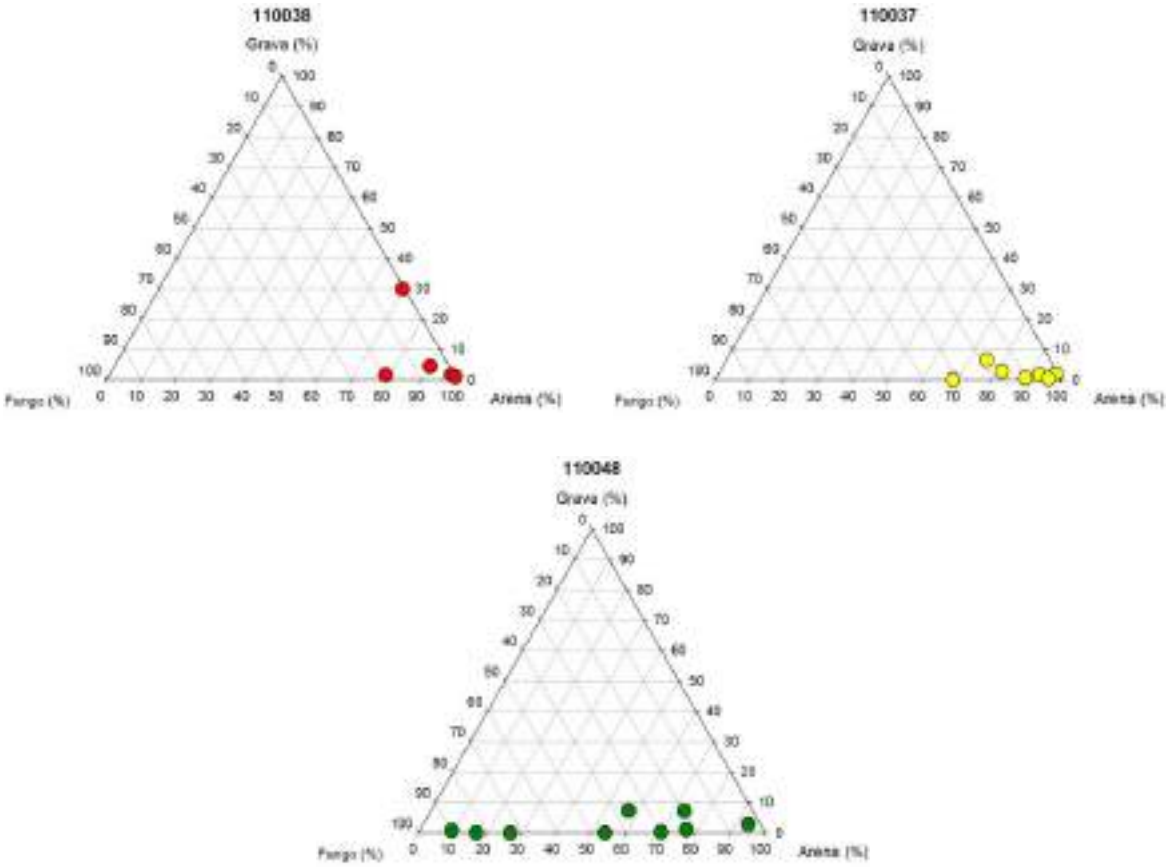


Figura 140. Fracciones texturales (fango, arena y grava) para las estaciones 110038, 110037 y 110048 del lago Riesco.

En la Figura 141 se aprecia claramente la similitud del sedimento de los centros 110038 y 110037, y como el sedimento del 110048 se agrupó tendiendo a conformar mezclas arena-fangosa, y fango-arenoso.

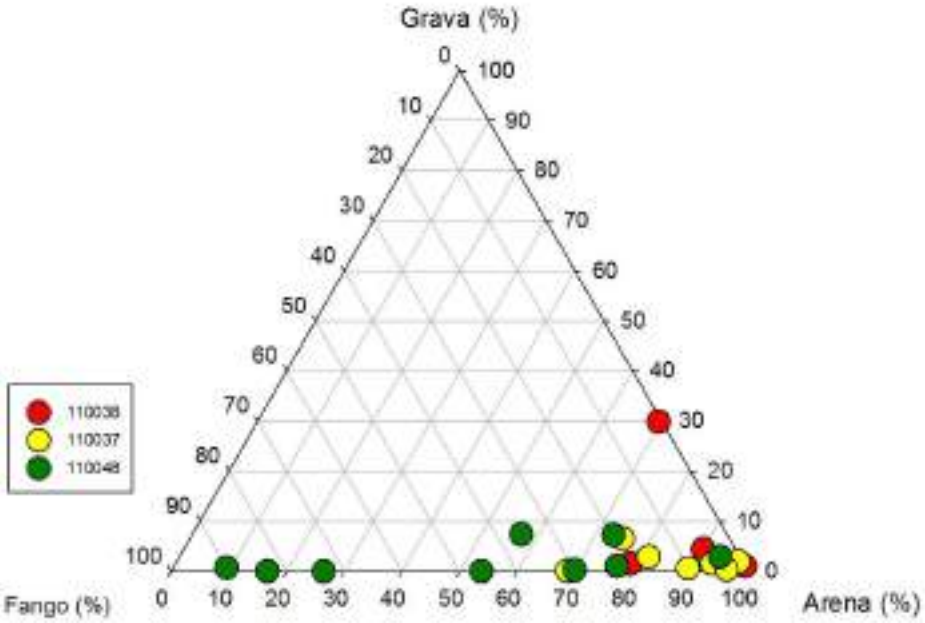


Figura 141. Clasificación textural del sedimento (fango, arena y grava) del lago Riesco.

El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena media y fina, a pesar de registrarse en la estación 2 del Centro 110038 arenas gruesas. De manera general, el tamaño de grano medio fue más fino en el sedimento del centro 110048, obteniéndose incluso muestras con alta abundancia de limo grueso. 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 estuvo más ampliamente distribuido (mala selección). Sólo algunas estaciones obtuvieron un valor de asimetría positivo, lo cual indicó mala selección al lado fino, es decir un alto exceso de finos como fue el caso de algunas réplicas como se muestra en la Tabla 69 en ANEXO1.

La materia orgánica presente en los sedimentos de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de acuicultura en el lago Riesco, expresada en porcentaje, se muestran en la Tabla 49 y en la Figura 142. En relación a los resultados de materia orgánica, todas las estaciones presentaron valores menores a 10%.

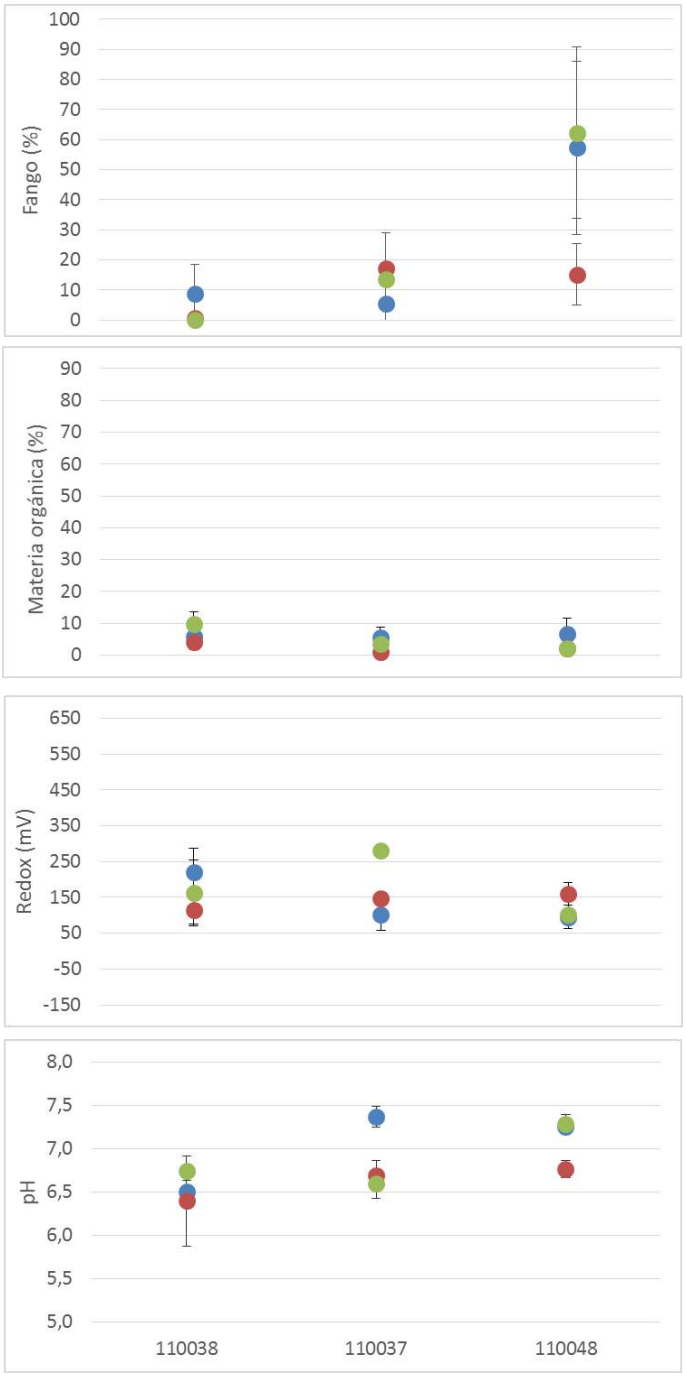


Figura 142. Valores promedio y desviación estándar de fango (%), materia orgánica (%), redox (mV) y pH en el sedimento de las diferentes estaciones de muestreo en el lago Riesco.

El potencial redox, en todas las estaciones el sedimento estuvo sobre el límite de aceptabilidad de Eh redox considerado por la CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. Según los resultados del pH, se observó una leve tendencia a la acidificación, además de registrar valores bajo el límite de aceptabilidad (>7,1) en la mayoría de las muestras.

Tabla 49. Lago Riesco: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, además de variables físico químicas (redox y pH). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Estación	Profundidad (m)	% MO	Redox	pH
110037	1	10	5,8	221	6,5
	2	10	4,0	113	6,4
	3	10	9,7	162	6,7
110038	1	20	5,7	100	7,4
	2	10	1,0	148	6,7
	3	10	3,6	281	6,6
110048	1	45	6,7	94	7,3
	2	35	2,1	160	6,8
	3	33	2,1	101	7,3

d) Correntometría Lagrangeana

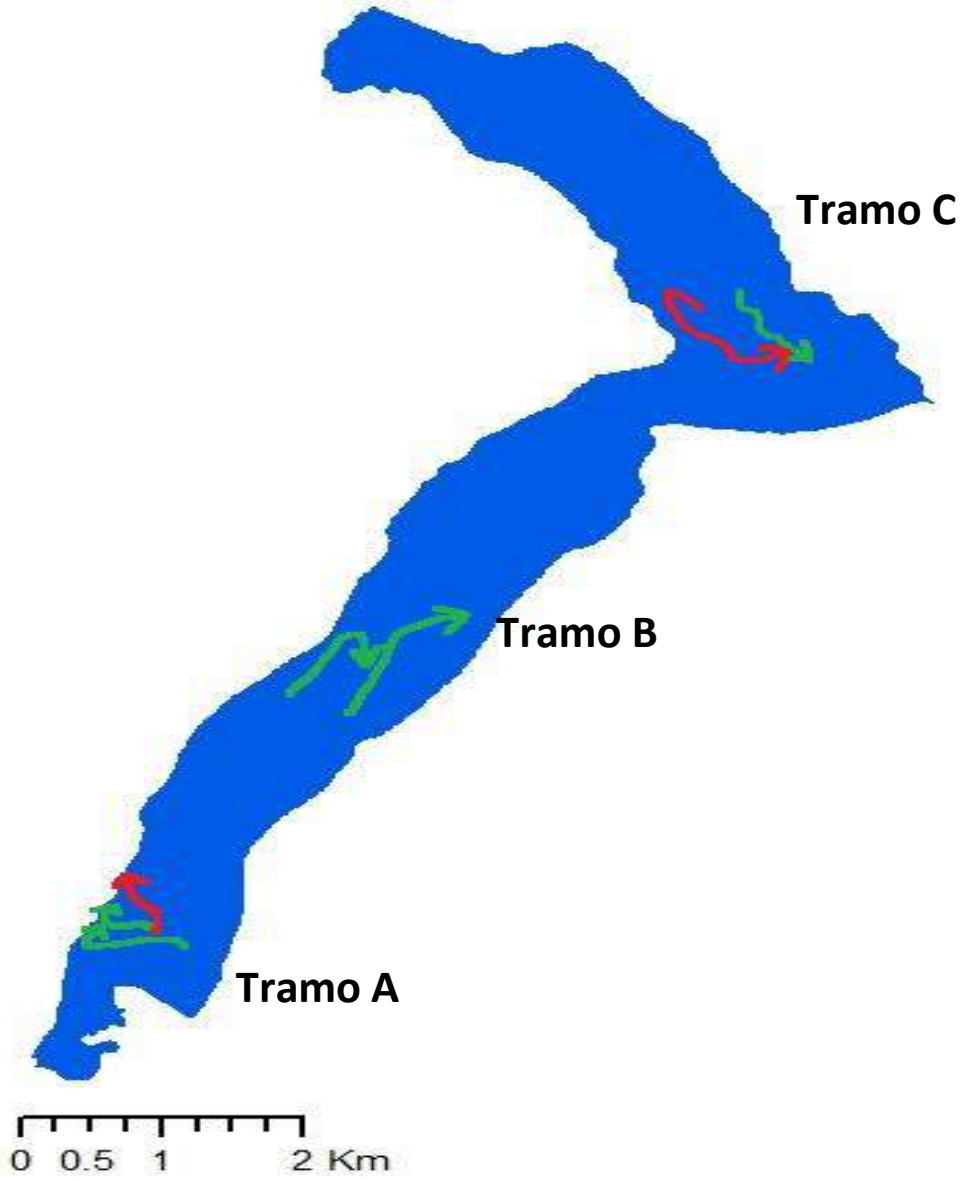


Figura 143. Figura gráfica del recorrido de cada derivador lagrangeano por tramo A y B en el lago Riesco. Flechas de color rojo indican derivadores superficiales, y de color verde derivadores en profundidad (15 m).

Como se aprecia en la Figura 143, las corrientes en el tramo A se dirigieron primeramente hacia el oeste para luego previo a llegar a la costa desviarse en dirección al norte. El tramo B se dirigió hacia el nor-este, observándose que al final del recorrido uno de los derivadores superficiales retorna nuevamente hacia el sur-oeste, lo que eventualmente se podría asociar al cambio de la dirección del viento y a un aumento de su velocidad en el momento final del recorrido del derivador lagrangiano. La orientación de la corriente en el tramo C fue mayormente hacia el sur-este y relacionándose con la dirección del viento (viento predominante del nor-oeste). La corriente promedio registrada en el lago Riesco fue 0,05m/s, similar en todos los tramos. En cuanto a las velocidades según profundidad, ésta tendió en general a ser similar en superficie como en profundidad (Tabla 50).

Tabla 50. Promedio, desviación estándar y velocidad máxima de la corriente (m/s) de cada derivador por tramo en el lago Riesco.

Lago Riesco	**Tramo A**				**Tramo B**				**Tramo C**			
	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)	Sup. 1 (0 m)	Prof. 1 (15 m)	Sup. 2 (0 m)	Prof. 2 (15 m)
Promedio	0,04	0,07		0,05		0,06		0,04	0,07	0,03		
DS	0,05	0,04		0,04		0,04		0,04	0,06	0,03		
Máx.	0,53	0,22		0,22		0,31		0,31	0,42	0,25		

Durante el periodo de medición de la velocidad y dirección del viento en las riveras del lago Riesco (10/03/2015 al 12/03/2015) (Tabla 70 en ANEXO 1), se registró una predominancia del viento proveniente del Nor-oeste (Figura 144), y en menor proporción desde el Sur. La velocidad máxima fue de 13,6 m/s, mientras que la velocidad promedio calculada fue de 3,08 m/s, y un periodo de calma (velocidades menores a 2 m/s) de 45,80%.

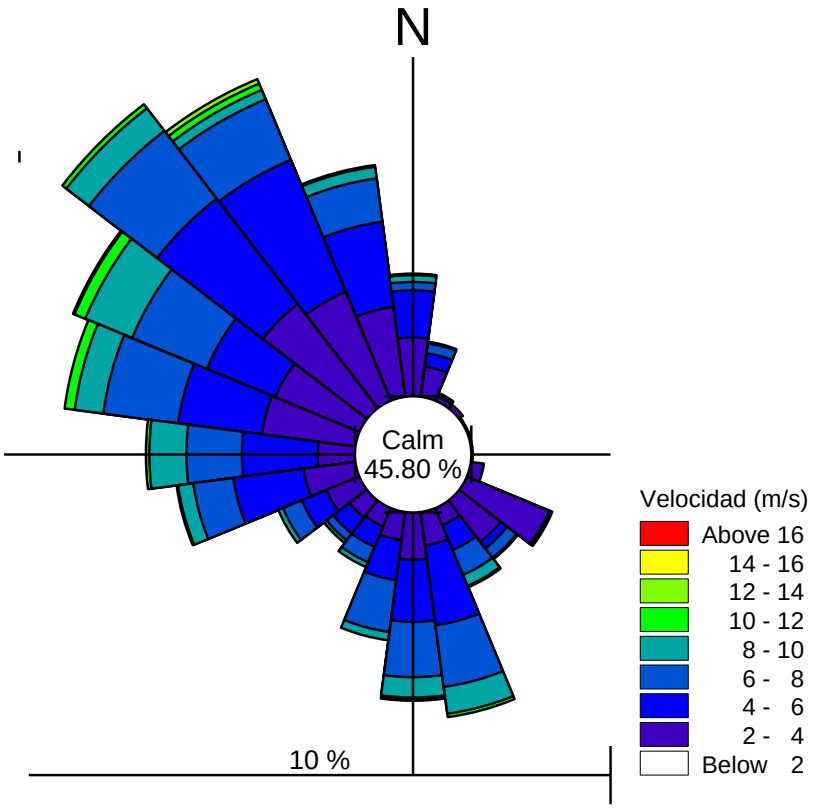


Figura 144. Rosa viento a partir de estación meteorológica instalada en el lago Riesco en marzo del 2015.

5.3 Objetivo específico 4.

Realizar análisis tendientes a determinar la capacidad de carga para los lagos Ranco, Puyehue y Cucao.

5.3.1 Lago Ranco

I) Determinación de estado trófico

La Figura 145 presenta los valores obtenidos en las estaciones de muestreo en el lago Ranco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los valores de transparencia obtenidos correspondieron a condiciones de oligotrofía. Los resultados de clorofila *a* presentaron características de un estado ultraoligotrófico a oligotrófico, PT evidenció valores ultraoligotróficos, salvo la estación 101955 (E2) con valores dentro del rango considerado eutrófico. NT mostró valores con características mayormente ultraoligotrófico.

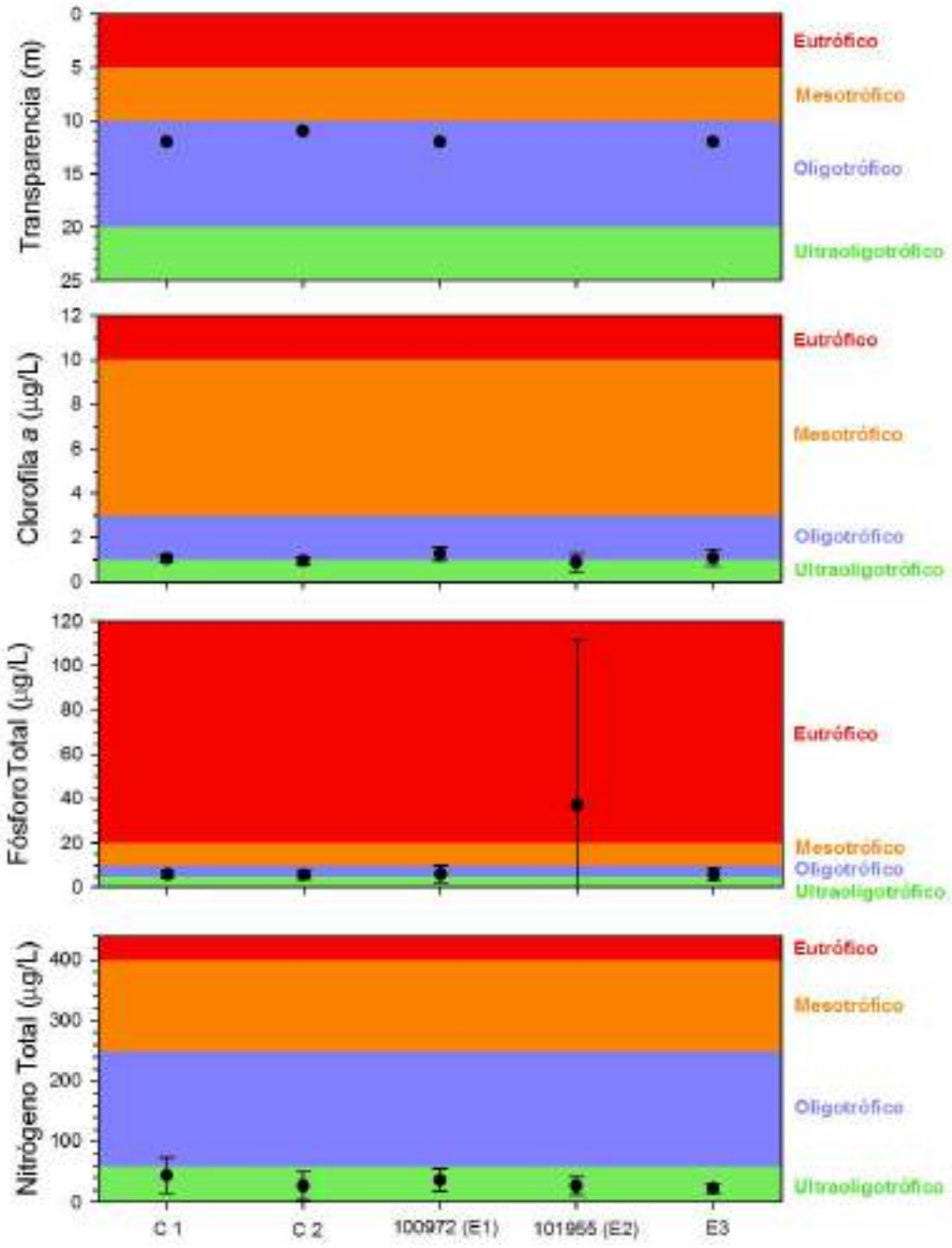


Figura 145. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Ranco.

Comparación histórica de parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Ranco

De acuerdo al estudio realizado por Woelfl *et al* (2009), en donde se estableció una base de datos en base al análisis de datos recopilados de la DGA, se obtuvo que los parámetros de NT y PT presentaron algunos problemas, por lo que no se incluyó en los presentes resultados. Al comparar estos parámetros de acuerdo a las dos etapas del proyecto (etapa II y III), se observó que, en general, los valores de transparencia, indicaron un estado mesotrófico. En tanto las concentraciones de clorofila a indicaron características de estado ultra a oligotrofía. El PT reportó valores oligotróficos, salvo la estación 101955 (E2) en ambas etapas, mientras que el NT mayoritariamente no mostró cambios de trofía, caracterizándose sus valores en estado ultraoligotrófico (Tabla 51).

Tabla 51. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la II y III etapa del proyecto, en el lago Ranco.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
II Etapa	C1	0-180	55,0	21,0	5,0	1,0	0,7	0,2	8	Primavera 2014
	C2	0-100	101,0	115,0	6,0	1,0	0,7	0,1	8	
	100972 (E1)	0-50	54,0	11,0	6,0	1,0	0,7	0,3	8	
	101955 (E2)	0-40	92,0	50,0	22,0	36,0	1,0	0,6	9	
	E3	0-40	52,0	8,0	6,0	1,0	0,8	0,1	8	
III Etapa	C1	0-180	44,2	28,4	6,0	1,9	1,1	0,2	12	Otoño 2015
	C2	0-100	26,9	23,3	5,7	1,9	1,0	0,2	11	
	100972 (E1)	0-50	36,3	19,0	6,1	3,9	1,3	0,3	8	
	101955 (E2)	0-50	26,8	14,3	37,2	75,0	0,9	0,4		
	E3	0-40	23,0	7,8	6,0	2,9	1,1	0,4		

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 162 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 del MOP (Caunahue, Lago Maihue, y Lago Ranco) y 1 estación de monitoreo de la red agrometeorológica del INIA (Lago Verde) del año 2014, además de isoyetas provenientes de publicaciones de la DGA (Campos *et al*., 1987),

ubicadas en la zona cordillerana de la cuenca. Con respecto a la cantidad de precipitación, se registró que fue mayor en la parte oriental del lago, producto de las altas cumbres, mientras que la parte occidental del lago el valor de la precipitación fue menor. Por tanto, para los cálculos de la CN para cada subcuenca se seleccionó 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.

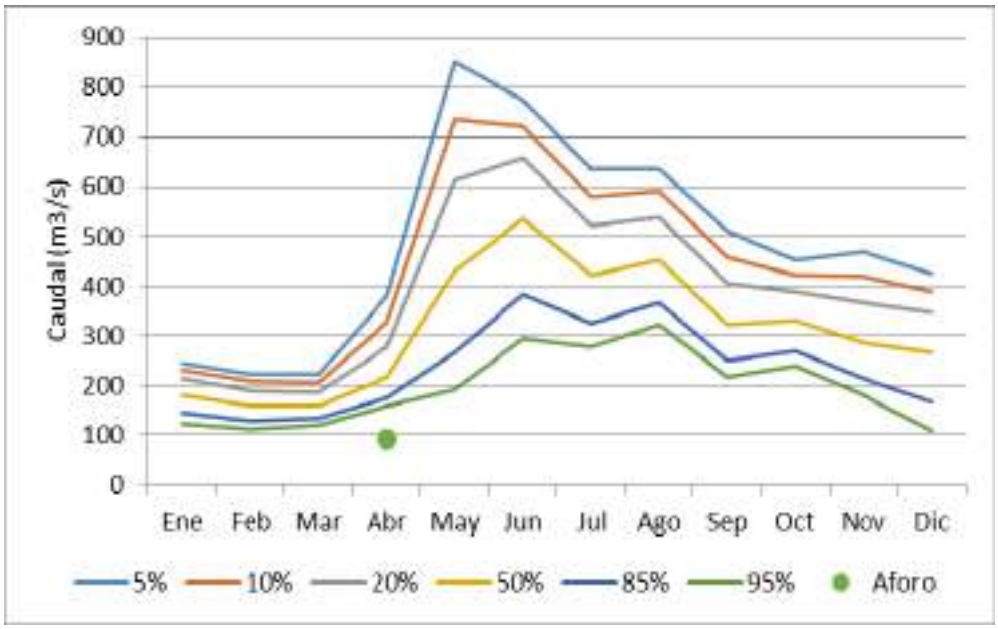


Figura 145. Análisis de aforos.

Para calcular el caudal del efluente de lago Ranco, se determinó la curva de variación estacional de caudales medios mensuales para el desagüe del lago, en base a la estadística existente de los últimos 28 años para otros puntos dentro de la cuenca del río Bueno, mediante el método de transposición de cuencas. En base a la información disponible, fue posible concluir que el río Bueno en el desagüe del lago Ranco presentó un régimen pluvio-nival, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de otoño e invierno y, en menor proporción, en primavera, explicados por el efecto de las precipitaciones y los deshielos, respectivamente. Si bien este comportamiento se mantiene a grandes rasgos en años normales, húmedos y secos, se observó que en años húmedos los máximos pluviales tendieron a adelantarse.

El caudal total aforado en abril del 2016 para el desagüe del lago Ranco fue de 93,49 m^3/s, caudales que se asociaron a una altísima probabilidad de excedencia (superior al 95%), reflejando una

condición de caudal mínimo para el río Bueno en esta sección (Figura 145). Por tanto, el caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Ranco fue de 322 m^3/s.
Así, el balance hidrológico anual es el siguiente (Tabla 52):

Tabla 52. Balance hidrológico del lago Ranco.

Balance hidrológico lago Ranco		**km³/año**
Entradas	Ríos	9,982
	Precipitación	0,827
	Total entradas	**10,809**
Salidas	Efluente río Bueno	10,155
	Evaporación Lago	0,303
	Total salidas	**10,457**
	Drenaje profundo	0,351
	Variación reserva	0

III) Estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

a) Uso de suelo en la cuenca

Las Figuras 146 y 147 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Ranco durante el 2014, predominando el bosque nativo (66%), matorral (9%), y los suelos desnudos y praderas (ambos 8%). En la Figura 163 se observa que la mayor parte del bosque nativo se encontró en la zona cordillerana, limitando con Argentina.

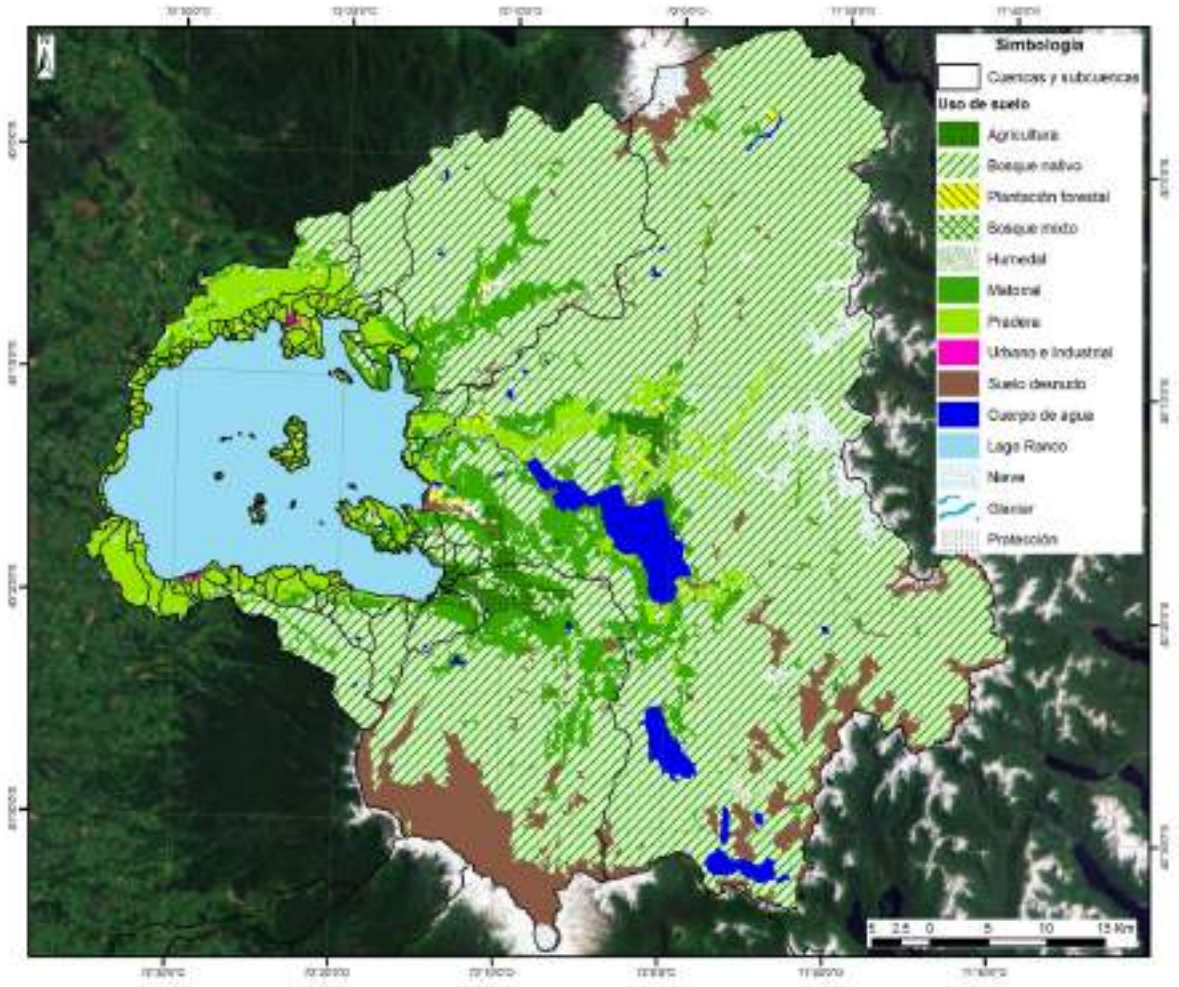


Figura 146. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Ranco y sus respectivos usos de suelo.

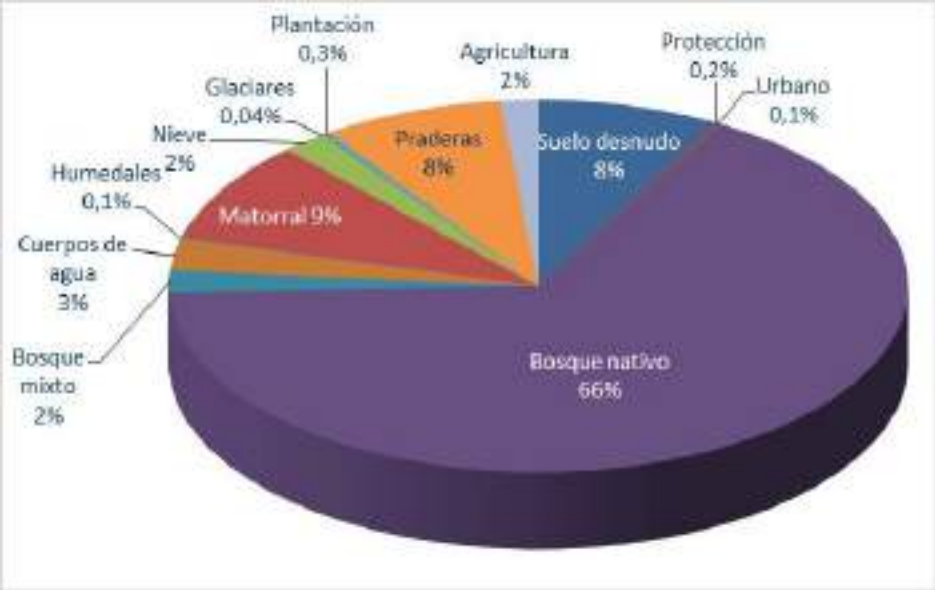


Figura 147. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Ranco.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

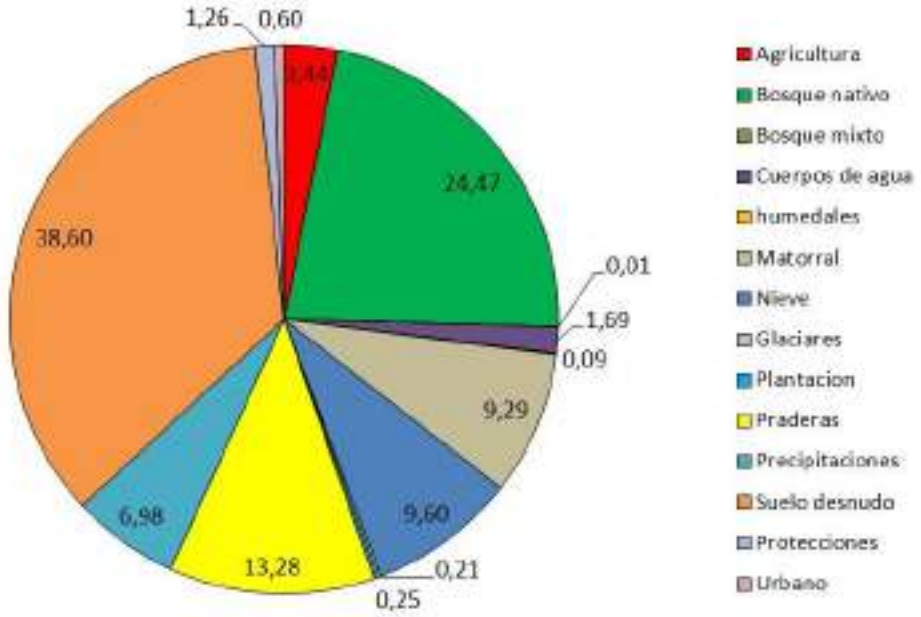


Figura 148. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 162 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 53). 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 Ranco. El mayor aporte de PT lo registró el suelo desnudo (38,6 ton/año), seguido por el bosque nativo (24,07 ton/año), y las praderas (13,28 ton/año) (Figura 148). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panguipulli mayormente).

Tabla 53. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Ranco.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	3,44
Bosque nativo	24,07
Bosque mixto	0,01
Cuerpos de agua	1,69
Humedales	0,09
Matorral	9,29
Nieve	9,60
Glaciares	0,21
Plantación	0,25
Praderas	13,28
Precipitaciones	6,98
Suelo desnudo	38,6
Protecciones	1,26
Urbano	0,60
Total	**109,77**

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Ranco, 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. Las empresas que descargan sus RILES a la cuenca son cuatro pisciculturas. 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 54).

Tabla 54. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Ranco.

Fuente	Carga ton/año
Población	6,8
PISCICULTURA 1	19
PISCICULTURA 2	3,4
PISCICULTURA 3	23,6
PISCICULTURA 4	2,3

Para la estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Ranco, se realizaron estimaciones en base a la metodología de Campos (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 para los turistas como la población permanente (Tabla 55). En cuanto al número de turistas, se utilizó el valor de 75.000 personas, cifra proveniente de la DGA (Woelfl *et al*., 2011).

Tabla 55. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Ranco.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	1083	-
N° personas	75000	-	4332	-
N° días residencia	3	3	365	365
Carga ton P/año	0,17	0,84	1,19	5,93
		Total ton/año	**Mín.**	**1,35**
			Máx.	**6,77**

d) Estimación del aporte de PT por centros de cultivo

La producción de salmónidos 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 149).

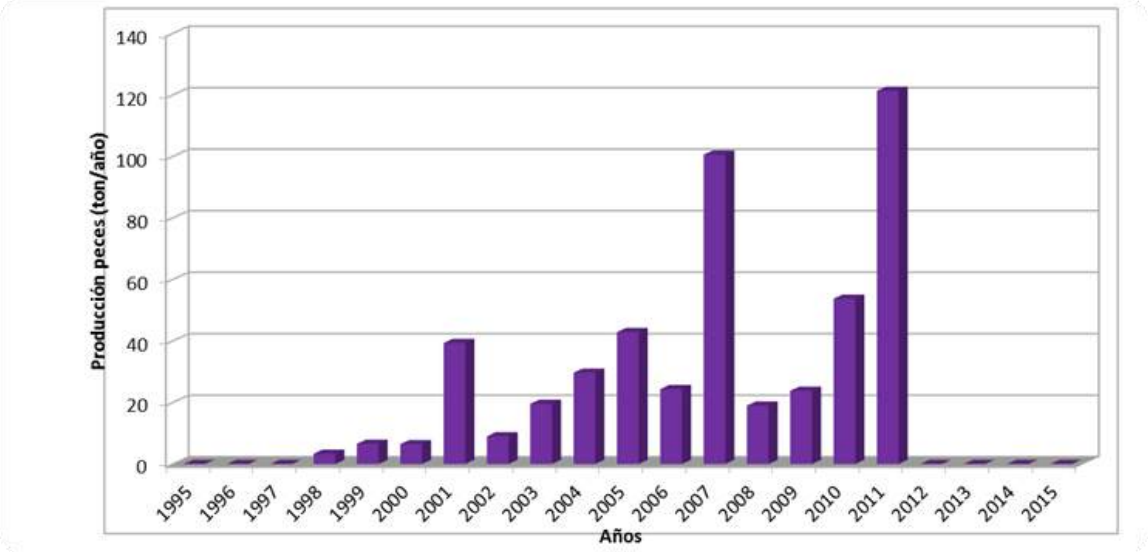


Figura 149. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Ranco.

Son dos las concesiones otorgadas en el lago Ranco, 100972 y 101955 las cuales han contribuido en forma similar a la producción histórica (51% y 49% respectivamente) (Figura 150).

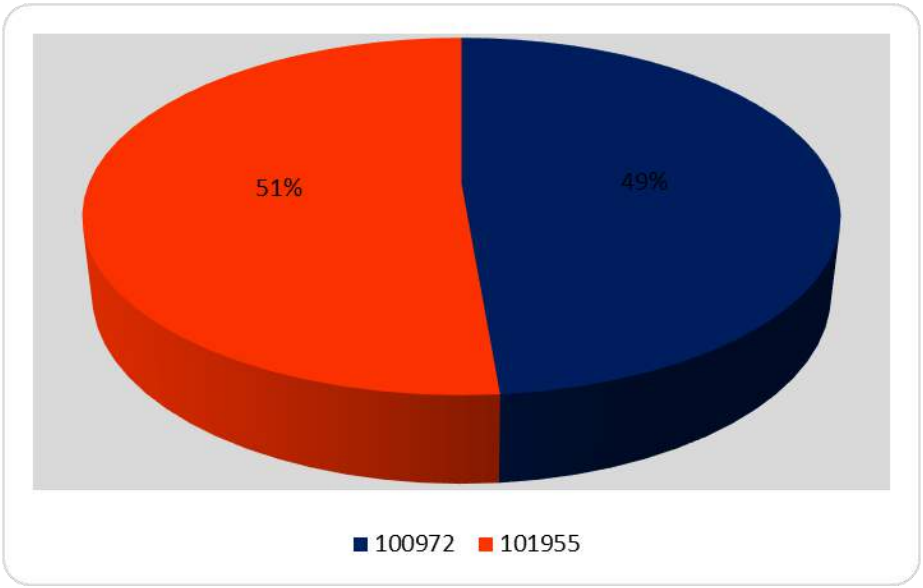


Figura 150. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Ranco.

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 151).

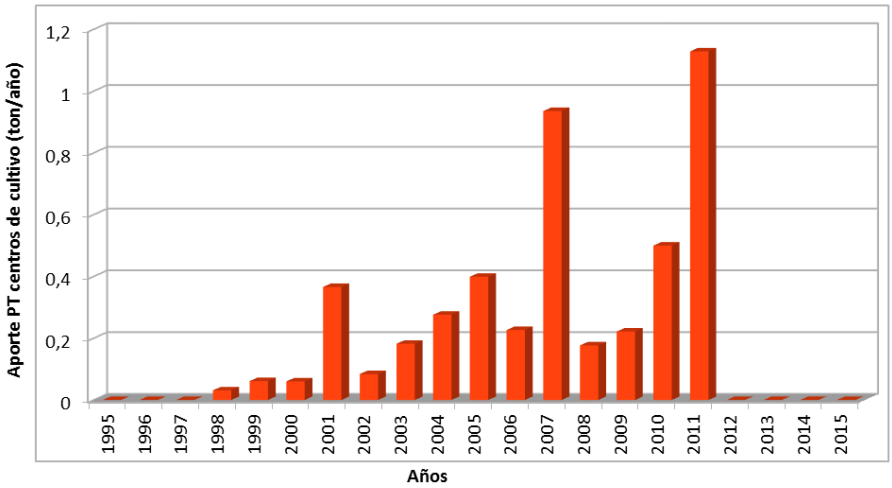


Figura 151. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Ranco.

e) Carga (sumatoria) de P al lago

En la Tabla 56 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Ranco. En total se estimó una carga total de PT de 166,9 ton/año que ingresaría al lago Ranco.

Tabla 56. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga PT ton/año
Población	6,8
PISCICULTURA 1	19
PISCICULTURA 2	3,4
PISCICULTURA 3	23,6
PISCICULTURA 4	2,3
Balsas jaulas (2002-2015)	1,9
Afluentes/ uso de suelo	102,8
Precipitación (2014)	7,1
Carga total	**166,9**

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 152 - 153), se obtuvo que el uso de suelo representa el mayor aporte de PT al lago con un 61,6%, seguido por las pisciculturas (28,9%).

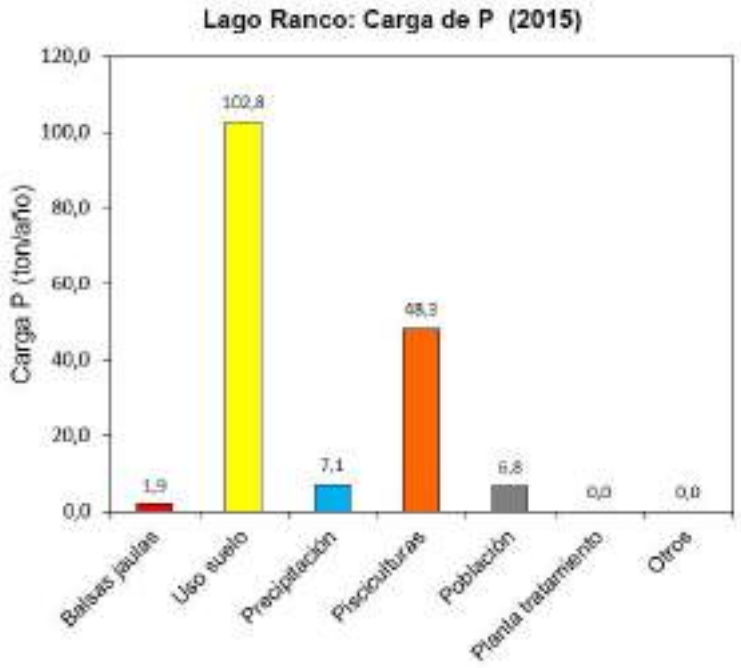


Figura 152. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Figura 153. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

f) Determinación del contenido de PT en el lago

Utilizando la curva hipsográfica del lago Ranco 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 Ranco obteniendo un valor de 316,3 ton/L. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Ranco fue 0,0059 mg/L (Tabla 57).

Tabla 57. Contenido de PT en la columna de agua del lago Ranco.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol. (km³) / estrato	Vol. estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT/estrato
0	¨0-10	4,5	8,4	0,0066	24,9
10	¨10-20	4,4	8,1	0,0054	26,2
20	¨20-30	4,2	7,7	0,0050	22,9
30	¨30-40	4,0	7,4	0,0068	28,0
40	¨40-50	3,8	7,1	0,0045	11,5
50	¨50-80	8,7	16,1	0,0535	43,5
80	¨80-120	7,6	14,1	0,0057	41,9
120	¨120-160	7,5	13,9	0,0070	48,8
160	¨160-200	5,7	10,5	0,0080	39,7
200	¨200-250	3,6	6,7	0,0080	28,9
	Total	**54,1**	**100**		**316,3**
			Promedio mg/L		**0,0059**

g) 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 (0,0059 mg/L) multiplicándolo por el caudal anual del río Bueno.

La descarga anual del efluente calculada fue de ~ 59,48 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (km³/año): 10,15
Concentración de PT (mg/L): 0,0059
Descarga de PT (ton/año): 59,48

h) Balance de masas y capacidad de carga del lago

El balance de fósforo total calculado para el lago Ranco se presenta en la Tabla 58. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 316,3 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 167 ton, mientras que el egreso fue de 59 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (107 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 64%, mismo valor calculado en la primera etapa del proyecto.

Tabla 58. Balance de Fósforo total calculado para el lago Ranco.

PT en Columna de agua (ton)	Ingreso PT (ton)	Egreso PT (ton)	Sedimentación PT (ton)	Tasa de sedimentación (%)
316	167	59	107	64

Se calculó la carga crítica del lago Ranco, con un tiempo de renovación de 5 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 350 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (5,8 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 205 ton/año (Tabla 59). 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 aproximadamente 5 a 6 años, lo que estaría indicando que el lago estaría en continua fase de acumulación de nutrientes provenientes de actividades antrópicas como naturales.

Tabla 59. 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	350	5
5,827	205	5

5.3.2 Lago Puyehue

I) Determinación de estado trófico

La Figura 154 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Puyehue de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia presentaron características de mesotrofía, tendiendo a eutrofía. En el caso de la clorofila a, ésta presentó en general condiciones de ultraoligotrofía a oligotrofía. El PT se presentó como oligotrófico, salvo la estación E3 con valores dentro del rango eutrófico. Los valores de NT fueron consideradas mayormente como oligotróficas.

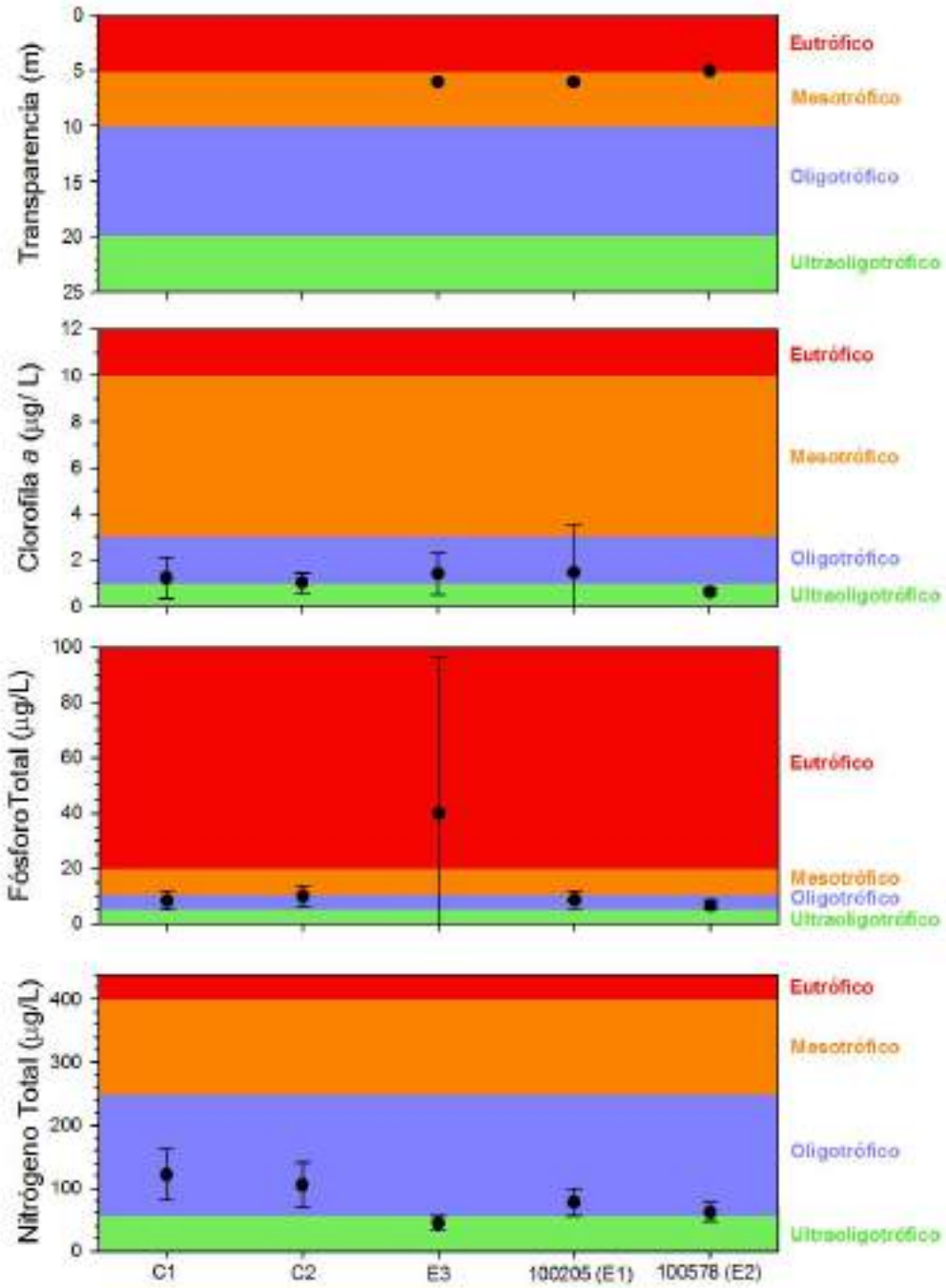


Figura 154. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Puyehue.

Comparación histórica de parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo y nitrógeno total) en el lago Puyehue

Se han realizado diversos estudios limnológicos relacionados a las variables de trofía en el lago Puyehue, sin embargo, de acuerdo a lo evaluado por Woelfl *et al.* (2013) en la I etapa del proyecto, los valores de fósforo y nitrógeno total en su mayoría parecieran ser dudosos, no así la transparencia y clorofila a. Ante ello, se consideró realizar un análisis comparativo sólo para los resultados obtenidos en las etapas del presente estudio (II y III etapa).

De acuerdo a lo obtenido en las etapas del presente proyecto, el promedio de los valores de nitrógeno presentó en su mayoría características de oligotrofía, mientras que el fósforo total tendió a la mesotrofía. La clorofila a, durante la II etapa, registró concentraciones dentro del rango de la ultraoligotrofía, mientras que en la III etapa se incrementaron las concentraciones tendiendo a la oligotrofía. Al igual que en la transparencia, se observó un aumento de trofía en el tiempo, registrándose durante la III etapa valores dentro del rango de la mesotrofía.

Tabla 60. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la II y III etapa del proyecto, en el lago Puyehue.

Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
II Etapa	C1	0-120	75,0	23,0	10,0	1,0	0,6	0,4	12	Primavera 2014
	C2	0-120	65,0	27,0	10,0	3,0	0,9	0,4	11,5	
	E3	0-20	45,0	45,0	8,0	3,0	1,4	0,2	9	
	100205 (E1)	0-50	65,0	23,0	8,0	2,0	0,7	0,3	9	
	100578 (E2)	0-50	57,0	13,0	10,0	1,0	1,4	0,2	10	
III Etapa	C1	0-120	121,4	40,4	8,4	3,4	1,2	0,9		Otoño 2015
	C2	0-80	105,0	35,7	10,0	3,9	1,0	0,4		
	E3	0-20	44,3	12,3	40,0	56,3	1,0	0,3	6	
	100205 (E1)	0-50	77,3	21,2	8,7	3,2	1,5	2,0	6	
	100578 (E2)	0-50	62,0	15,3	6,7	1,6	0,6	0,1	5	

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 61 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 2 estaciones de monitoreo de la red MOP en Futacura del año 2014, e isoyetas según publicación de la DGA (Campos *et al*., 1987). Con respecto a la cantidad de precipitación, se registró que es mayor en la parte oriental del lago, específicamente en la zona cordillerana de la cuenca. Por tanto, para los cálculos de la CN para cada subcuenca se seleccionó 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.
El balance hidrológico anual (año 2014) es el siguiente (Tabla 61):

Para calcular el caudal del efluente del desagüe del lago Puyehue, se determinó la curva de variación estacional de los caudales medios mensuales en base a la estadística existente de los últimos 29 años para otros puntos dentro de la cuenca del río Pilmaiquén, mediante el método de transposición de cuencas.

Tabla 61. Balance hidrológico del lago Puyehue.

Balance hidrológico lago Puyehue		**km³/año**
Entradas	Ríos	3,721
	Precipitación	0,276
	Total entradas	**3,997**
Salidas	Efluente río Pilmaiquén	2,813
	Evaporación Lago	0,112
	Total salidas	**2,925**
	Drenaje profundo	1,072
	Variación reserva	0

En base a la información disponible, fue posible concluir que el régimen natural del río Pilmaiquén en el desagüe del lago Puyehue es del tipo pluvio-nival, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de invierno y primavera, explicados por el efecto de las precipitaciones y los deshielos, respectivamente. En años normales y húmedos, los peaks de invierno son significativamente más altos que los de primavera, mientras que en años secos se observan peaks de magnitudes similares en ambas épocas. El caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Puyehue fue de 89,2 m^3/s. Cabe destacar, sin embargo, que los caudales determinados NO consideran el efecto de regulación asociado a las obras de la central hidroeléctrica en el desagüe del lago Puyehue. Esto podría explicar que el caudal aforado en marzo del año en curso se encuentre asociado a una probabilidad de excedencia menor que la esperada. Se sugiere, por lo tanto, estudiar el régimen de operación de la central y evaluar sus efectos en el comportamiento hidrológico del río Pilmaiquén en el punto de interés.

De acuerdo al balance hidrológico, el tiempo de renovación teórica del volumen del lago Puyehue calculado es 4 años. En la segunda etapa del proyecto se calculó 3,4 años, diferencia que se podría haber dado a que en la actualidad se realizó un detalle más minucioso del uso de suelo, y de la escorrentía de la cuenca, así como también del caudal del efluente.

III) Estimación del balance de nutrientes y capacidad de carga

a) Uso de suelo en la cuenca

Las Figuras 155 y 156 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Puyehue durante el 2015, predominando el bosque nativo (70%), suelo desnudo (13%), y praderas (10%). En la figura 88 se observa que la mayor parte del bosque nativo se encuentra en la zona oriental del lago.

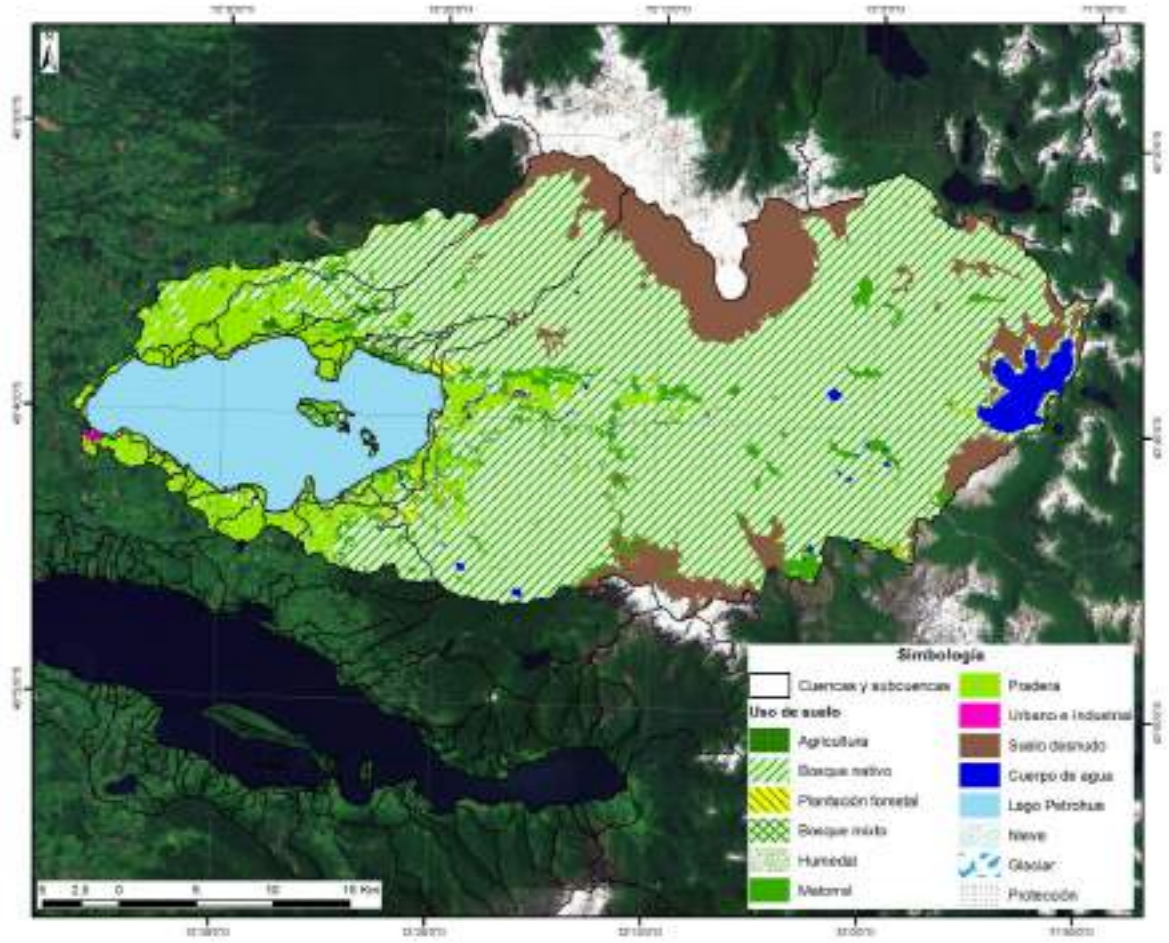


Figura 155. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Puyehue y sus respectivos usos de suelo.

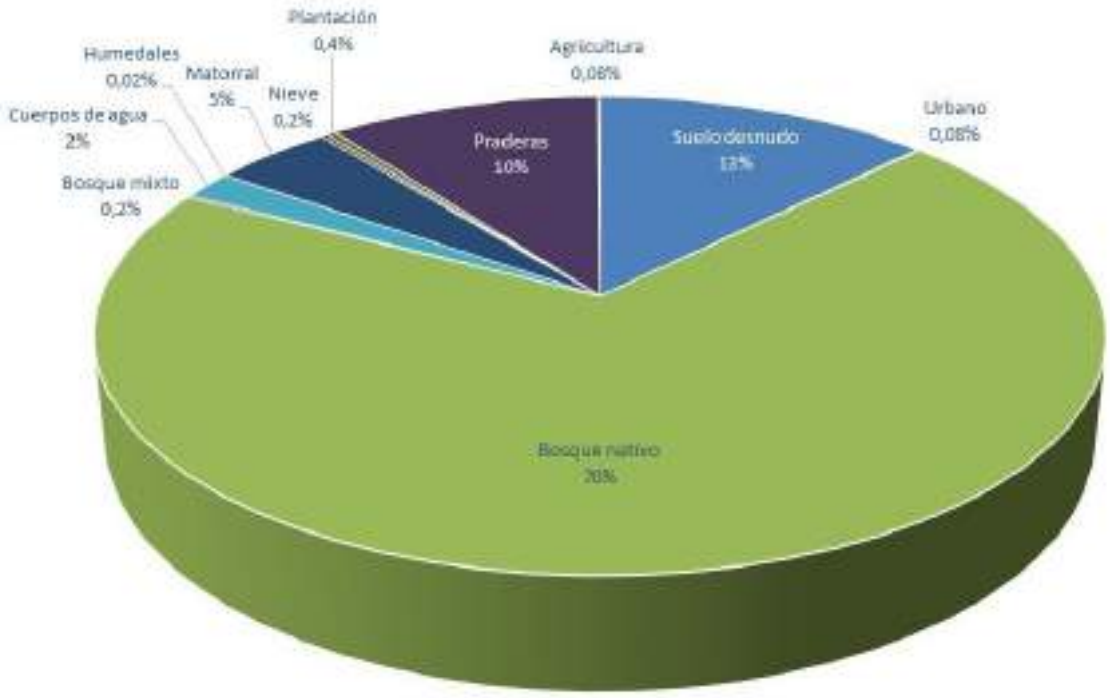


Figura 156. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Puyehue.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 61 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 62). 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 Puyehue. El mayor aporte de PT lo registró el suelo desnudo (21,54 ton/año), seguido por el bosque nativo (8,52 ton/año) (Figura 157). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panguipulli mayormente).

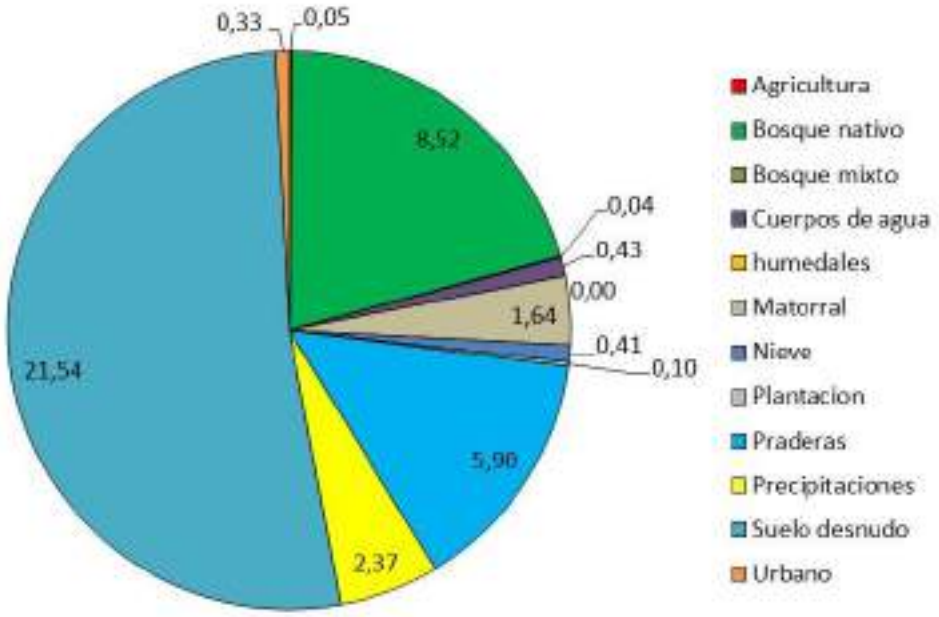


Figura 157. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

Tabla 62. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Puyehue.

Usos de suelo	**P-total (ton/año)**
Agricultura	0,05
Bosque nativo	8,52
Bosque mixto	0,04
Cuerpos de agua	0,43
Humedales	0,00
Matorral	1,64
Nieve	0,41
Plantación	0,10
Praderas	5,90
Precipitaciones	2,37
Suelo desnudo	21,54
Urbano	0,33
Total	**41,32**

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Puyehue, información actualizada en su mayoría al año 2014.

Tabla 63. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Puyehue.

Fuente	Carga ton/año
Población	4,9
PISCICULTURA 1	5,3
PISCICULTURA 2	21,8
PISCICULTURA 3	13,2
PISCICULTURA 4	2,8

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. Las empresas que descargan sus RILES a la cuenca son cuatro (4) pisciculturas. 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 63).

Tabla 64. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Puyehue.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	894	-
N° personas	-	-	3576	-
N° días residencia	3	5	365	365
Carga ton P/año	0,00	0,00	0,98	4,89
		Total ton/año	**Mín.**	**0,98**
			Máx.	**4,89**

Para la estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Puyehue, se realizaron estimaciones en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 64). En cuanto al número de turistas, no se cuantificó su número debido a falta de información específica para la cuenca de este lago.

d) Estimación del aporte de PT por 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. Durante el año 2015 no se registró producción (Figura 158).

La mayor parte de la producción de salmónidos acaecida en el lago Puyehue fue generada por la concesión 100205, aportando con un 69% a la producción histórica en el lago (Figura 159).

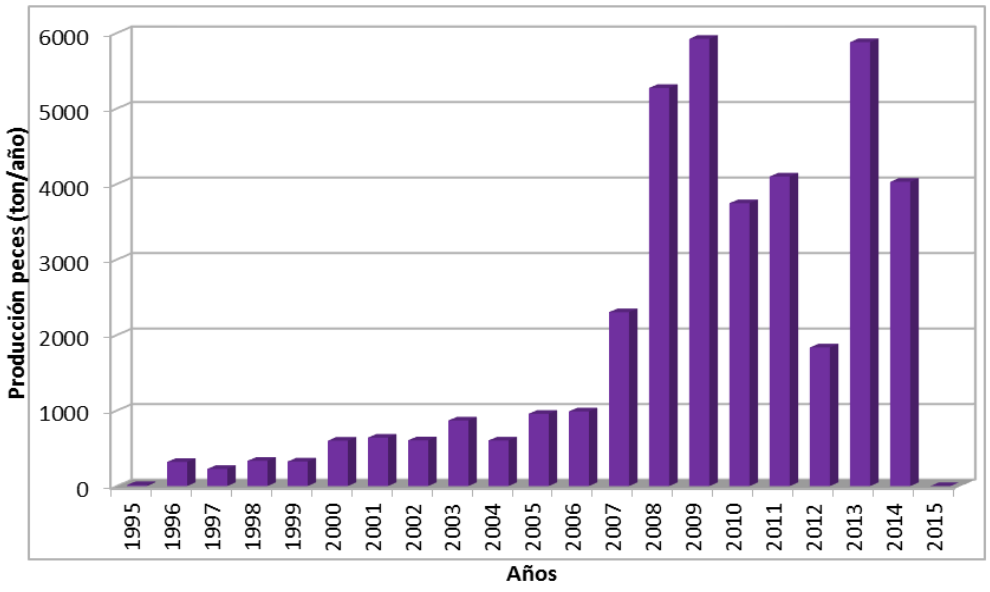


Figura 158. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Puyehue.

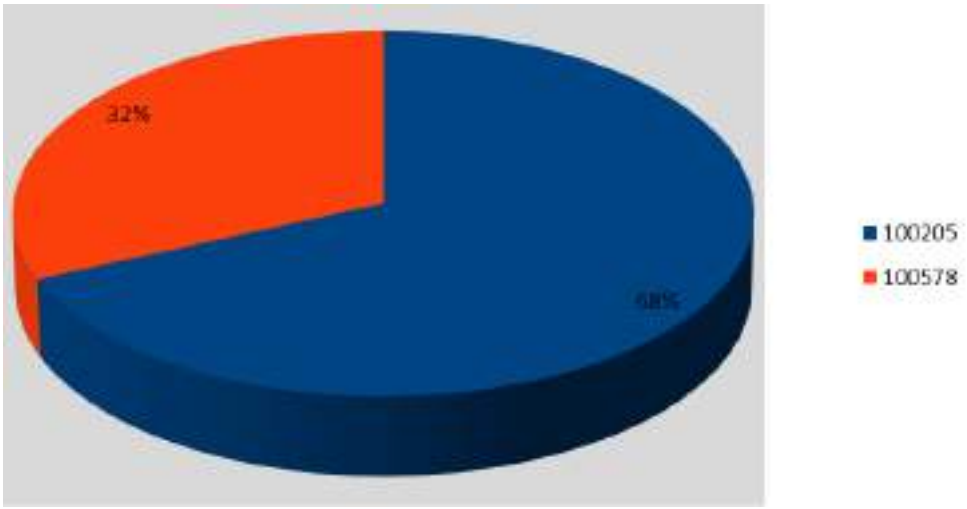


Figura 159. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Puyehue.

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 50 ton anuales (Figura 160).

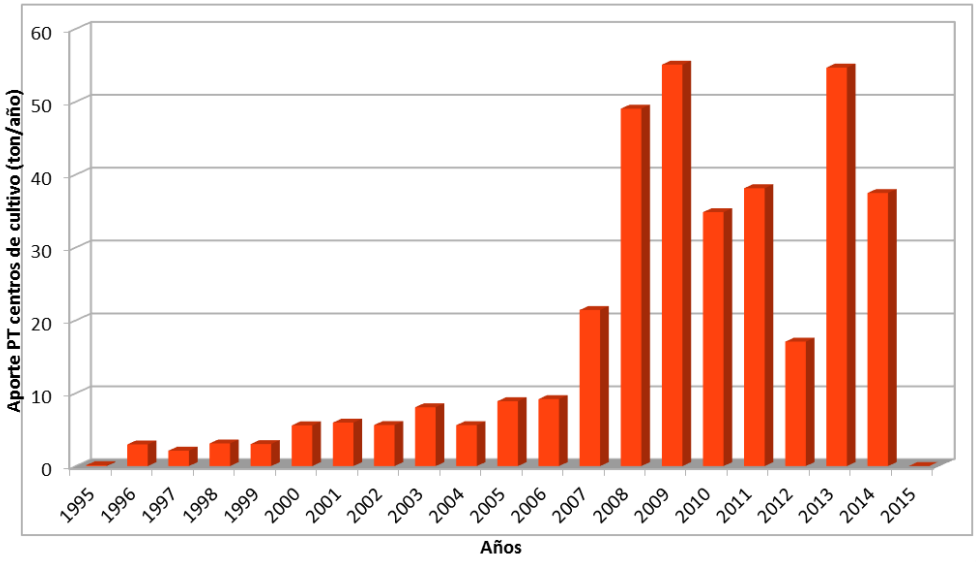


Figura 160. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Puyehue.

d) Carga (sumatoria) de P al lago

En la Tabla 65 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Puyehue. En total se estimó una carga total de PT de 114 ton/año que estaría ingresando al lago.

Tabla 65. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga PT ton/año
Población	4,9
PISCICULTURA 1	5,3
PISCICULTURA 2	21,8
PISCICULTURA 3	13,2
PISCICULTURA 4	2,8
Balsas jaulas (2002-2015)	24,7
Afluentes/ uso de suelo	39
Precipitación (2014)	2,4
Carga total	**114**

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 161 - 162), se obtuvo que las pisciculturas representan el mayor aporte de PT al lago con un 37,8%, seguido por el uso de suelo (34,2%), y las balsas jaulas (21,6%).

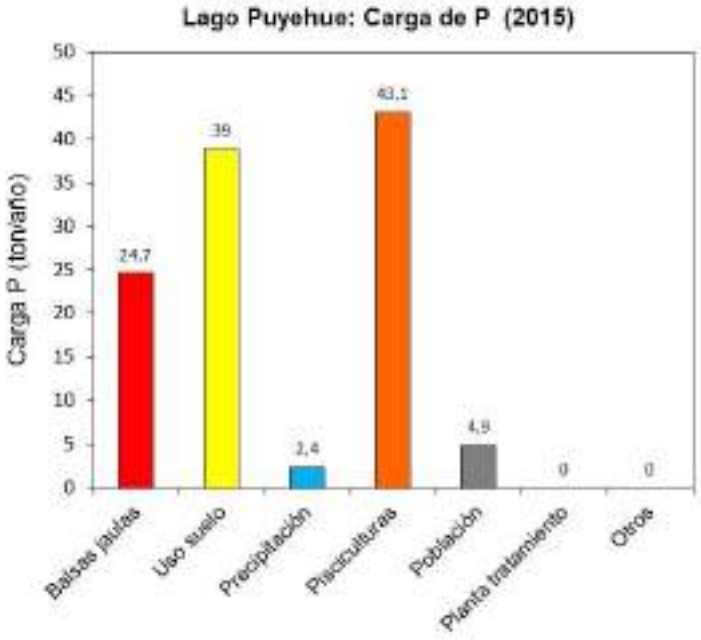


Figura 161. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

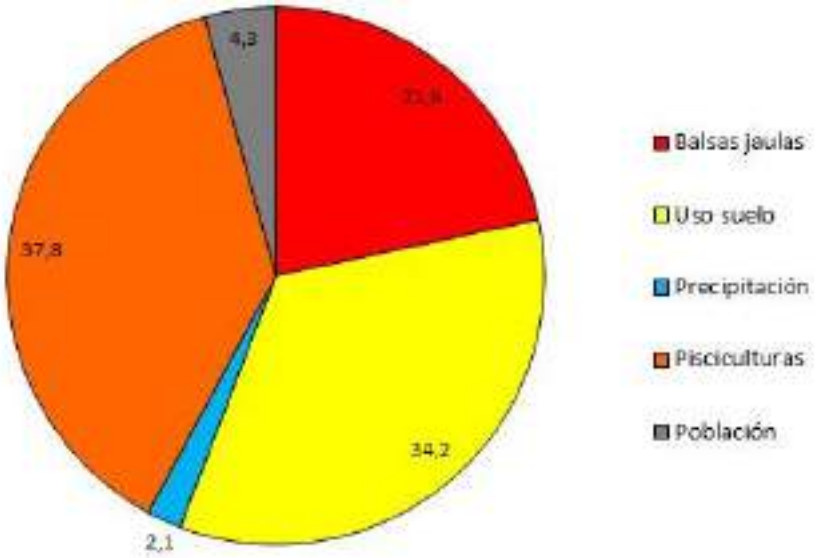


Figura 162. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

e) Determinación del contenido de PT en el lago

Utilizando la curva hipsográfica del lago Puyehue 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 Puyehue obteniendo un valor de 135 ton. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Puyehue fue 0,0094 mg/L (Tabla 66).

Tabla 66. 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	0,0080	3,3
10	"5-10"	0,1	2,6	0,0080	3,5
20	"10-20"	0,3	7,9	0,0272	6,8
30-40	"20-50"	5,6	42,2	0,0074	46,8
50-80	"50-100"	7,0	31,5	0,0102	49,5
120	"100-120"	1,2	13,2	0,0130	24,5
	Total	**14,2**	**100**		**134,5**
			Promedio mg/L		**0,0094**

(Curva hipsográfica: elaboración propia).

f) 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 (0,0094 mg/L) multiplicándolo por el caudal anual del río Pilmaiquén.

La descarga anual del efluente calculada fue de ~ 26,46 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (km³/año): 2,8130112
Concentración de PT (mg/L): 0,0094
Descarga de PT (ton/año): 26,46059

g) Balance de masas y capacidad de carga del lago

El balance de fósforo total calculado para el lago Puyehue se presenta en la Tabla 67. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 134,5 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 114 ton, mientras que el egreso fue de 26 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (88 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 77%.

Tabla 67. Balance de Fósforo total calculado para el lago Puyehue.

PT en Columna de agua (ton)	Ingreso PT (ton)	Egreso PT (ton)	Sedimentación PT (ton)	Tasa de sedimentación (%)
134,5	114	26	88	77

Se calculó la carga crítica del lago Puyehue, con un tiempo de renovación de 4 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 (4 años), la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico, (PT >10 µg/L), es de 115 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (9,4065 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 108 ton/año (Tabla 68). Según nuestros cálculos, el aporte externo del lago, tanto directo como indirecto, sería 114 ton/año.

Tabla 68. 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	115	4
9,4065	108	4

5.3.3 Lago Cucao

I) Determinación de estado trófico

La Figura 163 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Cucao de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. La transparencia, fósforo total y nitrógeno total indican una condición eutrófica para todas las estaciones, con concentraciones muy elevadas de nutrientes. En tanto para el caso de la clorofila se observa una condición ultraoligotrófica a oligotrófica.

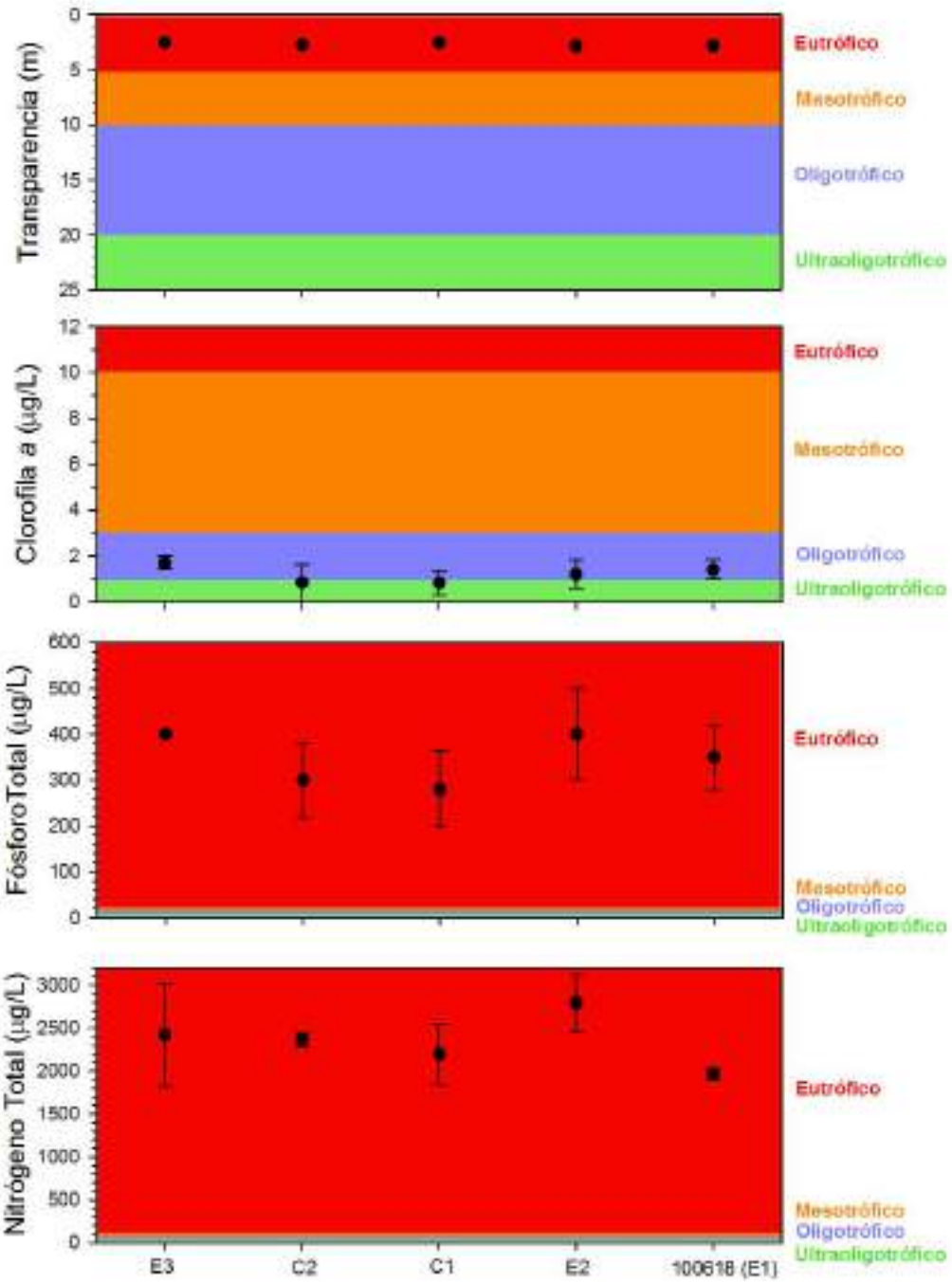


Figura 163. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Cucao.

Tabla 69. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Cucao.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	NH_4 (µg/L)		NO_3 (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		$P\text{-}PO_4$ (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
Campos *et al*., 1997 (FIP IT 96 54)	Centro del lago	0 - 20	202,6	174,6	2286,2	2486	2448,7	1903,8	22,8	44,8	215,1	215,6	4,4**	1,9	---	Primavera 1996-1997
		0 - 20	137,3	254,6	2026,6	3178	1622,8	1869	12,4	12,2	90,5	56,4	3,2**	1,4	---	Verano 1997
		0 - 20	124,5	260,5	2209,3	2182	2822,4	2136,8	10,9	8,7	222,1	134,3	4,2**	5	---	Otoño 1997
		0 - 20	29,6	58,7	2094,8	1810	5371,1	2687,8	21,3	21,9	364,4	87,8	1,9**	1,6	---	Invierno 1997
	Balsas-Jaulas	*	222,2	221,8	1600,3	577,4	1651,3	1267,3	12,3	14,6	197,7	280,2	---	---	---	Primavera 1996-1997
		*	348,2	158	1218,4	848,1	1727,3	1131,9	67,2	53,8	314,7	348,3	---	---	---	Verano 1997
		*	583,1	167,3	1648,4	1339	3143,8	967,7	52,2	39,7	9734,9	16245	---	---	---	Otoño 1997
		*	59,5	43,3	858,5	297,4	5170,9	333,6	20,6	7,3	382,7	101,4	---	---	---	Invierno 1997
II Etapa	E 3	0 - 5	1	---	76	25	235	45	7	---	7	3	0,6	0,1	2	Invierno 2015
	C 2	0 - 20	15	8	104	92	424	307	7	1	69	85	0,8	1	2	
	C 1	0 - 20	27	16	213	279	272	99	7	2	7	2	0,5	0,6	2	
	E 2	0 -10	2	2	159	228	219	71	4	---	5	1	0,5	0,2	2	
	E 1	0 - 5	11	4	25	21	260	29	4	---	4	1	0,6	1	2	
III Etapa	E 3	0 - 5	133,9	3,6	364	29,7	2417,2	593,6	404,4	28	400***	0	1,7	0,3	2,6	Verano 2016
	C 2	0 - 20	135,1	6,3	501,5	289,5	2356,6	75,9	297,6	88,2	300	81,6	0,8	0,8	2,7	
	C 1	0 - 20	134,7	3,8	587,8	204,9	2194,8	351,4	289,6	68,5	280***	83,7	0,8	0,5	2,6	
	E 2	0 - 10	128,8	0	516,3	70	2793,3	329,8	382,7	133,8	400	100	1,2	0,6	2,9	
	100618 (E1)	0 - 5	129,8	1,4	498,5	228,4	1962,6	61,5	331	71,5	350	70,7	1,4	0,4	2,8	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10. ***Valor de fósforo total inferior a P-PO4.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Cucao

Las concentraciones de nitrógeno total obtenidos en esta etapa del proyecto se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Campos *et al.* (1997) (Tabla 69), mostrando un evidente estado eutrófico en ambos casos. Los principales constituyentes del nitrógeno total obtenidos por Campos *et al.* (1997) variaron en los diferentes muestreos y no mostraron un claro patrón, en cambio en los resultados obtenidos en este proyecto el nitrógeno total estuvo conformado mayoritariamente por su forma orgánica. Así mismo, las concentraciones de fósforo total se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Campos *et al.* (1997), mostrando un estado eutrófico. Sin embargo, las concentraciones obtenidas en este estudio son mayores para la misma época del año. A diferencia de lo reportado por Campos *et al.* (1997), actualmente el fósforo se encuentra conformado principalmente por su forma inorgánica. Para el caso del nitrógeno como el fósforo, las concentraciones obtenidas en la segunda etapa de este proyecto fueron muy variables, variando de un estado ultraoligotrófico a eutrófico. Por otra parte las concentraciones de clorofila evidenciaron un cambio en la trofía a través del tiempo, desde una condición mayoritariamente mesotrófica a una condición ultra-oligotrófica. En tanto la transparencia mantiene un estado eutrófico.

II) Estimación del balance de nutrientes

a) Uso de suelo en la cuenca

Las Figuras 164 y 165 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Cucao durante el 2015, predominando el bosque nativo (78%), y los matorrales (18%).

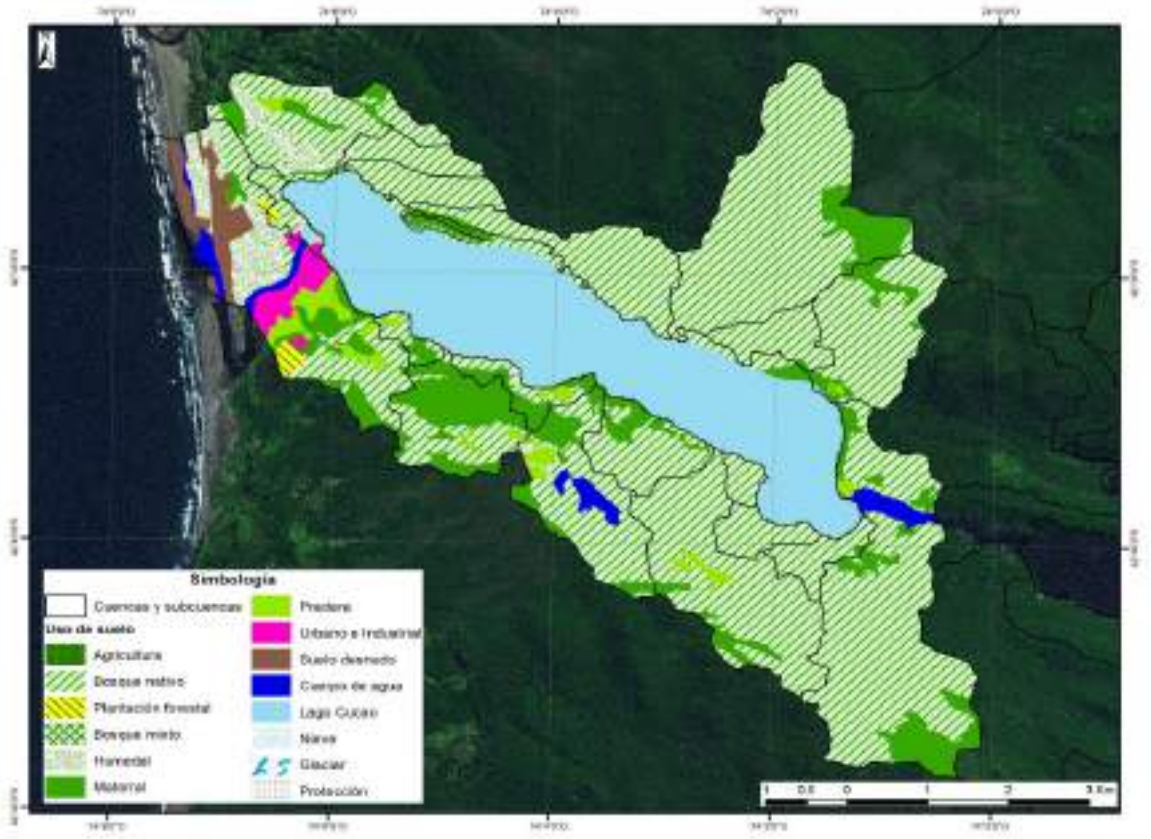


Figura 164. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Cucao y sus respectivos usos de suelo.

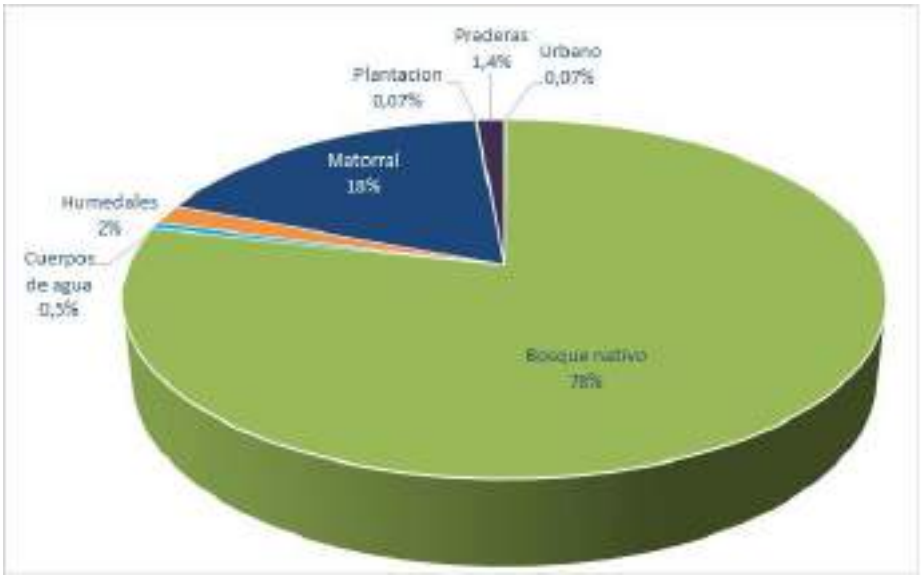


Figura 165. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Cucao.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 47 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 70). 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 Cucao. El mayor aporte de PT lo registró el bosque nativo (0,3 ton/año), seguido por el matorral (0,2 ton/año), y precipitaciones (0,18 ton/año) (Figura 166). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panguipulli mayormente).

Tabla 70. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Cucao.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0
Bosque nativo	0,3
Bosque mixto	0
Cuerpos de agua	0
Humedales	0,01
Matorral	0,2
Nieve	0
Plantación	0
Praderas	0,03
Precipitaciones	0,18
Suelo desnudo	0
Urbano	0,01
Total	**0,73**

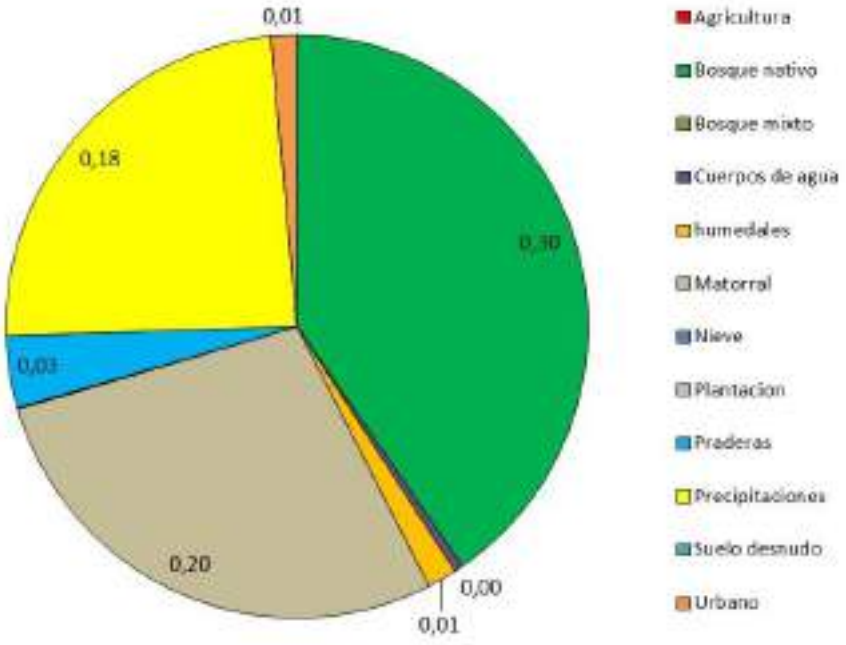


Figura 166. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Cucao, información actualizada en su mayoría al año 2014. Según información de RILES de la SISS a través del MMA, no hay empresas que descarguen en el lago (Tabla 71).

Tabla 71. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Cucao.

Fuente	Carga ton/año
Población	1,3
PISCICULTURAS	0

La estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Cucao, se realizó en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 72). En cuanto al número de turistas, se obtuvo información de SERNATUR 2015.

Tabla 72. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Cucao.

	TURISTAS		**POBLACIÓN PERMANENTE**	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	148	-
N° personas	26673		592	-
N° turistas diciembre 2014	3813			
N° turistas enero 2015	8879			
N° turistas febrero 2016	13981			
N° días residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,1	0,5	0,16	0,81
		Total ton/año	**Mín.**	**0,26**
			Máx.	**1,31**

d) Estimación del aporte de PT por 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 167).

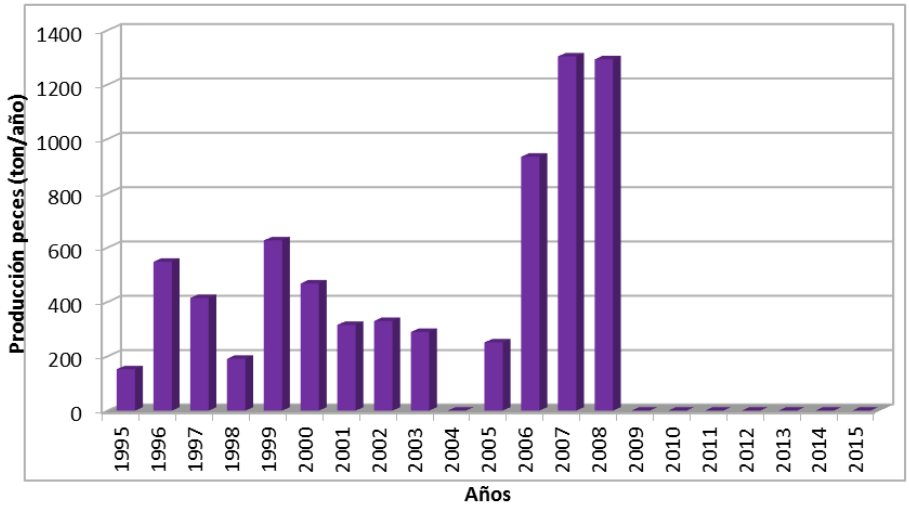


Figura 167. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Cucao.

Históricamente, la producción de peces en el lago Cucao ha estado dada sólo por una concesión, el centro 100618 (Figura 168).

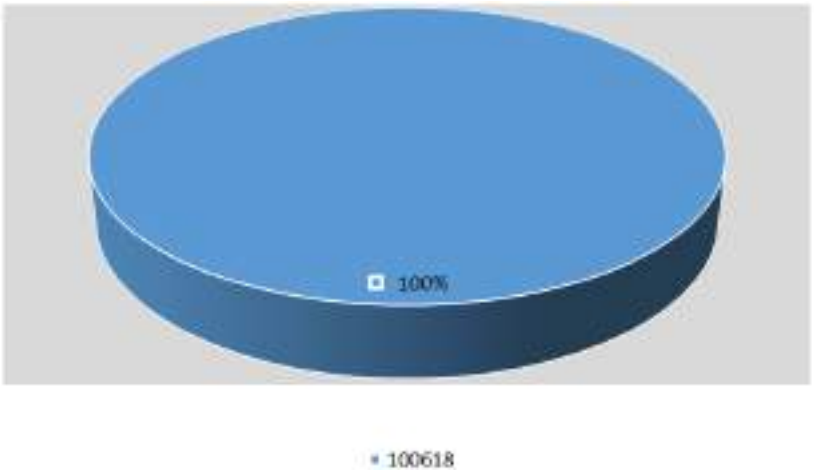


Figura 168. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Cucao.

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 169).

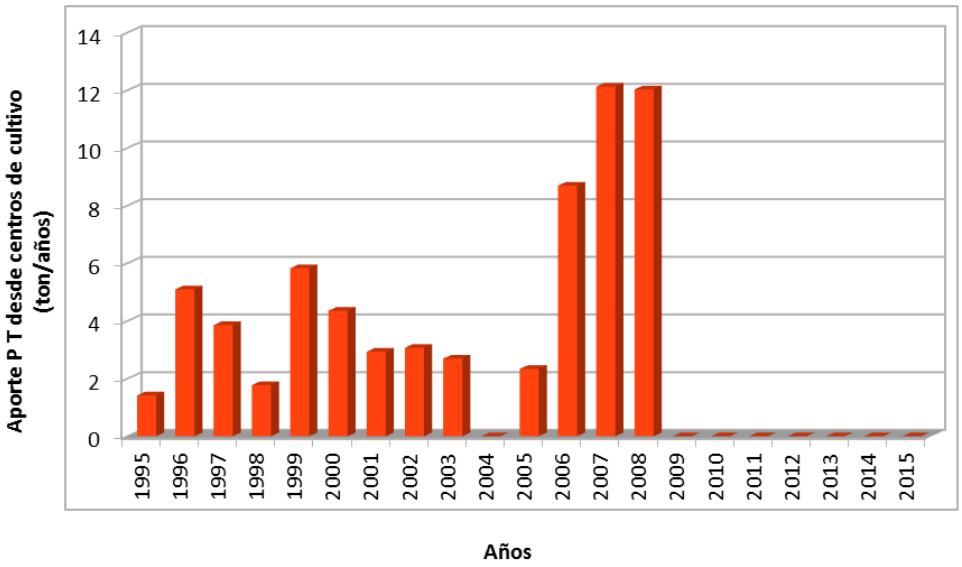


Figura 169. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Cucao.

5.4. Objetivo específico 5.

Entregar modelos validados de capacidad de carga para los lagos Llanquihue, Rupanco, Chapo, Natri, Tarahuín y Huillinco de la X Región.

5.4.1 Lago Rupanco

I) Determinación de estado trófico del lago

La Figura 170 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Rupanco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia corresponden a un estado oligotrófico a mesotrófico. Los valores de clorofila a indicaron características de ultraoligotróficos a oligotróficos, salvo la estación 100625 considerada mesotrófica. Los valores de PT se situaron mayormente en un rango de ultra a oligotrófico, a excepción del centro 100625 considerado eutrófico. El NT, se clasificó mayormente como ultraoligotrófico.

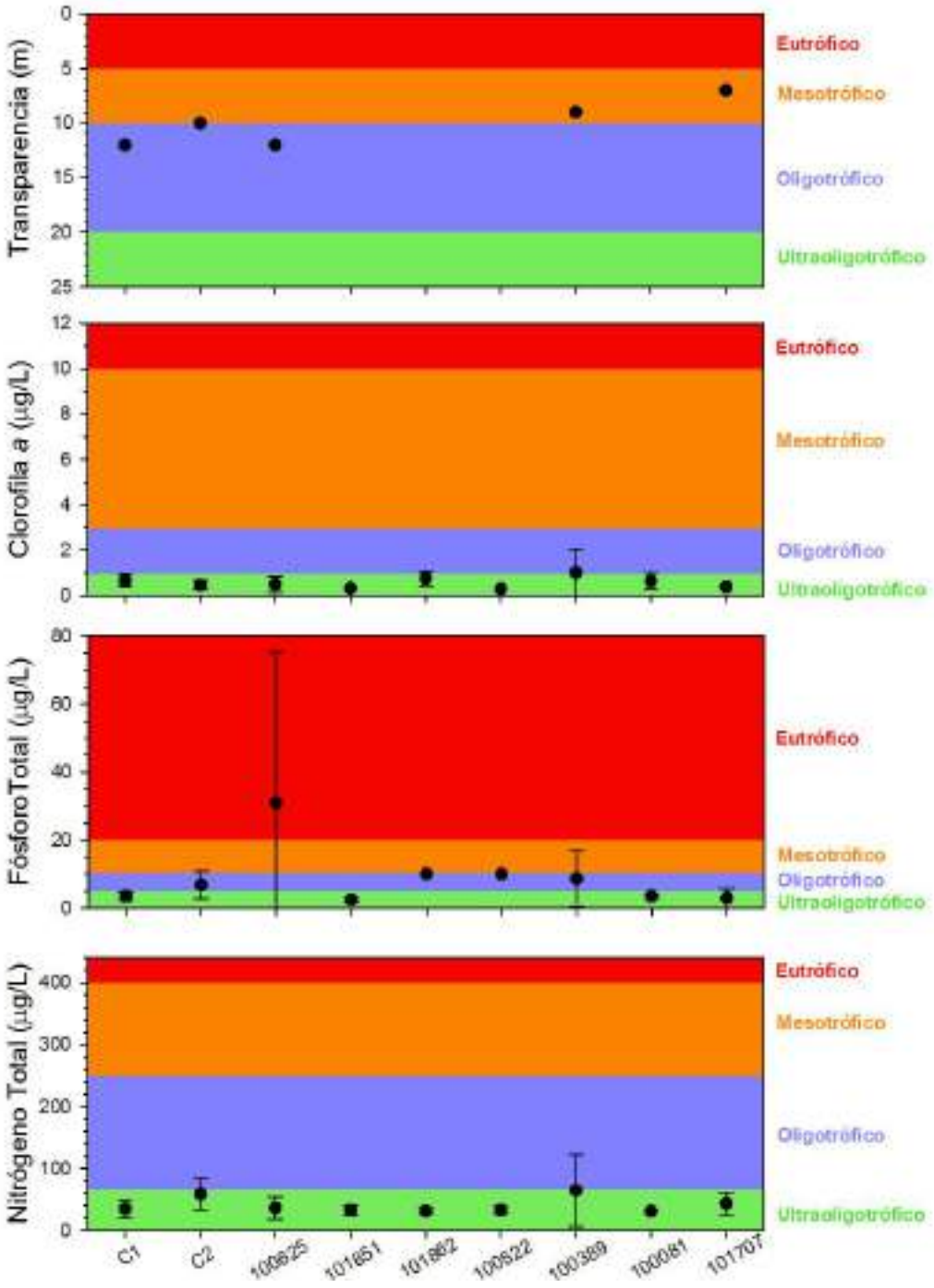


Figura 170. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Rupanco.

Comparación histórica de parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Rupanco

Tabla 73. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Rupanco.

Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
I Etapa	C1	0-100	62,5	11,5	6,0	1,0	1,4	0,4	13	Primavera 2012
	C2	0-260	56,7	5,5	6,0	1,0	1,4	0,4	11,7	
	100625	0-60	63,5	6,8	6,0	1,0	1,6	0,1	14,5	
	101851	0-100	57,8	0,6	5,0	0,0	1,4	0,3	11,7	
	101862	0-60	59,8	2,1	7,0	0,0	1,0	0,4	11,9	
	100522	0-100	60,9	6,5	7,0	0,0	1,3	0,8	12,9	
	100389	0-20	61,3	2,7	7,0	0,0	1,0	0,1	11	
	100081	0-40	58,3	2,2	7,0	0,0	0,8	0,3	11,4	
	101707	0-140	54,4	3,1	6,0	1,0	1,0	0,7	13,3	
II Etapa	C1	0-100	67,0	13,0	7,0	1,0	1,3	0,4	13	Primavera 2014
	C2	0-260	44,0	24,0	6,0	1,0	1,3	0,4	13	
	100625	0-60	70,0	6,0	6,0	1,0	1,1	0,1	12	
	101851	0-100	57,0	5,0	5,0	0,0	0,6	0,6	7	
	101862	0-60	70,0	6,0	6,0	0,0	1,6	1,2	9	
	100522	0-100	145,0	144,0	14,0	11,0	0,6	0,6	13	
	100389	0-20	71,0	181,0	9,0	17,0	1,7	0,3	13	
	100081	0-40	107,0	129,0	9,0	4,0	0,9	0,6	13	
	101707	0-140	73,0	9,0	17,0	18,0	0,9	0,9	12	
III Etapa	C1	0-100	34,9	14,7	3,5	1,2	0,6	0,3	12	Primavera 2015
	C2	0-260	58,7	25,2	6,8	4,0	0,5	0,2	10	
	100625	0-60	36,3	17,6	31,0	44,2	0,5	0,3	12	
	101851	0-100	32,7	8,0	2,5	0,7	0,4	0,0		
	101862	0-60	31,7	5,1	10,0	10,0	0,8	0,4		
	100522	0-100	33,0	5,6	10,0	10,0	0,3	0,3		
	100389	0-20	64,7	58,1	8,7	8,3	1,0	1,0	9	
	100081	0-40	31,0	1,0	3,5	0,7	0,7	0,4		
	101707	0-140	43,0	18,2	3,0	2,8	0,4	0,4	7	

Se han realizado diversos estudios limnológicos relacionados a las variables de trofía en el lago Rupanco, sin embargo, según lo evaluado por Woelfl *et al.* (2013) en la I etapa del Proyecto, en donde se incluyó el análisis de la calidad de los datos históricos, los valores de fósforo y nitrógeno total en la mayoría de estos estudios parecieran ser dudosos. Ante ello, se consideró realizar un análisis comparativo sólo para los resultados obtenidos en las etapas del presente estudio (etapa I, II y III). A partir de la I etapa del proyecto se observó que la transparencia tendió a la oligotrofía, con

algunos valores dentro del rango de la mesotrofía en la II y III etapa. Con respecto a la evolución del nitrógeno y fósforo total en las etapas del presente proyecto, se reportaron valores de nitrógeno dentro del rango de la ultraoligotrofía a oligotrofía. En tanto, el fósforo registró valores considerados dentro del rango de la oligotrofía durante la I etapa, con tendencias a la mesotrofía en la II etapa, y valores oscilantes entre la ultraoligotrofía a eutrofía en la III etapa (Tabla 73).

II) Estimación del Balance hidrológico

Para la estimación de entradas de agua, vía escorrentía, se utilizó la metodología de la Curva Número, en donde se calculó para las 121 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 1 estación de monitoreo del MOP (Estación Rupanco) del año 2014, e información de isoyetas según DGA (Campos *et al*., 1987). Con respecto a la cantidad de precipitación, se registró que es mayor en la parte oriental del lago, dada la influencia de las altas cumbres, 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 seleccionó 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.

Tabla 74. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

P_{ex}	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5%	90,00	77,65	102,93	147,38	191,31	237,06	206,29	200,91	168,78	174,41	152,47	133,33
10%	84,16	72,94	91,38	127,91	176,89	220,81	194,92	183,97	155,95	154,58	135,91	118,67
20%	77,08	67,24	79,11	107,74	159,43	201,12	181,15	166,32	141,34	133,90	118,64	103,07
50%	63,56	56,35	60,05	77,61	126,05	163,49	154,84	139,65	116,15	102,68	92,57	78,72
85%	46,90	42,93	42,76	51,82	84,94	117,15	122,43	115,96	89,76	74,94	69,41	56,49
95%	37,01	34,97	34,96	40,78	60,55	89,65	103,20	105,11	76,34	62,24	58,80	46,39
Dist.	N	N	LN	LN	N	N	N	G	P	G	G	LN

En cuanto al caudal del efluente, dentro de la red de estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas, existe una estación ubicada justamente en el lugar de interés, la estación 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco', que cuenta con estadística de caudales medios para el período comprendido entre 1986 y 2015, con algunos meses sin información. Cabe destacar que la estación 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco' cuenta con tecnología satelital que monitorea altura y caudales del río en forma diaria desde el año 2013. Esta información permitió rellenar la mayor parte de los vacíos existentes en la estadística de caudales medios mensuales. Los criterios utilizados para rellenar la estadística disponible se detallan a continuación:

- Relleno con caudales medios mensuales calculados en base a datos diarios de la estación satelital 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco' de la DGA. Esta información permitió completar todos los vacíos existentes entre los años 2013 y 2015.
- Relleno con el promedio mensual de la estación 'Río Rahue en desagüe lago Rupanco', calculado sin los meses rellenados. Este último criterio se utilizó para completar los seis vacíos restantes.

A partir de las distribuciones que presentaron mejor ajuste en cada mes, se obtuvieron las curvas de variación estacional para caudales de probabilidad de excedencia (Pex) de 5, 10, 20, 50, 85 y 95% (Tabla 74 y Figura 171).

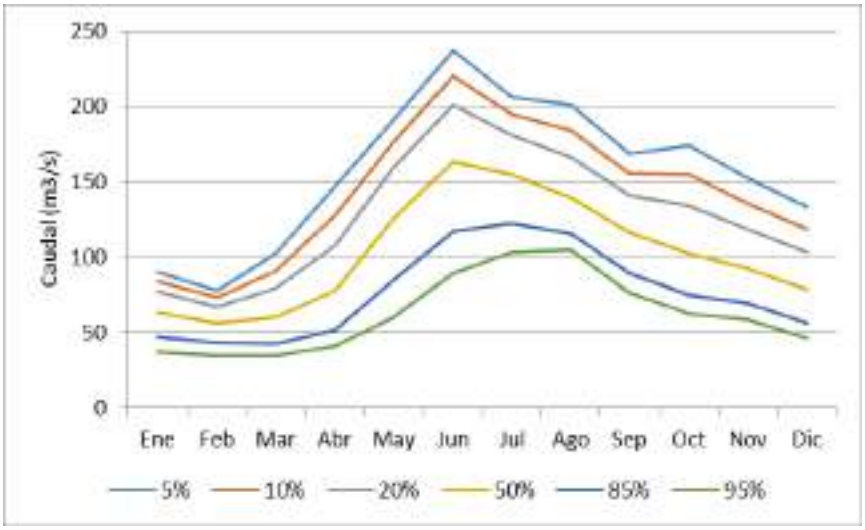


Figura 171. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (l/s).

La Figura 171 muestra que los caudales máximos se producirían durante los meses de otoño e invierno, explicados por el efecto de las precipitaciones, observándose en régimen predominantemente pluvial para años normales y secos. En años húmedos, en tanto, se produciría un aumento de caudales en los meses de primavera, determinando un régimen pluvio-nival. En base a la información disponible, se determinó un caudal medio anual para el desagüe del lago Rupanco de 105 m³/s.

De acuerdo al balance hidrológico, el tiempo de renovación teórica del volumen del lago Rupanco calculado es 13 años. En la tabla anterior se observa que según nuestros cálculos, el caudal de salida es mayor al caudal de entrada, lo que eventualmente se podría asociar a napas subterráneas no consideradas en el presente proyecto, así como también existen innumerables cascadas de

pequeños caudales, las que rodean la parte oriental-norte de la cuenca, y que tal vez no estén consideradas con el detalle necesario en la red hidrológica.
Así, el balance hidrológico anual del lago Rupanco es el siguiente (**Tabla 75**):

Tabla 75. Balance hidrológico del lago Rupanco.

Balance hidrológico lago Rupanco		**km³/año**
Entradas	Ríos	2,507
	Precipitación	0,509
	Total entradas	**3,016**
Salidas	Efluente río Rahue	3,311
	Evaporación Lago	0,166
	Total salidas	**3,477**
	Drenaje profundo	-0,461
	Variación reserva	0

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

a) Uso de suelo en la cuenca del lago Rupanco

Las Figuras 172 y 173 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Rupanco durante el 2015, predominando el bosque nativo (62%), praderas (18%), y los matorrales (10%). En la figura 172 se observa que la mayor parte del bosque nativo se encuentra en la cordillerana, limitando con Argentina.

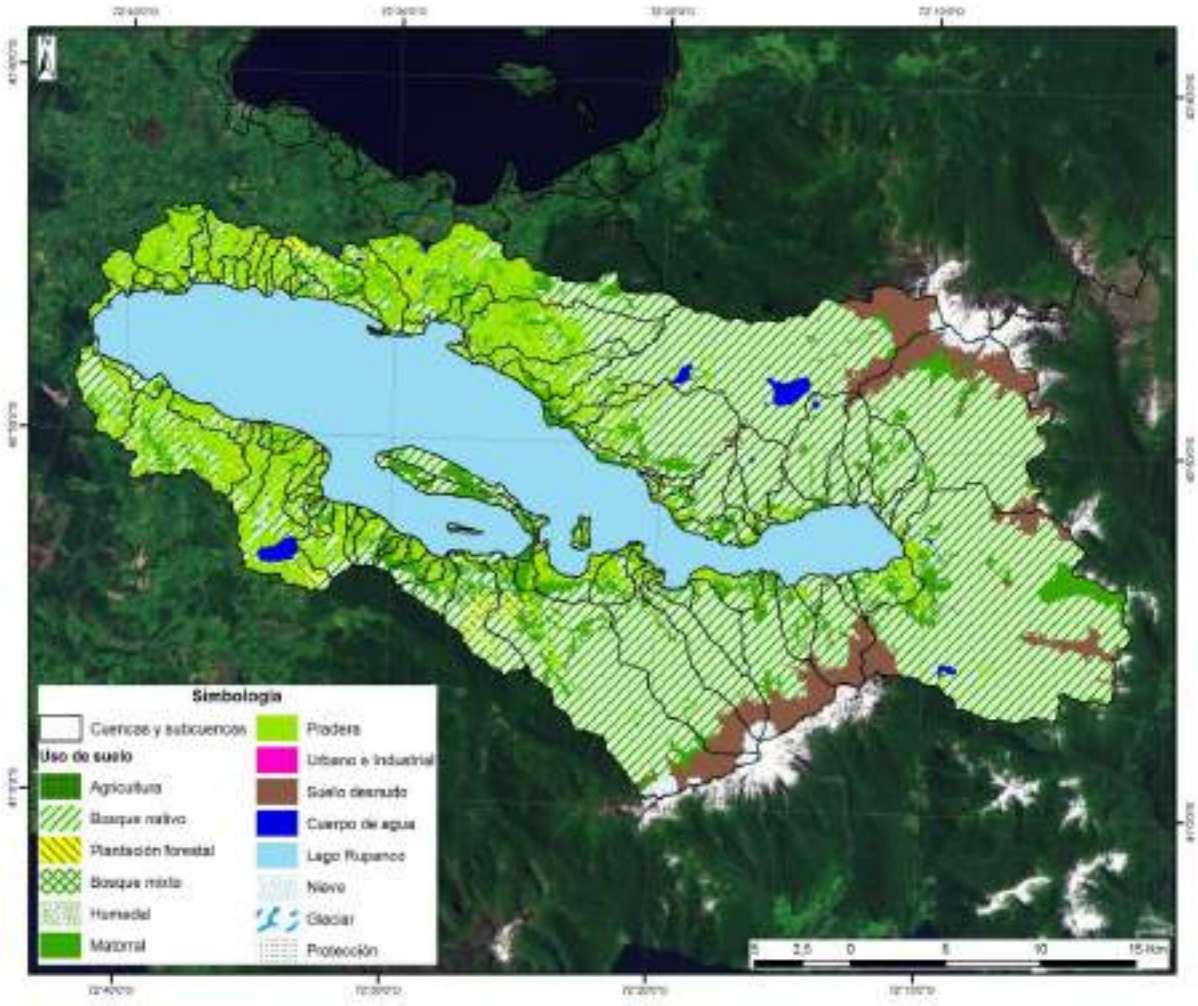


Figura 172. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Rupanco y sus respectivos usos de suelo.

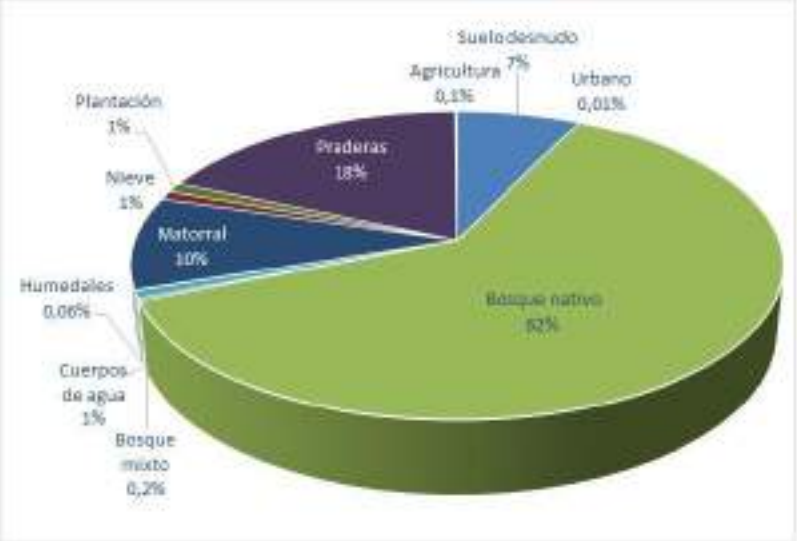


Figura 173. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Rupanco.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

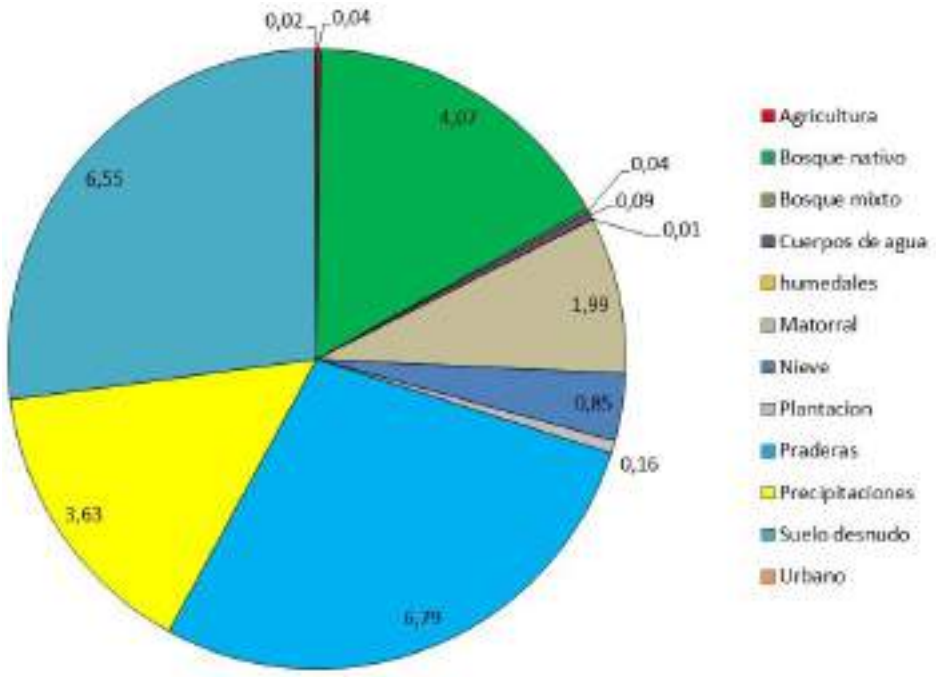


Figura 174. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 121 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 76). 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 Rupanco. El mayor aporte de PT lo registró la pradera (6,79 ton/año), seguido del suelo desnudo (6,55 ton/año), y el bosque nativo (4,07 ton/año) (Figura 174). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panguipulli mayormente).

Tabla 76. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Rupanco.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0,04
Bosque nativo	4,07
Bosque mixto	0,04
Cuerpos de agua	0,09
Humedales	0,01
Matorral	1,99
Nieve	0,85
Plantación	0,16
Praderas	6,79
Precipitaciones	3,63
Suelo desnudo	6,55
Urbano	0,02
Total	**24,26**

c) Evaluación de las descargas directas al lago Rupanco

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Rupanco, 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. Una única empresa piscicultora ha sido declarada con descarga de sus RILES a la cuenca. 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 77).

Tabla 77. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Rupanco.

Fuente	Carga ton/año
Población	4,1
PISCICULTURA 1	0,6

Para la estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Rupanco, se estimó en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 78). No se consideró el aporte de PT de los turistas, dada la falta de información existente.

Tabla 78. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Rupanco.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	746	-
N° personas	-	-	2984	-
N° días residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,00	0,00	0,82	4,08
		Total ton/año	**Mín.**	**0,82**
			Máx.	**4,08**

d) Estimación del Aporte de PT por centros de cultivo

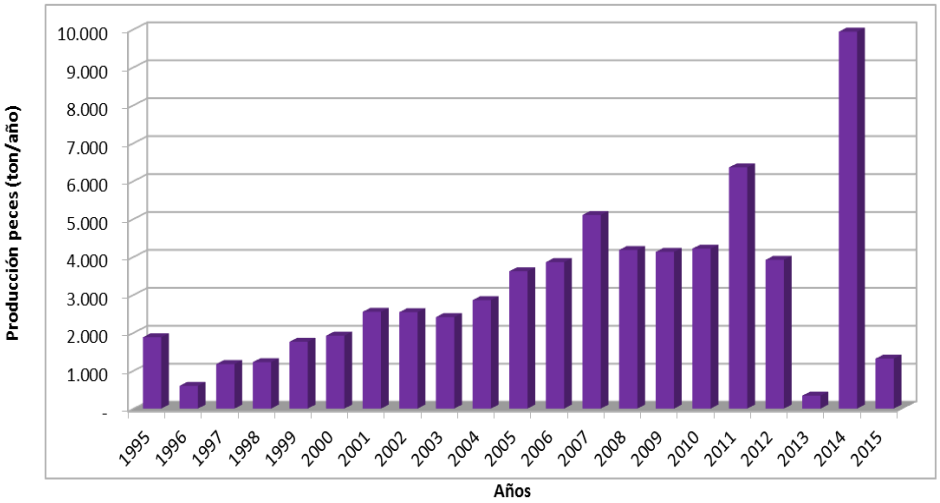


Figura 175. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Rupanco.

En primera instancia se evaluó la producción de 7 concesiones de acuicultura en el lago Rupanco. En la Figura 175 se observa la evolución en el tiempo de la producción bruta anual para el lago Rupanco, la cual disminuyó abruptamente el año 2013 a 341 ton, para luego repuntar y registrar el máximo de producción histórica en el lago Rupanco de 9.938 ton, para luego disminuir nuevamente a 1.317 ton el año 2015.

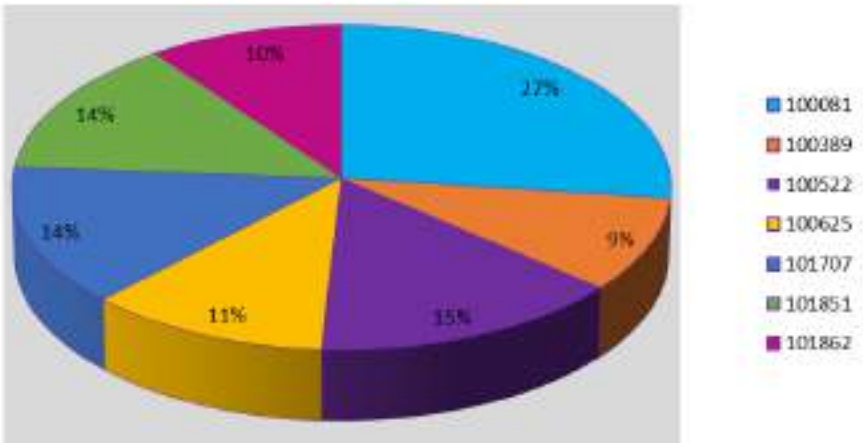


Figura 176. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Rupanco.

Históricamente, la producción de peces en el lago Rupanco estado dada mayoritariamente por el centro 10008118 (Figura 176).

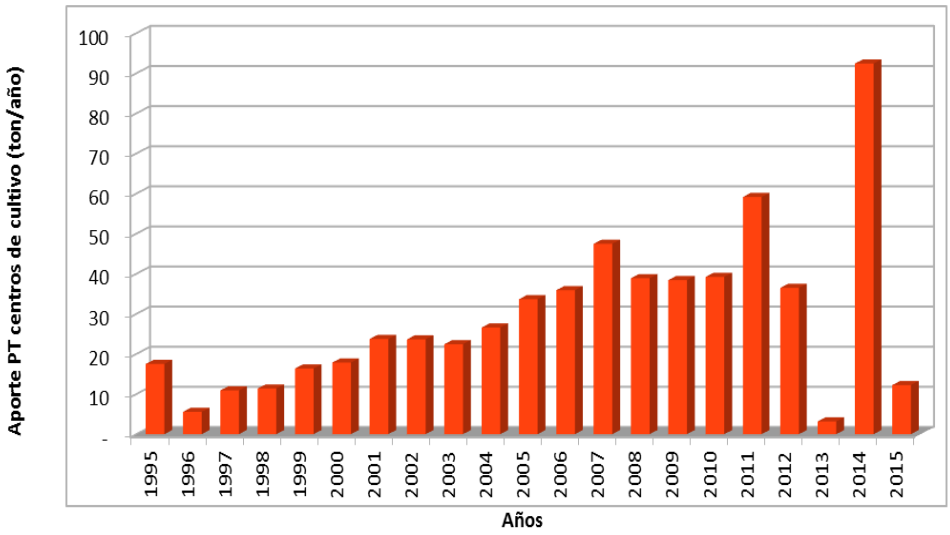


Figura 177. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Rupanco.

En cuanto a la carga de PT al lago, el máximo valor fuer registrado el año 2014, aportando sobre 90 toneladas de fósforo total (Figura 177).

e) Carga (sumatoria) de P al lago Rupanco

En la Tabla 79 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Rupanco. En total se estimó una carga total de PT de 65,4 ton/año que ingresaría al lago Rupanco.

Tabla 79. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga TON P/año
Planta tratamiento	0
Población	4,1
Piscicultura 1	0,6
Balsas jaulas (2002-2015)	36,4
Uso de suelo	20,6
Precipitación (2014)	3,6
Carga total	**65,4**

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 178 - 179), se obtuvo que las balsas jaulas representan el mayor aporte de PT al lago con un 55,7%, seguido por el uso de suelo (31,5%).

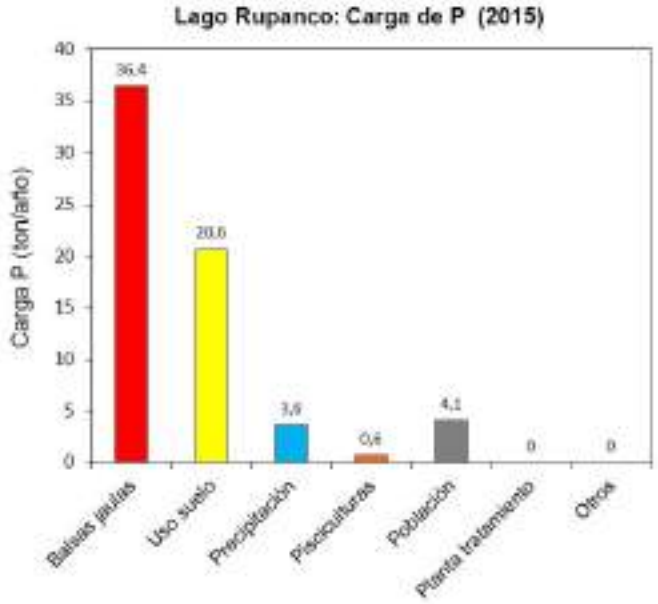


Figura 178. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

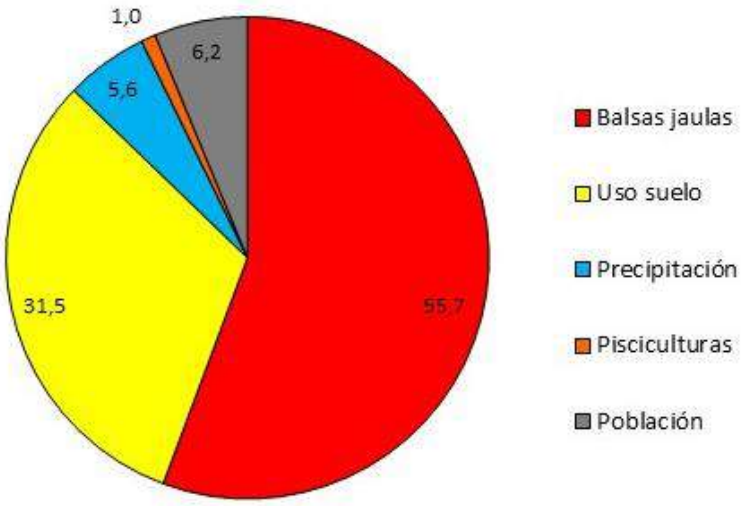


Figura 179. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

f) Determinación del contenido de PT en el lago

Utilizando la curva hipsográfica del lago Rupanco 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 Rupanco obteniendo un valor de 360,6 ton. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Rupanco fue 0,0095 mg/L (Tabla 80).

Tabla 80. Contenido de PT en la columna de agua del lago Rupanco.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol. (km³) / estrato	Vol. Estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT/estrato
0	¨0-50	11,21	29,5	0,0057	63,7
10	¨50-100	8,93	23,5	0,0192	171,5
20	¨100-150	6,65	17,5	0,0050	33,3
30	¨150-200	5,51	14,5	0,0050	27,6
40	¨200-250	4,18	11	0,0100	41,8
50	¨250-300	1,52	4	0,0150	22,8
	Total	**38**	**100**		**360,6**
			Promedio mg/L		**0,0095**

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 (0,0095 mg/L) multiplicándolo por el caudal anual del río Rahue.

La descarga anual del efluente calculada fue de 31,42 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (km³/año): 3,31128
Concentración de PT (mg/L): 0,0095
Descarga de PT (ton/año): 31,42020

g) Balance de masas y capacidad de carga del lago Rupanco

El balance de fósforo total calculado para el lago Rupanco se presenta en la Tabla 81. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 360,6 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 65 ton, mientras que el egreso fue de 31 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (34 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 52%.

Tabla 81. Balance de Fósforo total calculado para el lago Rupanco.

PT en Columna de agua (ton)	Ingreso PT (ton)	Egreso PT (ton)	Sedimentación PT (ton)	Tasa de sedimentación (%)
361	65	31	34	52

Se calculó la carga crítica del lago Rupanco, con un tiempo de renovación de 13 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 (13 años), la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico, (PT >10 µg/L), es de 137 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (9,4888 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 130 ton/año (Tabla 82). Según nuestros cálculos, el aporte externo del lago, tanto directo como indirecto, sería 65,4 ton/año.

Tabla 82. 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	137	13
9,4888	130	13

5.4.2 Lago Llanquihue

I) Determinación de estado trófico del lago

La figura 180 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Llanquihue de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), indicando su evaluación trófica según los colores de cada celda. Cada columna representa una campaña de monitoreo, siendo la primera correspondiente a la realizada en enero del 2015. En ésta se observa que los valores de clorofila a, PT y NT se encuentran en estado de ultra a oligotrofia. La segunda campaña correspondiente a agosto del 2015 (segunda columna) indicó que la transparencia presentó valores que se sitúan entre la oligotrofía con tendencias a mesotrofía. La clorofila a registró valores dentro del rango de la ultratrofía a mesotrofía, al igual que el PT. De acuerdo a lo obtenido en el PT los centros 100545, 100204, 100332y 100100 se caracterizaron por valores eutróficos. El NT presentó valores ultraoligotróficos a oligotróficos, con una leve tendencia del centro 100510 a la mesotrofía.

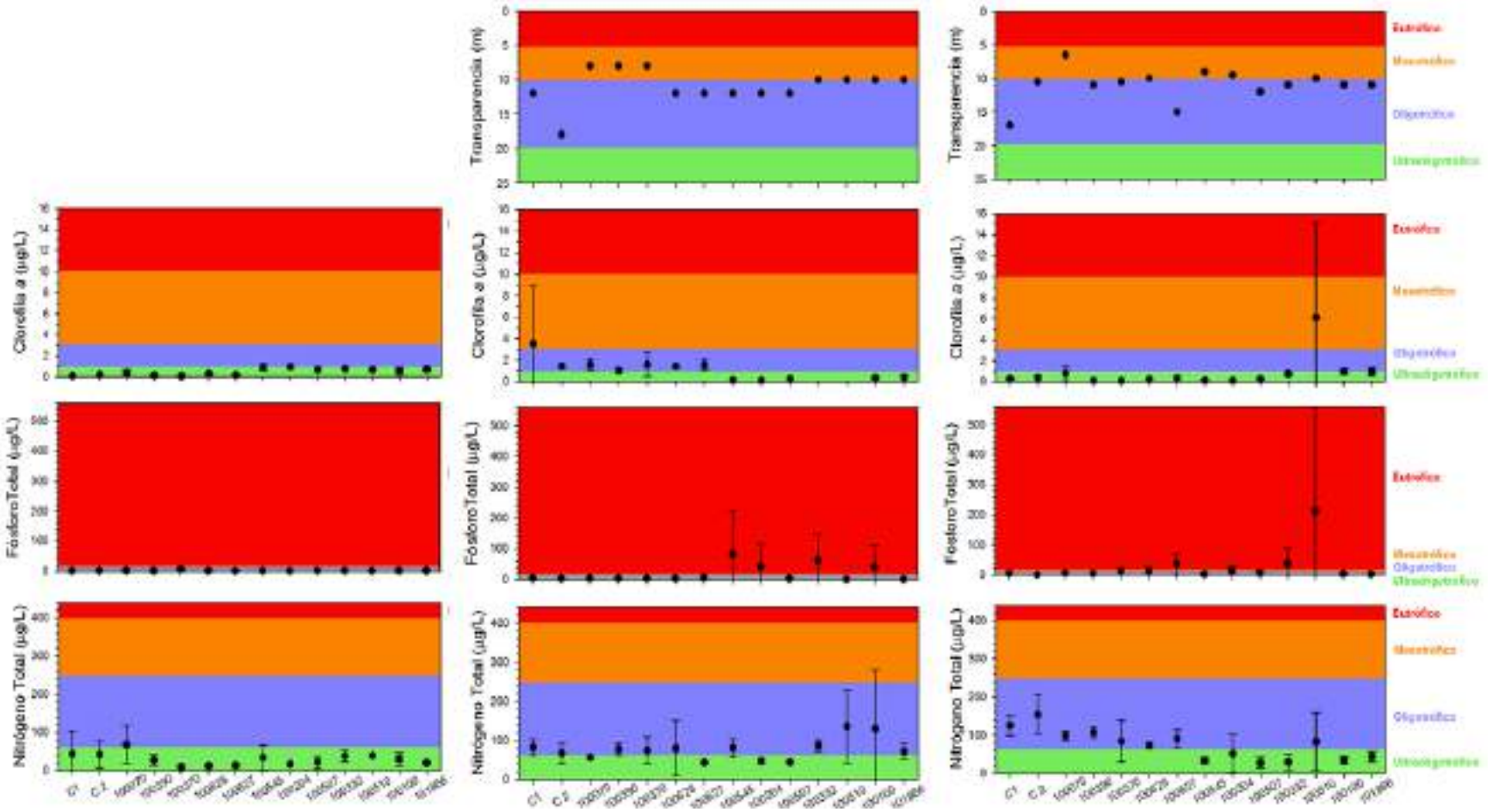


Figura 180. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Llanquihue (Primera Columna: monitoreo enero 2015; segunda columna: monitoreo octubre 2015; tercera columna: monitoreo enero 2016).

Comparación histórica de parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Llanquihue

Se han realizado diversos estudios limnológicos relacionados a las variables de trofía en el lago Llanquihue, entre los que destacan principalmente lo realizado por Campos *et al.* (1988), y la Universidad Austral de Chile (1984, 1987, 1993). Además, la DGA monitorea desde 1986 la calidad de agua en cuatro estaciones de muestreo, ubicadas relativamente cerda de los bordes del lago. Sin embargo, de acuerdo a lo evaluado por Woelfl *et al.* (2013) en la I etapa del Proyecto, los valores de fósforo en su mayoría parecieran ser dudosos, no así la transparencia y clorofila a. Ante ello, se consideró realizar una análisis comparativo sólo para los resultados obtenidos en las etapas del presente estudio (I, II y III etapa) (Tabla 83).

Se registró una disminución de la transparencia en los centros 100070, 100390, y 100370, en invierno del 2015, asociándose a las dos últimas estaciones el efecto de la erupción del volcán Calbuco sobre la transparencia. Durante la III etapa de muestreo, específicamente en el verano del 2016, se registraron valores de transparencia dentro de la mesotrofía en las estaciones 100070, 100545 y 100204. En general, se observó que el centro 100070 tiende a la mesotrofía, asociándose estos resultados a las características propias de la bahía, como son la poca profundidad del sector y la baja energía hidrodinámica. En tanto, la clorofila a, en general tendió a la oligotrofía. Los resultados de PT indicarían un estado oligotrófico en la I y II etapa, sin embargo, durante la III etapa específicamente en invierno del 2015 y verano del 2016, se registraron concentraciones muy altas en las cercanías de algunos centros de cultivo. Los valores de NT indicaron un estado ultra a oligotrófico.

II) Estimación del Balance hidrológico

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 seleccionó 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.

En cuanto al caudal del efluente, Considerando la información disponible, se utilizó el método descrito para comparar **tres variantes** de la transposición desde la estación 'Río Maullín en Las Quemas' hasta el desagüe del lago Llanquihue. Adicionalmente, se analizó la información medida en el desagüe del lago, para el período 1929-1946. Estas cuatro aproximaciones se describen a continuación:

Tabla 83. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Llanquihue.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
I etapa	C1	0-300	36,2	4,6	6,0	1,0	0,7	0,1	25	Primavera 2012
	C2	0-250	43,7	14,3	7,0	3,0	0,9	0,1	17	
	100070	0-10	78,6	11,6	13,0	2,0	1,0	0,9	11,5	
	100390	0-70	32,7	6,9	6,0	1,0	1,0	0,3	22	
	100370	0-50	32,8	1,2	6,0	1,0	0,9	0,3	22	
	100628	0-30	52,6	21,1	6,0	1,0	0,6	0,2	22	
	100627	0-29	46,2	20,7	6,0	1,0	1,0	0,2	16	
	100545	0-20	36,1	5,0	6,0	0,0	0,7	0,1	19	
	100204	0-60	33,6	7,3	6,0	1,0	0,8	0,2	19	
	100507	0-50	50,0	13,0	7,0	1,0	0,9	0,2	18	
	100332	0-50	47,6	13,4	6,0	2,0	1,1	0,3	17	
	100510	0-27	38,2	10,5	6,0	1,0	0,8	0,2	16	
	100100	0-35	27,1	1,2	5,0	0,0	0,6	0,1	14	
	101866	0-45	58,3	18,2	5,0	1,0	0,6	0,0	15	
II etapa	C1	0-300	42,0	16,0	5,0	1,0	0,8	0,1	18	Otoño 2014
	C2	0-250	49,0	33,0	5,0	1,0			15	
	100070	0-10	50,0	8,0	8,0	1,0	1,5	0,5	11	
	100390	0-70	48,0	4,0	7,0	2,0	0,8	0,1	13	
	100370	0-50	52,0	11,0	7,0	2,0	0,6	0,0	16	
	100628	0-30	31,0	9,0	6,0	1,0	0,5	0,0	15	
	100627	0-29	72,0	4,0	7,0	2,0	0,7	0,1	12	
	100545	0-20	32,0	4,0	5,0	1,0	0,8	0,6	16	
	100204	0-60	50,0	25,0	6,0	1,0	0,5	0,1	18	
	100507	0-50	29,0	3,0	5,0	1,0	0,7	0,0	15	
	100332	0-50	37,0	6,0	8,0	2,0	0,9	0,0	16	
	100510	0-27	29,0	6,0	7,0	1,0	1,0	0,1	16	
	100100	0-35	62,0	9,0	12,0	2,0	1,2	0,2	12	
	101866	0-45	45,0	14,0	8,0	1,0	1,1	0,1	12	
III etapa	C1	0-300	81,3	20,7	5,2	1,8	3,6	5,4	12	Invierno 2015 (Agosto)
	C2	0-250	67,4	26,7	3,4	1,9	1,4	0,2	18	
	100070	0-10	56,0	2,6	4,3	3,2	1,6	0,5	8	
	100390	0-70	75,0	19,0	4,0	1,0	1,0	0,2	8	
	100370	0-50	74,3	34,2	4,3	2,3	1,5	0,8	8	
	100628	0-30	79,3	70,0	3,7	1,5	1,4	0,1	12	
	100627	0-29	43,7	1,5	6,3	3,5	1,6	0,5	12	
	100545	0-20	80,0	23,8	83,0	139,4	0,1	0,1	12	
	100204	0-60	47,3	7,4	43,7	71,3	0,0	0,0	12	
	100507	0-50	44,0	1,0	3,7	2,9	0,1	0,1	12	
	100332	0-50	86,7	15,0	62,5	85,6	0,0	0,0	10	
	100510	0-27	136,3	5,0	1,0	1,0	0,0	0,0	10	
	100100	0-35	130,0	95,1	42,0	69,3	0,4	0,1	10	
	101866	0-45	71,7	19,6	1,7	0,6	0,4	0,2	10	
III etapa	C1	0-300	44,0	60,8	2,0	0,7	0,1	0,1		Verano 2015 (Enero)
	C2	0-250	42,5	35,4	2,6	1,1	0,1	0,1		
	100070	0-10	69,0	49,9	3,3	2,3	0,4	0,2		
	100390	0-70	28,7	15,0	2,0	1,0	0,2	0,1		
	100370	0-50	10,0	10,0	8,0	1,0	0,1	0,1		
	100628	0-30	13,0	3,0	2,3	0,6	0,3	0,1		
	100627	0-29	14,5	4,9	1,7	1,2	0,2	0,1		
	100545	0-20	34,5	33,2	2,0	0,0	0,9	0,3		
	100204	0-60	17,0	17,0	1,5	0,7	0,9	0,2		
	100507	0-50	22,7	16,3	2,7	0,6	0,8	0,3		
	100332	0-50	38,3	15,0	2,7	0,6	0,8	0,0		
	100510	0-27	40,0	40,0	2,0	0,7	0,7	0,1		
	100100	0-35	30,7	17,4	2,3	1,5	0,6	0,4		
	101866	0-45	21,0	2,1	3,3	2,3	0,7	0,2		
III etapa	C1	0-300	125,3	26,8	4,8	5,7	0,1	0,0	17	Verano 2016 (Enero)
	C2	0-250	153,7	51,8	1,7	0,8	0,1	0,1	10,5	
	100070	0-10	98,7	12,7	6,3	3,5	0,7	0,7	6,5	
	100390	0-70	107,3	13,1	4,3	5,8	0,2	0,0	11	
	100370	0-50	84,7	54,3	11,0	14,1	0,1	0,0	10,5	
	100628	0-30	73,0	8,2	14,7	11,8	0,2	0,1	10	
	100627	0-29	90,3	23,4	36,0	35,4	0,3	0,2	15	
	100545	0-20	33,3	9,3	2,7	0,6	0,1	0,1	9	
	100204	0-60	51,3	50,4	15,7	12,7	1,0	0,2	9,5	
	100507	0-50	27,7	14,2	6,3	6,7	0,2	0,1	12	
	100332	0-50	29,7	20,2	37,0	53,9	0,8	0,1	11	
	100510	0-27	83,3	75,9	214,3	343,0	0,7	0,1	10	
	100100	0-35	34,7	10,7	4,0	1,4	1,0	0,2	11	
	101866	0-45	44,0	13,1	3,0	2,6	1,0	0,4	11	

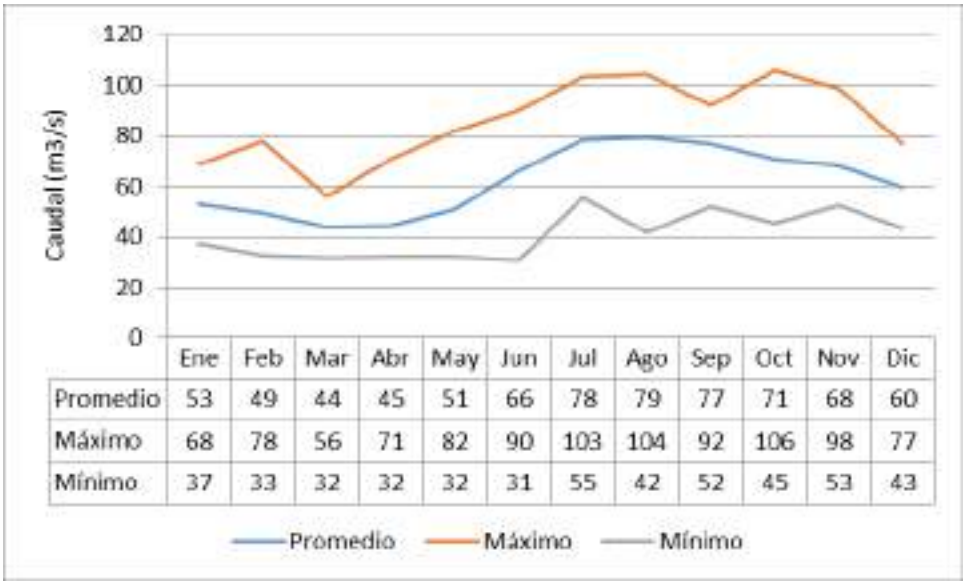
***Llanquihue 1:* 'Río Maullín en Las Quemas' menos 'Río Negro en Las Lomas'**

Dada la existencia de estadística para el río Negro, estos caudales se descontaron de la serie de la estación 'Río Maullín en Las Quemas' para el período 1995-2015. Igualmente, del área total de esta estación se descontó el área correspondiente a la subcuenca de la estación 'Río Negro en Las Lomas' para determinar el factor de transposición, tal como se muestra en la Tabla 84. Así, se realizó la transposición de cuencas utilizando el área y los caudales restantes para la estación 'Río Maullín en Las Quemas'.

Tabla 84. Factor de transposición.

Subcuenca	Superficie (Km^2)	Factor de Transposición
Maullín en Las Quemas (MLQ)	2.198	n/a
Negro en Las Lomas (NLL)	171	n/a
MLQ - NLL	**2.027**	**0,77**
Desagüe Llanquihue	**1.570**	

La Figura 181 muestra los caudales medios, máximos y mínimos para cada mes a partir de dicha estadística.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	53	49	44	45	51	66	78	79	77	71	68	60
Máximo	68	78	56	71	82	90	103	104	92	106	98	77
Mínimo	37	33	32	32	32	31	55	42	52	45	53	43

Figura 181. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 1.

***Llanquihue 2:* 'Río Maullín en Las Quemas' menos río Negro y río Colegual**

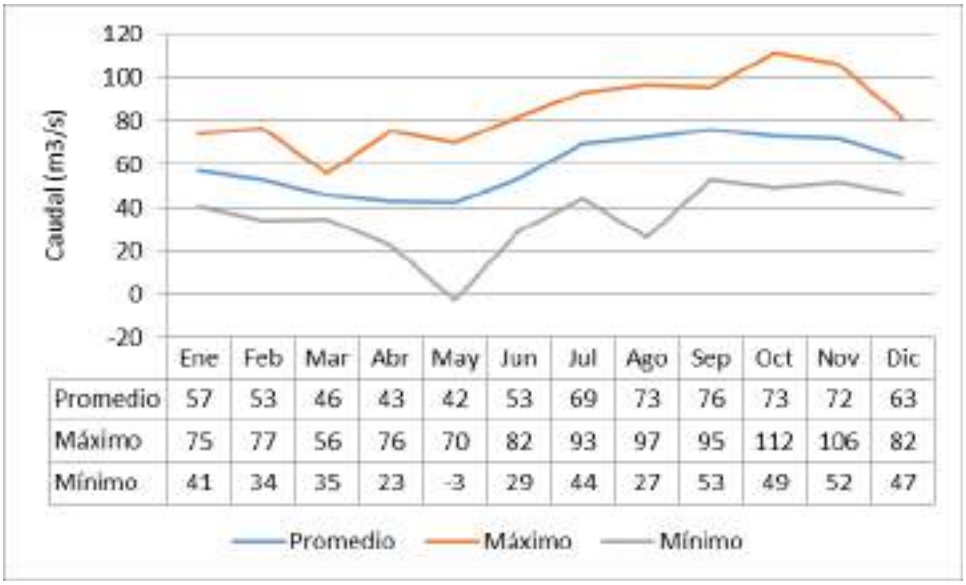
Al igual que para el caso anterior, esta segunda variante descontó de la serie de 'Río Maullín en Las Quemas' los caudales conocidos del río Negro. Adicionalmente, se descontaron los caudales del río

Colegual, el otro aporte importante que recibe el río Maullín antes de la estación de Las Quemas. Dado que no se contaba con estadística de caudales para el río Colegual, ésta fue generada en base al método de transposición de cuencas, tomando como cuenca conocida la del río Negro. El factor de transposición determinado para estos efectos se presenta en la Tabla 85. Del área total de la estación 'Río Maullín en Las Quemas', se descontaron las áreas correspondientes a las subcuencas de la estación 'Río Negro en Las Lomas' y del río Colegual para determinar el factor de transposición respecto al desagüe del lago Llanquihue, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 85. Factor de transposición.

Subcuenca	Superficie (Km^2)	Factor de Transposición
Maullín en Las Quemas (MLQ)	2.198	n/a
Negro en Las Lomas (NLL)	171	1,35
Colegual (Col)	231	
MLQ – NLL - Col	**1.796**	**0,87**
Desagüe Llanquihue	**1.570**	

En tanto que la Figura 182 muestra los caudales medios, máximos y mínimos para cada mes a partir de dicha estadística.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	57	53	46	43	42	53	69	73	76	73	72	63
Máximo	75	77	56	76	70	82	93	97	95	112	106	82
Mínimo	41	34	35	23	-3	29	44	27	53	49	52	47

Figura 182. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 2.

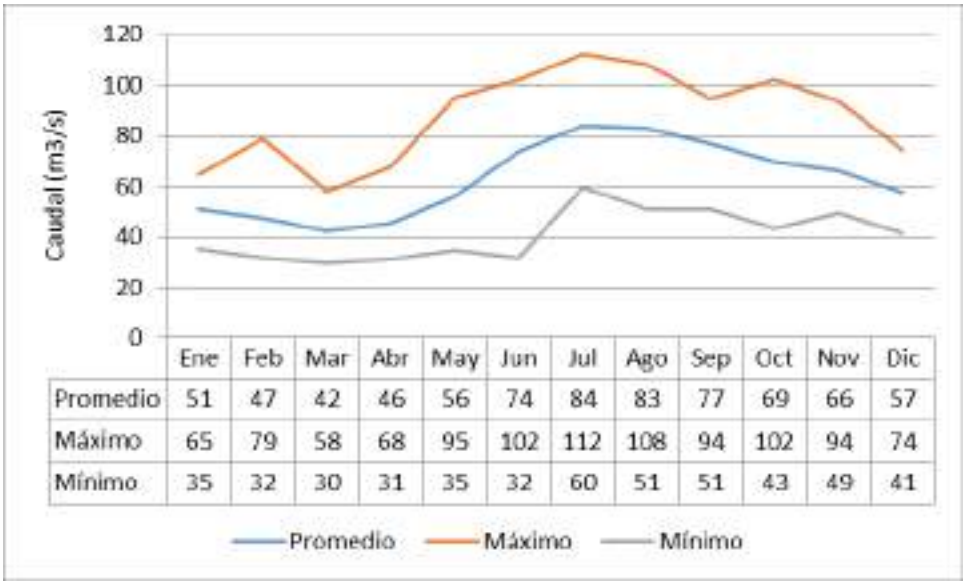
De la Figura anterior, llama la atención que en el mes de mayo se observa que el valor mínimo es negativo, situación que no es posible en la realidad. Esto hace pensar que los caudales determinados para el río Colegual se encuentran sobreestimados.

Llanquihue 3: **Transposición directa con 'Río Maullín en Las Quemas'**

Esta tercera variante consideró una transposición directa de cuencas, desde la estación 'Río Maullín en Las Quemas' hasta el desagüe del lago Llanquihue. El factor de transposición determinado para estos efectos se presenta en la Tabla 86. En la Figura 183 muestra los caudales medios, máximos y mínimos para cada mes de acuerdo a la estadística obtenida mediante esta aproximación.

Tabla 86. Factor de transposición.

Subcuenca	Superficie (Km^2)	Factor de Transposición
Maullín en Las Quemas (MLQ)	2.198	0,71
Desagüe Llanquihue	1.570	

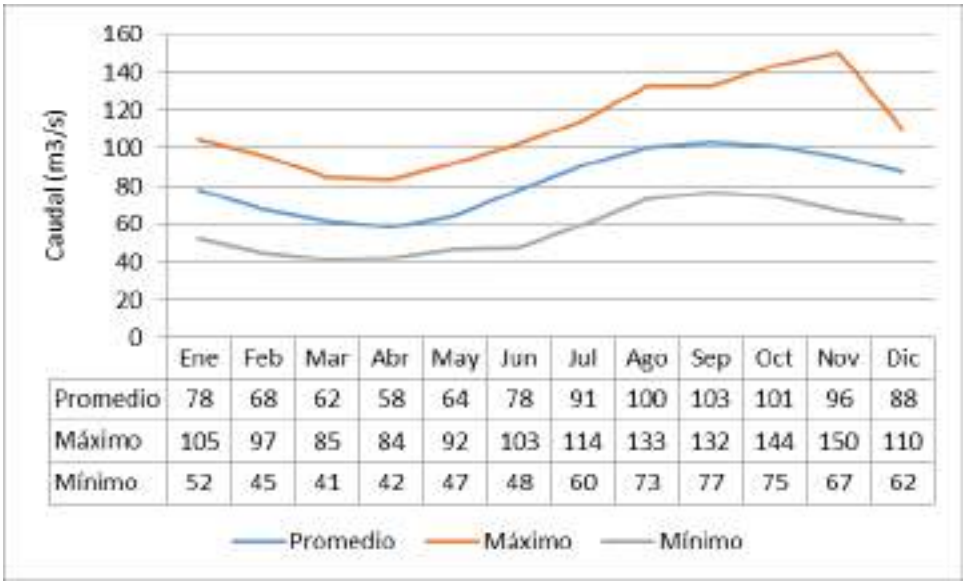


	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	51	47	42	46	56	74	84	83	77	69	66	57
Máximo	65	79	58	68	95	102	112	108	94	102	94	74
Mínimo	35	32	30	31	35	32	60	51	51	43	49	41

Figura 183. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 3.

Llanquihue 4: **Maullín en Llanquihue (1929-1946)**

Por último, se analizaron los datos disponibles para la estación 'Río Maullín en Llanquihue', ubicada en el desagüe del lago, para el período 1929-1946. En la Figura 200 muestra los caudales medios, máximos y mínimos para cada mes de acuerdo a dichos datos.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	78	68	62	58	64	78	91	100	103	101	96	88
Máximo	105	97	85	84	92	103	114	133	132	144	150	110
Mínimo	52	45	41	42	47	48	60	73	77	75	67	62

Figura 184. Caudales medios, máximos y mínimos en desagüe lago Llanquihue, Opción 4.

La comparación de caudales medios mensuales obtenidos mediante los cuatro enfoques previamente descritos se presenta en la Figura 185. De éste se desprende que los caudales generados para el período 1995-2015 mediante el método de transposición de cuencas en sus tres variantes son inferiores a los medidos en el desagüe del lago Llanquihue durante el período 1929-1946. Las mayores diferencias se producen en los meses de primavera y verano, lo que podría explicarse mediante dos hipótesis. La primera, es una posible disminución de los aportes niveles que recibe el lago en la actualidad, debido a un aumento de la temperatura provocado por el cambio climático; sin embargo, no se cuenta con estadística local que permita establecer si existe efectivamente una correlación entre ambos factores. Otra hipótesis posible es que la ocurrencia de fenómenos volcánicos (volcán Calbuco, 1961, 1972 y 1996) podría haber modificado cursos de agua que alimentaban el lago Llanquihue en el pasado.

De las tres variantes analizadas, la curva de distribución que más se asemeja a la de la estación 'Río Maullín en Llanquihue' es la opción 'Llanquihue 2', que descuenta de la estación 'Río Maullín en Las Quemas' los caudales conocidos del río Negro y los caudales generados para el río Colegual. Sin embargo, como se mencionó en el numeral 4.2.2, éstos últimos parecen estar sobredimensionados, por lo que los caudales obtenidos para el desagüe del lago mediante esta aproximación no resultan del todo confiables. Por esta razón, **se han seleccionado los caudales generados mediante la opción 'Llanquihue 1'**, que utiliza la mejor información disponible para esta cuenca.

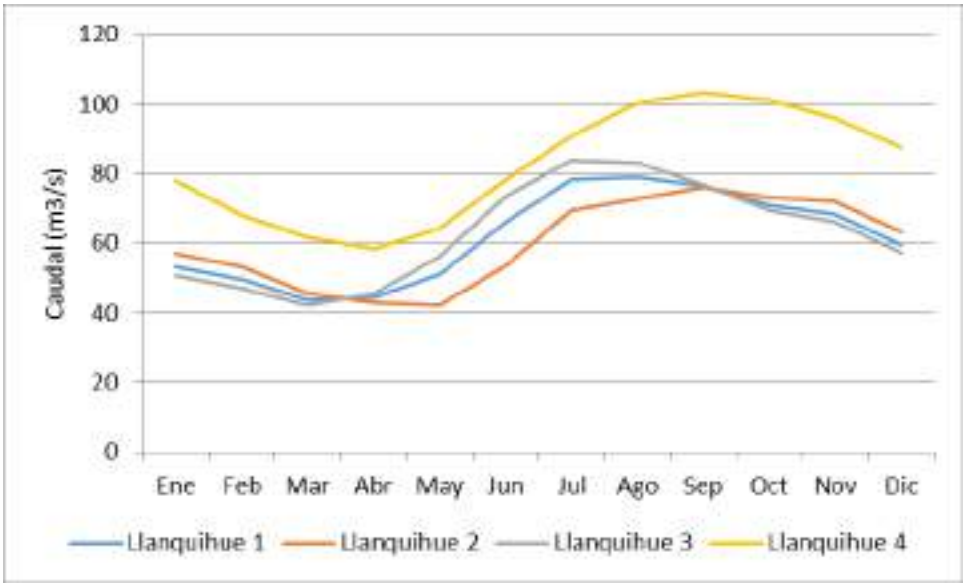


Figura 185. Comparación de caudales medios mensuales obtenidos mediante los cuatro enfoques.

Para determinar la variación estacional de caudales en el desagüe del lago Llanquihue, para distintas probabilidades de excedencia, se utilizaron las series de caudales generados para el período 1995-2015, mediante la aproximación descrita en el Llanquihue 1 "Río Maullín en las Quemas" menos "Río Megro en las Lomas". Con el objeto de seleccionar la distribución que mejor se ajusta a los datos para cada mes, se testearon las distribuciones de probabilidades Normal (N), LogNormal (LN), Pearson III (P), LogPearson III (LP) y Gumbel (G). Para medir la bondad del ajuste se consideró el test de Chi Cuadrado con un nivel de significancia de 0,05 y el coeficiente de determinación R2; mientras menor sea el valor de Chi Cuadrado y más se aproxime a la unidad el valor de R2, mejor será el ajuste. A partir de las distribuciones que presentaron mejor ajuste en cada mes, se obtuvo la variación estacional de caudales para probabilidades de excedencia (Pex) de 5, 10, 20, 50, 85 y 95% (Tabla 87, Figura 186).

Tabla 87. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

P_{ex}	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5%	67,78	67,06	55,66	65,21	71,51	91,25	102,93	102,25	92,42	91,72	90,42	74,53
10%	64,54	62,30	52,99	59,12	66,01	85,69	97,48	97,14	88,93	87,10	83,92	70,98
20%	60,62	57,04	49,76	52,77	59,91	78,94	90,89	90,95	84,70	81,51	77,14	66,80
50%	53,13	48,36	43,57	43,19	49,78	66,05	78,29	79,11	76,61	70,83	66,91	59,20
85%	43,91	39,71	35,95	34,67	39,62	50,18	62,76	64,54	66,65	57,66	57,82	50,50
95%	38,44	35,44	31,43	30,78	34,61	40,76	53,55	55,89	60,74	49,85	53,65	45,67
Dist*	N	LP	N	G	LN	N	N	N	N	N	G	P

*Distribución

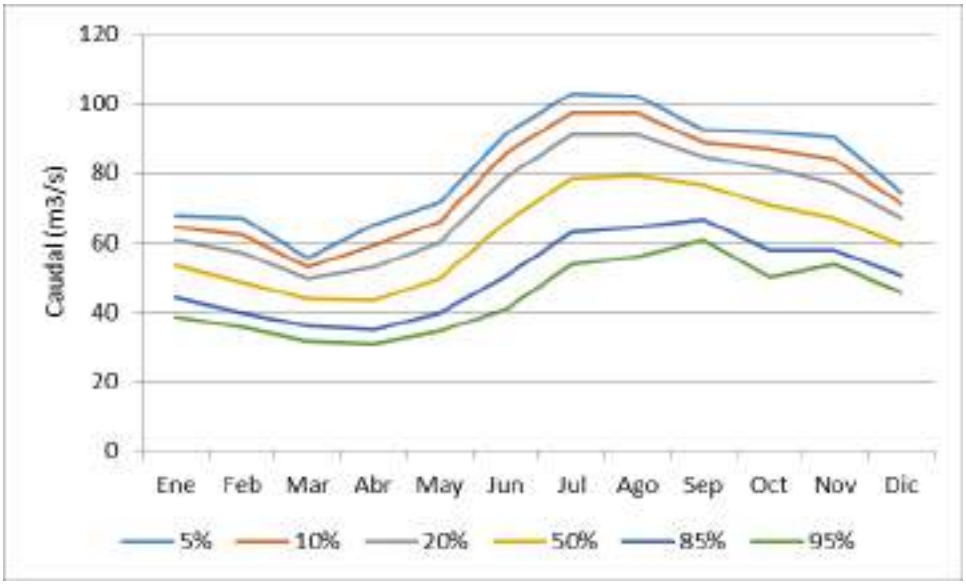


Figura 186. Caudal mensual asociado a cada probabilidad de excedencia (m^3/s).

La Figura 186 muestra que el desagüe del lago Llanquihue presenta un régimen pluvio-nival, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de invierno y primavera, explicados por el efecto de las precipitaciones y los deshielos, respectivamente. Este comportamiento se mantiene en años normales, húmedos y secos.

Con el objeto de validar la estadística generada en el presente estudio, se realizó un aforo en el desagüe del lago Llanquihue, específicamente en el punto definido por las coordenadas UTM Norte: 5.430.261, Este: 667.264, Datum WGS84, Huso 18 Sur. El aforo se realizó el día 6 de marzo de 2016, en un día soleado y con ausencia de precipitaciones durante los siete días previos.

El cauce en el sector de aforo presentó un engavionado en sus riberas, actualmente recubiertas con vegetación. El fondo del lecho fue arenoso, de profundidad regular, con presencia de vegetación acuática puntual. La sección transversal al momento del aforo presentaba un largo de 50 m, una profundidad media de 1,3 m y velocidades de flujo que aumentaron gradualmente hacia la ribera norte del cauce. **El caudal aforado fue de 37,18 m^3/s.**

La Figura 187 muestra la posición del aforo con respecto a las curvas de variación estacional obtenidas. De éste se desprende que el caudal aforado se asocia a una probabilidad de excedencia cercana al 85%, siendo que el caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Llanquihue fue de 61,7 m^3/s.

Así, el balance hidrológico anual del lago Llanquihue es el siguiente (Tabla 88):

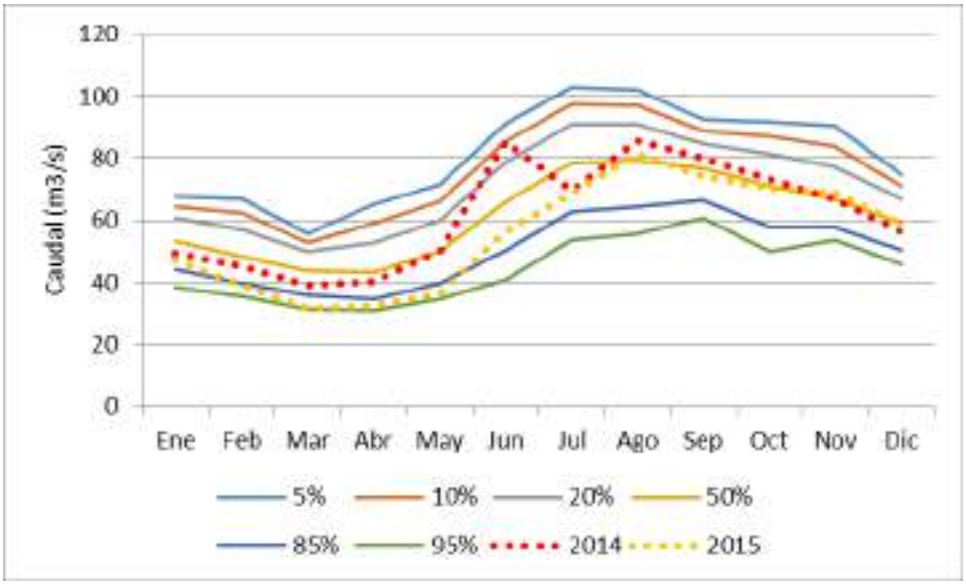


Figura 187. Análisis de aforos.

Tabla 88. Balance hidrológico del lago Llanquihue.

Balance hidrológico lago Llanquihue		km³/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 188 y 189 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 204 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.

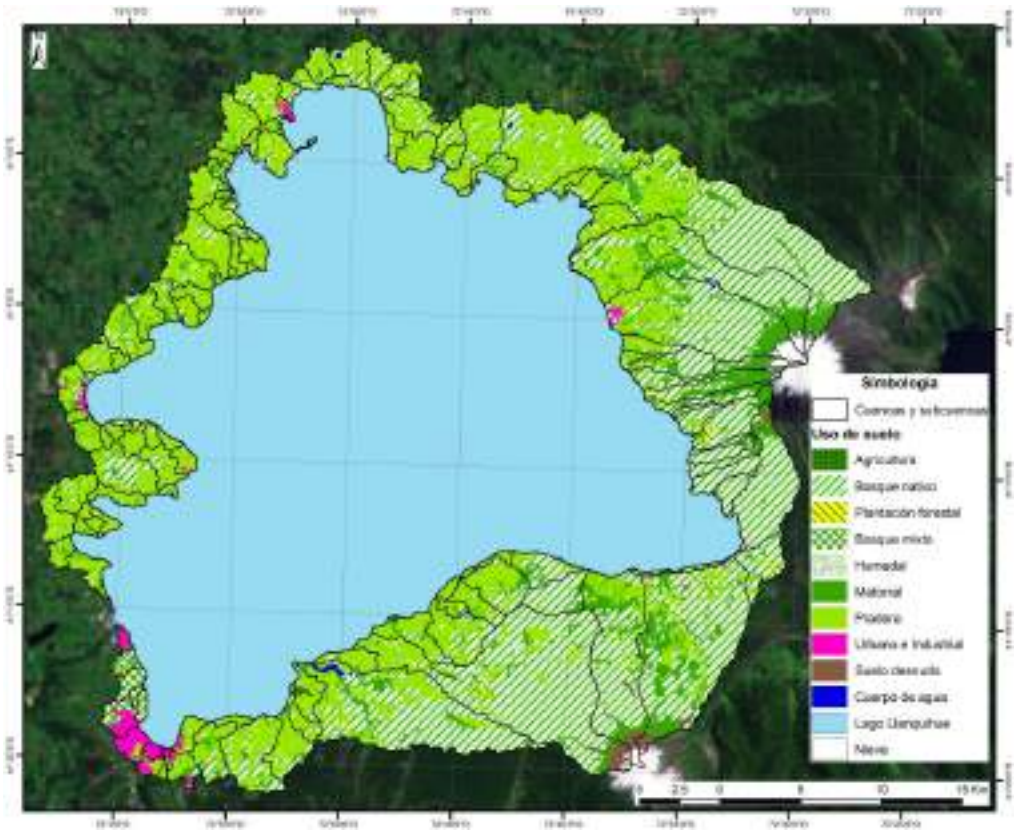


Figura 188. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Llanquihue y sus respectivos usos de suelo.

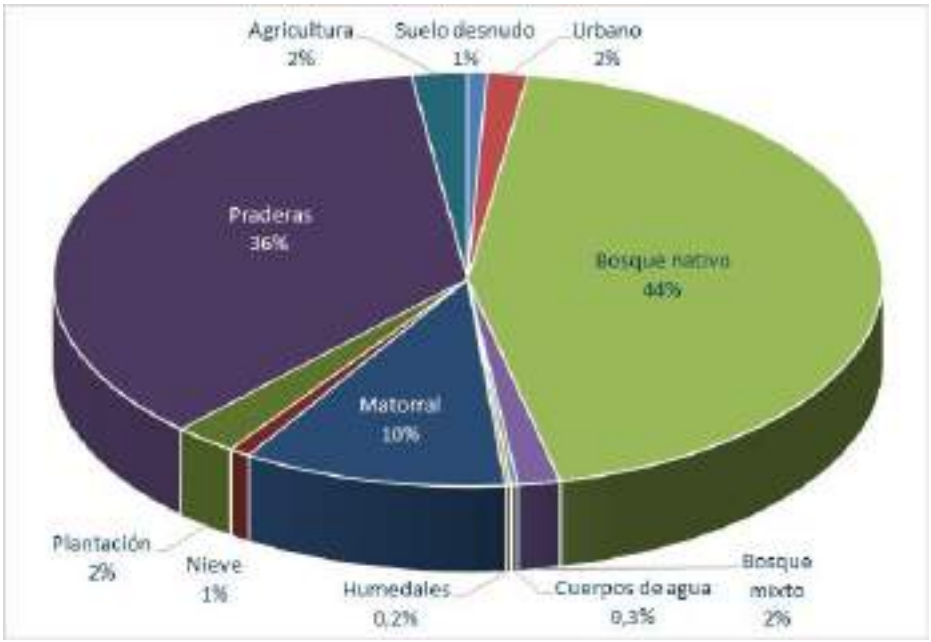


Figura 189. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Llanquihue.

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 89). 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 190). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).

Tabla 89. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Llanquihue.

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
Plantación	0,18
Praderas	11,88
Precipitaciones	12,75
Suelo desnudo	0,78
Urbano	2,69
Total	**35,13**

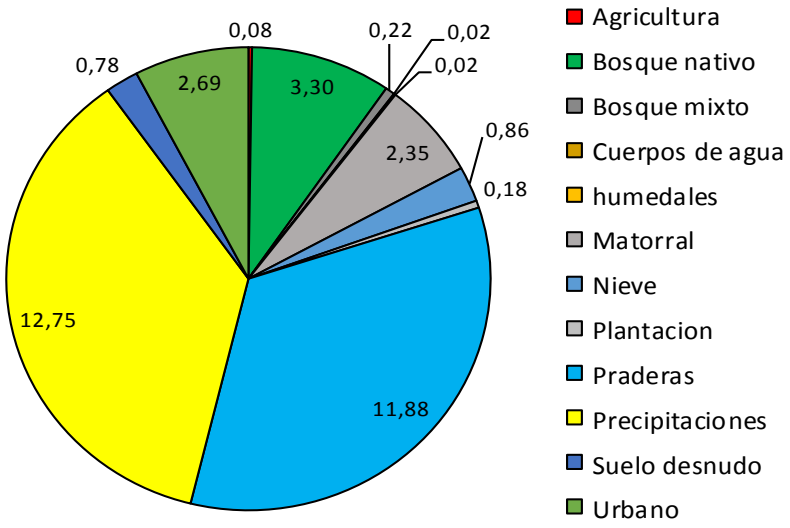


Figura 190. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

c) 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 90).

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 (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 91). 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 91).

Tabla 90. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Llanquihue.

Fuente	Carga ton/año
Prosecor Ltda.	0,04
Lácteos Pt. Octay	0,2
Novartis Chile S.A	0,2
Planta tratamiento Pt. Octay	0,5
Pingüino Ltda.	0,001
Población	10,5
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 1	0,3
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 2	0,01
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 3	0,4
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE) 4	0,2
Salmones Llanquihue	6
Salmones Multiexport Pt. Fonck	0,01
Aguas Claras	4,7
Fiordo Blanco	6

Tabla 91. 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
N° viviendas franja 200m	-	-	1142	-
N° personas	20000	-	4568	-
N° personas Ensenada	-	-	1400	-
N° personas Cascadas	-	-	700	-
N° 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**

d) 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. 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 191 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 repuntar y registrar el máximo de producción histórica en el lago Llanquihue de 10.743 ton en el año 2014.

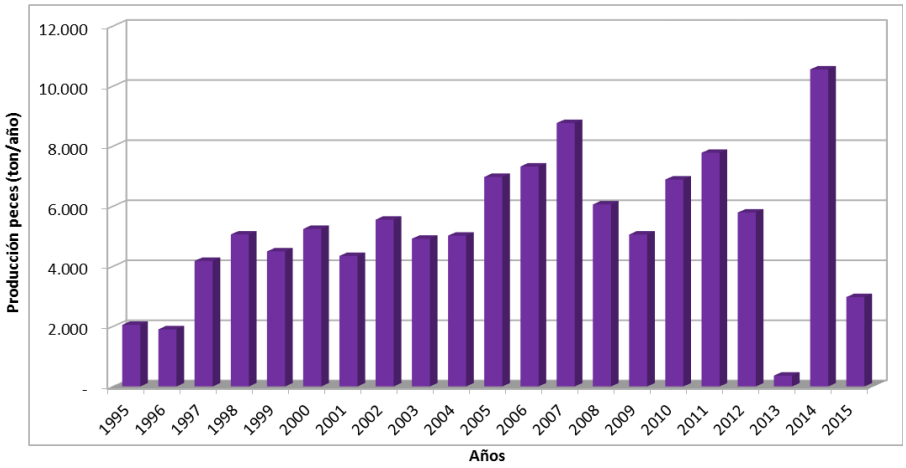


Figura 191. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Llanquihue.

Las máximas contribución a nivel de producción histórica se registró en el centro 100100 con 25%, seguido por el centro 100507 (12%) y los centros 101866 (9%), 100390 (8%) y 100332 (8%) (Figura 192).

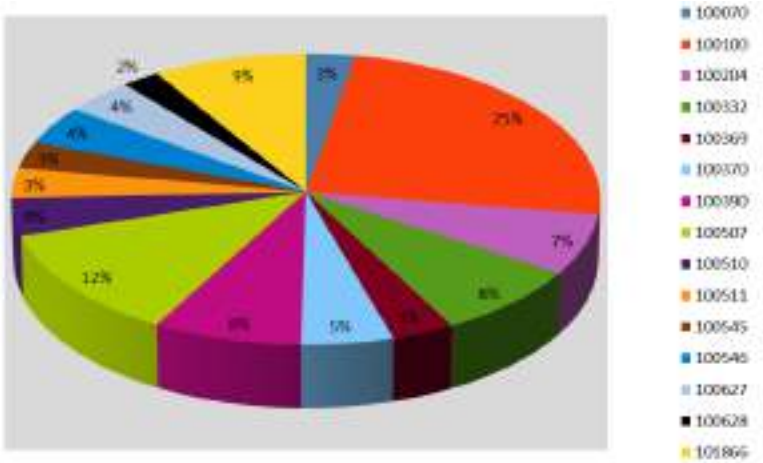


Figura 192. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago LLanquihue.

En la Figura 193 se observan los aportes de PT derivados de la producción acuícola en balsas jaulas en el lago Llanquihue, registrándose el mayor aporte de PT en el año 2014 con alrededor de 98 ton/año.

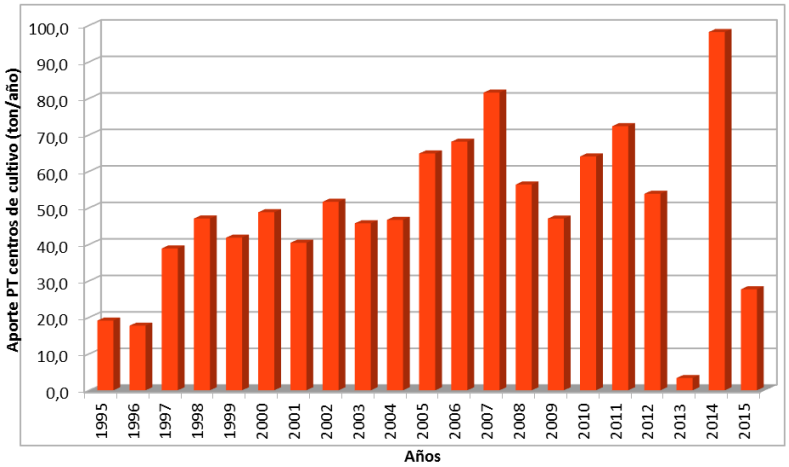


Figura 193. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Llanquihue.

e) Carga (sumatoria) de P al lago Llanquihue

En la Tabla 92 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Llanquihue. En total se estimó una carga total de PT de 122,2 ton/año que ingresaría al lago Llanquihue.

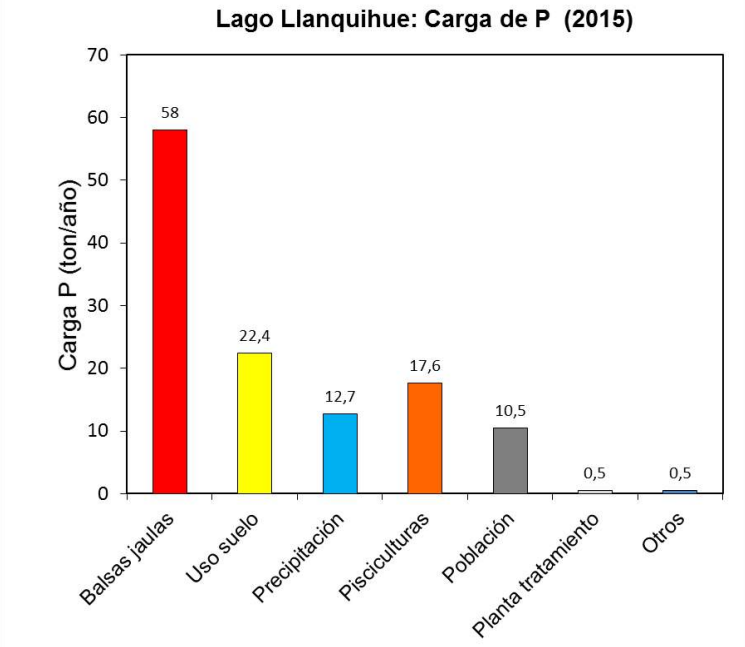


Figura 194. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

Tabla 92. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga PT ton/año
Prosecor Ltda	0,0
Lácteos P. Octay	0,2
Novartis Chile S.A.	0,2
Planta tratamiento P. Octay	0,5
Pingüino Ltda.	0,001
Población	10,480
M. Harvest 1	0,293
M. Harvest 2	0,008
M. Harvest 3	0,409
M. Harvest 4	0,243
Salmones Llanquihue	5,987
Salmones Multiexport P. Fonck	0,014
Aguas Claras	4,705
Fiordo Blanco	5,968
Balsas Jaulas (2002-2015)	57,985
Afluentes/Uso de suelo	22,378
Precipitación (2014)	12,7
Carga Total	**122,2**

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 195), se obtuvo que las balsas jaulas representan el mayor aporte de PT al lago con un 47,5%, seguido por el uso de suelo (18,3%).

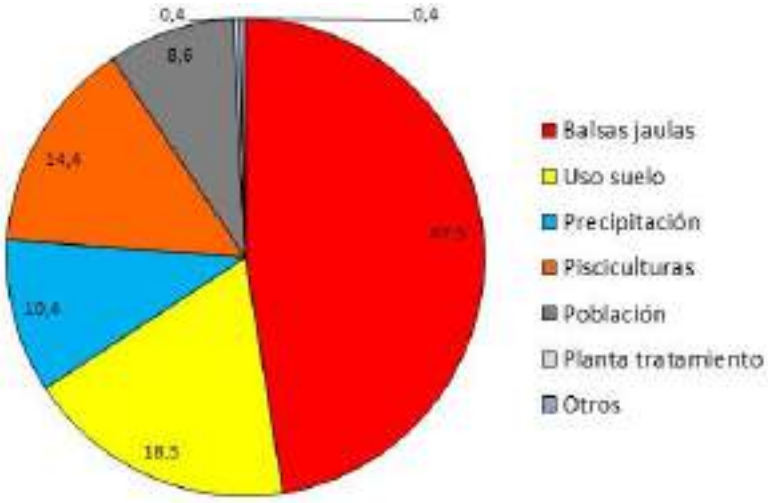


Figura 195. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

f) 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 918,8 ton/L. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Llanquihue fue 0,0058 mg/L (Tabla 93).

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 ~ 11,27 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (m³/año):	1,9457712
Concentración de PT (mg/L):	0,0058
Descarga de PT (ton/año):	11,27163

Tabla 93. Contenido de PT en la columna de agua del lago Llanquihue.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol. (km³) / estrato	Vol. estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT / estrato
0	0-10	8,6	5,4	0,0084	54,7
10	10-20	8,4	5,3	0,0048	55,9
20	20-30	8,2	5,2	0,0154	49,2
30	30-40	8,0	5,0	0,0071	50,8
40	40-50	7,8	4,9	0,0040	47,9
50	50-80	22,1	14,0	0,0488	160,4
80	80-120	26,5	16,7	0,0030	164,3
120	120-160	22,7	14,3	0,0042	97,9
160	160-200	18,6	11,7	0,0045	80,2
200	200-250	17,0	10,7	0,0033	85,1
250	250- fondo	10,9	6,9	0,0015	72,3
	Total	**158,6**	**100,0**		
			Promedio (mg/L)		**0,0058**

g) 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 94. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 919 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 122 ton, mientras que el egreso fue de 11 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (111 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 91%, similar a lo calculado en las etapas anteriores del proyecto.

Tabla 94. 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 (%)
919	122	11	111	91

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 µg/L), es de 241 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio

de PT en el lago (5,7929 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 140 ton/año (Tabla 95). Según nuestros cálculos, el aporte externo del lago, tanto directo como indirecto, sería 122,2 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 95. 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
5,7929	140	56

5.4.3. Lago Chapo

I) Determinación de estado trófico del lago

La Figura 196 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Chapo de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia correspondieron a un estado eutrófico. Los valores de clorofila a indicaron características de oligotrofía mayormente, salvo la estación 100394 situada en el rango de mesotrofía. El PT se comportó mayormente en estado ultra a oligotrófico, a excepción de la estación 101332 considerada eutrófica, mientras que el NT presentó rangos mayoritariamente de ultraoligotrófico.

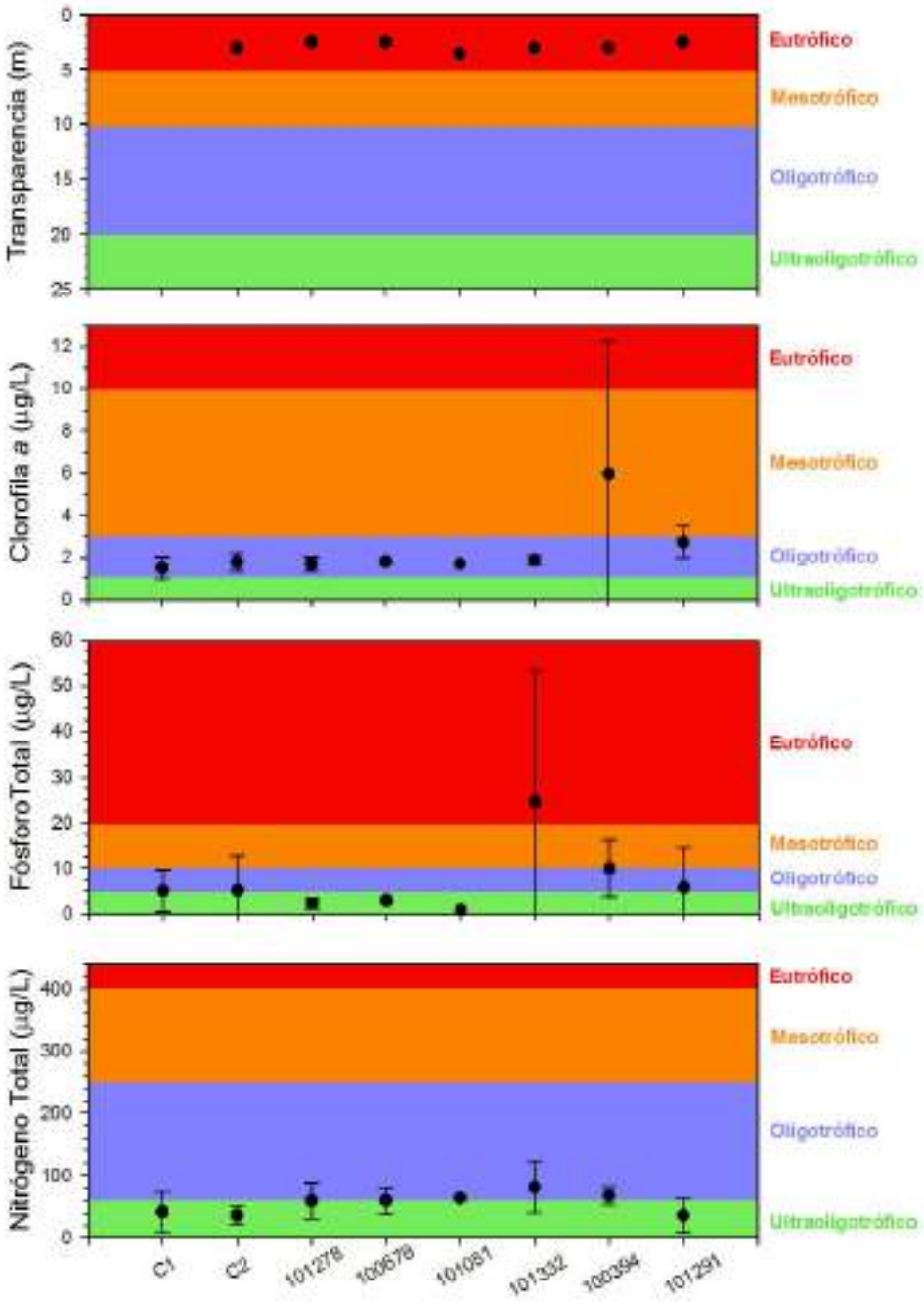


Figura 196. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila a (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Chapo.

Comparación histórica de parámetros de trofía (transparencia, clorofila a, PT y NT) en el lago Chapo

La concentración de clorofila a disminuyó en el tiempo, desde mesotrofía en la I etapa a oligotrofía en la III etapa, salvo la estación 100394 con valores que indicaron un estado de mesotrofía, mientras que el parámetro de transparencia indicó claramente una tendencia a la eutrofización en el tiempo. Durante la I y II etapa del proyecto, el PT presentó valores considerados como ultra a oligotrófico, mientras que en la III etapa se registraron valores meso a eutróficos, específicamente en los centros 101332 y 100394, ubicados en la parte occidental del lago. En tanto, el NT indicó un estado ultra a oligotrófico en el tiempo (Tabla 96).

Tabla 96. Revisión de Indicadores de trofía (transparencia, clorofila a, fósforo total y nitrógeno total) para la I, II y III etapa del proyecto, en el lago Chapo.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	Nitrógeno Total (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		Transparencia (m)	Época muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
I etapa	C1	0-250	77,1	5,4	6,0	0,0	5,3	0,6	8,5	Primavera 2012
	C2	0-290	72,1	6,8	6,0	1,0	5,1	1,7	6	
	101278	0-40								
	100678	0-190	84,2	8,9	6,0	0,0	5,2	0,0	9	
	101051	0-250	79,6	17,5	6,0	0,0	5,5	0,0	7,5	
	101332	0-80	75,9	5,5	6,0	1,0	3,8	1,0	8	
	100394	0-20	65,6	2,7	5,5	1,0	6,1	1,2	6	
	101291	0-80	72,1	5,2	7,3	2,7	5,1	1,3	7,5	
II etapa	C1	0-250	60,0	12,0	5,0	1,0	0,9	0,2	5	Otoño 2014
	C2	0-290	79,0	17,0	5,0	1,0	1,7	0,1	6	
	101278	0-40								
	100678	0-190	57,0	16,0	5,0	2,0	2,0	2,0	6	
	101051	0-250	54,0	11,0	5,0	2,0	1,7	1,7	7	
	101332	0-80	56,0	23,0	9,0	4,0	1,3	0,7	6	
	100394	0-20	55,0	10,0	5,0	2,0	0,8	0,6	4	
	101291	0-80	40,0	5,0	4,0	1,0	1,3	0,3	5	
III etapa	C1	0-250	41,8	31,8	5,1	4,5	1,5	0,5		Primavera - Verano 2015
	C2	0-290	36,4	14,1	5,2	7,5	1,8	0,4	3	
	101278	0-40	59,0	29,4	2,3	1,2	1,7	0,3	2,5	
	100678	0-190	59,3	21,5	3,0	0,0	1,0	1,1	2,5	
	101051	0-250	63,5	2,1	1,0	1,0	1,4	0,3	3,5	
	101332	0-80	80,8	40,6	24,5	29,0	1,8	0,2	3	
	100394	0-20	67,7	15,1	10,0	6,2	6,0	6,3	3	
	101291	0-80	36,0	27,8	5,8	8,8	2,7	0,7	2,5	

II) Estimación del Balance hidrológico

Para la estimación de entradas de agua, vía escorrentía, se utilizó la metodología de la Curva Número, en donde se calculó para las 43 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 1 estación de monitoreo del MOP (Estación Chapo) del año 2014. Para estimar la evaporación del lago se promediaron los datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, de los últimos 11 años.

En cuanto al caudal del efluente, se obtuvieron los caudales diarios del año 2014 de la Represa de Canutillar, ubicada en el único sitio de descarga del lago.

Por tanto, el balance hidrológico anual del lago Chapo es el siguiente (Tabla 97):

Tabla 97. Balance hidrológico del lago Chapo.

Balance hidrológico lago Chapo		km³/año
Entradas	Ríos	0,645
	Precipitación	0,113
	Total entradas	**0,758**
Salidas	Efluente Canutillar	1,788
	Evaporación Lago	0,497
	Total salidas	**2,285**
	Drenaje profundo	-1,527
	Variación reserva	0

De acuerdo al balance hidrológico, se observa que estaría saliendo más agua de lo que entra, lo que se asocia al manejo de aguas que estaría haciendo la represa. De acuerdo a ello, el tiempo de renovación teórica del volumen del lago Chapo calculado es 9 años. Según la tabla anterior, el caudal de salida es mayor al caudal de entrada, lo que se asocia específicamente a la central Hidroeléctrica de Canutillar, lo que conllevado a una disminución significativa del nivel del agua del lago.

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

a) Uso de suelo en la cuenca del lago Chapo

Las figuras 197 y 198 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Chapo durante el 2015, predominando principalmente el bosque nativo (88%), seguido por el suelo desnudo (6%).

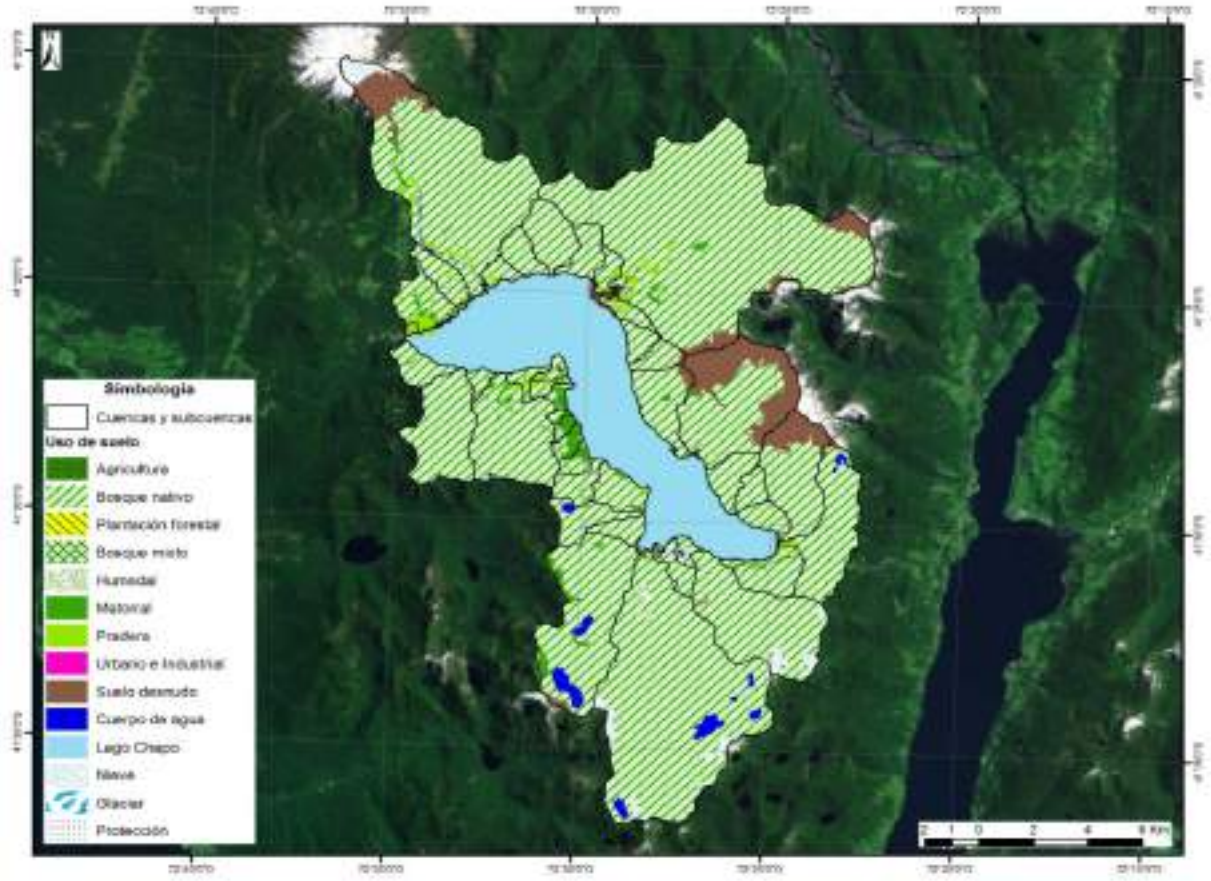


Figura 197. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Chapo y sus respectivos usos de suelo.

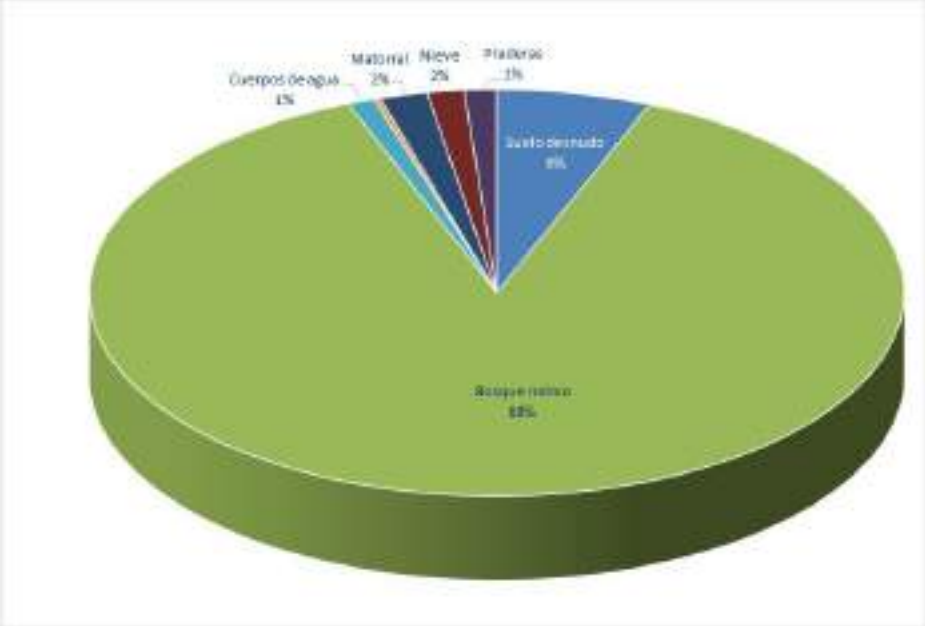


Figura 198. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Chapo.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 43 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 98). 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 Chapo. El mayor aporte de PT lo registró el bosque nativo (2,9 ton/año), seguido del suelo desnudo (2,77 ton/año) (Figura 199). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).

Tabla 98. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Chapo.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0,00
Bosque nativo	2,90
Bosque mixto	0,00
Cuerpos de agua	0,06
Humedales	0,02
Matorral	0,19
Nieve	0,66
Plantación	0,00
Praderas	0,23
Precipitaciones	0,97
Suelo desnudo	2,77
Urbano	0,00
Total	**7,80**

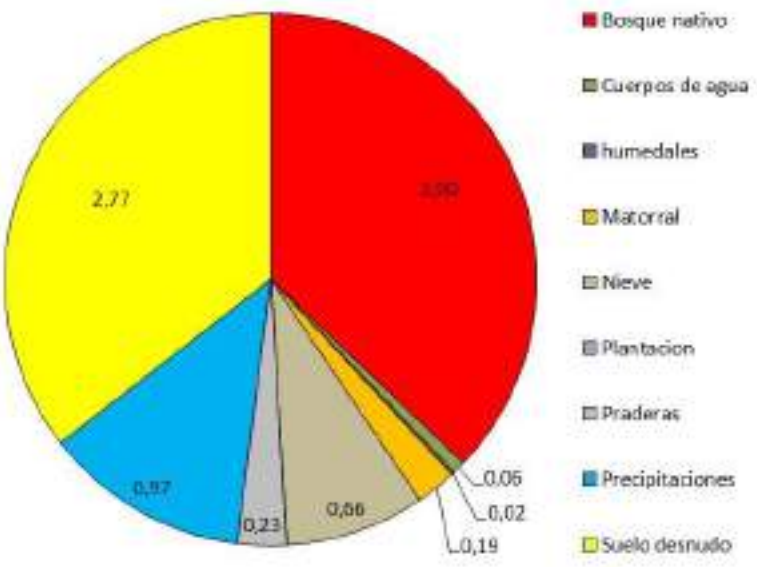


Figura 199. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

c) Evaluación de las descargas directas al lago Chapo

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Chapo, información actualizada en su mayoría al año 2014. Según información de RILES de la SISS a través del MMA, no existen descargas en este lago (Tabla 99).

Tabla 99. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Chapo.

Fuente	Carga ton/año
Población	0,5

El aporte de PT de la población de la cuenca del lago Chapo, se estimó en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 100). No se consideró el aporte de PT de los turistas, por un lado por la falta de información existente, además de caracterizarse como una zona con poca concurrencia de turismo.

Tabla 100. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Chapo.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	92	-
N° personas	-	-	368	-
N° días residencia	-	-	365	365
Carga ton P/año	0,0	0,0	0,1	0,5
		Total ton/año	**Mín.**	**0,1**
			Máx.	**0,5**

d) Estimación del Aporte de PT por centros de cultivo

En primera instancia se evaluó la producción de 6 concesiones de acuicultura en el lago Chapo. En la Figura 200 se observa la evolución en el tiempo de la producción bruta anual para el lago, la cual disminuyó abruptamente el año 2013 a 47 ton, para luego repuntar y registrar el máximo de producción histórica en el lago Chapo de 4.288 ton, y volver a decrecer con 617 ton el año 2015.

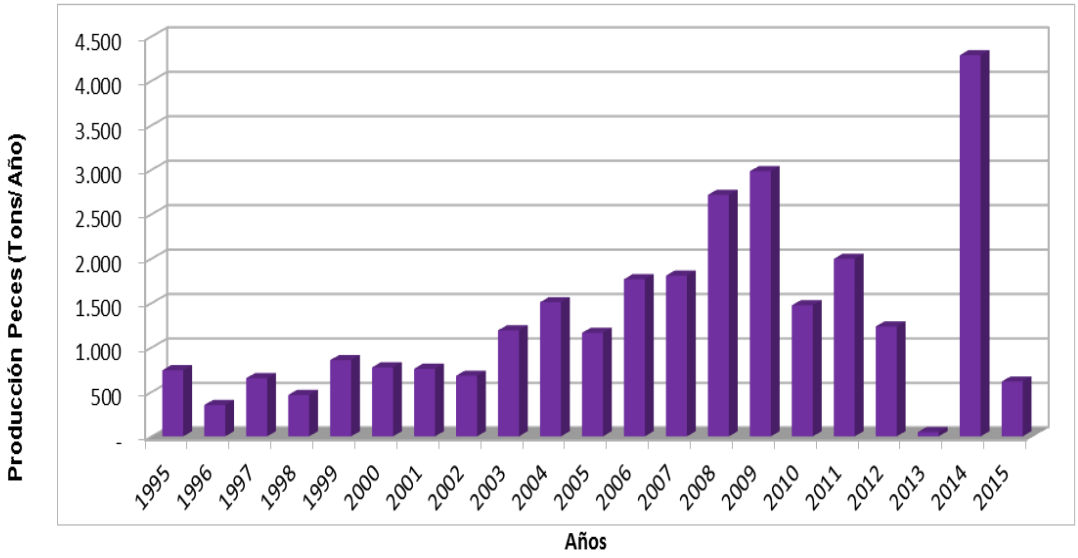


Figura 200. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Chapo.

Los centros que mayores aportes históricos registraron fueron el centro 101291 con 45%, y el centro 101051 con 28% (Figura 201).

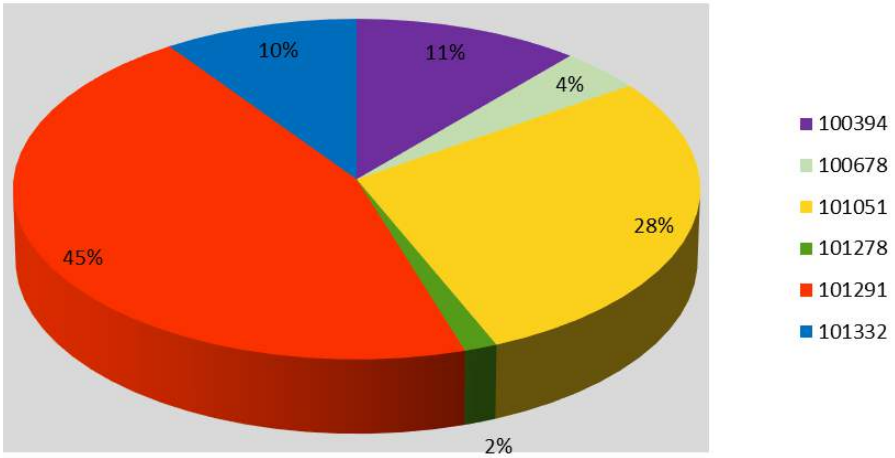


Figura 201. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Chapo.

En cuanto a los aportes de PT según producción histórica, se registró el mayor aporte durante el año 2014 con alrededor de 40 ton/año (Figura 202).

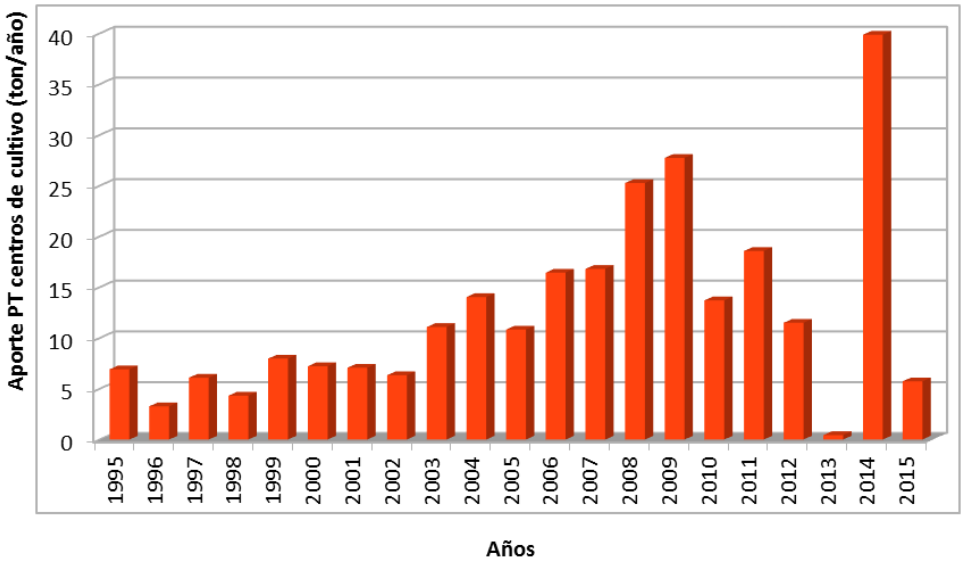


Figura 202. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Chapo.

e) Carga (sumatoria) de P al lago Chapo

En la Tabla 101 se detalla la sumatoria de las cargas estimadas de PT al lago Chapo. En total se estimó una carga total de PT de 23,9 ton/año que ingresaría al lago.

Tabla 101. Cargas de fósforo total (ton/año) según actividad o fuente.

Fuente	Carga TON P/año
Población	0,5
Balsas jaulas (2002-2015)	15,6
Afluentes/ uso de suelo	6,8
Precipitación (2014)	1,0
Carga total	**23,9**

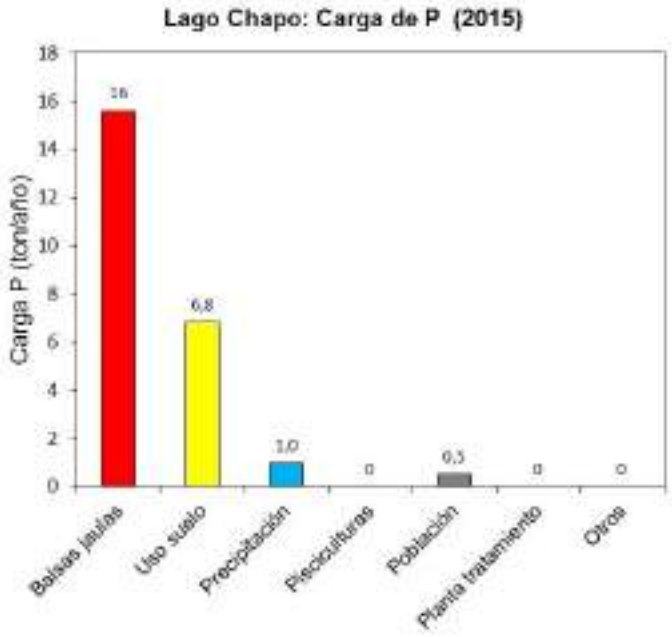


Figura 203. Carga de fósforo total (ton/año) según actividad.

A partir de los cálculos del aporte de fósforo total según actividad (Figura 204), se obtuvo que las balsas jaulas representan el mayor aporte de PT al lago con un 65,3%, seguido por el uso de suelo (28,6%).

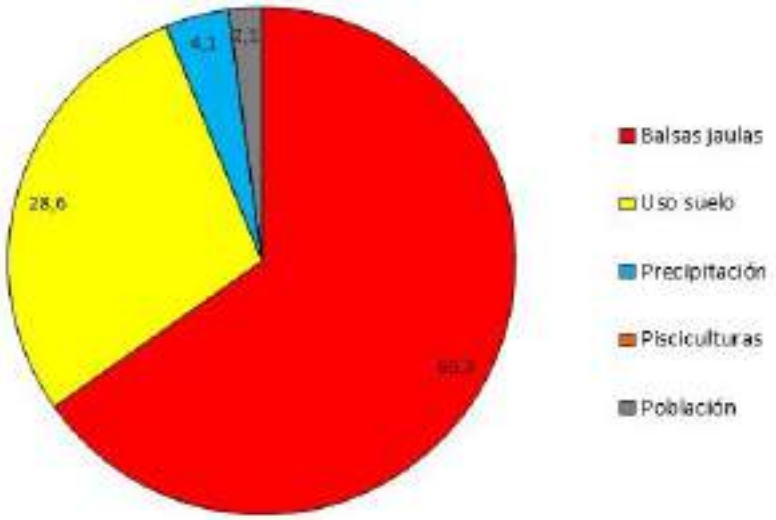


Figura 204. Contribución de fósforo total (%) según actividad.

f) Determinación del contenido de PT en el lago

Utilizando la curva hipsográfica del lago Chapo 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 Chapo obteniendo un valor de 38,2 ton/L. El valor promedio del fósforo total calculado en toda la columna de agua del lago Chapo fue 0,0055 mg/L (Tabla 102).

Tabla 102. Contenido de PT en la columna de agua del lago Chapo.

Prof. muestreo	Estrato (m)	Vol (km³) / estrato	Vol estrato (%)	PT (mg/L)	ton PT / estrato
0-10-20-30-40	0-50	1,9	27	0,0045	7,9
50-80-100	50-100	1,6	23	0,0130	6,3
100-120	100-150	1,2	18	0,0047	6,2
160	150-200	1,1	16	0,0030	3,3
200-250	200-250	0,6	9	0,0026	1,9
290	250-300	0,5	7	0,0260	12,6
	Total	**6,9**	**100**		
			Promedio (mg/L)		**0,0055**

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 (0,0055 mg/L) multiplicándolo por el caudal anual de la represa de Canutillar.

La descarga anual del efluente calculada fue de ~ 9,90 ton/año de acuerdo al siguiente cálculo:

Caudal (km³/año): 1,78822
Concentración de PT (mg/L): 0,0055
Descarga de PT (ton/año): 9,90229

g) Balance de masas y capacidad de carga del lago Chapo

El balance de fósforo total calculado para el lago Chapo se presenta en la Tabla 103. De acuerdo a este balance de nutrientes, el fósforo total existente en la columna de agua, según lo registrado en terreno, es de 38,2 ton. El ingreso, conforme a lo calculado a partir de la sumatoria de ingreso de PT al lago se registró en 24 ton, mientras que el egreso fue de 10 ton. Por tanto, las toneladas de PT restantes (14 ton) estarían eventualmente sedimentando, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de sedimentación obtenida fue 59%, mismo valor calculado en la primera etapa del proyecto.

Tabla 103. Balance de Fósforo total calculado para el lago Chapo.

PT en Columna de agua (ton)	Ingreso PT (ton)	Egreso PT (ton)	Sedimentación PT (ton)	Tasa de sedimentación (%)
38,2	24	10	14	59

Se calculó la carga crítica del lago Chapo, con un tiempo de renovación de 9 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 (9 años), la carga crítica de PT para salir del estado oligotrófico, (PT >10 µg/L), es de 30 ton/año, mientras que conforme a la concentración promedio de PT en el lago (5,5375 µg/L), el lago estaría recibiendo un aporte de 17 ton/año (Tabla 104). Según nuestros cálculos, el aporte externo del lago, tanto directo como indirecto, sería 23,9 ton/año. 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 104. Cálculo de la carga crítica y carga actual (en base a PT) del lago Chapo.

PT (µg/L)	Carga crítica PT (ton/año)	Tiempo de renovación (años)
10	30	9
5,5375	17	9

5.4.4. Lago Huillinco

I) Determinación de estado trófico

La Figura 205 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Huillinco de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. El lago Huillinco presenta características eutróficas en la mayoría de los indicadores tróficos, en transparencia, fósforo total y nitrógeno total. En tanto la clorofila en este lago indica condiciones que oscilan de ultraoligotrófico a oligotrófico.

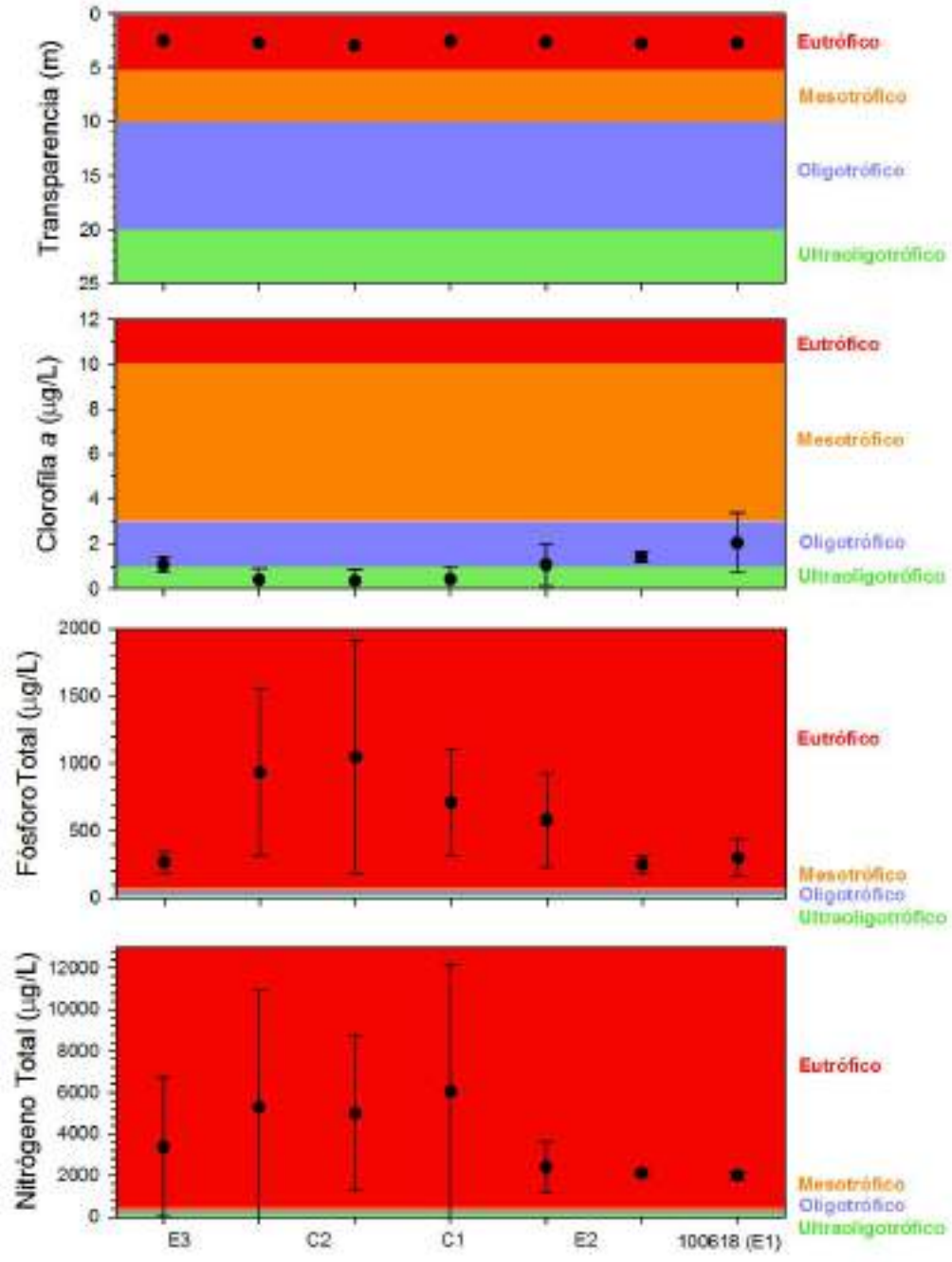


Figura 205. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Huillinco.

Tabla 105. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Huillinco.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	NH_4 (µg/L)		NO_3 (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		$P\text{-}PO_4$ (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
Campos *et al*., 1997 (FIP IT 96 54)	Centro del lago	0 - 50	1281,7	1582,6	2465,6	2318,3	4037,7	3650,6	79,1	74,3	309,2	321,7	3,9**	2,2	---	Primavera 1996-1997
		0 - 50	1340,8	1145,1	1373,7	1712,1	7542,6	6606,4	83,7	68,6	118,1	94,1	3,1**	1,5	---	Verano 1997
		0 - 50	2222,3	2057,3	4673,2	5774	7713,8	6957,3	92,6	73,2	1162,1	1576	2,9**	2,7	---	Otoño 1997
		0 - 50	1034,6	942,3	5597,6	3022,9	12694,9	9810,5	97,9	77	398,1	149,8	1,3**	1,1	---	Invierno 1997
	Balsas-Jaulas	*	249,1	244,9	1112,7	250,7	2295,1	1578,5	8,4	0,6	190	148,9	---	---	---	Primavera 1996-1997
		*	507,6	258,9	2038,5	3106,1	2460,4	2475,5	13,5	3,7	135,4	67,9	---	---	---	Verano 1997
		*	294,3	134,6	1682,7	1032	1967,6	412,3	10,9	2,5	368,6	301,7	---	---	---	Otoño 1997
		*	112,6	71,8	2369,5	1920,6	5218,8	1913,8	10,9	3,9	356,5	98,7	---	---	---	Invierno 1997
I Etapa	100617	0 - 30	18,55	13,52	---	---	2988,1	3809,1	65,2	103,6	95,1	140,6	2,9	1,4	2	Primavera 2012
	100520	0 - 40	988,43	143,47	---	---	3775,4	4571,2	98,1	162,1	140,9	165,7	3,9	1,5	2	
	C1	0 - 45	698,28	352,36	---	---	3836,9	3316,1	168,9	154,7	178,7	177,2	0,6	0,8	2	
	101212	0 - 20	< 2	---	---	---	843,5	349,5	5	0,5	46,1	57,5	1,4	0,8	1,5	
	100968	0 - 5	< 2	---	---	---	404,9	7,4	< 2		11,7	0,6	2,3	0,4	1,8	
	100616	0 - 5	4,25	---	---	---	483,1	50,6	2,7	0,5	11,9	0,2	2,1	0,4	1,5	
II Etapa	100617	0 - 30	4	1	38	54	1557	2374	10	11	30	34	0,39	0,27	2	Invierno 2015
	100520	0 - 40	10	5	9	12	3957	4626	85	118	325	519	---	---	2	
	C 1	0 - 45	10,3	4,7	47	43,5	3728,7	3037,2	102,9	119,5	111,6	104,3	0,27	0,17	2	
	101212	0 - 20	3	0,5	93	71	1118	1643	18	19	21	17	1,05	1,36	3	
	100968	0 - 5	12	14	29	4	277	112	8	3	15	2	0,25	0,36	2	
	100616	0 - 5	7	5	73	8	297	161	12	5	375	516	0,56	---	2	
III Etapa	100617	0 - 30	1241,1	2580,8	486,5	260,4	3371,6	3353,6	450,1	450,5	266,7***	81,6	1,1	0,3	2,5	Verano 2016
	100520	0 - 40	3304,7	4127	401,8	40,6	5282,0	5632,2	965,4	679,6	933,3***	618,6	0,4	0,5	2,7	
	E 18	0 - 40	3907,7	4188,2	336,3	45,3	4989,3	3710,4	1092,6	914,4	1050***	858,3	0,4	0,5	3	
	C 1	0 - 45	3301,9	3539,5	426,7	153,4	6045,6	6165,1	751,4	429,7	712,5***	398	0,4	0,6	2,6	
	101212	0 - 20	652,9	888,9	432,8	192,4	2403,8	1216,7	568,8	306	580	349,3	1,1	1,0	2,6	
	100968	0 - 5	129,4	0,9	881	111,7	2104	109,1	259,3	43,8	250***	70,7	1,4	0,2	2,8	
	100616	0 - 5	139,1	3,6	393,5	78,5	1984	180,4	339,2	147,6	300***	141,4	2,1	1,3	2,7	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10. ***Valor de fósforo total inferior a P-PO4.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Huillinco

Al considerar los resultados del lago Huillinco, se puede observar que las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total obtenidas en este estudio son muy elevadas, encontrándose dentro de los rangos anteriormente reportados (Tabla 105), presentando una condición eutrófica para ambos nutrientes. No se observa un patrón claro de los principales constituyentes, ya que varían entre los diferentes estudios realizados. Para el caso de la clorofila, esta presentó una condición mesotrófica y oligotrófica en el estudio realizado por Campos *et al*. (1997), para ir cambiando a una condición ultra-oligotrófica. En cuanto a la transparencia en todos los casos refleja una condición eutrófica.

II) Estimación del balance de nutrientes

a) Uso de suelo en la cuenca

Las figuras 206 y 207 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Huillinco durante el 2015, predominando el bosque nativo (67%), las praderas (17%), y los matorrales (14%).

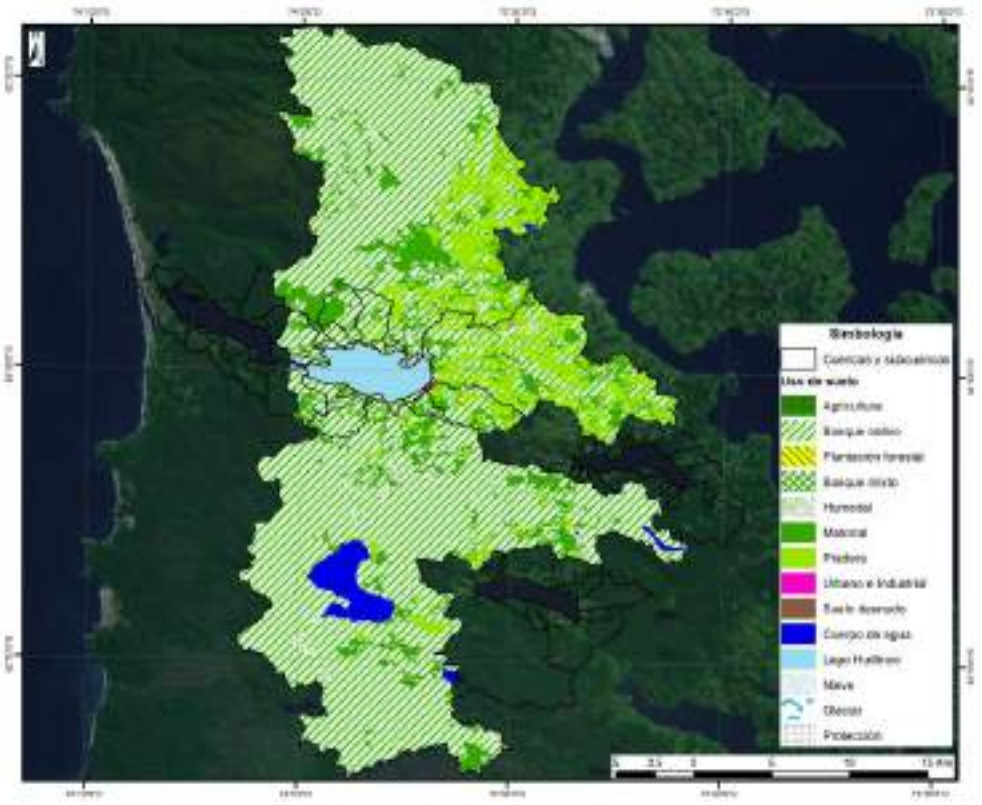


Figura 206. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Huillinco y sus respectivos usos de suelo.

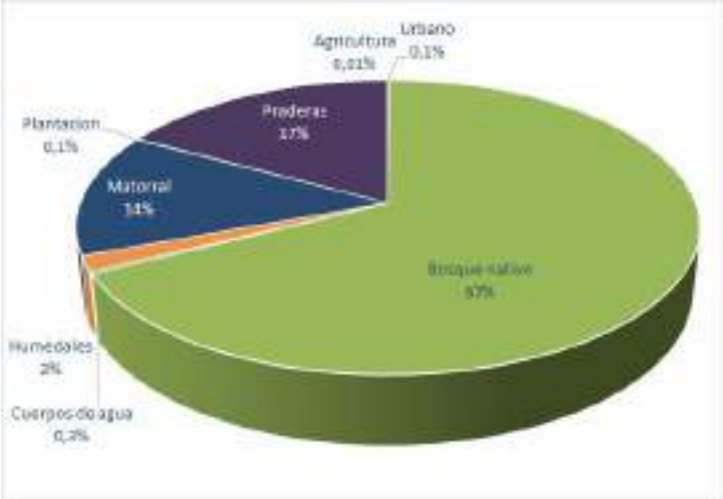


Figura 207. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Huillinco.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 38 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 106).

Tabla 106. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Huillinco.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0
Bosque nativo	4,17
Bosque mixto	0
Cuerpos de agua	0,03
Humedales	0,18
Matorral	2,59
Nieve	0
Plantación	0,01
Praderas	5,88
Precipitaciones	0,40
Suelo desnudo	0
Urbano	0,21
Total	**13,47**

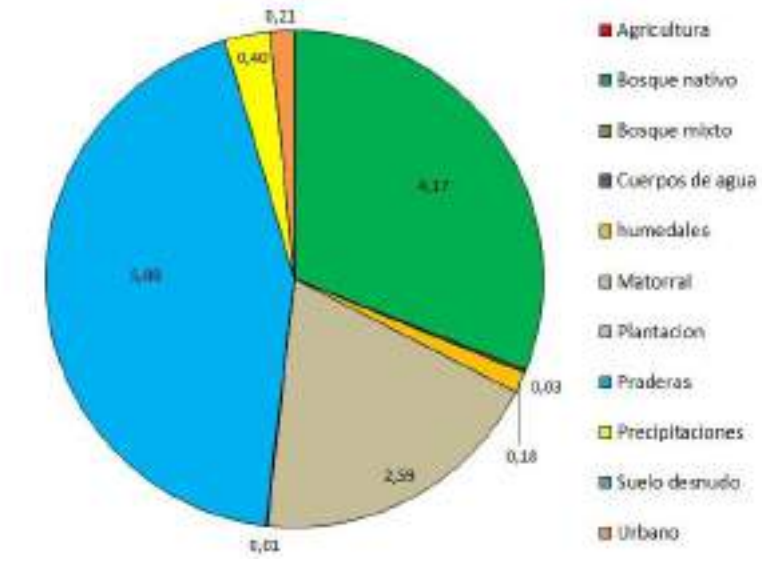


Figura 208. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

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 Huillinco. El mayor aporte de PT lo registró el bosque nativo (4,17 ton/año), seguido por las praderas (5,88 ton/año), y matorrales (2,59 ton/año) (Figura 208). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Huillinco, información actualizada en su mayoría al año 2014. Según información de RILES de la SISS a través del MMA, no hay empresas que descarguen en el lago (Tabla 107).

Tabla 107. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Huillinco.

Fuente	Carga ton/año
Población	0,257
PISCICULTURAS	0

Tabla 108. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Huillinco.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	132	-
N° personas	26673	-	528	-
N° turistas diciembre 2014	3813	-		
N° turistas enero 2015	8879	-		
N° turistas febrero 2016	13981	-		
N° días residencia	2	2	365	365
Carga ton P/año	0,04	0,2	0,14	0,72
		Total ton/año	**Mín.**	**0,18**
			Máx.	**0,92**

La estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Huillinco, se realizó en base a la metodología de Campos (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 la población permanente como para los turistas (Tabla 108). El número de turistas se obtuvo de SERNATUR del 2015.

d) Estimación del aporte de PT por centros de cultivo

Se muestra en la Figura 209 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.

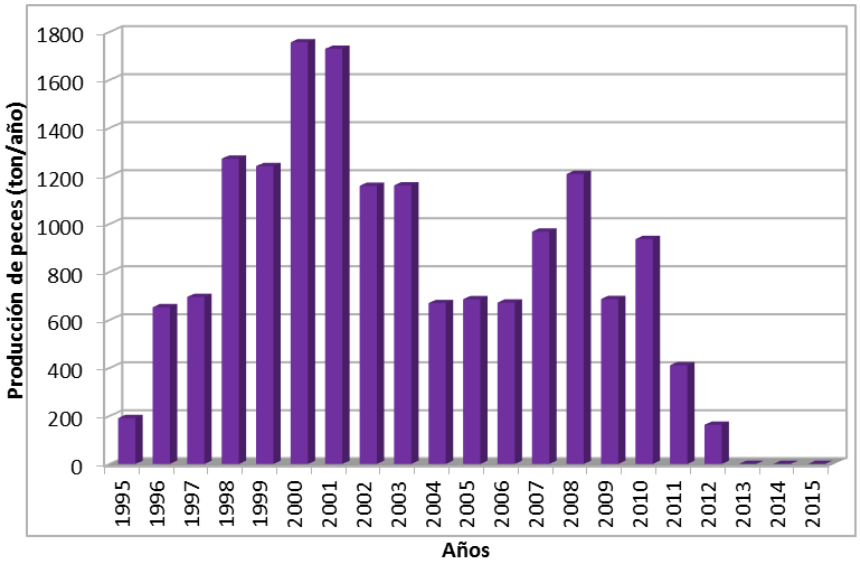


Figura 209. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Huillinco.

A nivel histórico, de las 5 concesiones otorgadas, los centros 100617, 100520, y 100968 registraron los mayores aportes a la producción (34%, 29% y 26% respectivamente) (Figura 210).

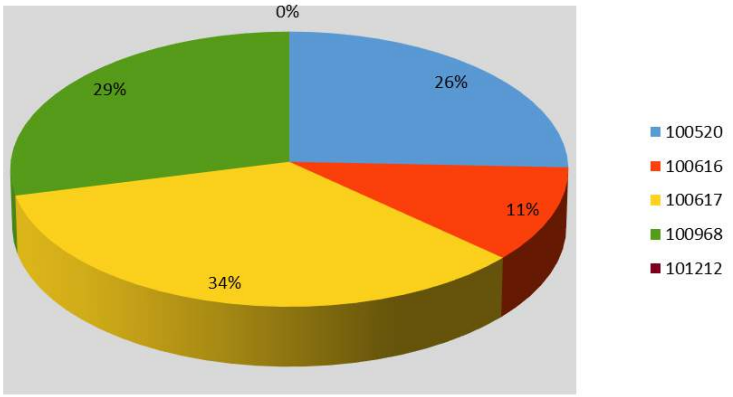


Figura 210. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Huillinco.

La máxima carga de fósforo total se presenció entre los años 2000-2001, estimando un aporte de 16 ton/año (Figura 211).

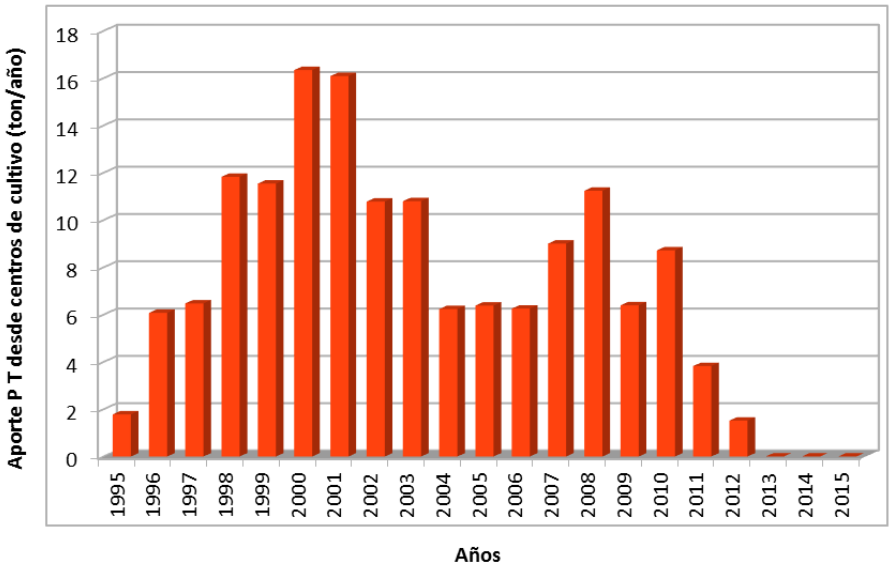


Figura 211. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Huillinco.

5.4.5. Lago Tarahuín

I) Determinación de estado trófico

La Figura 212 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Tarahuín de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia presentaron características de eutrofia; la clorofila a entre ultra-oligo y mesotrofía; el PT se encontró dentro del rango ultra a oligotrófico mayormente, mientras que el NT se caracterizó por presentar condiciones de ultraoligotrofía.

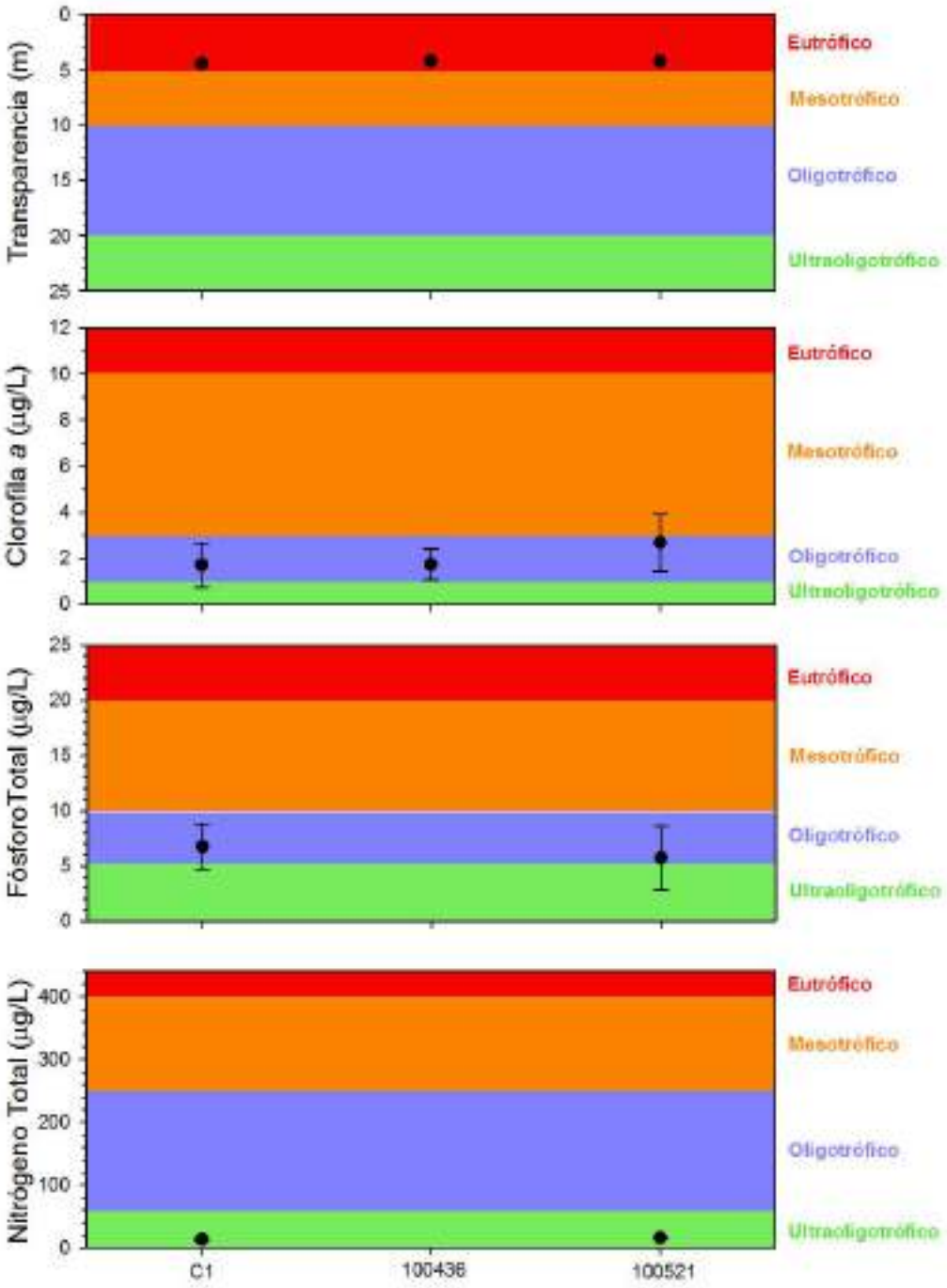


Figura 212. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Tarahuín.

Tabla 109. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tarahuín.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	NH_4 (µg/L)		NO_3 (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		$P\text{-}PO_4$ (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
Campos *et al*., 1997 (FIP IT 96 54)	Centro del lago	0 - 35	4,4	7,5	119,5	100,2	136,2	41	2,2	0,9	23,3	13,1	5,2**	2,7	---	Primavera 1996-1997
		0 - 35	16,3	43,5	228,5	177,7	167	93,4	4,3	3,4	15,4	8,8	6,3**	1,6	---	Verano 1997
		0 - 35	8,6	7,1	150,6	79,1	270,8	216,3	5,7	7,5	33,1	18	10**	3,2	---	Otoño 1997
		0 - 35	7,7	7,7	119	59,5	213,5	64,8	1,5	0,8	22	2,7	11,9**	1,8	---	Invierno 1997
	Balsas-Jaulas	*	21,3	17,4	76,9	39,2	182	105,6	2,4	1,9	14,3	2,7	---	---	---	Primavera 1996-1997
		*	28,7	23,4	131,9	100	278,7	66	6,7	8,1	18,8	9,8	---	---	---	Verano 1997
		*	35	29,5	744,5	448,6	500,7	363	7,2	2	66,6	36	---	---	---	Otoño 1997
		*	37,1	18,3	118,2	83,3	277,3	148,5	5,3	3,1	32,2	5,1	---	---	---	Invierno 1997
I Etapa	C1	0 - 30	10,17	2,96	519,7	279,3	322,3	23,8	9,3	8,6	27,1	6,7	4,2	1,9	3,5	Primavera 2012
	100436	0 - 10	9,53	3,35	445,3	131,5	372	29,1	6,5	4,4	25,9	1,2	5,8	1,1	3,5	
	100521	0 - 30	8,5	1,29	535,2	309,9	352,1	54,2	9	10,8	27,1	7,4	4,3	2,1	3,5	
II Etapa	C 1	0 - 30	1	---	357	330	232	50	15	2	16	2	3,6	0,8	5	Invierno 2015
	100436	0 - 10	2	2	245	55	211	70	12	1	17	4	2,6	0,2	4	
	100521	0 - 30	1	1	254	170	205	57	---	---	16	2	2,6	0,1	5	
III Etapa	C 1	0 - 20	20	0	< 3	---	13,5	2,9	1,96	0,8	6,8	2,1	1,7	1,0	4,5	Verano 2016
	100436	0 - 10	---	---	---	---	---	---	---	---	---		1,7	0,7	4,2	
	100521	0 -15	20	0	< 3	---	16,3	0,5	1,71	0,94	5,8	2,9	2,7	1,2	4,2	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Tarahuín

Al observar las concentraciones de nitrógeno total, se puede apreciar valores y estado trófico bastantes diferentes a los reportados anteriormente (Tabla 109), obteniendo concentraciones un orden de magnitud menor a lo reportado con anterioridad, oscilando de condiciones eutróficas a ultraoligotrófica. Similar situación se detecta con el fósforo total, obteniendo en este estudio valores más bajos a los antes reportados, pasando de un estado eutrófico a oligotrófico. De la misma forma ocurre con la clorofila, encontrándose en una condición oligotrófica en todas las estaciones evaluadas, mientras que estudios pasado presentó un estado meso-eutrófico. Para el caso de la transparencia en todos los estudios realizados se reportó una condición eutrófica para este parámetro.

II) 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 36 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 1 estación del INIA (estación Tara) del año 2014. Para estimar la evaporación del lago se promediaron los datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, de los últimos 11 años.

Los resultados de medición de caudal para luego realizar el balance hidrológico se muestran en la Tabla 110.

Dado que la isla de Chiloé cuenta con escasa información fluviométrica disponible, y que ésta no representa directamente el comportamiento de un desagüe de lago, se optó por comparar dos enfoques para determinar las curvas de variación estacional de caudales medios mensuales para el desagüe del lago Tarahuín: el método de Transposición de Cuencas, utilizando como cuenca conocida la de la estación 'Río Vilcún en Belbén', y el método de Turc, utilizando información meteorológica de la estación 'Tara, Chonchi'.

Las curvas obtenidas mediante ambos enfoques presentaron diferencias importantes, presentando las del método de Transposición de Cuencas una amplitud significativamente mayor. Los resultados obtenidos para ambos métodos fueron contrastados con datos de aforos estivales realizados por la Dirección General de Aguas, así como con el caudal medio anual determinado para el punto de interés en el marco de un proyecto FIP (Campos *et al*., 1996). Ambos antecedentes muestrearon mayor coherencia con los caudales determinados mediante el método de Transposición de Cuencas.

Tabla 110. Balance hidrológico del lago Tarahuín.

Balance hidrológico lago Tarahuín		km³/año
Entradas	Ríos	0,072
	Precipitación	0,012
	Total entradas	**0,084**
Salidas	Efluente río Tarahuín	0,068
	Evaporación Lago	0,005
	Total salidas	**0,074**
	Drenaje profundo	0,010
	Variación reserva	0

En este contexto, y ante la falta de información más fidedigna, se seleccionaron las curvas de caudales medios mensuales obtenidas mediante el método de Transposición de Cuencas. Sin embargo, se recomienda realizar mediciones sistemáticas que permitan validar o ajustar estas curvas, según corresponda.

En base a la información disponible, se observó que el río Tarahuín en el desagüe del lago del mismo nombre presenta un régimen pluvial, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de otoño e invierno, para años normales, húmedos y secos. El caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Tarahuín fue de 2,17 m^3/s.

II) Estimación del balance de nutrientes y Uso de suelo en la cuenca

a) Uso de suelo en la cuenca

Las figuras 213 y 214 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Tarahuín durante el 2015, predominando el bosque nativo (66%), las praderas (21%), y los matorrales (10%).

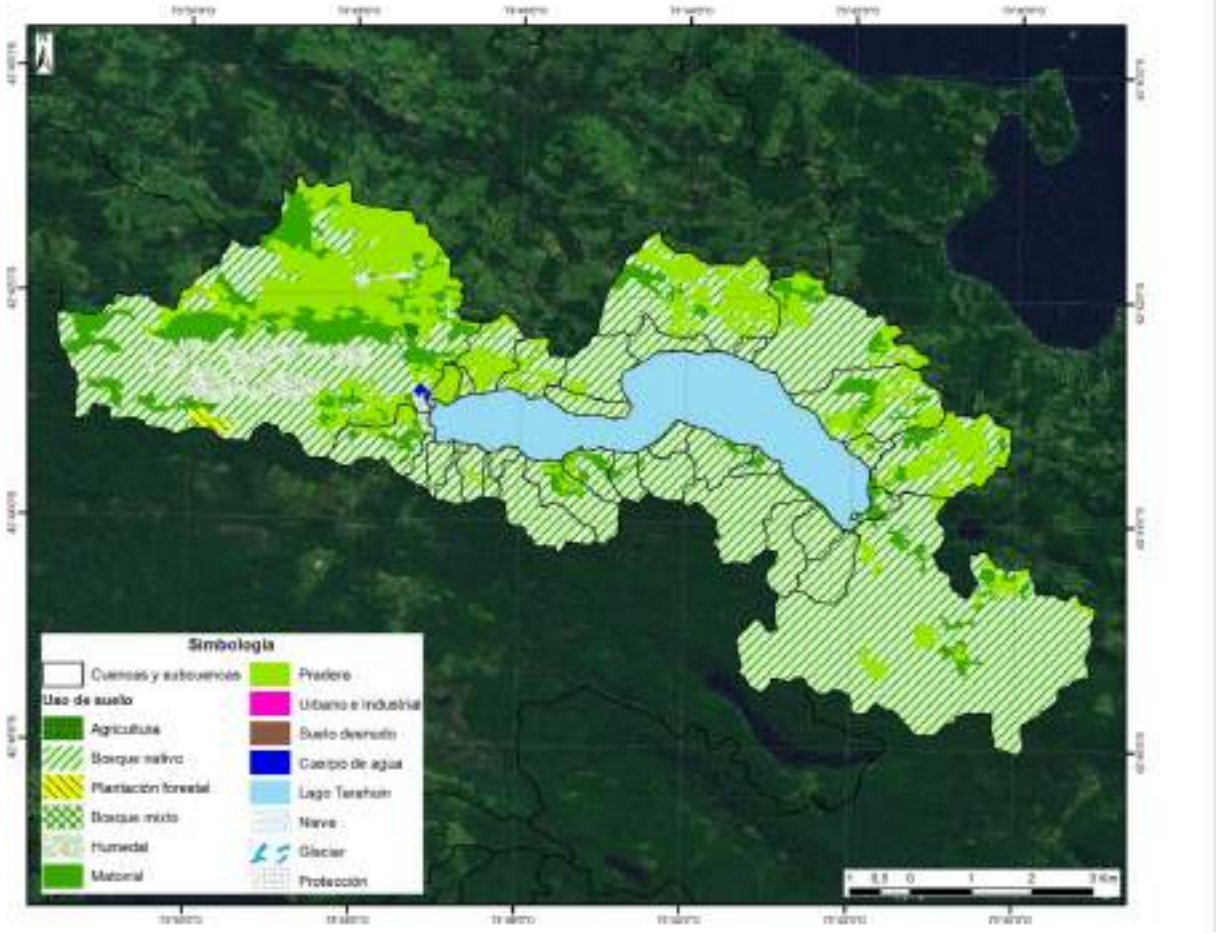


Figura 213. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Tarahuín y sus respectivos usos de suelo.

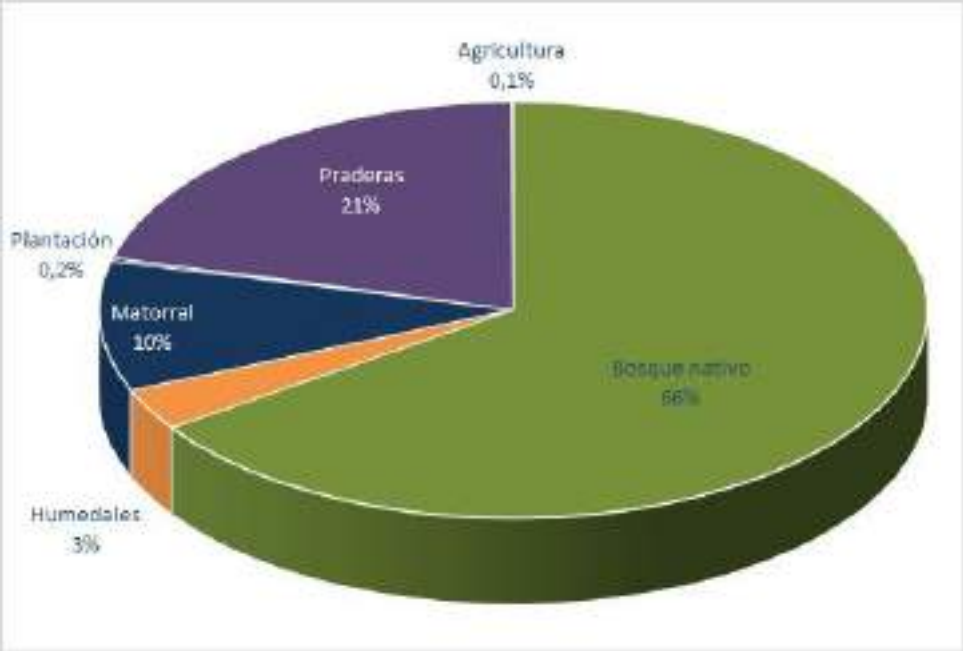


Figura 214. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Tarahuín.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

Tabla 111. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Tarahuín.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0,1
Bosque nativo	0,29
Bosque mixto	0
Cuerpos de agua	0
Humedales	0,03
Matorral	0,14
Nieve	0
Plantación	0
Praderas	0,52
Precipitaciones	0,11
Suelo desnudo	0
Urbano	0
Total	**1,08**

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 36 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 111). 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 Natri. El mayor aporte de PT lo registraron las praderas (0,52 ton/año), seguido por el matorral (0,29 ton/año) (Figura 213). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).

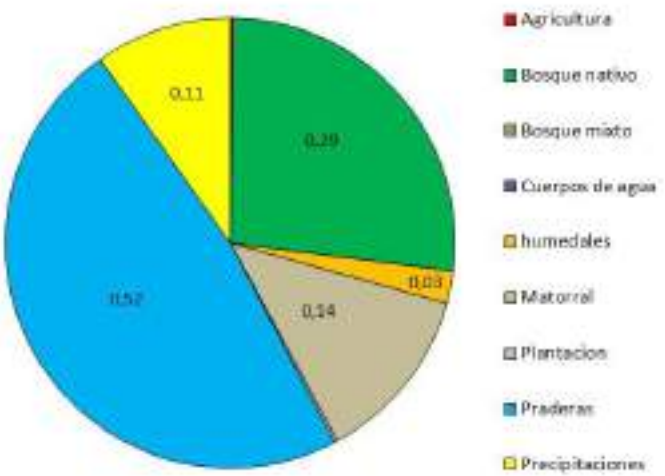


Figura 213. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Tarahuín, información actualizada en su mayoría al año 2014. Según información de RILES de la SISS a través del MMA, no hay empresas que descarguen en el lago (Tabla 112a).

Tabla 112a. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Tarahuín.

Fuente	Carga ton/año
Población	0,257
PISCICULTURAS	0

La estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Tarahuín, se realizó en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 112b). No se consideró el número de turistas, dada la falta de información.

Tabla 112b. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Tarahuín.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	47	-
N° personas	-		188	-
N° dias residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,0	0,0	0,05	0,26
		Total ton/año	**Mín.**	**0,05**
			Máx.	**0,26**

d) Estimación del aporte de PT por 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 214). Posteriormente, no existen registros de producción salmonícola en el lago.

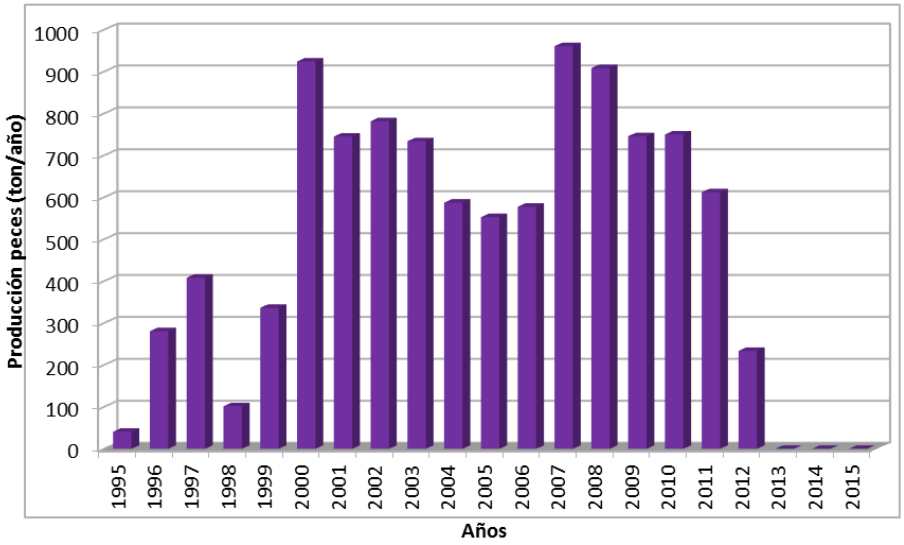


Figura 214. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Tarahuín.

De las dos concesiones otorgadas para el lago Tarahuín, el centro 100521 fue que mayormente aportó a la producción histórica con un 91% (Figura 215).

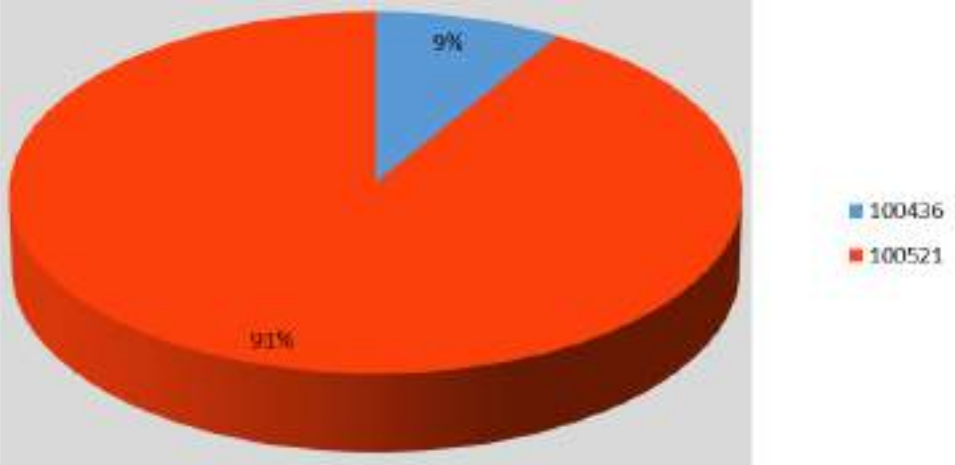


Figura 215. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Tarahuín.

Las máximas cargas de fósforo total por parte de la industria salmonera se obtuvieron durante el año 2000, 2007 y 2008 con un aporte mayor a 8 toneladas cada año de P. 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 216).

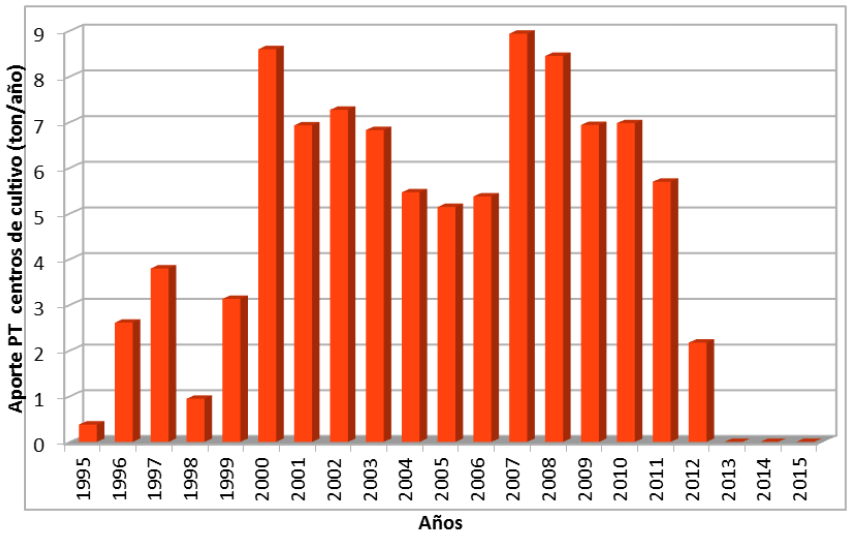


Figura 216. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Tarahuín.

La mayor producción acuícola en el lago se registró entre los años 2000 a 2011, aportando entre 5 a 8,8 toneladas de PT al año.

5.4.5. Lago Natri

I) Determinación de estado trófico

La Figura 217 presenta los valores obtenidos por estaciones de muestreo en el lago Natri de los indicadores tróficos: transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L), y su evaluación trófica se indica según los colores de cada celda. Los resultados de transparencia presentaron características de mesotrofía a eutrofía. En el caso de la clorofila a, ésta presentó en general condiciones mayormente de oligotrofía con tendencias a la mesotrofía. En tanto, el PT en el sitio C1 presentó un valor promedio correspondiente a eutrófico, así también la estación 100600. Los centros 100437 y 100427 registraron valores promedios situados como oligotróficos. Todos los valores de NT fueron caracterizados para condiciones oligotróficas.

Comparación histórica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Natri

El estado trófico para nitrógeno total obtenido en este estudio es oligotrófico, concordando con lo obtenido por Campos *et al*. (1997) para igual época del año (Tabla 113). Variando los principales constituyentes entre amonio y nitrato, a diferencia de lo reportado anteriormente, donde el nitrógeno total está compuesto principalmente por nitrato y/o nitrógeno orgánico. Para el caso del fósforo total, presenta una condición mesotrófica y eutrófica, a excepción de dos estaciones de muestreo de este estudio (100437 y 100427), el fósforo orgánico es un importante constituyente del fósforo total. En el caso de la clorofila, en este estudio se observó un estado oligotrófico y mesotrófico, sin embargo no se observó un patrón entre los diferentes estudios. Con respecto a la transparencia se observa una condición mesotrófica, a diferencia de lo reportado con anterioridad y para otros lagos chilotes, que presentan un estado eutrófico.

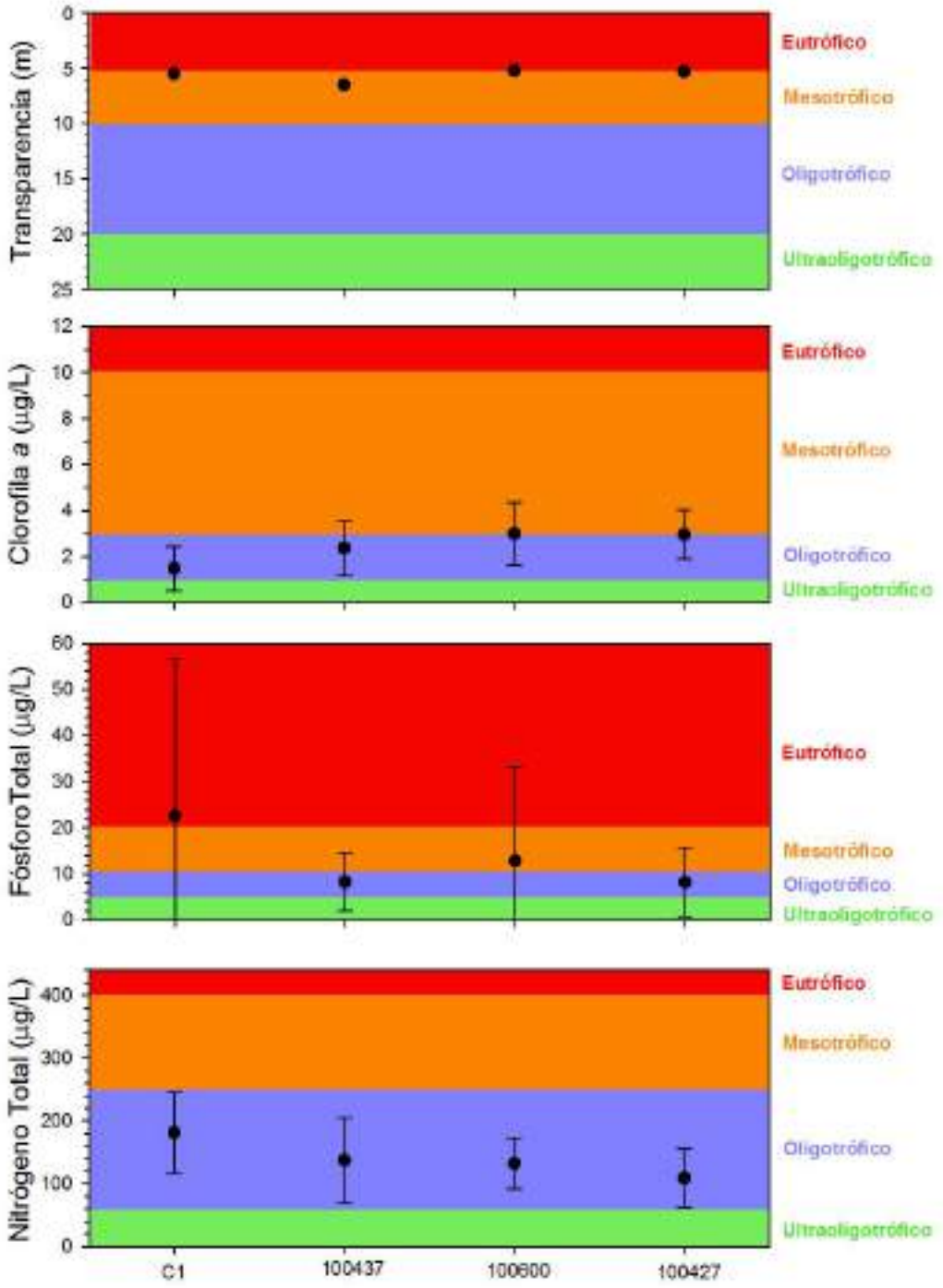


Figura 217. Indicadores tróficos: Transparencia (m), clorofila *a* (µg/L), fósforo total (µg/L) y nitrógeno total (µg/L) en lago Natri.

Tabla 113. Revisión bibliográfica de NH_4, NO_3, nitrógeno total, $P\text{-}PO_4$, fósforo total, clorofila a y transparencia en el lago Natri.

Ultraoligotrófico Oligotrófico Mesotrófico Eutrófico

Etapas de proyecto	Lugar de muestreo	Medición en prof. (m)	NH_4 (µg/L)		NO_3 (µg/L)		Nitrógeno Total (µg/L)		$P\text{-}PO_4$ (µg/L)		Fósforo Total (µg/L)		Clorofila (µg/L)		Transparencia (m)	Época de muestreo
			Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds	Promedio	Ds		
Campos *et al*., 1997 (FIP IT 96 54)	Centro del lago	0 - 55	16,6	16,5	506	273,3	254,8	97,5	3,6	3,4	18,1	5,6	12	8,8	---	Primavera 1996-1997
		0 - 55	3,3	2,1	536,6	369,2	247,6	71,7	5,7	3,7	16,9	5,3	21,8	15,2	---	Verano 1997
		0 - 55	14,5	10,2	468,4	291,8	354,6	89,5	5,1	3,2	30,1	26	28,1	31,2	---	Otoño 1997
		0 - 55	3	2,4	752,8	64,6	354	76,9	8,6	0,9	29,2	13	3,1	0,8	---	Invierno 1997
	Balsas-Jaulas	*	59,5	50,9	215,7	162,7	364,9	72,7	1,5	0,1	23,9	4,7	---	---	---	Primavera 1996-1997
		*	23,8	25,3	82,4	71,4	244,7	94,8	3,7	2,2	32,4	8,5	---	---	---	Verano 1997
		*	30,8	19,9	497,2	158,9	313,5	65,5	3,9	1,5	20,9	1	---	---	---	Otoño 1997
		*	19,6	6,4	730,8	61,8	338	56,6	8,1	4,9	23	7,1	---	---	---	Invierno 1997
I Etapa	C 1	0 - 55	15,45	11,3	1286,4	297	494,3	26,7	14,2	7,8	25,2	4,5	4,5	3,6	3,5	Primavera 2012
	100437	0 - 30	18,29	9,92	1171,3	325,8	469,7	40,5	12,4	7,9	26,5	6,2	3,3	0,8	4	
	100600	0 - 30	35,42	24,5	991,6	391,3	491,1	6,3	9,5	8,4	24,8	2,4	6,6	0,3	2,5	
	100427	0 - 25	24,34	17,6	1043,8	282	489,6	8,6	8,7	5,5	24,4	1,4	4,7	2,8	1,5	
II Etapa	C 1	0 - 55	3	2	683	245	310	39	9	2	11	1	0,48	0,25	4	Invierno 2015
	100437	0 - 30	3	2	733	446	526	369	---	---	187	310	0,51	0,09	5	
	100600	0 - 30	2	2	482	332	357	24	---	---	11	1	0,35	0,07	4	
	100427	0 - 25	7	7	823	212	322	25	---	---	10	3	0,33	0,09	3	
III Etapa	C 1	0 - 55	90	37	569,9	246,2	181,6	64,0	5,5	3,1	22,6	34,0	1,5	1,0	5,5	Verano 2016
	100437	0 - 30	95,7	45	483,3	205,1	136,9	67,9	6,1	4,6	8,3	6,3	2,4	1,2	6,5	
	100600	0 - 30	123,3	33,3	334,7	187,6	132,2	40,6	14,9	22	12,8	20,4	3,0	1,4	5,2	
	100427	0 - 25	108,3	32,5	212,7	120,7	109,0	46,7	5,7	6,6	8,2	7,4	3,0	1,1	5,3	

*Mediciones realizadas en muestra integrada de superficie, medio y fondo. **Rango de profundidad 0-10.

II) 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 30 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 1 estación del INIA (estación Tara) del año 2014. Para estimar la evaporación del lago se promediaron los datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, de los últimos 11 años.

Los resultados de medición de caudal para luego realizar el balance hidrológico se muestran en la Tabla 114.

Dado que la isla de Chiloé cuenta con escasa información fluviométrica disponible, y que ésta no representa directamente el comportamiento de un desagüe de lago, se optó por comparar dos enfoques para determinar las curvas de variación estacional de caudales medios mensuales para el desagüe del lago Natri: el método de Transposición de Cuencas, utilizando como cuenca conocida la de la estación 'Río Vilcún en Belbén', y el método de Turc, utilizando información meteorológica de la estación 'Tara, Chonchi'.

Las curvas obtenidas mediante ambos enfoques presentaron diferencias importantes, presentando las del método de Transposición de Cuencas una amplitud significativamente mayor. Los resultados obtenidos para ambos métodos fueron contrastados con datos de aforos estivales realizados por la Dirección General de Aguas, así como con los caudales medidos entre noviembre de 1996 y octubre de 1997 en el marco de un proyecto FIP. Éstos últimos se encuentran mayoritariamente dentro de los valores esperados según el método de Transposición de Cuencas, no así de los esperados según Turc.

Tabla 114. Balance hidrológico del lago Natri.

Balance hidrológico lago Natri		**km³/año**
Entradas	Ríos	0,107
	Precipitación	0,012
	Total entradas	**0,119**
Salidas	Efluente río Natri	0,076
	Evaporación Lago	0,006
	Total salidas	**0,081**
	Drenaje profundo	0,038
	Variación reserva	0

En este contexto, y ante la falta de información más fidedigna, se han seleccionado las curvas de caudales medios mensuales obtenidas mediante el método de Transposición de Cuencas. Sin embargo, se recomienda realizar mediciones sistemáticas que permitan validar o ajustar estas curvas, según corresponda.

En base a la información disponible, fue posible determinar que el río Natri en el desagüe del lago del mismo nombre presentó un régimen pluvial, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de otoño e invierno, para años normales, húmedos y secos. El caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Natri fue de 2,4 m^3/s.

IV) Estimación del balance de nutrientes

a) Uso de suelo en la cuenca

Las figuras 218 y 219 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Natri durante el 2015, predominando el bosque nativo (82%).

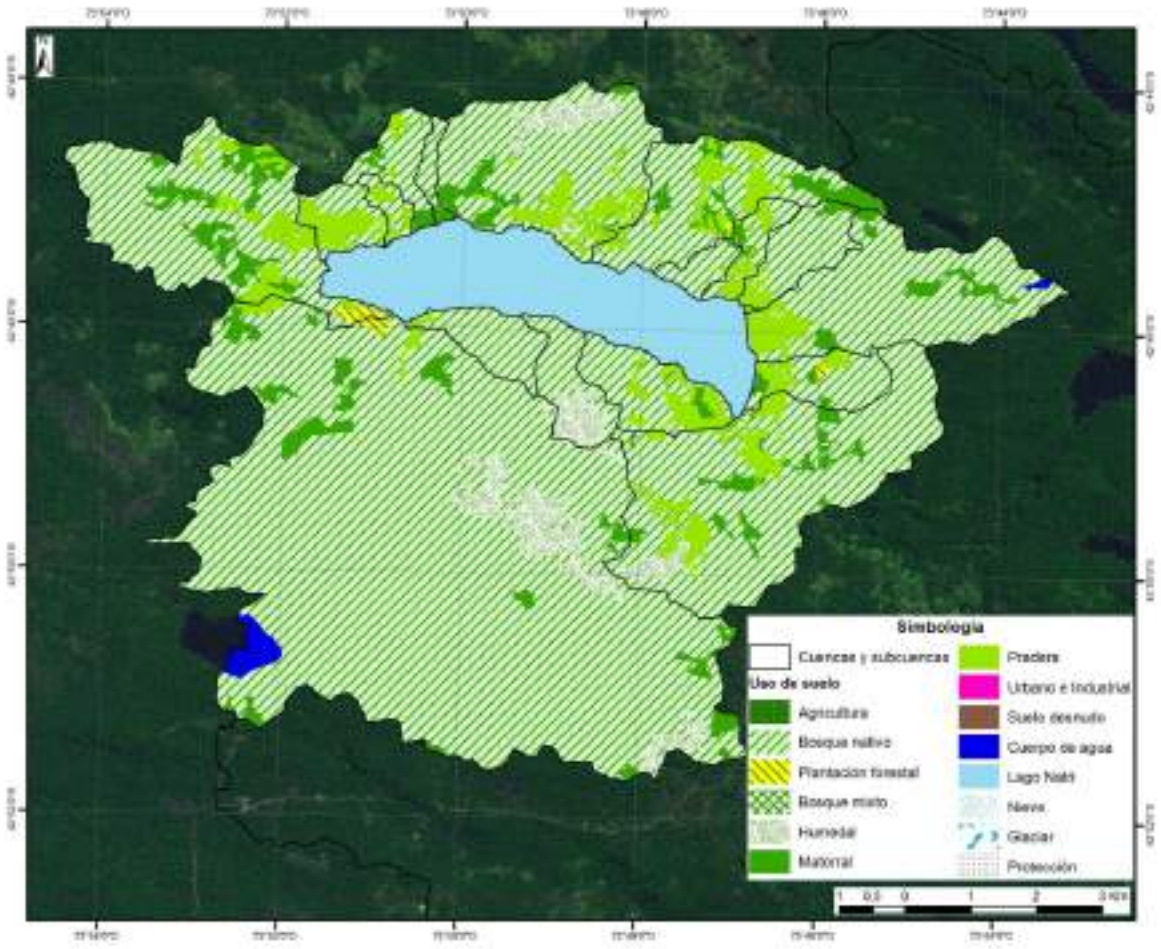


Figura 218. Mapa de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del lago Natri y sus respectivos usos de suelo.

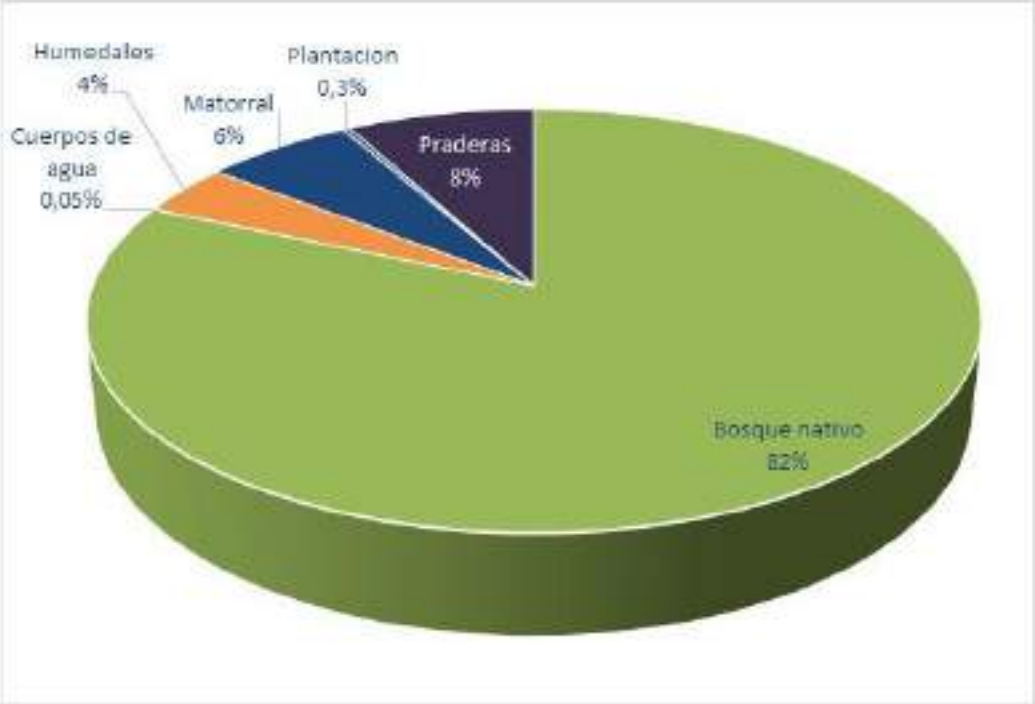


Figura 219. Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Natri.

b) Aporte de nutrientes por afluentes

En base al uso de suelo, índices de exportación y el caudal de cada una de las 30 subcuencas, se calculó el aporte de PT según uso de suelo para todas las subcuencas (Tabla 115). 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 Natri. El mayor aporte de PT lo registró el bosque nativo (0,54 ton/año), seguido por las praderas (0,29 ton/año), y matorrales (0,13 ton/año) (Tabla 115 y Figura 220). Cabe recordar, que los índices de exportación utilizados corresponden a estudios desarrollados en otras cuencas (Rupanco y Panquipulli mayormente).

Tabla 115. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo de la cuenca del lago Natri.

Usos de suelo	P-total (ton/año)
Agricultura	0
Bosque nativo	0,54
Bosque mixto	0
Cuerpos de agua	0
Humedales	0,05
Matorral	0,13
Nieve	0
Plantación	0
Praderas	0,29
Precipitaciones	0,10
Suelo desnudo	0
Urbano	0,01
Total	**1,11**

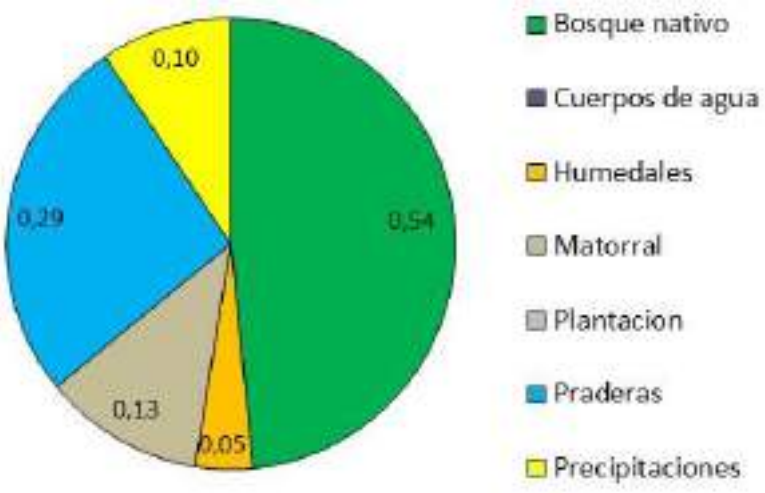


Figura 220. Aporte de fósforo total (ton/año) según uso de suelo.

c) Evaluación de las descargas directas

A continuación se detalla la carga de PT (ton/año) por descarga directa o de fuente puntual al lago Natri, información actualizada en su mayoría al año 2014. Según información de RILES de la SISS a través del MMA, no hay empresas que descarguen en el lago (Tabla 116).

Tabla 116. Aportes directos de fósforo total (ton/año) al lago Natri.

Fuente	Carga ton/año
Población	0,4
PISCICULTURAS	0

La estimación del aporte de PT de la población de la cuenca del lago Natri, se realizó en base a la metodología de Campos (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 para la población permanente (Tabla 117). No se consideró el número de turistas, dada la falta de información.

Tabla 117. Estimación de aporte de fósforo total (ton/año) de acuerdo a la población existente en la cuenca del lago Natri.

	TURISTAS		POBLACIÓN PERMANENTE	
	Pozo séptico	**Descarga directa**	**Pozo séptico**	**Descarga directa**
g PT/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N° viviendas franja 200m	-	-	81	-
N° personas	-		324	-
N° días residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,0	0,5	0,09	0,44
		Total ton/año	**Mín.**	**0,09**
			Máx.	**0,44**

d) Estimación del aporte de PT por centros de cultivo

Actualmente en el lago Natri, fue el único de los lagos chilotes 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, para luego el año del 2015 no existir declaración de producción (Figura 221).

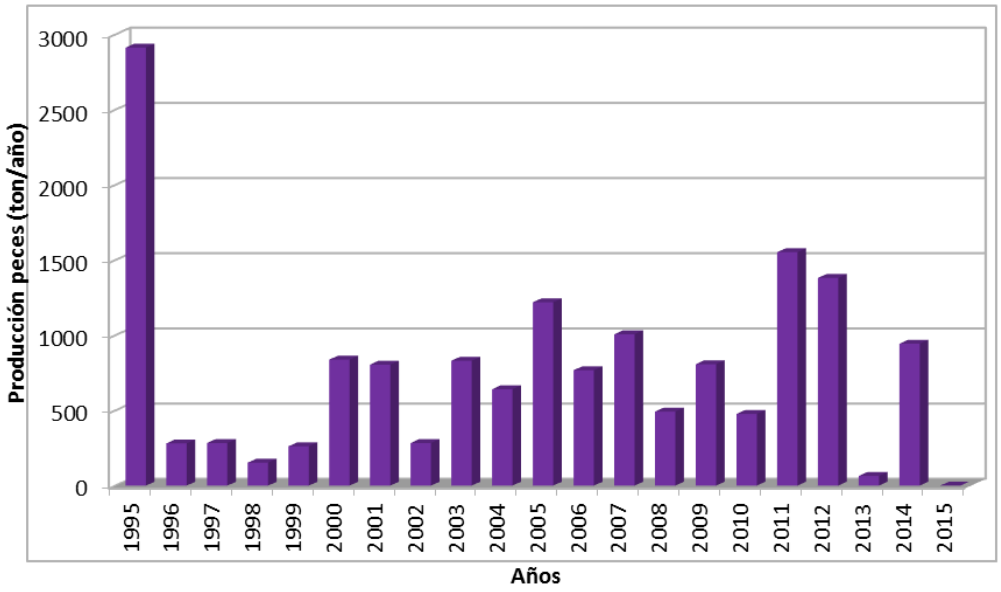


Figura 221. Producción histórica de peces (ton/año) en el lago Natri.

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 (43%), seguido por 100437 (31%) (Figura 222).

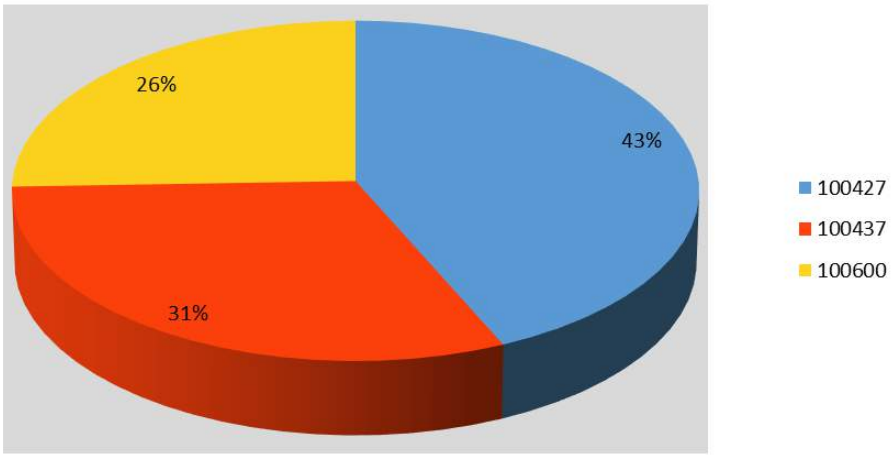


Figura 222. Producción histórica (%) por centro de cultivo en el lago Natri.

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 223).

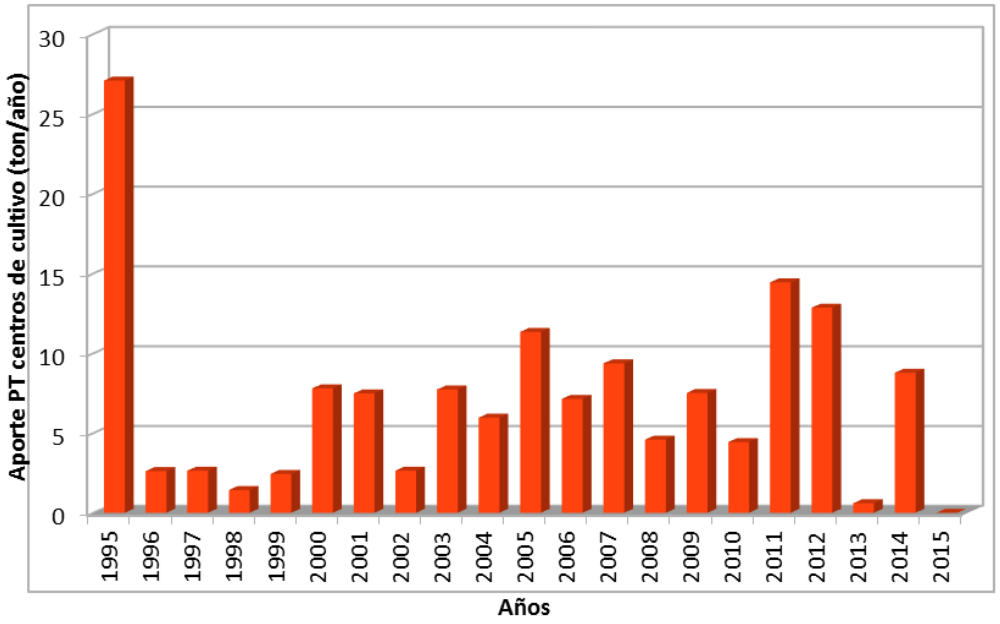


Figura 223. Aporte de PT (ton/año) desde centros de cultivo en el lago Natri.

5.5. Objetivo específico 6.

Difundir la información generada en el proyecto a través de Seminarios y/o Talleres.

Para cumplir con este objetivo los principales resultados de este proyecto serán dados a conocer a la comunidad científica, técnica, administrativa estatal y privada, junto con los usuarios o stakeholders de las cuencas en estudio a través de un seminario de difusión. Este seminario será realizado el en el transcurso del mes de junio de 2016. Para ello se confeccionarán diversos materiales de difusión referentes al proyecto, los que serán difundidos entre el público asistente.

Por otra parte se presentó un trabajo referente al proyecto en el congreso de Limnología. La Dra. en Cs. Ambientales Claudia Pérez Sáez participó como expositora en el XII Congreso Sociedad Chilena de Limnología, organizado por la facultad de ingeniería y la facultad de ciencias de la universidad católica de la Santísima Concepción. Entre los días 28, 29 y 30 de octubre de 2015. El trabajo que se expuso fue: “Caracterización ambiental y estado trófico de los Lagos húmicos”.

6. DISCUSIÓN

Después de los antecedentes revisados establecidos dentro de la reunión de expertos en Limnología realizada en el marco de la segunda etapa del proyecto, durante junio del año 2015, se establecieron acuerdos entre ellos, la validación del uso del modelo OECD 1982 para la estimación de capacidad de carga de lagos monomícticos templados. Además de ratificar que el modelo mencionado no era recomendable para estimar capacidad de carga de los lagos coloreados, como fue el caso de los lagos chilotes, ya que para ellos no se cumplen los supuestos del modelo (Pesse *et al*., 2015), por ello actualmente, en el objetivo 4 y 5 no se estableció la capacidad de carga del lago Cucao y de los lagos Huillinco, Natri y Tarahuín, respectivamente, sin embargo se mejoró la caracterización ambiental.

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 4 años (lagos Chapo y Puyehue) y 56 años (lago Llanquihue), relacionándose 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 chilotes, dado a que por aproximadamente dos décadas no se realizaron estudios en éstos, se considera primordial seguir con la línea de investigación desarrollada en la actualidad por el IFOP, ejecutando 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, chilotes, y patagónicos:

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), baja concentración de nutrientes y baja producción primaria (Campos *et al*., 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 tercer estudio, mientras que para los lagos Ranco y Puyehue, fue el segundo estudio.

1) 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 dentro de este lago, hay 3 pisiculturas funcionando en la cuenca.

Este lago fue monitoreado en otoño (abril del 2015), observándose una clara termoclina a partir de los 40 m de profundidad en todas las estaciones de estudio, mientras que la columna de agua se mostró bien oxigenada, disminuyendo gradualmente en profundidad. En la etapa previa de este proyecto, el lago fue estudiado en primavera, observándose en general la creación de una incipiente termoclina. Estos regímenes térmicos observados concordaron con los reportados para lagos monomícticos templados (Wetzel, 2001; Campos *et al*, 1984). De acuerdo a los compuestos nitrogenados, el mayor aporte en cuanto a concentración está dado por el nitrato, que fluctúan verticalmente en la columna de agua, mientras que los perfiles de ortofosfato y fósforo total se visualizaron más homogéneos en la columna de agua, salvo en las estaciones 101955 y 100972 con altas concentraciones de PT. Ambas estaciones se encuentran en la parte oriental del lago, en bahías más protegidas, además de presentar menor profundidad.

En el fitoplancton los grupos dominantes fueron las Diatomeas, y en menor grado las Cianofíceas. Los taxa más representativos de este grupo fueron *Aulacoseira spp* y *Cyclotella* spp. También se registró la presencia de Cianobacterias del genero *Dolichospermum* spp. (Ex *Anabaena*). Los taxas encontrados, concordaron con los reportados en estudios anteriores en en este lago (Campos *et al*., 1984, Woelfl *et al*., 2011).

De acuerdo a Reynolds *et al.,* 2002, el ensamble fitoplanctónico estaría indicando un ambiente con condiciones de mezcla de columna de agua (grandes diatomeas *Asterionella y Aulacoseira*), con remoción de fondo (presencia de *Trachellomonas sp*) y un ambiente rico en nutrientes y materia orgánica (*Cryptomonas sp*), así también el dinoflagelado *Ceratium hirundinella* se relacionaría con lagos meso eutróficos (Boltovskoy *et al*., 2003). Por otro lado se registraron las Cianobacterias *Dolichospermum* spp y *Phormidium* spp ambos géneros han sido descritos como potencialmente nocivos, ya que algunas especies de este género son productoras de cinotoxinas. La densidad de *Dolichospermum sp.,* actualmente reportada podría ser considerada con bajo riesgo de exposición de acuerdo a USEPA (2009). Aun considerando que actualmente el riesgo sería bajo, existe el riesgo potencial de una floración si se dan las condiciones de estabilidad de columna de agua, radiación y nutrientes principalmente. Será importante en el futuro cercano evaluar la posible presencia de cianotoxinas en las aguas de este lago, ya que el agua potable de Futrono se extrae del lago Ranco, entre otros usos consuntivos y no consuntivos. No se encontró *D. geminata* aun cuando este lago se encuentra dentro del área plaga FAN de esta microalga.

De acuerdo con Campos *et al*., 1984 este lago es vulnerable, producto de la gran cantidad de organismos mixótrofos y elevada biomasa fitoplanctónica que registró. Este autor concuerda afirmando que este lago es vulnerable a aumentar su estado a mesotrófico.

En cuanto al sedimento, éste estuvo compuesto mayormente por arena y fango, similar a lo obtenido en la Segunda etapa del proyecto. Los mayores valores de materia orgánica se registraron en la estación 101955, lo que eventualmente se podría asociar a una zona aledaña a un centro de cultivo sin funcionamiento, de baja profundidad. El potencial redox se encontró dentro del límite de aceptabilidad, mientras que el pH registró valores ácidos (< a 7).

En relación a la trofía, los parámetros indicaron una condición ultraoligotrófica a oligotrófica en la mayoría de los casos, a excepción de la estación 101955 (E2), la cual presentó elevadas concentraciones de fósforo, alcanzando una condición eutrófica, estado que también fue registrado en la etapa anterior de este estudio. La transparencia registrada en esta etapa (oligotrófico) fue diferente a la obtenida en la etapa anterior (mesotrófico), esta diferencia puede estar asociada a las diferentes épocas del año en que se realizaron los muestreos como a la elevada abundancia fitoplanctónica registrada en la segunda etapa, la cual fue entre 34 y 94% la abundancia relativa mayor a la obtenida en esta etapa. De acuerdo al estudio realizado por Woelfl *et al* (2009), en donde se estableció una base de datos en base al análisis de datos recopilados de la DGA, se obtuvo que los parámetros de NT y PT presentaron algunos problemas, por lo que no se incluyó en la presente discusión. Mientras que el estudio realizado por Woelfl *et al* 2011 indicó que los valores de los principales parámetros descriptores de trofía se caracterizaron como ambiente mayormente oligotrófico.

En relación a la carga actual y carga crítica de fósforo total estimada para el lago Ranco, se obtuvo que la carga actual (167 ton) no sobrepasó la carga crítica (350 ton), 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. Similares resultados fueron obtenidos en el estudio realizado por la UACH (2011). El mayor aporte de P según actividad o fuente fue el uso de suelo con un aporte de 62% de P, principalmente dado por el bosque nativo, praderas y suelos desnudos. Por lo tanto se considera necesario no aumentar el ingreso de nutrientes al lago, e idealmente disminuir su ingreso actual. Lo que mayormente difiere del estudio realizado por la UACH (2011) con la presente etapa del proyecto, es el nivel de detalle sobre la delimitación de las subcuencas y sus respectivos usos de suelo de la cuenca del lago Rango, caracterizándose en la actualidad 162 subcuencas.

2) Lago Puyehue

Al igual que en los lagos araucanos antes mencionados, la salmonicultura es una de las principales actividades realizadas en este lago. De acuerdo a lo aportes de PT según actividad, se obtuvo que las pisciculturas estarían contribuyendo con un 37,8%, seguido por el uso de suelo (34,2%) y las balsas jaulas (21,6%), por tanto en conjunto, la industria salmonicultora en la cuenca del lago Puyehue estaría aportando alrededor de 59% de PT. Según datos oficiales de producción desde el año 1995 al 2015, la producción en este lago posee una tendencia al aumentado en el tiempo.

Este lago fue evaluado en otoño, registrándose leve disminución de la temperatura a mayor profundidad, sin presencia de termoclina. Similares resultados se obtuvieron en la segunda etapa del proyecto, cuya evaluación fue realizada en primavera. Los regímenes térmicos observados concordaron con los reportados para lagos monomícticos templados (Wetzel, 2001; Campos, 1984).

Durante el otoño - invierno de 2015, la composición fitoplanctónica del lago Puyehue estuvo mayoritariamente compuesta por Diatomeas, dentro de este grupo se observó la mayor riqueza y abundancia, siendo la Diatomea *Cyclotella spp.* la especie más abundante. Estos antecedentes concordaron con lo reportado anteriormente, para lagos monomícticos, al final del periodo de estratificación, donde las pequeñas diatomeas se alimentan de los nutrientes en descenso (Tilman *et al.*, 1982). No se encontró *D. geminata* en la columna de agua.

En cuanto al sedimento, en general éste presentó valores altos de arena. Se exceptuaron algunos puntos de estudio de la estación 100205, en donde se registró una mezcla granulométrica de arena-grava. Si bien, esta estación presenta bajas profundidades, se encuentra situada en la zona en donde confluye las aguas del río Gol-gol al lago, lo que pudiera generar mayor energía hidrodinámica. En general, los valores de redox fueron mayores a 50mV, y la materia orgánica inferior al 5%.

En relación a la trofía del lago Puyehue, y de acuerdo a lo obtenido en las etapas del presente proyecto, el promedio de los valores de nitrógeno presentó en su mayoría características de oligotrofía, mientras que el fósforo total tendió a la mesotrofía. La clorofila a, durante la II etapa, registró concentraciones dentro del rango de la ultraoligotrofía, mientras que en la III etapa se incrementaron las concentraciones tendiendo a la oligotrofía. Al igual que en la transparencia, se observó un aumento de trofía en el tiempo, registrándose durante la III etapa valores dentro del rango de la mesotrofía, lo cual pudiera estar relacionado a la mayor abundancia celular del fitoplancton. Martinez *et al*., 2014 indicó que este lago se mantendría dentro de la condición oligotrófica producto de la baja biodisponibilidad de nitrógeno, pero que la concentración de fósforo en la columna de agua es suficiente para sustentar mayor producción biológica. Se recomienda mantener bajos aportes de fósforo, incluida actividades de acuicultura, vertidos industriales y domiciliarios. Además de realizar un manejo de los fertilizantes agrícolas especialmente en verano para evitar el vertimiento directo producto de la escorrentía e infiltración de grandes cantidades de nitrógeno biodisponible.

Según las estimaciones de carga actual y carga crítica de fósforo total para el lago Puyehue, se obtuvo que la carga actual calculada (108 ton) es cercana a la carga crítica (115 ton) considerado para un PT de 10 µg/L. Dado el tiempo que requiere el fósforo total para alcanzar su equilibrio, se considera necesario disminuir el ingreso actual de nutrientes en este lago. Cabe recordar que el P calculado en la columna de agua fue 9,4 µg/L. De acuerdo a estudios realizados por Soto (2002) durante 8 años (1992 – 1999), se reportó un valor promedio de 8,1 µg/L de PT. Campos *et al.* 1992, realizó un estudio de capacidad de carga en donde concluyó que el lago debía contener 95,5 ton de PT con un valor promedio de 7,58 µg/L en la columna de agua. Sin embargo, en la primera parte del

proyecto se evaluaron dichos resultados, constatando que el lago tendría en promedio 14,3 µg/L según las mediciones realizadas correspondiendo a 180,2 ton de P. De allí se concluye que el lago contiene prácticamente el doble de P que debería tener de acuerdo al modelo predictivo aplicado considerando en este escenario la carga de los afluentes como único ingreso de P al lago.

3) Lago Rupanco

La salmonicultura en balsas jaulas fue una de las actividades más importantes desarrolladas en este lago. De acuerdo a datos oficiales entre los años 1995 al 2015, la producción ha aumentado considerablemente, con un récord histórico durante el año 2014 con ~13.000 ton. El lago Rupanco es el segundo lago, después del lago Llanquihue, que ha sustentado la mayor biomasa de salmónidos a nivel nacional.

En el presente estudio, las variables físico-químicas del agua fueron evaluadas en otoño, periodo en que comienzan los procesos de mezcla en la columna de agua, registrándose en los sitios evaluados una leve disminución de la temperatura a mayor profundidad. De igual forma se comportó el oxígeno, con valores cercanos a 5 mg/L en profundidad. Durante la segunda etapa del proyecto, el lago fue monitoreado durante el invierno del 2014, en periodo de mezcla, por tanto, tampoco se registró estratificación térmica de la columna de agua.

Las diatomeas fueron el grupo más abundante y diverso, *Aulacoseira spp y Cyclotella spp* fueron los géneros más abundantes, seguido por la Crisofícea *Dynobyon* spp. De acuerdo a Reynolds *et al.* (2002), *Aulacoseira* suele presentarse en lagos en periodo de mezcla de la columna de agua y con provisión de nutrientes, así también la presencia de *Cyclotella* spp podría indicar que las grandes diatomeas ya consumieron buena parte del sílice, favoreciendo el crecimiento de esta pequeña diatomea (Tilman *et al*., 1982).

En cuanto al sedimento, al igual que lo obtenido en la Segunda Etapa del proyecto, las 7 estaciones muestreadas tendieron a conformarse principalmente por arena, seguido por el fango, y en general escasa contribución de grava, a excepción del Centro 100522 con mayor contribución de grava. En relación a la materia orgánica, el sedimento del centro 100081 presentó altos porcentajes de materia orgánica, centro que además reportó una contribución histórica del 25% de la producción salmonícola de este lago.

En relación al estado trófico del lago Rupanco, y de acuerdo a lo reportado por Woelfl *et al* (2013) en la I etapa del proyecto, existen datos históricos disponibles desde 1980, provenientes de los estudios realizados por Campos *et al.* (1992), IFOP-UACH (1986), UACH (1992), Soto *et al.* (2002), Woelfl *et al.* (2007), León *et al.* (2011). En su mayoría los datos de fósforo total se consideraron dudosos, por lo que solamente se consideró de estos estudios las variables de transparencia y clorofila a. De acuerdo a estos datos, el lago ha mantenido su estado ultraoligotrófico. Sin embargo, a partir de la I etapa del proyecto se observó que la transparencia tendió a la oligotrofía, con algunos valores dentro del rango de la mesotrofía en la II y III etapa. Con respecto a la evolución del nitrógeno y fósforo total en las etapas del presente proyecto, se reportaron valores de nitrógeno dentro del rango de la

ultraoligotrofía a oligotrofía. En tanto, el fósforo registró valores considerados dentro del rango de la oligotrofía durante la I etapa, con tendencias a la mesotrofía en la II etapa, y valores oscilantes entre la ultraoligotrofía a eutrofía en la III etapa.

De acuerdo a la carga total de P por año, se calculó un ingreso de 65,4 ton en donde el mayor aporte fue generado por las balsas jaulas con un 55,7%, seguido por el uso de suelo (31,5%). Similares resultados los obtuvo el estudio realizado por Campos *et al.* (1994-1995), calculando un aporte anual de 66,78 ton/año. Según las estimaciones de carga actual y carga crítica de fósforo total, se obtuvo que el valor de la carga actual calculada (155 ton/año) es muy cercana a la carga crítica (163 ton/año), y dada la alta producción de acuicultura que en este lago se genera, se considera necesario realizar un seguimiento de estas variables a fin de evaluar con mayor precisión el riesgo de un aumento en su trofía. En lo que respecta el balance hídrico, en el presente proyecto (III etapa del proyecto), las salidas de agua (3,477 km³/año) fueron superiores a las de entradas (3,016 km³/año), hipotetizándose que la cuenca del lago estaría recibiendo aguas por otras vías, probablemente subterráneas, o que la metodología de la CN debe ser en mayor detalle cuando exista un gran número de cascadas con caudales menores, y que no son divisadas de acuerdo a los usos de suelos. Si bien, el estudio de Campos *et al.* (1995) también registró mayores salidas de agua en relación a las entradas, en la primera etapa del proyecto se pone en duda, dado a que al analizar la base de datos del balance hídrico se encontraron algunos errores de cálculo. Al igual que el resto de los lagos araucanos, la producción acuícola tendió a incrementar en el tiempo, duplicándose durante el 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 Llanquihue

En la región de Los Lagos, el lago Llanquihue es uno de los cuerpos de agua más vulnerables a la eutroficación, 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 2015, ha sido la acuicultura de centros de cultivo en balsas jaulas, mostrando que el lago Llanquihue ha sustentado la mayor biomasa de salmónidos en comparación del resto de los lagos araucanos en estudio.

De acuerdo a la estructura térmica en la columna de agua, se observó en la II campaña una homogenización de la temperatura en el perfil vertical. En cuanto al oxígeno, éste presentó poca variación en el perfil vertical, salvo las estaciones C1 y 100628, que presentaron condiciones anóxicas. Similar resultado se obtuvo en la II etapa del proyecto, específicamente en la estación C1

que presentó condiciones de anoxia en profundidad. En la III campaña, realizada en enero del 2016, se registró termoclina a partir de los 30 m de profundidad aprox. Según lo obtenido, el comportamiento de este lago es característico para lagos monomícticos templados (Wetzel, 2001; Campos *et al.,* 1984).

El fitoplancton del lago Llanquihue durante el invierno de 2015, estuvo compuesto mayoritariamente por Diatomeas, y en menor grado de Dinoflagelados, Cianobacterias y Crisofíceas. El grupo más diverso y abundante en la mayor parte de las estaciones de muestreo fueron las Diatomeas, salvo la estación 100510 donde la mayor abundancia relativa estuvo dada por un 40,1% de la Cianobacterias. La dominancia de las Diatomeas es usual en los lagos monomícticos templados (Horne & Goldman, 1994). *Cyclotella spp* y *Aulacoseira spp* fueron las especies más representativas para este lago durante los periodos de muestreo.

En la campaña de verano de 2016 el grupo de las Diatomeas domino en número y diversidad, la comunidad fitoplanctónica donde también se encontraron Clorofíceas en menor proporción. Lo cual ha sido reportado anteriormente por Campos *et al*., 1988 y Soto *et al*., 2002.

Se observó que las mayores densidades fitoplanctónicas se produjeron en invierno del 2015, en cambio el zooplancton mostró mayor densidad en verano de 2016. En Campos *et al.* (1988) se registró un patrón similar de abundancias fitoplanctónicas y biomasas mayores en invierno tardío.
Además se ha registrado en ésta etapa del proyecto como en las anteriores la presencia de *Dolichospermum sp*, Cianofícea potencialmente nociva, algunas especies de este género son productoras de toxinas y en otros casos las floraciones intensas pueden ocasionar eventos de anoxia de la columna de agua y mortandad de peces u otras especies (Scavia *et al*., 2014). No se encontró *D. geminata* en las estaciones de muestreo columna de agua, ni se observaron colonias perifícticas sopechosas en los muestreos ribereños.

En lo que respecta al estado trófico del lago Llanquihue, y de acuerdo al análisis histórico de datos que se realizó en la I etapa del proyecto, los valores de transparencia y clorofila a en general tendieron a un estado ultra a oligotrófico. Solamente en los estudios realizados por la UACH (1993), las estaciones correspondientes a los centros de cultivos se caracterizaron por un estado de meso a eutrófico, similar comportamiento se observó en la clorofila a. A partir de lo obtenido en las etapas del presente proyecto, se observó disminución de la transparencia en el tiempo, indicando un estado oligo a mesotrófico. En tanto, la clorofila *a*, en general tendió a la oligotrofía. Los resultados de PT indicarían un estado oligotrófico en la I y II etapa, sin embargo, durante la III etapa específicamente en invierno del 2015 y verano del 2016, se registraron concentraciones muy altas en las cercanías de algunos centros de cultivo. Los valores de NT indicaron un estado ultra a oligotrófico.

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%), similar a lo obtenido en la etapas previas del proyecto. En general, se observó una tendencia al aumento de la producción acuícola en el lago, registrándose una producción máxima

histórica durante el año 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 presentado 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 la actual 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.

En la presente etapa del proyecto se incorporó además al balance hidrológico, el estudio histórico del caudal del efluente "río Maullín", además de aforos para su ajuste y validación. Si bien existe información fluviométrica de 3 estaciones de la DGA en las cercanías del lago, la estación "Río Maullín en Llanquihue", que se ubica justamente en el desagüe del lago Llanquihue, hubiere sido la más apropiada para el balance hidrológico del lago. Sin embargo, ésta dejó de operar en 1946, de manera que carece de registros para los últimos 60 años. En base a este estudio fue posible concluir que el río Maullín en el desagüe del lago Llanquihue presenta un régimen pluvio-nival, cuyos caudales máximos se producirían durante los meses de invierno y primavera, explicados por el efecto de las precipitaciones y los deshielos, respectivamente, manteniéndose este comportamiento en años normales, húmedos y secos. El caudal medio anual determinado para el desagüe del lago Llanquihue fue de 61,7 m³/s, mientras que la estadística generada en el desagüe del lago es coherente con los caudales aforados en marzo de 2016, los cuales se asociaron a una alta probabilidad de excedencia (alrededor del 85%).

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 por Woelfl *et al*. (2013).

5) Lago Chapo

Una de las principales actividades productivas desarrolladas en este lago es la salmonicultura en balsas jaulas, cuya producción según datos oficiales 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.

De acuerdo a los resultados obtenidos en septiembre del 2015, se registró formación de termoclina a los 35 m aproximadamente. En cuanto al oxígeno disuelto, la columna de agua en general presentó buenas concentraciones de oxígeno disuelto. En la II etapa del proyecto, este lago fue monitoreado en otoño, periodo en donde no se registró termoclina, concordando con lo reportado por otros estudios, que indican que este lago presenta características reportadas para lagos monomícticos templados (Wetzel, 2001; Campos *et al.*, 1984).

Los valores promedio de fósforo total (0,005 mg/L) fueron típicos para ambientes oligotróficos, y similares a lo obtenido en estudio anteriores.

En el lago Chapo durante la primavera de 2015 las Diatomeas fueron el grupo dominante con al menos un 96% de abundancia relativa por estación. Las mayores abundancias se asociaron a las diatomeas *Synedra cf. acus* y *Tabellaria fenestrata.* Estos microorganismos se han relacionado con aguas epilimnéticas mesotrófico, y *Synedra* con aguas turbias y ricas en nutrientes de acuerdo a Reynolds *et al.* (2002).

Los microcrustáceos fueron poco abundantes y presentaron densidades similares a las reportadas en la segunda etapa del proyecto, pero actualmente son otras las especies presentes.

En relación al sedimento, se observó similar tendencia entre la presente etapa del proyecto y dos etapas anteriores, registrándose máximos valores de materia orgánica y de fango en el centro 101278, el cual se ubica en una bahía protegida del vientos en todas sus direcciones, así como del oleaje.

En cuanto a la evaluación del estado trófico del lago Chapo, existen datos históricos a partir de 1986, siendo el primer estudio la línea base del proyecto hidroeléctrica Canutillar, estudio ejecutado por Campos *et al* durante 1986 y 1987, cuyos resultados fueron publicados posteriormente por Woelfl *et al* (2003). También, la DGA monitoreó la columna de agua entre los años 2003 a 2008. En la I etapa del proyecto se unificaron todos los datos históricos para su posterior evaluación, indicando que no se encontraron datos dudosos para los parámetros de transparencia y clorofila a, mientras que los valores de PT en su mayoría estuvieron bajo el límite de detección. De acuerdo a los resultados históricos de los parámetros transparencia y clorofila *a*, se registró un cambio de su estado oligotrófico en el año 1986/1987 hacia un estado oligo a mesotrófico a partir de la I etapa del proyecto, registrándose inclusive valores dentro del rango de la eutrofía en la III etapa. Si bien, estos últimos resultados son puntuales, es decir señalan las concentraciones en un periodo determinado, y no se pueden tomar como un promedio anual, dado a que las concentraciones pueden variar

notablemente durante las diferentes estaciones del año (Woelfl *et al*. 2003, Villalobos *et al*. 2003), se observó claramente un cambios de trofía con respecto a la variable de transparencia. La clorofila a disminuyó de acuerdo a las etapas del proyecto, desde mesotrofía en la I etapa a oligotrofía en la III etapa, salvo la estación 100394 con valores que indicaron un estado de mesotrofía. Uno de los criterios utilizados para la identificación de algún dato histórico dudoso del PT en la primera etapa del proyecto (Woelfl *et al.* 2013), fue considerar valores extremos a concentraciones mayores de 200 ug/L, siendo que para lagos araucanos el rango esperado debiera ser menor a 20 ug/L. Los valores de PT obtenidos en la III etapa del proyecto registraron una concentración promedio de 24,5 ug/L, alcanzándose en profundidad mayores concentraciones de PT que en superficie. Eventualmente, este valor pudiera asociarse a una reincorporación del PT desde el sedimento hacia la columna de agua, como también al efecto producido por los lahares del volcán Calbuco, los que se direccionaron hacia la parte occidental del lago, con posible influencia sobre los centros de cultivo en la parte occidental del lago. En tanto, el NT tendió a presentar valores dentro del rango de la ultra a oligotrofía en todas las etapas del proyecto.

De acuerdo al tiempo de renovación, en el presente proyecto se calcularon 9 años, mientras que Woelfl *et al*. (2003) consideró 5,5 años, y el FIP-IT/97-40 3,4 años. Las diferencias debieran estar asociadas al cálculo del ingreso total de agua al lago, tanto proveniente de las escorrentías como de las precipitaciones. Por otro lado, los valores del total de entradas de aguas fueron inferiores al total de salida agua. Esto se estaría generando por manipulación del caudal del efluente (único efluente del lago Chapo, que fue generado de manera artificial para uso de la Central de Canutillar), comportándose el lago Chapo en la actualidad como una represa o embalse, disminuyendo así progresivamente su nivel del lago.

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 fueron 17 ton/año, mientras que la carga crítica fue 30 ton/año, presentando aún condiciones oligotróficas. Sin embargo, se debe considerar que los valores de fósforo total contribuidos actualmente al lago Chapo requieren entre 4,1 a 9 años para reflejarse en el lago. Considerando que en el último período la producción acuícola ha presentado una tendencia al incremento, y que según los cálculos realizados sería la causante del 65% del aporte de P, es necesario no aumentar el ingreso de nutrientes en este lago, e idealmente disminuir su ingreso actual.

II) LAGOS CHILOTES

Estos lagos se encuentran ubicados en la isla de Chiloé (42°S), emplazados en una zona con características climáticas oceánicas con influencia mediterránea (Villalobos *et al*., 2003a). Los lagos Chilotes se caracterizan por ser cuerpos de agua pequeños y muy someros, en relación a los lagos araucanos. Estos sistemas lacustres han sido descritos como lagos húmicos (Campos *et al*. 1997, Villalobos *et al.* 2003a), debido a que poseen elevado carbono orgánico disuelto (COD) de origen alóctono, proveniente de la cuenca, humedales y vegetación litoral (Wetzel, 2001). Las cuencas en las que se encuentran los lagos en estudios presentan gran abundancia del briofito *Sphagnum*, su presencia ha sido descrita como típica de lagos húmicos (ej. Drzymulska *et al*., 2013). Parte importante de este COD está conformado por sustancias refractarias, ácidos húmicos y fúlvicos, de los cuales deriva una tonalidad café, la que disminuye la penetración de la luz, reduciendo la transparencia del cuerpo de agua (Gorniak *et al*., 1999; Wetzel, 2001). Los lagos Chilotes en estudio corresponden al lago Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico. La información obtenida para los lagos Popetán y Tepuhueico corresponde a su primera evaluación en este proyecto, para el lago Cucao la segunda evaluación, mientras que para los lagos Huillinco, Natri y Tarahuín su tercera evaluación.

1) Lago Popetán

De acuerdo al estudio realizado por Prado-Fiedler *et al*. (1999) el lago Popetán corresponde a un lago monomíctico, con una columna de agua completamente homogénea en invierno, mientras que el resto del año, a medida que incrementa la temperatura ambiental, se genera un progresivo calentamiento de las aguas originando una separación en dos estratos, epilimnion y metalimnion. Los perfiles de temperatura obtenidos en el presente proyecto para la época de verano concuerda con lo descrito anteriormente, mostrando una disminución gradual de la temperatura hacia profundidad, sin embargo el epilimnion no fue tan marcado como lo reportado por Prado-Fiedler *et al*. (1999). Mientras que el oxígeno disuelto fue relativamente homogéneo en la columna de agua, con valores similares a los reportados en literatura (Prado-Fiedler *et al*., 1999), a excepción de los primeros metros de la estación E1, lo cual puede ser atribuido a problemas de estabilización del equipo.

En cuanto a los compuestos nitrogenados, en la presente etapa del proyecto se registró una elevada concentración de nitrógeno amoniacal, siendo el mayor contribuyente del nitrógeno total, mientras que los valores de nitrato y la mayoría de las concentraciones de nitrito se encontraron por debajo del límite de detección. En lagos poco profundos las concentraciones de nitrógeno amoniacal pueden aumentar cuando la columna de agua está poco oxigenada, ya que la falta de oxígeno limita la nitrificación, generando que el $N\text{-}NH_4$ se acumule, principalmente asociado a lagos con elevadas concentraciones de materia orgánica (Quirós, 2003). Sin embargo, como mencionábamos con anterioridad la columna de agua del lago Popetán estaba bien oxigenada, por lo tanto es posible asociarlo a otras fuentes (ej. excreción, externas al lago). En general, la mayoría de las concentraciones de los componentes fosfatados y nitrogenados, a excepción del amonio, fueron menores a las concentraciones obtenidas con anterioridad (Prado-Fiedler *et al*., 1999), esto se

puede relacionar al periodo en el cual fue realizado el estudio de Prado-Fiedler *et al*. (1999), ya que los centros acuícolas aún estaban operativos, actividad que se detuvo el 2009.

Del análisis de la composición de la materia orgánica disuelta se identificaron 4 componentes, los que son similares a proteínas, triptófanos, sustancias húmicas y sustancias fúlvicas. Los constituyentes similares a las proteínas y triptófanos se encuentran asociados a materia orgánica autóctona altamente biodegradable, mientras que el componente similar a sustancias húmicas y fúlvicas se relacionan a materia orgánica de origen alóctono con características altamente refractarias (Nimptsch *et al.,* 2015). El lago Popetán presentó elevadas concentraciones de DOC, conformado en proporciones similares por material refractario alóctono como material lábil autóctono. Los constituyentes proteicos se pueden asociar a las elevadas concentraciones de clorofila en el lago, concentraciones que en promedio fueron más del doble a lo registrado anteriormente para igual época del año (Prado-Fiedler *et al*., 1999). En lo que respecta al material refractario, su elevada abundancia influye en la baja transparencia registrada en este lago. Indicador trófico que muestra una condición eutrófica, estado que se ha mantenido a través del tiempo (Prado-Fiedler *et al*., 1999).

El fitoplancton del lago Popetán, presentó tres grandes grupos de microalgas con porcentajes similares de abundancia relativa, en orden decreciente Criptofíceas, Dinoflagelados y Clorofíceas. La Criptofícea más abundante fue *Cryptomonas spp*., mientras que el Dinoflagelado y Clorofícea más abundante fueron *Peridinium spp*. y *Sphaerocystis spp*., respectivamente. Las *Cryptomonas* son organismos bien adaptados a vivir en un amplio rango de hábitat (Prescot, 1970), su dinámica depende de la actividad alimenticia de los crustáceos zooplanctónicos e inclusive rotíferos o protistas. Son características de ambientes someros, con elevada materia orgánica (Reynolds *et al*., 2002). En este lago se registraron las más bajas abundancias zooplanctónicas de los lagos Chilotes, pero aun así en la mayoría de los casos los valores fueron mayores a los registrados en los lagos Araucanos. La componente biológica estaría indicando que la columna de agua se mantuvo bastante homogénea, concordando con los valores de oxígeno obtenidos.

En relación al sedimento, ambas estaciones estudiadas mostraron similitud en cuanto a su composición textural, con alta contribución de arena. La materia orgánica también fue similar en ambas estaciones con valores cercanos al 70%. Dentro de las peculiaridades visualizadas en el sedimento en este lago, fue la forma del grano, específicamente esférica, de constitución arcillosa, y que al ser presionado contenía en su interior pedazos de material vegetal. Estudios realizados por Campos *et al.* (1997) en el lago Popetán, caracterizaron el sedimento con una elevada porosidad (>0,95), lo cual significa que una fracción considerable de los mismos se encuentra en la fase líquida y que por lo mismo su densidad y contenido de materia sólida es relativamente bajo. En el mismo estudio se reveló también un alto contenido de MO (>60%), mostrando una correlación positiva entre la MO y la porosidad.

2) Lagos Cucao-Huillinco

Estos lagos son de origen tectónico y se caracterizan por tener influencia marina (León-Muñoz *et al*., 2007; Villalobos *et al*., 2003a). El lago Huillinco se encuentra emplazado en una cuenca de gran

tamaño, en la que los usos de suelo se encuentran dominados por la presencia de bosque nativo al igual que en la cuenca del lago Cucao, seguidos por praderas y matorral, respectivamente. Si bien la actividad de la salmonicultura en balsas jaulas dejó de funcionar en ambos lagos, de acuerdo a los cálculos realizados, el mayor aporte de PT estuvo dado por esta actividad, seguido por el aporte de la población para el lago Cucao, mientras que en Huillinco por praderas y bosque nativo.

Los lagos Huillinco y Cucao poseen una dinámica compleja, ya que estos lagos se encuentran conectados por el canal Caldera, que posee un ancho de 300 m y un largo de ~2,2 km con una profundidad máxima de ~14 m. La presencia del canal junto con su batimetría claramente restringe el intercambio de agua entre ambos cuerpos. A su vez, el lago Cucao se encuentra conectado con el océano Pacífico. Sin embargo, la influencia mareal en primavera, tanto en las corrientes como en las variaciones del nivel del lago fue mínima. Por lo tanto, las corrientes estarían moduladas por forzantes atmosféricos como el viento local, además de movimientos advectivos-difusivos del agua producidos por la mezcla y la estratificación. Mientras que las variaciones del nivel del agua estarían determinadas por la presión atmosférica y la descarga de agua dulce. El flujo residual en ambos lagos presentó variaciones en su configuración de octubre a noviembre. Comportamiento que podría ser atribuido a la acción del viento junto con otros factores como sería la descarga de agua dulce, la batimetría y la configuración costera. No obstante, los resultados de CTD muestran un aumento de conductividad en profundidad, que evidencian la influencia de agua marina sobre el sistema de lagos compuesto por el Cucao y el Huillinco, tal y como se demostró en estudios anteriores (Villalobos *et al*., 2003; Woelfl *et al*., 2013). La circulación en primavera en el lago Huillinco estaría dominada por la estratificación, dificultando de sobremanera la mezcla y renovación de las aguas, donde se produciría un transporte vertical por difusión; mientras que en el lago Cucao para la misma época del año, presentaría un nivel de mezcla importante. En tanto en verano en ambos lagos se registró una columna de agua estratificada, con valores de conductividad que incrementan hacia el fondo, produciendo que la columna de agua no se mezcle completamente. En tanto los perfiles de oxígeno mostraron un claro descenso hacia el fondo, alcanzando valores cercanos a 0 mg/L, tal como fue reportado en la primera etapa del proyecto y estudios anteriores (Campos *et al*., 1997; Villalobos *et al*., 2003a; Woelfl *et al*., 2013), lo que podría asociarse a las elevadas concentraciones de DOC y su posterior degradación. Ambos lagos han sido descritos como meromícticos (Wetzel, 2001; Villalobos *et al*., 2003a), sin embargo según los resultados obtenidos solo el lago Huillinco presentó esta característica, ya que el lago Cucao registró mezcla de la columna de agua en primavera, correspondiendo a un lago momíctico.

En lo que respecta a los nutrientes, las concentraciones registradas fueron muy elevadas en toda la columna de agua en ambos lagos, principalmente en los estratos más profundos del lago Huillinco. Generando que ambos lagos posean un estado trófico muy crítico, con una condición eutrófica para nitrógeno total como fósforo total. En el caso del Huillinco el nitrógeno total estuvo compuesto principalmente por amonio, el que se podría estar acumulando por la escases de oxígeno que limita la nitrificación (Wetzel, 2001; Quirós, 2003). En cuanto a la clorofila, a pesar de presentar de las menores concentraciones registradas de los lagos Chilotes, fueron superiores a las observadas en

los lagos Araucanos, presentando una condición mayoritariamente oligotrófica e incluso mesotrófica en algunas estaciones.

Los lagos Cucao y Huillinco presentaron de las más elevadas concentraciones de COD de los lagos Chilotes en estudio, asociado a las elevadas contribuciones alóctonas y autóctonas de MOD en conjunto con la baja circulación de ambos lagos, influyendo sobre la baja transparencia registrada, evidenciando una condición eutrófica para este parámetro. El COD mostró la tendencia de aumentar hacia el fondo en el lago Huillinco, en estaciones que poseen menor circulación. La composición del COD mostró el predominio de los componentes de origen proteico (similar a proteína y triptófano). En cuanto a la fracción refractaria, a pesar de ser menor que los componentes autóctonos, presentó de las mayores señales de los lagos chilotes.

De acuerdo a los análisis de fitoplancton, durante el verano de 2016 en el lago Huillinco se registró una baja densidad celular y variable dentro de las estaciones de muestreo, la mayor abundancia fue de la pequeña Diatomea *Cyclotella spp.*. Ésta fue registrada en la estación 100618 (E1) situada próxima al canal Caldera, principal afluente. Especies de este género son indicativas de ambientes bien mezclados, tolerantes a bajas concentraciones de nutrientes y sensibles a aumentos en el pH (Reynolds *et al*., 2002).

La abundancia registrada en esta tercera etapa del proyecto fue menor a la reportada en la primera (primavera de 2012) y segunda etapa del proyecto (invierno de 2014) (Woelfl *et al*., 2013; Pesse *et al*., 2015), así también hubo diferencias entre los grupos principales observados en la primera etapa del proyecto donde se registraron mayoritariamente Clorofíceas y Criptofíceas, en cambio en la segunda y tercera etapa del proyecto las Diatomeas fueron el grupo más abundante.

En el lago Huillinco, se observó en las estaciones bajo los 10 metros de profundidad una abundancia fitoplanctónica generalmente baja entre 0 y 40 célL^{-1}, salvo en la estación 101212 la cual dentro de las estaciones profundas fue la que tuvo mayor densidad celular. La diversidad y en la mayoría de los casos la abundancia fitoplanctónica fue menor bajo la haloclina, en concordancia con una mayor productividad biológica en la zona profunda del lago de carácter heterotrófico.

La densidad zooplanctónica del lago Huillinco fue mayor que la registrada en la segunda etapa del proyecto durante el invierno de 2014 y similar a lo observado en la primera etapa del proyecto en primavera de 2012. Campos *et al.* (1996) registró una mayor densidad en verano que en invierno, lo cual concuerda con los antecedentes obtenidos.

En el lago Cucao, se registraron diferencias en abundancia y riqueza de taxa entre las estaciones de muestreo. La densidad fitoplanctónica fue baja y en gran parte asociada a Diatomeas, en menor concentración *Criptomonas spp* en la cabecera del lago y *Gonatozygon spp* en profundidad, hacia el efluente se encontró *Dinobryon sp*. la cual además sería indicativa de ambientes heterotróficos (Reynolds, 2002).

Las diatomeas fueron el grupo más abundante del fitoplancton y la densidad celular fue baja, menor a lo reportado en la segunda etapa del proyecto. Así también fueron coincidentes la baja densidad de fitoplancton y zooplancton en las estaciones C1 y C2, posiblemente se relacione esto con el dinamismo de la columna de agua, en el área media y más profunda del lago. Las mayores abundancias de zooplancton se produjeron en las estaciones más cercanas al afluente (100618 y E2), canal Caldera que conecta con el lago Huillinco.

La flora fitoplanctónica en ambos lagos estuvo dominada por las Diatomeas, y en menor proporción por Euglenoideas y Cryptomonas. Estas microalgas estarían indicando un sistema con elevada provisión de nutrientes y materia orgánica. La abundancia Criptofíceas favorece la proliferación de la fauna zooplanctónica y el reciclado de nutrientes hacia el fitoplancton.

En relación al sedimento en el lago Cucao, las estaciones E1 y E3 mostraron similitud en cuanto a su composición textural (principalmente arena), así como la cantidad de MO (< a 10%), esto se podría estar relacionando a un área con mayor energía hidrodinámica. No así la estación E2 que mostró altos valores de MO, asociándose estos resultados a su ubicación, encontrándose en una bahía protegida al intercambio de mareas. Similares resultados se obtuvieron en la segunda etapa del proyecto (Pesse *et al*., 2015). En el lago Huillinco, la composición textural de los sedimentos estuvo compuesta mayormente por fango y arena, con escasa o nula contribución de grava, composición similar a la registrada por Bertrán *et al.* (2006) para este lago. Sin embargo, en aquel estudio se registró una menor contribución de fango en relación al presente proyecto, lo que podría ser un indicio de acumulación de material orgánica a través del tiempo. Se observó un claro patrón en las características del sedimento en relación a la ubicación y profundidad de las estaciones estudiadas. En las estaciones de máxima profundidad (100617, 100520, E18 y C1) prevalecen mayores porcentajes de MO, redox negativos, y con mezclas granulométricas principalmente fangosas. Las estaciones ubicadas en la parte oriental del lago (100212, 100616 y 100968) se caracterizaron por presentar menores profundidades, sedimentos con menores contenidos de materia orgánica, así como valores de redox positivos (salvo 101212 con valores negativos), además de mezclas granulométricas fango-arenosas y areno-fangosas. Similares resultados fueron obtenidos en la segunda etapa del proyecto (Pesse *et al*., 2015).

3) Lago Tarahuín

El lago Tarahuín se encuentra ubicado en una cuenca de 57,9 km^2 y tiene un área de 8 km^2 con una profundidad media de 22 m. La cobertura de la cuenca del lago Tarahuín se encuentra conformada mayoritariamente por bosque nativo (66%), cobertura que contribuye con 26,9% del fósforo aportado por los afluentes. Sin embargo, los mayores aportes de fósforo son realizados por el uso de suelo asociado a praderas (0,52 ton/año), las que representan un 21% del total de la superficie de la cuenca. La evaluación de esta información con la reportada en estudios anteriores (Campos *et al*., 1997; Villalobos *et al*., 2003a) se hace imposible, ya que existen diferencias al delimitar la cuenca de este lago, el origen de estas diferencias posiblemente radican en el uso de tecnología más avanzada, que nos permite realizar una delimitación con mayor precisión a la efectuada con anterioridad.

La columna de agua del lago Tarahuín mostró una estratificación térmica, con formación de termoclina, concordando con las características reportadas para lagos monomícticos templados en la estación de primavera (Campos *et al*., 1997, Villalobos *et al*., 2003a), sin embargo para igual época del año registramos una columna de agua con mayor estratificación, evidenciándose un epilimnio muy marcado. Los perfiles de oxígeno en su mayoría muestran una disminución al fondo, que podría estar asociado a las contribuciones de materia orgánica desde la capa superficial y su posterior degradación. Exceptuando el oxígeno de la estación C 1, que muestra un perfil homogéneo en toda la columna de agua, posiblemente asociado a problemas en la estabilización del equipo.

En relación a los nutrientes analizados en el lago Tarahuín, se registraron las menores concentraciones de todos los lagos Chilotes en estudio, posiblemente relacionado a las diferentes épocas en que se realizaron los muestreos. Sin embargo, la misma situación fue evidenciada al comparar con estudios anteriores (Campos *et al.*, 1997; Woelfl *et al*., 2013; Pesse *et al*., 2015). Cambiando la condición trófica del lago Tarahuín a ultraoligotrófica-oligotrófica, al evaluar nitrógeno y fósforo total. Además, se evidenciaron diferencias en las contribuciones del componente orgánico, tanto para el caso del nitrógeno total como del fósforo total, en la mayoría de los registros anteriores se evidenciaron importantes contribuciones del componente orgánico al total de los nutrientes, a diferencia de lo registrado en la actual etapa de este proyecto. Esto podrían ser explicado por el cese de las actividades acuícolas en el lago Tarahuín, descartando con esto una importante fuente de nutrientes al lago, si consideramos que las contribuciones estimadas de PT de los centros acuícolas en los últimos 10 años de funcionamiento oscilaron entre 5 y 9 ton al año.

Al analizar la composición del carbono orgánico disuelto en el lago Tarahuín, se observó que predominó el componente con características húmicas de origen alóctono. Registrandose la menor fracción refractaria de los lagos Chilotes, concordando esto con la mayor transparencia y concentraciones de clorofila de los lagos Chilotes. Esto se respalda con lo obtenido en la segunda etapa del proyecto (Pesse *et al*., 2015), ya que el lago Tarahuín presentó los valores más bajos de color, mayor transparencia y concentración de clorofila registrada. Cabe destacar que la transparencia, al igual que en todos los lagos Chilotes, indica una condición eutrófica, estado que sea mantenido a través del tiempo (Woelfl *et al*., 2013; Pesse *et al*., 2015), lo cual puede explicarse por las contribuciones alóctonas de DOC.

La flora fitoplanctónica del lago Tarahuín durante la primavera de 2015 estuvo dominada por la Cianobacteria *Dolichospermum spp* (ex *Anabaena spp*) superando los 2.000.000 de cél L^{-1}. Villalobos *et al.,* 2003 reportaron densidades celulares totales sobre 10.000.000 de cél L^{-1} para el lago Tarahuin, estudio en el cual *Anabaena spiroides* fue una de las especies con abundancia significativa, pero no se destacó una floración de esta especie, como estaría ocurriendo actualmente con *Dolichospermun spp*. Parra *et al*., 1978 reportó una diversidad de taxa de 44 y actualmente se encontraron 21, lo cual sugiere una disminución en la riqueza de taxa en el lago. Lo cual sería atribuible en parte a las variaciones físico químicas de calidad de agua en el tiempo.

De acuerdo a USEPA 2009 densidades de cianobacterias mayor o igual a 100.000 cél L^{-1} presentarían un alto riesgo de exposición a cianotoxinas, por lo cual se considera primordial evaluar la posible producción de toxinas por parte de estas microalgas. Este género es indicativo de ambientes templados y bien mezclados, además puede vivir en ambientes con limitación de nitrógeno, ya que posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Además, esta especie es potencialmente tóxica, ya que al menos existen 9 especies pertenecientes a este género que han sido descritas como productoras de anatoxinas, las cuales son potentes alcaloides bloqueador neuromuscular, además de varios de las toxinas paralizantes entre otros (Hallegraeff *et al.*, 2004).

Las densidades fitoplanctónicas fueron mayores a las observadas en la segunda etapa del estudio, en invierno de 2014, en cambio Campos *et al*. (1996), cuando se reporto las mayores abundancias fitoplanctónicas en invierno tardío y la menor abundancia en verano tardío. Sí coinciden parte de las especies reportadas por Campos *et al.* (1996).

Se considera que hay que profundizar en el posible estudio de toxinas y determinación de las tres especies de cianobacterias detectadas, en vías de salvaguardar la salud de personas y animales. Pudiera ser que al dominar esta especie, el plancton lacustre produjera una película en la superficie del agua generando procesos de disminución de penetración de la luz, bloqueo de sistemas de captación de aguas, gatillar procesos de anoxia en el fondo, además de no ser un alimento nutritivo ni selecto del zooplancton. El zooplancton en primavera de 2015, fue más bajo que lo reportada en la segunda etapa del proyecto para invierno de 2014, posiblemente relacionado con la baja oferta alimenticia del fitoplancton.

El sedimento en el lago Tarahuín estuvo compuesto meramente por fango (> 90%), con contenidos altos de materia orgánica (> al 20%), evidenciando sedimentos sobre los límites de aceptabilidad establecido por el RAMA. La composición textural en la segunda etapa del proyecto (Pesse *et al*., 2015) difirió en parte a lo obtenido en el presente estudio, la cual estuvo compuesta mayormente por fango y arena, con escasa contribución de grava, asociándose esta diferencia eventualmente a la ubicación de la toma de muestra.

El sedimento en el lago Tarahuín estuvo compuesto meramente por fango (> 90%), con contenidos altos de materia orgánica (> al 20%), evidenciando sedimentos sobre los límites de aceptabilidad establecido por el RAMA. La composición textural en la segunda etapa del proyecto (Pesse *et al*., 2015) difirió en parte a lo obtenido en el presente estudio, la cual estuvo compuesta mayormente por fango y arena, con escasa contribución de grava, asociándose esta diferencia eventualmente a la ubicación de la toma de muestra.

4) Lago Natri

El lago Natri posee una cuenca de 86,6 Km^2 de superficie, que se encuentra constituida por 30 subcuencas. Sin embargo, estudios anteriores (Campos *et al*., 1997; Villalobos *et al*., 2003a) reportaron un tamaño inferior para la cuenca del lago Natri, con una superficie de 46,5 Km^2 dividida en 14 subcuencas. Posiblemente estas diferencias radican en la utilización de tecnología más

avanzada en la delimitación de la cuenca como en la determinación de sus subcuencas, permitiendo ser más precisos. La cuenca del lago Natri está dominada por la presencia de bosque nativo (82%), cobertura que se encuentra asociada a las mayores contribuciones de fósforo al lago a través de afluentes (0,54 ton/año). Sin embargo las praderas, a pesar que representan una reducida superficie del total de la cuenca (7,9%), realizan importantes contribuciones de fósforo (26%) al lago a través de afluentes. Por otro lado, aunque el número de habitantes en la cuenca del lago Natri es reducido (~324), represento un 26% del total de las contribuciones de fósforo al lago.

En relación a la columna de agua del lago Natri, en los perfiles de temperatura en las estaciones 100600 y 100427 se observó una clara estratificación térmica, concordando con las características típicas de un lago monomíctico templado para época de verano (Campos *et al*., 1997, Villalobos *et al*., 2003a). Sin embargo, en las estaciones 100437 y C1 esta condición no se apreció, posiblemente relacionado a problemas en la estabilización del equipo. Una situación similar podría haber ocurrido con los perfiles de oxígeno, ya en algunos casos las concentraciones en superficie fueron bajas (~6 mg/L) y hacia profundidad las mediciones registradas fueron muy inestables.

En relación a los nutrientes, se observaron concentraciones menores de nitrógeno y fósforo a las reportadas anteriormente (Campos *et al*., 1997; Villalobos *et al*., 2003a). Sin embargo, el nitrógeno total mostró igual estado trófico reportado anteriormente para igual época del año (Campos *et al*., 1997; Villalobos *et al*., 2003a). Para el caso de la transparencia, fósforo total y clorofila reflejan una condición crítica del lago Natri, ya que en todas o algunas de las estaciones estudiadas presentan condiciones mesotróficas y/o eutróficas, concordando con lo reportado en etapas anteriores (Woelfl *et al*., 2013; Pesse *et al*., 2015).

En el lago Natri, predominaron los componentes de DOM similar a proteína y triptófano, por sobre los componentes asociados a ácidos húmicos y fúlvicos. Los componentes proteicos han sido asociados a materia orgánica disuelta de origen autóctono altamente biodegradable (Nimptsch *et al*., 2015). Asimismo, en este lago se observaron las mayores intensidades de componentes proteicos y concentraciones de clorofila de todos los lagos, además se registraron elevadas abundancias fitoplanctónicas. Por lo tanto, la elevada carga de materia orgánica lábil registrada probablemente proveniente de la productividad primaria en el lago, esta situación podría estar ocasionada por la mayor transparencia que posee el lago Natri, en relación al resto de los lagos Chilotes, y elevada carga de nutrientes.

La composición fitoplanctónica del lago Natri durante el verano de 2016 estuvo dominada por las clorofíceas una floración prácticamente mono especifica de *Sphaerocystis spp*. concordando con lo reportado en la segunda etapa del proyecto (invierno de 2016). En cambio durante la primera etapa en primavera de 2012, las Diatomeas y Criptofíceas presentaron las mayores abundancias, además la densidad fitoplanctónica fue mayor a la reportada actualmente. Las Clorofíceas coloniales como es el caso de *Sphaerocystis spp*., presentan estrategias adaptativas que le permiten proliferar en ambientes con elevada turbidez y variación de nutrientes (Reynolds *et al.,* 2002).

En relación al sedimento, se observó similitud en la composición textural entre las estaciones 100437 y 100427 (principalmente compuestas por arena), y altos contenidos de materia orgánica. Esta elevada materia orgánica podría deberse a la elevada producción en la columna de agua. Similares resultados se obtuvieron en las etapas previas de este estudio (Woelfl *et al*., 2013; Pesse *et al*., 2015). Cabe mencionar, que los centros 100437 y 100427 han sido los centros con mayor producción histórica en el lago. En tanto, la estación 100600 presentó mayor contribución de grava, asociándose eventualmente a mayor energía hidrodinámica.

5) Lago Tepuhueico

Los perfiles de temperatura y oxígeno mostraron un claro descenso hacia el fondo, visualizándose una capa de mezcla entre los 9 y 13 m aproximadamente. Sin embargo, la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo fue de tan solo ~4°C, posiblemente asociado a la poca profundidad de este lago (Campos *et al.,* 1997, Villalobos *et al*., 2003a). Campos *et al.* (1997) Describió que este lago posee una columna de agua completamente mezclada en invierno, y que a partir de la primavera se inicia un calentamiento de las capas profundas desde los 10 m con un leve aumento de la temperatura superficial y en los meses de noviembre a enero aumenta la temperatura superficial, generándose una estratificación de verano sin detectarse una termoclina.

En relación al nitrógeno, se evidenciaron menores concentraciones en la columna de agua a lo reportado por Campos *et al*. (1999). Compuesto mayoritariamente por amonio, mientras que el nitrato y nitrito se encontraron bajo el límite de detección. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal en profundidad podría explicarse por el bajo oxígeno (Wetzel, 2001; Quirós, 2003). En tanto en superficie, podría incorporarse desde el fondo como de otras fuentes (ej. excreción, externas al lago). Las concentraciones de fósforo total se encontraron dentro de los rangos reportados (Campos *et al.*, 1997), reflejando un estado mesotrófico y eutrófico para este parámetro.

En relación al DOC, el lago Tepuhueico presentó las mayores concentraciones de carbono orgánico disuelto, el que se encontró compuesto principalmente por materia orgánica de origen autóctono (LDOC). Sin embargo, en el lago Tepuhueico se registró la mayor presencia de los componentes del DOM de origen alóctono (RDOC) de los lagos chilotes. Estas elevadas concentraciones de DOC se relacionan con la baja transparencia de este lago, ya que en el lago Tepuhueico se registró la menor transparencia de todos los lagos Chilotes, presentando un estado eutrófico para este parámetro.

Durante el verano de 2016, el fitoplancton y zooplancton del lago Tepuhueico presentaron una distribución espacial homogénea. La flora fitoplanctónica del lago Tepuhueico estuvo compuesta principalmente por la Clorofícea *Urosolenia eriensis*, la cual ha sido descrita por Reynolds *et al*. (2002) como tolerantes a los cambios de pH y deficiencia de nutrientes. Anteriormente Villalobos *et al*., 2003 reporto 39 taxa, y una elevada densidad fitoplanctónica la cual ocurriría en verano, actualmente en verano de 2016 se registraron 11 taxa y una considerablemente menor densidad de fitoplancton. Respecto a la riqueza de taxa, para establecer que se ha producido una disminución en la riqueza de fitoplancton se considera necesario aumentar la cobertura temporal del estudio, lo cual se ira realizando a medida que se desarrolle este proyecto.

En relación al sedimento, ambas estaciones evaluadas (E1 y E2) presentaron similitud en relación al análisis textural, con mezclas granulométricas de areno-fango. El contenido de materia orgánica fue extremadamente elevado, mientras que los valores de redox y pH se encontraron dentro del límite de aceptabilidad del RAMA. El estudios realizados por Campos *et al.* (1997) en el presente lago obtuvo resultados similares a este proyecto, determinado que el sedimento bajo las balsas jaulas estuvo constituido principalmente por arena (70%), grava (29%) y fango (11%), con altos contenidos de materia orgánica (46 a 54%), siendo mayor para la fracción arena.

III) LAGOS PATAGÓNICOS

1) Lago Yelcho

Durante la época de muestreo (marzo 2015) se registró una clara termoclina en torno a los 35 m de profundidad, con una columna de agua altamente oxigenada. Si bien, las concentraciones de oxígeno fueron elevadas, se registraron bastantes fluctuaciones en los perfiles verticales de la columna de agua en todas las estaciones de estudio, lo cual pudiera asociarse a problemas con el equipo. Prado-Fiedler *et al*. (1999) indicó que en las época de verano, invierno como primavera, en la columna de agua predominó buena oxigenación. De los compuestos nitrogenados, el mayor aporte en cuanto a concentración estuvo dado por el nitrato, mientras que los valores de amonio y nitrito se encontraron bajo el límite de detección. Prado-Fiedler *et al*. (1999) indicó en general bajas concentraciones de compuestos nitrogenados. El PT en la presente etapa del proyecto fue relativamente baja, con concentraciones bastante más bajas que lo obtenido por Prado-Fiedler *et al*. (1999).

El único estudio disponible para este lago es el realizado por Prado-Fiedler *et al*. (1999), en el cual se desarrolló un balance de nutrientes y de carga, que de acuerdo a la revisión efectuada en la I etapa del proyecto (Woelfl *et al*., 2013), cuenta con datos de PT coherentes, más bien con poca representatividad de datos en el hipolimnium. A partir de este estudio, las concentraciones de PT se encontrarían dentro del rango de la mesotrofía, así también la transparencia. Otros estudios realizados por Campos (no publicado), Soto *et al.* (2002) y Prado-Fiedler *et al*. (1999), indicaron un estado de ultraoligotrofía (Prado-Fiedler *et al*., 1999) a mesotrofía (Soto *et al.,* 2002) para el parámetro de clorofila a. Según Soto *et al.* (2002), la baja cantidad de clorofila a es causada por la baja transparencia y la mayor profundidad de mezcla del epilimnium, que resulta en una fuerte limitación del crecimiento de las algas por la luz. De acuerdo a lo obtenido en esta etapa del proyecto, sólo el parámetro de transparencia presentó valores mesotróficas, mientras que el resto de los parámetros indicadores de trofía (NT, PT, y clorofila a) indicaron un estado ultraoligotrófico. Cabe destacar que el monitoreo de esta etapa se realizó en verano, época en donde ocurren deshielos, los que provocan el arrastre de sedimento hacia el lago, enturbeciendo la columna de agua. Se resalta que los datos obtenidos en la presente etapa del proyecto caracterizan lo que sucede en un sólo instante, por lo que se requiere de un mayor número de datos en el tiempo para dilucidar el estado trófico de este lago.

En el lago Yelcho, la clase fitoplanctónica más abundante durante el periodo de estudio fueron las Diatomeas, siendo *Tabellaria fenestrata* la más abundante seguido de *Synedra spp*. Soto *et al.,* (2002) da cuenta de un predominio de Diatomeas durante el ciclo anual. *T. fenestrata* se ha relacionado con aguas epilimnéticas mesotróficas, y *Synedra* con aguas turbias y ricas en nutrientes de acuerdo a Reynolds *et al.* (2002). La presencia de *Dinobryon spp*. también se asocia a aguas oligotróficas estratificadas (Reynolds *et al*., 2002). Las abundancias zooplanctónicas, se mantuvieron dentro del rango encontrado en los lagos Araucanos, siendo la estación 101521 la que presentó una mayor densidad de microcrustáceos, *Mesocyclops araucanus* fue la espEcie más abudante.

En relación al sedimento estudiado, se registró similitud en las fracciones texturales en todas las estaciones, con mezclas granulométricas de fango-arena. El contenido de materia orgánica fue menor a 20%, siendo la estación 101522 la que mayor porcentaje de MO registró. Los valores de redox y pH se encontraron dentro del límite de aceptabilidad del RAMA.

2) Lago Riesco

Este lago fue monitoreado a fines de verano, la concentración de oxígeno tendió a disminuir gradualmente en profundidad (desde 10 mg/L en superficie a 3 mg/L a 100 m), alcanzando valores considerados anóxicos a partir de los 80 m de profundidad. Con respecto al perfil de temperatura en la columna de agua, se observó una disminución en profundidad evidenciándose una leve termoclina, registrándose una capa de mezcla. Según el estudio realizado por Campos *et al.* (1999), el lago Riesco representa un lago monomíctico templado típico, es decir, con circulación de sus aguas durante el invierno, y la formación de una marcada termoclina en verano, formándose tres estratos de agua que poseen diferentes densidades.

En cuanto a los compuestos nitrogenados, las mayores concentraciones estuvieron dadas por el nitrato, mientras que el fósforo total presentó valores relativamente bajos. En relación al Nitrógeno total, los valores correspondieron a lagos (ultra) oligotróficos. Sin embargo, se detectó una estación de muestreo con altas concentraciones en el estrato anóxico, no obstante, a pesar de ser altas, no sobrepasaron el límite de la oligotrofía.

De acuerdo al estudio realizado por Campos *et al*. (1999) sobre la capacidad de carga y el balance de PT y NT, se reportó una concentración promedio de 5,8 ug/L de PT y 74,5 ug/L de NT, caracterizándose ambos parámetros dentro del estado de oligotrofía. Las concentraciones de clorofila a fueron bajas y similares a las registradas en otros lagos oligotróficos, con una concentración promedio de 0,8 ug/L, mientras la transparencia registró valores bajos, sobretodo en enero con una mínima de 4,5 m. Similares resultados fueron obtenidos en la presente etapa del proyecto, siendo los valores de PT y clorofila a representativos de un estado ultraoligotrófico, mientras que el NT presentó condiciones ultra a oligotróficas. La transparencia registró valores dentro del rango de la mesotrofía, lo que se puede asociar a la época de muestreo, en donde por alzas de temperatura ambiental ocurren derretimientos de glaciares, que acarrean sedimento hacia el lago. De igual forma que en el lago Yelcho, sólo se cuenta con datos actualizados provenientes de

la III etapa del proyecto de un solo monitoreo (verano 2015), por lo que para poder conocer el real estado trófico de este lago se hace necesario un mayor número de datos en diferentes periodos del año, así como también en el tiempo.

La composición fitoplanctónica estuvo dominada por las diatomeas, siendo *Tabellaria fenestrata* la especie más abundante. Así también cabe destacar que en la estación C1, la más cercana al afluente, se registró la menor densidad celular, inclusive de *T. fenestrata.* Fue coincidente la menor abundancia de fitoplancton en la estación C1 y la menor abundancia de microcrustáceos. La abundancia de zooplancton fue baja, siendo *Daphnia pulex* la especie más abundante.

En relación al sedimento, las dos estaciones ubicadas en las cercanías del efluente se caracterizaron por tener sedimentos arenosos, no así la estación ubicada en la cabecera del lago (zona sur del lago) con alta contribución de fango. La materia orgánica presentó porcentajes menores al 10%.

7. CONCLUSIÓN

Según el análisis de uso de suelo de las cuencas, se concluye que los principales usos para todas las cuencas son el bosque nativo y agricultura. En términos generales, dados los tamaños de las cuencas y por consiguiente la superficie ocupada por cada uso de suelo, los lagos Araucanos presentaron los mayores aportes de fósforo y nitrógeno en comparación a las cuencas de los lagos Chilotes.

En los lagos Araucanos, a partir de la utilización de los parámetros de trófia y del modelo de capacidad de carga de la OECD (1982), se obtuvo que la mayoría de los lagos Araucanos estudiados mantuvieron su condición oligotrófica, y que en ellos su capacidad de carga no estaría siendo sobrepasada. No obstante, los lagos Puyehue y Rupanco se encuentran al límite de sobrepasar su capacidad de carga y pasar a un estado mesotrófico. Por lo tanto, es necesario disminuir las contribuciones de nutrientes de las diferentes fuentes antropogénicas a estos dos lagos. En el caso del lago Ranco y Llanquihue se requiere mantener o disminuir las contribuciones al cuerpo de agua. En tanto en el lago Chapo, se cree que para conocer su real estado se debe realizar un estudio más detallado sobre su hidrología, debido a la gran influencia que posee la central hidroeléctrica sobre el nivel de agua, generando que esto funcione como un embalse, además de las eventuales contribuciones generadas por la erupción del volcán Calbuco. Por lo tanto, se debería disminuir la actividad acuícola hasta no conocer su real estado.

Para poder obtener un modelo de capacidad de carga más robusto, es necesario contar con datos históricos que puedan alimentar nuestro modelo, tales como pluviométricos, hidrológicos, de evaporación, coeficientes de exportación de nutrientes, entre otros, y así poder entender de mejor manera su variabilidad natural. Además, de contar con información actualizada de los usos de suelo. En este proyecto, para desarrollar el modelo de capacidad de carga se utilizó toda la data disponible. Sin embargo, esta información en algunos lagos es poco robusta. Por lo que se sugiere que previo a la autorización y/o utilización de sistemas lacustres, se cuente con una buena línea de base, que permita obtener datos certeros para modelar la capacidad de carga de estos cuerpos lacustres.

Para el caso de los lagos chilotes, a pesar que en algunos lagos se detectaron disminuciones en las concentraciones de nutrientes, estos lagos mantuvieron varios de los parámetros evaluados alterados, tanto en su columna de agua como en los sedimentos, a partir de ésto se considera que es necesario prescindir de estos lagos para el desarrollo de actividades acuícolas.

Es necesario destacar que los datos obtenidos en la presente etapa del proyecto caracterizan lo que sucede en un sólo instante. Debido a que la mayoría de estos lagos posee un comportamiento monomícticos, se requiere una mayor cobertura temporal, por lo que se sugiere cambiar la frecuencia de muestreos, para aumentar el número de datos en el tiempo y obtener el

funcionamiento en las diferentes estaciones del año, y así dilucidar de mejor forma el estado trófico de los lagos en estudio.

Se sugiere que, para conocer el real efecto o impacto ecológico de las actividades antropogénicas sobre los cuerpos de agua, en especial sobre la biota acuática o biodiversidad, particularmente sobre las especies ícticas nativas y del bentos, se debieran incluir estos estudios para poder aportar a la regulación ambiental en el mundo y también en la todavía incipiente legislación ambiental nacional.

Además, creemos que para preservar los sistemas lacustres se requiere incorporar y evaluar todas las actividades antrópicas que realicen contribuciones y alteraciones en estos sistemas lacustres como en sus cuencas, implementando un plan de manejo integrado de cuencas en el que se incorporen todos los actores involucrados.

Para los lagos Araucanos y Chilotes se han registrado Cianobacterias, considerados organismos fitoplanctónicos potencialmente nocivos, tales como *Dolichospermum spp*. (ex Anabaena) y *Microcystis spp*. Por lo que se considera pertinente realizar análisis de toxinas para estos taxones.

Recalcamos la importancia en generar conciencia sobre la preservación de estas fuentes de agua, que proveen de diversos servicios ambientales, siendo además algunos de estos sistemas lacustres utilizados para consumo directo de seres vivos, tales como ganado y seres humanos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegría, R., G. Arriagada, S. Urcelay, C. Hamilton-West, 2015. Cross-sectional study to investigate the presence of salmon pancreas disease virus in wild and feral fish populations in 10 lakes, Los Lagos Region, Chile. Journal of Fish Diseases 38: 113-119.

Antimán, 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.

Arismendi, I., D. Soto, B. Penaluna, C. Jara, C. Leal, J. León-Muñoz, 2009. Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonian lakes. Freshwater Biology 54: 1135–1147.

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.

Bannister, J., C.E. Le Quesne, A. Lara, 2008. Estructura y dinámica de bosques de *Pilgerodendron uviferum* afectados por incendios en la Cordillera de la Costa de la Isla Grande de Chiloé. Bosque 29 (1): 33-43.

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.

Benavides, G., G. Martínez, A. Walkowiak, K. Avendaño, 2009. Redefinición de la red mínima de lagos. Dirección General de Aguas (DGA), POCH ambiental S.A., 173 págs.

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. Ciencias Marinas 32 (3): 589–596.

Bertrand, S., X. Boës, J. Castiaux, F. Charlet, R. Urrutia, C. Espinoza, G. Lepoint, B. Charlier, N. Fagel, 2005. Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climatic significance. Quaternary Research 64 (2): 163-175.

Bertrand, S., J. Castiaux, E. Juvigné, 2008a. Tephrostratigraphy of the late glacial and Holocene sediments of Puyehue Lake (Southern Volcanic Zone, Chile, 40°S). Quaternary Research 70: 343–357

Bertrand, S., F. Charlet, B. Charlier, V. Renson, N. Fagel, 2008b. Climate variability of southern Chile since the Last Glacial Maximum: a continuous sedimentological record from Lago Puyehue (40°S). Journal of Paleolimnology 39: 179–195.

Bertrand, S., M. Sterken, L. Vargas-Ramírez, M. De Batist, W. Vyverman, G. Lepoint, N. Fagel, 2010. Bulk organic geochemistry of sediments from Puyehue Lake and its watershed (Chile, 40°S): Implications for paleoenvironmental reconstructions. Palaeolimnolgy 294: 56–71.

Bjørndal, T., 2002. The competitiveness of the Chilean salmon aquaculture industry. Aquacult. Econ. Manage, 6: 97–116.

Boes, X., N. Fagel, 2008. Relationships between southern Chilean varved lake sediments, precipitation and ENSO for the last 600 years. J Paleolimnol, 39: 237–252.

Bohle, H., E. Tapia, A. Martínez, M. Rozas, A. Figueroa, P. Bustos, 2009. *Francisella philomiragia,* bacteria asociada con altas mortalidades en salmones del Atlántico (*Salmo salar*) cultivados en balsas-jaulas en el lago Llanquihue. Arch Med Vet, 41: 237-244.

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). p. 569-597.

Boyer, E.W., R.W. Howarth, J. Galloway, F.J. Dentener, P.A. Green, C.A Vorosmarty, 2006. Riverine nitrogen export from the continents to the coasts. Global Biogeochemical Cycles, 20 (1), GB1S91. http://dx.doi.org/10.1029/2005GB002537.

Brüggen, J., 1950. Fundamentos de la geología de Chile. Instituto Geográfico Militar, 374 p. Santiago.

Buschmann, A., 2002. Impacto ambiental de la salmonicultura en Chile: La situación en la Xª región de los lagos. Publicaciones Terram, 16.

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 (Kahramanmaras-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 fosforo y nitrógeno en el lago Rupanco, Xª Región. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), FIP-IT/93-27, Universidad Austral de Chile (UACH).

Campos, H., G. Agüero, O. Parra, 1992a. Evaluación de la carga de fósforo y nitrógeno en los lagos Ranco y Puyehue. Subsecretaria de Pesca-Universidad Austral de Chile (UACH).

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., F. Gavilán, V. Murrillo, P. Alarcón, 1996. Presencia de Cheirodon australe en el lago Tarahuín y su significado zoogeográfico. Medio ambiente (Valdivia, Chile) 13 (1): 69-79.

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, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), FIP-IT/96-54. Universidad Austral de Chile (UACH).

Campos, H., W. Steffen, G. Agüero, G. González, L. Villalobos, 1987. Parámetros morfométrico de la red nacional mínima de control de lagos. Dirección General de Aguas (DGA), Universidad Austral de Chile (UACH). 49 págs.

Campos, H., W. Steffen, G. Agüero, O. Parra, L. Zúñiga, 1992b. Limnological studies of lake Rupanco (Chile): Morphometry, physics, chemistry and primary productivity. Archiv für Hydrobiologie (Supplement) 90: 85-113.

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, 1989. Estudios Limnológicos en el lago Puyehue (Chile). Morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. Medio Ambiente 10 (2): 36-53.

Campos, H., W. Steffen, J. Arenas, 1984. Antecedentes de los lagos Villarrica, Riñihue, Ranco y Llanquihue. Dirección General de Aguas (DGA), Universidad Austral de Chile (UACH). 99 págs.

Campos, H., L. Villalobos, M. Grandjean, A. Huber, O. Parra, C Oyarzún, E. Jaque, C. Bertrán, A. Bravo, D. Avilés, G. Agüero, A. Ávila, 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Riesco, Los Palos y laguna Escondida en la XI Región. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), FIP-IT/97-39. Universidad Austral de Chile (UACH).

Carpenter, R.S., D. Ludwig, W.A. Brock, 1999. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. Ecological Applications, 9: 751–771.

Cembrano, J., M.E. Beck, R.F. Burmester, C. Rojas, A. García, F. Hervé, 1992. Paleomagnetism of Lower Cretaceous rocks from east of the Liquiñe-Ofqui Fault zone, southern Chile: evidence of smali in-situ clockwise rotations. Earth and Planetary Science Letters 113: 539-551.

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 diferences in Copepodite Stages of some New Zealand *Calamoecia* and *Boeckella* spp. (Copepoda: Calanoida). N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research 10 (1): 131-7.

Charlet, F., M. De Batist, E. Chapron, S. Bertrand, M. Pino, R. Urrutia, 2008. Seismic stratigraphy of Lago Puyehue (Chilean Lake District): new views on its deglacial and Holocene evolution. Journal Paleolimnology, 39: 163–177.

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.

CONAF-CONAMA-BIRF, 2007. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile: Informe Nacional con Variables Ambientales, 90 pp., Santiago.

Contreras, M., J. Uraoka, C. Mellado, D. Durán, P. Fuentes, F. Díaz, 2014. Diagnóstico de la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas. Dirección General de Aguas (DGA), Centro de Ecología Aplicada Ltda. S.I.T. N°347. 212 págs.

Corcuera, E., C. Sepúlveda, G. Geisse, 2002. Conserving Land Privately: Spontaneous Markets for Land Conservation in Chile. En Selling Forest Environmental Services: Market-based Mechanisms for Conservation and Development. Stefano Pagiola, Joshua Bishop y Natasha Landell-Mills (Eds). IIED-WB. Earthscan, London, 127-150.

David, C.P.C., Y.Y.Sta María, 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 Batist, M., N. Fagel, A. Berger, 2007. A continuous holocene record of ENSO variability in southern Chile (ENSO-Chile). Part2: Global change, ecosystems and biodiversity. Belgian Science Policy.

De Batist, M., N. Fagel, M. Loutre, E. Chapron, 2008. A 17,900-year multi-proxy lacustrine record of Lago Puyehue (Chilean Lake District): introduction. Journal Paleolimnology 39:151–161.

De Los Ríos-Escalante, P., 2013. Crustacean zooplankton species richness in Chilean lakes and ponds (23°-51°S). Lat. Am. J. Aquat. Res. 41 (3): 600-605.

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: Debouttéville D & C Rapoport (Eds.) Biologie de L´Amérique Australe: 7-52. Editions du Centre National de la Researche 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.

Dillon, A., M. Sweeney, M. Maguire, 1993. A Survey of Usability Engineering Within the European IT industry--Current Practice and Needs. In: J. Alty *et al* (Eds.) People and Computers VII, Proceedings of HCI 93, Cambridge: Cambridge University Press, 81-94.

Dirección General de Aguas (DGA), 1988. Operación parcial de la red mínima de control de lagos estudio de los lagos Riñihue y Ranco. Universidad Austral de Chile. 259 págs.

Dirección General de Aguas (DGA), 2011. Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. Centro de ciencias ambientales EULA. 95 págs.

Dirección General de Aguas (DGA), 2012. Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. Centro de ciencias ambientales EULA. 45 págs.

Donoso, T.G., H.K. Phinney, 1988. The phytoplankton of lago Rupanco, Osorno, Chile. Archiv für Hydrobiologie, 113 (2):189-211

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 Unidad para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. 251 pp.

Folk, R.L., 1980. Pertrology of Sedimentary Rocks; Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, U.S.A, 182

Folk, R., P. Andrews, D. Lewis, 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland, New Zeland Journal of Geology and Geophysics.

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.

Garín, C., 1985. Parámetros morfométrico de la red nacional mínima de control de lagos. Dirección General de Aguas (DGA). 49 págs.

Geller, W., 1992. The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer. Aquatic Sciences 54 (1): 1015-1621.

Godoy, R., C. Oyarzún, J. Bahamondes, 1999. Hydrochemical fluxes in a *Nothofagus pumilio* forest in Puyehue National Park, southern Chile. Revista Chilena de Historia Natural 72: 579-594.

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.*

Godoy, R., L. Paulino, C. Oyarzún, P. Boeck, 2003. Atmospheric N deposition in central and southern Chile. Gayana Bot. 60(1): 47-53.

González, I., M.M. Jordán, T. Sanfeliu, M. Quiroz, C. de la Fuente, 2007. Mineralogy and heavy metal content in sediments from Rio Gato, Carelmapu and Cucao, Southern Chile. Environ Geol, 52: 1243–1251.

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.

Habit, E., J. González, j. Ortiz-Sandoval, A. Elgueta, C. Sobenes, 2015. Efectos de la invasión de salmónidios en ríos y lagos de Chiles. Ecosistemas 24 (1): 43-51.

Habit, E., J. González, D.E. Ruzzante, S.J. Walde, 2012. Native and introduced fish species richness in Chilean Patagonian lakes: inferences on invasion mechanisms using salmonid-free lakes. Diversity and Distributions, 18:1153-1165.

Hallegraeff G.M. Anderson D.M y Cembella A.D. 2004. Manual on Harmful Marine Microalgae. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization 2004. ISBN 92-3-103948-2. 793 pp.

Hauenstein, E., C. Ramírez, M. González, C. San Martín, 1992. Comparación de la flora macrofítica de tres lagos del centro-sur de Chile (Budi, Llanquihue, Cayutué). Rev. Geogr. Valparaíso 22-23: 175-193.

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.

Heusser, C.J., 2003. Paleoecological sites, cores, and pollen diagrams. En: Ice age southern Andes: A chronicle of paleoocological events. J. Rose (Ed). 44p.

Holmer, M., M. Argyrou, T. Dalsgaard, R. Danovaro, E. Díaz-Almela, C.M. Duarte, M. Frederiksen, A. Grau, I. Karakassis, N. Marbà, S. Mirto, M. Pérez, A. Pusceddu, M. Tsapakis, 2008. Effects of fish farm waste on Posidonia oceanica meadows: synthesis and pro-vision ofmonitoring and management tools. Mar. Pollut. Bull. 56: 1618–1629.

Horne, A., C. Goldman, 1994. Limnology. McGraw-Hill. 2 nd.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.

Intendencia Región Aysén, 1979. Caracterización climática. Perspectivas de desarrollo de los recursos de la Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Intendencia Región Aisén – SERPLAC Región Aisén – CORFO – IREN, Inscripción n°50.068.

International Environmental Technology Centre (IETC), 2001. Planificación y manejo de lagos y embalses: Una visión integral de la eutroficación. PNUMA Serie de publicaciones técnicas Nº12.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2014. Centros meteorológicas de la red Agrometeorológica del INIA online.

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.

Kalff, J., 2002. *Limnology: inland water ecosystems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Krammer, K., H. Lange-Bertalot, 1991. Bacillariophyceae 3. Teil. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, In: Süsswasserflora con 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, Fragilariaceae, 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 p.

Leiva, S., M. Yáñez, L. Zaror, H. Rodríguez, H. García-Quintana, 2004. Actividad antimicrobiana de actinomycetes aislados desde ambientes acuáticos del sur de Chile. Rev Méd Chile 132: 151-159.

León-Muñoz, J., D. Tecklin, A. Farías, S. Díaz, 2007. Salmonicultura en los lagos del sur de Chile-ecorregión Valdiviana. World Wildlife Fund (WWF) Chile.

León-Muñoz, J., C. Echeverría, R. Marcé, W. Riss, B. Sherman, J. Iriarte, 2013. The combined impact of land use change and aquaculture on sediment and water quality in oligotrophic Lake Rupanco (North Patagonia, Chile, 40,8°S). Journal of Environmental Management 128: 283-291.

Ley Nº 18.892, 1989. Ley general de pesca y acuicultura y sus modificaciones. División Jurídica, Subsecretaría de Pesca, Gobierno de Chile. 189 pp.

Lindbergh, J.M., R.E. Noble, K. Blackburn, 1981. First returns of pacific salmon Chile. International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 5-14.

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.

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.

Martínez, G., K. Ovalle, V. Martínez, 2014. Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la DGA. . Dirección General de Aguas (DGA), M&W Ambientales. S.I.T. N°348. 217 págs.

Miranda, C.D., R. Zemelman, 2002a. Antimicrobial multiresistance in bacteria isolated from freshwater Chilean salmon farms. The Science of the Total Environment 293: 207–218.

Miranda, C.D., R. Zemelman, 2002b. Bacterial resistance to oxytetracycline in Chilean salmon farming. Aquaculture 212: 31–47.

Mischke, U., Thackeray, S., Dunbar, M., McDonald, C., Carvalho, L., De Hoyos, C., Jarvinen, M., Laplace-Treyture,C., Morabito, G., Skjelbred, B., Solheim, A.L., Brierley, B., Dudley, B. (2012). WISER-Water bodies inEurope: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery. Theme 6: Environment (including Climate Change). Seven Framework Programme. Deliverable D3.1-4: Guidance document on sampling, analysis and counting standars for phytoplankton in lakes, 51 pp

Montecino, V., 1991. Primary productivity in South American temperate lakes and reservoirs. Revista Chilena de Historia Natural 64: 555-567.

Moreno, P.I., 1997. Vegetation and climate near Lago Llanquihue in the Chilean Lake District between 20 200 and 9500 ^{14}C yr BP. Journal of Quaternary Science 12 (6): 485–500 .

Muñoz, M., 1980. Flora del Parque Nacional Puyehue. Editorial Universitaria S.A., Santiago.

Niemeyer, H., P. Cereceda, 1984. Geografía de Chile. Hidrografía. Instituto Geográfico Militar de Chile. Santiago. 320 pp.

Nimptsch, J., S. Woelfl, S. Osorio, J. Valenzuela, P. Ebersbach, W. Tuempling, R. Palma, F. Encina, D. Figueroa, N. Kamjunke, D. Graeber. 2015. Tracing dissolved organic matter (DOM) from land-based aquaculture systems in North Patagonian streams. Science of the Total Environment. 537: 129-138.

Nürnberg, G., 1998. Prediction of annual and seasonal phosphorus concentrations in stratified and polymictic lakes. Limnol. Oceanogr. 43 (7): 1544-1552.

Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE), 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, Assessment and Control. 156pp.

Ortiz-Sandoval, J., 2014. Interferencia trófica de truchas invasoras sobre la ictiofauna nativa en lagos patagónicos chilenos. Tesis Doctoral, Universidad de Concepción, Chile.

Oyadenel, P., C. Vega-Retter, S. Scott, L. F. Hinojosa, R. Ramos-Jiliberto, 2008. Encontrando patrones de distribución para fitoplancton, zooplancton y peces dulceacuícolas por medio de análisis de parsimonia de endemismos. Revista Chilena de Historia Natural 81: 185-203.

Oyarzún, C.E., 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.E., 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.E., R. Godoy, S. Leiva, 2002. Atmospheric deposition of nitrogen in a transect from the Central Valley to Cordillera de Los Andes, south-central Chile. Revista Chilena de Historia Natural 75: 233-243.

Oyarzún, C.E., 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.E., A. Huber, 2003. Exportación de nitrógeno en cuencas boscosas y agrícolas en el sur de Chile. Gayana Bot. 60(1): 63-68.

Padisák, J., 2003. Phytoplankton. In O'Sullivan, P.E. & C.S. Reynolds (eds), The Lakes Handbook 1. Limnologyand Limnetic Ecology. Blackwell Science Ltd., Oxford: 251–308.

Pankhurst, R.J., F. Hervé, L. Rojas, J. Cembrano, 1992. Magmatism and tectonics in continental Chiloé, Chile (42°- 42°30'S). Tectonophysics 205: 283-294.

Parada, M.G., 1973. Pluviometría de Chile. Isoyetas de Valdivia-Puerto Montt. CORFO Departamento de Recursos hidráulicos. 73 págs.

Park, R.E., E.W. Burgess, 1921. Introduction to the science of sociology. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.

Parra, O., 1998. Una aproximación sistemática para la evaluación de la biodiversidad algal en ambientes acuáticos continentales de Chile. Sociedad Ficológica de América Latina y el Caribe, Sociedad Brasileña de Ficología, pp. 167-178.

Parra, O., 2006. Estado de conocimiento de las algas dulceacuícolas de Chile (excepto Bacillariophyceae). Gayana 70(1): 8-15.

Parra, O., M. González, 1976. Guía bibliográfica y distribución de las cianófitas de Chile (excluyendo el Continente Antártico). Gayana Bot. 32:1-55.

Parra, O., M. González, 1977a. Catálogo de algas dulceacuícolas de Chile: Pyrrophyta, Chrysophyta Chrysophyceae, Chrysophyta-Xantophyceae, Rhodophyta, Euglenophyta y Chlorophyta. Gayana Bot. 33: 1- 102.

Parra, O., M. González. 1977b. Desmidiáceas de Chile III. Desmidiáceas de la Isla de Chiloé. Gayana Bot. 34: 1- 103.

Parra, O., M. González, 1978. Freshwater algae of Chiloe island, Chile. Nova Hedwigia 30: 873-924.

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 págs.

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 págs.

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 págs.

Prescott, G., 1970. Algae of the Western Great Lakes Area. Brown Company Publishers. 4th edition. 977.

Pesse, N., C. Oyarzo, C. Pérez. 2015. Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (Segunda Eatapa). Convenio de desempeño 2014. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Pinochet, D., P. Artacho, P. Azúa, 2001. Potencialidad como abono orgánico de los desechos sólidos subproductos del cultivo de especies salmonídeas. Agro sur 29 (1): 78-82.

Prado-Fiedler, R., G. Leighton, Italo Serey, N. Silva, S. Vega, M. Escobar, 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y laguna San Antonio en la X Región. Fondo de Investigación Pesquera (FIP), FIP-IT/97-40. Universidad de Valparaíso.

Prairie, Y.T., 1989. Statistical models for the estimation of net phosphorus sedimentation in lakes. Aquatic Sciences 51: 192–210.

Quirós, R., 2003. The relationship between nitrate and ammonia concentrations in the pelagic zone of lakes. Limnetica 22 (1-2): 37-50.

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.

Ramos-Jiliberto, R., J.P. Oyanedel, C. Vega-Retter, F.S. Valdovinos, 2009. Nested structure of plankton communities from Chilean freshwaters. Limnologica 39: 319–324.

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). Gayana Botánica 20: 1-25.

Rivera, P., 1974. Diatomeas de agua dulce de Concepción y alrededores (Chile). Gayana Botánica 28: 3 -134.

Rivera, P., 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18º28'S and 58ºS. Bibliotheca Diatomologica Vol. 3, 386 pp.

Rivera, P., O. Parra, M. González, 1973. Fitoplancton del Estero Lenga Chile. Gayana Botánica 23: 1-93.

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

Rojas, E., J. Le Roux, 2005. Procesos sedimentológicos en un delta tipo Gilbert del lago Llanquihue, sur de Chile. Rev. geol. Chile 32 (1): 19-31.

Ruiz, R., N. Bahamonde, 1989. Cladóceros y copépodos límnicos en Chile y su distribución geográfica (Lista sistemática). Museo Nacional de Historia natural, N° 45.

Ryding, S., W. Rast, 1989. The control of eutrophication of lakes and reservoirs. Man and the Biosphere Series 1. UNESCO, Paris and Parthenon Publishing, Carnforth.

Ryding, S., W. Rast (eds), 1993. El control de la eutroficación en los lagos y pantanos. Publicación UNESCO, Ediciones Pirámide, Madrid. 375 pp.

Schmid-Araya, J.M., 1993. Rotifer communities from some Araucanian lakes of southern Chile. Hydrobiologia, 255/256: 397-409.

Schubert, H., R. Marquardt, D. Schories, I. Blindow, 2015. Biogeography of Chilean charophytes. Aquatic Botany 120: 129–141.

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. Jpurnal of Great Lakes Research. 40: 226 – 246.

Smith, V.H., 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. Environmental Science Pollution 10: 126-139.

Smith, V., G. Tilman, J. Nekola, 1999. Eutrophycation: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution 100: 179-196.

Soto, D., 2002. Patrones oligotróficos en lagos del sur de Chile: relevancia de los nutrientes y de la profundidad de mezcla. Rev. Chil. Hist. Nat 75: 377-393.

Soto, D., I. Arismendi, C. Di Prinzio, F. Jara, 2007. Establishment of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in Pacific basins of southern South America and its potential ecosystem implications. Revista Chilena de Historia Natural 80: 81-98.

Soto, D., I. Arismendi, J. González, J. Sanzana, F. Jara, C. Jara, E. Guzmán, A. Lara, 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. Revista Chilena de Historia Natural 79: 97-117.

Soto, D., F. Jara, 2007. Using natural ecosystem services to diminish salmon-farming footprints in southern Chile. Theresa M. Bert (ed.), Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities. Springer, USA. 459–475.

Soto, D., L. Zuñiga, 1991. Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes and ponds: comparison with North American communities. Revista Chilena de Historia Natural 64: 569-581.

Steinhart, G.S., G.E. Likens, D. Soto, 2002. Physiological indicators of nutrient deficiency in phytoplankton in southern Chilean lakes. Hydrobiologia 489: 21–27.

Sterken, M., E. Verleyen, K. Sabbe, G. Terryn, F. Charlet, S. Bertrand, X. Boes, N. Fagel, M. De Batist, W. Vyverman, 2008. Late Quaternary climatic changes in southern Chile, as recorded in a diatom sequence of Lago Puyehue (40°40' S). J Paleolimnol 39: 219–235.

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 págs.

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.

Tee, K.T., 1977. Tide-induced residual current-verification of a numerical model. Journal of Physical Oceanography 7: 396-402.

Teuber, N., F. Salazar, M. Alfaro, A. Valdebenito, 2007. Efecto de diferentes dosis de lodo de la crianza de salmones en el cultivo de papa y su efecto residual en ballica anua. Agricultura Técnica 67(4): 393-400.

Thomasson, K., 1963. Araucanian lakes: Plankton studies in north Patagonia, with notes on terrestrial vegetation. Acta Phytogeogrica. Sue. 47:1-139.

Tilman, D., S. Kilham, P. Kilham, 1982. Phytoplankton Community Ecology: The role of limiting nutrients. Annual Review of Ecology and Systematics 13: 349-372.

Torres, P., 1990. Primeros registros de endohelmintos parásitos en el salmón coho, Oncorhynchus kisutch (Walbaum), introducido en Chile. Arch. Med. Vet. 22 (1): 105-107.

Torres-Álvarez, O., F. Peña-Cortés, 2011. Zonificación del potencial energético de la biomasa residual forestal en la cuenca del lago Ranco, Chile. Antecedentes para la planificación energética regional. Bosque 32(1): 77-84

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Verein. Limnol. 9: 1–38.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).2009. National Lakes Assessment: A Collaborative

of the Nation's Lakes. EPA 841-R-09-001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development, Washington, D.C.

Valdés- Pineda, R., R. Pizarro, P. García-Chevesich, J.B. Valdés, C. Olivares, M. Vera, F. Balocchi, F. Pérez, C. Vallejos, R. Fuentes, A. Abarza, B. Helwig, 2014. Water governance in Chile: Availability, management and climate Change. Journal of Hydrology 519: 2538–2567.

Valdovinos, C., A. Kiessling, M. Mardones, C. Moya, A. Oyanedel, J. Salvo, V. Olmos, O. Parra, 2010. Distribución de macroinvertebrados (Plecoptera y Aeglidae) en ecosistemas fluviales de la Patagonia chilena: ¿Muestran señales biológicas de la evolución geomorfológica postglacial?. Revista Chilena de Historia Natural 83: 267-287.

Valdovinos, C., P. Pedreros, 2007.Geographic variations in shell growth rates of the mussel Diplodon chilensis from temperate lakes of Chile: Implications for biodiversity conservation. Limnologica 37: 63–75.

Vargas-Ramírez, L., E. Roche, P. Gerrienne, H. Hooghiemstra, 2008. A pollen-based record of late glacial–Holocene climatic variability in the southern lake district, Chile. J Paleolimnol 39: 197–217.

Villalobos, L., 2006. Estado de conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile. Gayana 70 (1): 31-39.

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., 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP Handbook No. 12, Blackwell Scientific, Oxford.

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.

Wentworth, C., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology 30 (5): 377-392.

Wetzel, R., 2001. Limnology. Lakes and river ecosystem. Academic press. New York. 1006 pp.

Woelfl, S., 2006. Notas sobre protozoos ciliados dulceacuícolas de Chile. Gayana 70(1): 24-26.

Woelfl, S., 2007. The distribution of large mixotrophic ciliates (Stentor) in deep North Patagonian lakes (Chile): First results. Limnologica 37: 28–36.

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 de la X Región. PROYECTO N 4728-42-LP12. Universidad Austral de Chile.

Woelfl, S., C. Oyarzún, C. Duarte, L. Caputo, J. Rodriguez, 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. Dirección General de Aguas (DGA), Universidad Austral de Chile (UACH). S.T.I. N°239. 177 págs.

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 for hydroelectricity generation: I. Physical and chemical properties. Hydrobiologia 510: 217–224.

Zemlak, T., E. Habit, S. Walde, C. Carrea, D. Ruzzante, 2010. Surviving historical Patagonian landscapes and climate: molecular insights from *Galaxias maculatus*. BMC Evolutionary Biology 10:67.

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.

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.

Zúñiga, L.R, 1988. Taxocenosis de entomostracos limnéticos de lagos del norte de la Patagonia. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso 19: 5-14.

Zúñiga, L.R., P. Domínguez, 1977. Observaciones sobre el zooplancton de lagos chilenos. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso 10: 107-120.

ANEXOS

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 Chilotes		
Lago Popetán	42°12'16,8"	73°28'04,5"
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"
Lago Tepuhueico	42°47'08,5"	73°58'0,05"
Lagos Patagónicos		
Lago Yelcho	43°12'50,5"	72°23'46,1"
Lago Riesco	45°30'17,3"	72°42'36,6"

Tabla 2.
Caracterización general de los lagos considerados en el estudio.

	Área (km^2)	Z Máxima (m)	Á Cuenca (km^2)*	Altitud (msnm)	Z Media (m)	Renovación (años)	Á Cuenca/ Á Lago	Volumen (km^3)
Lagos Araucanos								
Lago Ranco	429,6[a]	199 [b]	3.079,2 [a]	64	122,1 [b]	4 - 6 [a,b]	7,17 [a]	54,05 [b]
Lago Puyehue	158,8 [a]	123 [c]	1.141,4 [a]	184	76 [c]	3,4 – 4 [a,c]	7,19 [a]	12,6 [c]
Lago Rupanco	234,8 [a]	274 [d,e]	751,5 [a]	118	162 [d,e]	8,5 - 13 [a, d,e]	3,2 [a]	38 [d,e]
Lago Llanquihue	870 [a]	317 [f]	776,6 [a]	51	182 [f]	49 - 70 [a,f,g]	0,9 [a]	158,6 [f]
Lago Chapo	46,1 [a]	298 [h]	274,4 [a]	234	151 [h]	3,4 - 9 [a,g,h]	5,95 [a]	6,9 [h]
Lagos Chilotes								
Lago Popetán	1,7 [a]	17,4 [i]	21,3 [a]	25	8,1 [i]	0,2 [i]	12,8 [a]	0,013 [i]
Lago Cucao	10,4 [a]	25 [j]	39 [a]	2	12 [j]	0,062 [j]	3,7 [a]	0,127 [j]
Lago Huillinco	18,6 [a]	47 [j]	510,2 [a]	2	20,7 [j]	0,2 [j]	27,4 [a]	0,395 [j]
Lago Tarahuín	7,9 [a]	33 [j]	57,9 [a]	65	22,2 [j]	2,7 [j]	7,3 [a]	0,17 [j]
Lago Natri	7,8 [a]	58 [j]	86,6 [a]	34	35 [j]	3,5 [j]	11 [a]	0,273 [j]
Lago Tepuhueico	14,3 [a]	25 [j]	160 [a]	30	9 [j]	0,2 [j]	11,2 [a]	0,128 [j]
Lagos Patagónicos								
Lago Yelcho	120,9 [i]	238 [i]	2101 [i]	70	110 [i]	0,5 [i]	17,4 [i]	13,3 [i]
Lago Riesco	14,7 [k]	130 [k]	315,4 [k]	29	66,5	0,6	21,4 [k]	0,97 [k]

[a] Información generada en la etapa actual del proyecto (3[era] etapa); [b] Campos *et al*. 1982; [c] Campos *et al*. 1989; [d] Campos *et al*. 1992b; [e] Campos 1995; [f] Campos *et al*., 1988; [g] Woelfl *et al*., 2013; [h] Woelfl *et al*. 2003, [i] Prado-Fiedler *et al*. 1999; [j] Campos *et al*. 1997; [k] Campos *et al*. 1999 *Se considera el área de la cuenca sin la superficie del lago.

Tabla 3.
Estaciones de muestreo de columna de agua para los ***lagos Araucanos*** en estudio (Ranco, Puyehue, Rupanco, Llanquihue y Chapo).

Lago	Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
RANCO	100972	40°17´17,6" S	72°18´0,9" O	0-10-20-30-40-50
	101955	40°17´36,1" S	72°15´34,4" O	0-10-20-30-40-50
	E3	40°07´51,9" S	72°20´36,9" O	0-10-20-30-40-50
	Control 2	40°15´44,0" S	72°29´15,5" O	0-10-20-30-40-50-80-100
	Control 1	40°11´17,4" S	72°20´43,8" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-180
PUYEHUE	100205	40°38´52,1" S	72°20´35" O	0-20-40-50
	100578	40°37´59,9" S	72°23´17,2" O	0-20-40-70
	E3	40°40´28,9" S	72°35´50,6" O	0-10-20
	Control 1	40°39´27,0" S	72°23´31" O	0-10-20-30-40-50-80-120
	Control 2	40°39´37,8" S	72°32´46,30" O	0-10-20-30-40-50-80-100
RUPANCO	101707	40°47´37,5" S	72°39´34,1" O	0-70-140
	100081	40°46´02,6" S	72°37´35,3" O	0-20-40
	100389	40°47´09,0" S	72°28´15,6" O	0-10-20
	100522	40°53´51,8" S	72°19´14,1" O	0-50-100
	100625	40°51´10,1" S	72°30´04,7" O	0-30-60
	101851	40°51´53,3" S	72°27´57,3" O	0-50-100
	101862	40°52´45,7" S	72°26´54" O	0-30-60
	Control 1	40°51´57,4" S	72°29´22,9" O	0-10-20-30-40-50-80-100
	Control 2	40°49´34,7" S	72°31´19" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-260
LLANQUIHUEUE	100510	41°11´38,5" S	73°00´38,5" O	0-30-60
	100332	41°11´38,5" S	73°00´38,5" O	0-30-50

	100628	41°01´05" S	72°41´44,9" O	0-15-30
	100370	41°08´22,3" S	72°35´39,9" O	0-25-50
	100204	41°00´33,4" S	72°54´38,3" O	0-30-60
	100390	41°10,5´1´3,5" S	72° 33´54,9" O	0-35-70
	100627	41°00´31" S	72°44´15,0" O	0-15-30
	100100	41°12´47,9" S	73°00´57,5" O	0-20-40
	101866	41°12´56,7" S	73°01´08,8" O	0-20-45
	100507	41°05´43" S	72°57´48,6" O	0-25-50
	100545	40°57´58,6" S	72° 52´19,5" O	0-10-20
	100070	41°16´52,3" S	72°52´09,6" O	0-5-10
	C1	41° 10´08,4" S	72°39´21" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-300
	C2	41°14´13,5" S	72°53´56,9" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250
CHAPO	100394	41°26´13,7" S	72°34´30,5" O	0-10-20
	101291	41°26´24" S	72°33´59,0" O	0-20-40-80
	100678	41°30´13,7" S	72°25´25,0" O	0-100-190
	101051	41°28´43" S	72°27´21,7" O	0-100-250
	101332	41°24´59,3" S	72°32´14,5" O	0-20-40-80
	101278	41°30´20,4" S	72°28´04,3" O	0-20-40
	Control 1	41° 25´56,2" S	72°30´48,4" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250
	Control 2	41°29´47,1" S	72°26´59,3" O	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-290

Tabla 4.
Estaciones de muestreo de columna de agua en ***lagos chilotes***
(Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico).

Lago	Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
POPETÁN	E1	42°12'17.7"S	73°28'04.0"O	0-5-10-15
	E2	42°12'28.1" S	73°27'41.5"O	0-5-10-15
CUCAO	100618 (E1)	42°39´45,1" S	74°01´24,6" O	0-5
	E 2	42°39´09,4" S	74°01´57,3" O	0-5-10
	E 3	42°37´23" S	74°05´53,4" O	0-5-
	Control 1	42°38´44,1" S	74°02´30,4" O	0-5-10-15-20
	Control 2	42°38´37,6" S	74°03´58" O	0-5-10-15-20
HUILLINCO	100520	42°39'42,3"S	73°58'16,0" O	0-5-10-15-20-30-40
	100616	42°39´30,2" S	73°55´28,2" O	0-5
	100617	42°40´05,2" S	73°59´15,2" O	0-5-10-15-20-30
	100968	42°40´46,6" S	73°55´29,6" O	0-5
	101212	42°40´38" S	73°56´21,6" O	0-5-10-15-20
	E 18	42°39'37,9"S	73°57'11,2" O	0-5-10-15-20-30-40
	Control 1	42°40´11,4" S	73°56´42,1" O	0-5-10-15-20-30-40-45
TARAHUÍN	100521	42°42'31.6" S	73°43'46.6" O	0-5-10-15-20-25
	100436	42°43'11.1" S	73°46'09.6" O	0-5-10
	Control 1	42°43'02.8" S	73°43'50.8" O	0-5-10-15-20-25
NATRI	100437	42°47'33.9"S	73°51'00" O	0-5-10-15-20-30
	100427	42°48´26,3" S	73°46´54,4" O	0-5-10-15-20-25
	100600	42°48´05,2" S	73°47´37" O	0-5-10-15-20-30
	Control 1	42°47´37,9" S	73°48´39,5" O	0-5-10-15-20-30-40-50-55
TEPUHUEICO	E1	42°47' 10.5" S	73°58' 01.3" O	0-5-10-15-20
	E2	42°48'07.6" S	72°57'06.9" O	0-5-10-15-20

Tabla 5.
Estaciones de muestreo de columna de agua en ***lagos patagónicos***
(Yelcho y Riesco).

Lago	Centro	Coordenadas		Profundidades (m)
YELCHO	101521	43°11'58,58" S	72°26'57,15" O	0-10-20-30
	101522	43°22'10,6" S	72°20'31,40" O	0-10-20-30-40
	Control 1	43°22'10,59" S	72°12'23,48" O	0-10-20-30-50-80-120-150-180-200-220
	Control 2	43°19'24,41" S	72°15'48,48" O	0-10-20-30-50-80-120-150-180-200-220
	Control 3	43°17'1,30" S	72°17'27,47" O	0-10-20-30-50-80-120-150-180-200-220
RIESCO	110038	45°29'22,4" S	72°42'08,3" O	0-10-30-50-80
	110037	45°30'16,8" S	72°42'40,1" O	0-10-30-50-80
	110048	45°31'43,9" S	72°44' 05,2" O	0-10-30-50-80-100
	Control 1	45°32' 26,6" S	72°44' 20,4" O	0-10-20-30-40-50-80-100

Tabla 6.
Ubicación de las estaciones de sedimento en ***lagos Araucanos***
(Ranco, Puyehue, Rupanco, y Chapo).

Lagos	Centro	Estación	Prof. (m)	Coordenadas	
RANCO	100972 (E1)	1	10	40°17'26.07"S	72°18'2.25" O
		2	10	40°17'12.39" S	72°18'6.61" O
		3	10	40°17'12.68" S	72°18'15.85"O
	101955 (E2)	1	8	40°17'31.24" S	72°15'38.68" O
		2	8	40°17'35.05" S	72°15'27.68" O
		3	8	40°17'40.56" S	72°15'18.73" O
	E 3	1	10	40° 7'45.81" S	72°19'45.07" O
		2	10	40° 7'33.39" S	72°20'17.24" O
		3	10	40° 7'39.90" S	72°20'49.99" O
PUYEHUE	100205 (E1)	1	10	40°40'3.24" S	72°20'58.23" O
		2	10	40°39'22.13" S	72°20'24.11" O
		3	10	40°38'49.12" S	72°20'11.70" O
	100578 (E2)	1	10	40°38'11.00" S	72°22'40.57" O
		2	10	40°37'56.09" S	72°23'26.46" O
		3	10	40°38'1.63" S	72°24'0.27" O
	E 3	1	10	40°40'13.59" S	72°35'31.10" O
		2	10	40°39'28.13" S	72°35'2.26" O
		3	10	40°38'50.81" S	72°33'52.73" O
RUPANCO	101707	1	65,6	40° 47´53,1" S	72°40´11,9" O
		2	30	40° 48´06,1" S	72°40´13,2" O
		3	64	40° 47´57,3" S	72°39´48,5" O
	100081	1	32,7	40° 46´0,39" S	72°37´36,6" O
		2	41,4	40° 46´0,32" S	72°37´33,2" O
		3	18,4	40° 45´58,1" S	72°37´32,7" O
	100389	1	70	40° 47´40,8" S	72°27´59,6" O
		2	50	40° 47´37,4" S	72°28´05,1" O
		3	67	40° 47´36,4" S	72°28´26,3" O
	100522	1	50	40° 53´45,6" S	72°19´39,9" O
		2	48,9	40° 53´52,7" S	72°19´02,4" O
		3	50	Fondo pedregoso	
	100625	1	36.3	40°51'02.2" S	72°30'18.1" O
		2	22	40° 51´06,2" S	72°29´56" O
		3	12	40°51´00´´S	72°30´02,7´´O
	101862	1	60	40°52'37" S	72°27'17,9"O
		2			
		2	47	40°52'43,8" S	72°26'39,3"O
		3			
		3	53	40°52´55.7´´S	72°27´20.8´´O

RUPANCO	101851	1	52	40°51'37.8"S	72°28'25.3'O
		2	66,3	40°51'40.0"S	72°28'18.6"O
		3	68	40°51´43.3´´ S	72°27´23.8´´O
CHAPO	100394	1	6	41° 26´11,1" S	72°34´33,4" O
		2	18	41° 26´14,9" S	72°34´34,5" O
		3	25,8	41° 26´15,7" S	72°34´28,7" O
	101291	1	29	41° 26´30,3" S	72°34´72,9" O
		2	11	41° 26´15,4" S	72°34´34,5" O
	100678	1	25	41° 30´08,8" S	72°25´12,9" O
		2	30	41° 30´07,9" S	72°25´21" O
		3	15	41° 30´05,3" S	72°25´22,2" O
	101051	1	33	41° 28´39,2" S	72°27´29,8" O
		2	15,5	41° 28´33,6" S	72°27´04,8" O
		3	42	41° 28´41,5" S	72°26´52,4" O
	101332	1	91	41° 24´57,0" S	72°32´25,2" O
		2	88	41° 24´50,0" S	72°32´20,5" O
		3	41	41° 24´59,2" S	72°32´23,7" O
	101278	1	43	41° 30´18" S	72°27´33,3" O
		2	15	41° 30´27" S	72°28´07,2" O
		3	36	41° 30´00" S	72°28´16,5" O

Tabla 7.
Ubicación de las estaciones de sedimento en ***lagos chilotes***
(Popetán, Cucao, Huillinco, Tarahuín, Natri y Tepuhueico).

Lagos	Centro	Estación	Prof (m)	Coordenadas	
POPETÁN	E1	1	8.5	42°12'09,9" S	73°28'46,4" O
		2	13	42°12'02,3" S	73°28'31,9" O
		3	15.4	42°12'15,9" S	73°28'31,5" O
	E2	1	17.1	42°12'22.6" S	73°28'04.9" O
		2	18.1	42°12'14,1" S	73°27'51.5" O
		3	11	42°12'33.7" S	73°27'26.7" O
CUCAO	1	1	14	42°39'12,0" S	74°02'01,3" O
		2	12	42°39'37,8" S	74°01'56,3" O
		3	12	42°39´44,0" S	74°01'38,6" O
	2	1	15	42°39'37,5" S	74°01'12,3" O
		2	13	42°39'44,5" S	74°01'17,3" O
		3	17,5	42°39'44,6" S	74°01'21,7" O
	3	1	6.7	42°37'24,0" S	74°05'56,0" O
		2	12	42°37'50,7" S	74°05'21,1" O
		3	6	42°38'27,2" S	74°05'09,2" O
HUILLINCO	100520	1	32	42°39'22.2" S	73°58'07.7" O
		2	15	42°39'21.1" S	73°58'12.4" O
		3	19	42°39'23.3" S	73°57'41.1" O
	100616	1	4.9	42°39'28.5" S	73°55'47.5" O
		2	3.4	42°39'23.5" S	73°55'32.9" O
		3	3.9	42°39'26.0" S	73°55'13.6" O
	100617	1	26	42°39'58.4" S	73°58'40.9" O
		2	32	42°40'05.1" S	73°59'02.5" O
		3	--	42°39'59.1" S	73°59'32.5" O
	100968	1	6.2	42°40'50.3" S	73°55'41.2" O
		2	4,1	42°41'02.3" S	73°55'41.6" O
		3	7,7	42°40'44.9" S	73°56'02.9" O
	101212	1	8,5	42°40'40.0" S	73°55'56.5" O
		2	11	42°40'47.2" S	73°56'02.4" O
		3	8	42°40'45.0" S	73°56'01.6" O

HUILLINCO	E 18	1	43	42°39'23,7"S 73°57'41,2"
	C 1		45,5 39 40	42°40'11,4" S 73°56'42,1"O 42°40'02,7" S 73°56'35,7"O 42°40'01,1" S 73°56'42,1"O
TARAHUÍN	100521	1	13	42°42'33.1"S 73°44'17.7"O
		2	18	42°42'39.6" S 73°44'30.1" O
		3	18	42°42'47.5" S 73°44'34.9" O
	100436	1	10	42°43'16,1" S 73°46'16,8"O
		2	12	42° 47´12,5" S 73°51´07,3" O
		3	7	42° 47´41,2" S 73°51´21,2" O
NATRI	100437	1	28	42°48'28.4" S 73°46'53.3" O
		2	15	42°48'37.9" S 73°46'56.3" O
		3	15,6	42°48'35.1" S 73°46'52.1" O
	100427	1	24.3	42°47'31.1" S 72°51'16.4" O
		2	22.5	42°47'26" S 73°50'58.2" O
		3	23.5	42°47'44.8" S 73°31'14.0" O
	100600	1	33.9	42°48'08.2" S 73°47'48.6" O
		2	27.3	42°48'08.6" S 73°47'44.4" O
		3	18	42°48'13.4" S 73°47'36.3" O
TEPUHUEICO	E1	1	9.3	42°46'20.7" S 73°57'24.4" O
		2	11.4	42°46'45.7" S 73°57'15.5" O
		3	24.6	42°47'24.1" S 73°57'51.2" O
	E2	1	24.1	42°47'57.8" S 73°56'31.7" O
		2	14.6	42°48'21.4" S 73°56'54.8" O
		3	13.5	42°48'35,9" S 73°56'11.7" O

Tabla 8.
Ubicación de las estaciones de sedimento en ***lagos Patagónicos***
(Yelcho y Riesco).

Lagos	Centro	Estación	Prof. (m)	Coordenadas	
YELCHO	101521	1	20	43°13´07,9" S	72°26´21,4" O
		2	20	43°13´09" S	72°26´15" O
		3	20	43°13'02,7" S	72°26´05,5" O
	101522	1	20	43°16´32,8" S	72°20´29" O
		2	20	43°16´32,3" S	72°20´17,4" O
		3	20	43°16´31,1" S	72°20´02,5" O
RIESCO	110048	1	45	45° 31´14,4" S	72°44´16,7" O
		2	35	45° 31´48,9" S	72°44´21,5" O
		3	33	45° 31´33,8" S	72°44´04,8" O
	110038	1	20	45° 29´21,7" S	72°42´12" O
		2	10	45° 29´19,3" S	72°42´14,7" O
		3	10	45° 29´26,3" S	72°42´07,9" O
	110037	1	10	45° 30´07,5" S	72°42´50,3" O
		2	10	45° 30´11,7" S	72°43´59,7" O
		3	10	45° 30´18,5" S	72°43´06,9" O

Tabla 9.
Análisis de correntometría en los ***lagos*** en estudio
(Cucao, Ranco, Puyehue, Tepuhueico, Popetán, Yelcho y Riesco).

Lagos		Correntometría	N° transectas	Transecta	Coordenadas	
Lagos Araucanos	RANCO	Lagrangiana	3	A	40°10'0,65" S	72°17'1,18" O
				B	40°17'4,43" S	72°19'0,83" O
				C	40°18'0,57" S	72°16'4,46" O
	PUYEHUE	Lagrangiana	3	A	40°40'5,84" S	72°33'7,40" O
				B	40°39'0,96" S	72°22,'5,68" O
				C	40°39'3,95" S	72°20'5,16" O
Lagos Chilotes	POPETÁN	Lagrangiana	1	A	42°12'10,63" S	73°28'27,25" O
	CUCAO-HUILLINCO	ADCP remolcado	1	(Zona canal Caldera)	Canal Caldera	
	TEPUHUEICO	Lagrangiana	1	A	42°46'55,93" S	73°57'59,75" O
Lagos Patagonicos	YELCHO	Lagrangiana	2	A	43°13'53,7" S	72°22'46,7" O
				B	43°21'14,11" S	72°14'01,63" O
	RIESCO	Lagrangiana	3	A	45°29'16,98" S	72°41'40,68" O
				B	45°30'40,45" S	72°43'0,84" O
				C	45°32'08,10" S	72°44'09,54" O

Tabla 10.
Época de muestreo para todos los lagos en estudio.

Lagos		Época evaluación Sedimento	Época evaluación Columna de agua
Lagos Araucanos	RANCO	Otoño 2015	Otoño 2015
	PUYEHUE	Otoño 2015	Otoño 2015
	RUPANCO	Primavera-Verano 2015	Primavera 2015
	LLANQUIHUE	Verano, Invierno y Primavera 2015	Verano, Invierno y Primavera 2015
	CHAPO	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
Lagos Chilotes	POPETÁN	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
	CUCAO	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
	HUILLINCO	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
	TARAHUÍN	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
	NATRI	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
	TEPUHUEICO	Primavera-Verano 2015	Primavera-Verano 2015
Lagos Patagónicos	YELCHO	Verano 2015	Verano 2015
	RIESCO	Verano 2015	Verano 2015

Tabla 11.
Literatura asociada a los ***lagos*** en estudio.

	Referencia	Año	Lagos	Tema Principal	Objeto de Estudio	Duración
1	Thomasson	1963	Ra, Pu, Ru, Lla	Lagos Araucanos	Agua, fitoplancton, zooplancton	-
2	Rivera	1970	Ra	Fitoplancton	Agua	Revisión
3	Parra & González	1976		Cianófitas de Chile	Agua	Cátalogo
4	Parra & González	1977a		Fitoplancton	Agua	Catálogo
5	Parra & González	1977b		Desmidiáceas de Chile	Agua	Catálogo
6	Zúñiga & Domínguez	1977	Ra, Pu, Ru, Lla	Zooplancton	Agua	Revisión
7	Parra & González	1978	Te, Hui, Ta, Na	Microalgas	Agua	Revisión
8	Lindbergh *et al.*	1981	Po	Cultivo de salmones	-	-
9	Rivera *et al.*	1982	-	Fitoplancton	Agua	Cátalogo
10	Campos *et al.*	1982	Ra	Limnología	Agua	1 año
11	Parra *et al.*	1982a	-	Fitoplancton	Agua	Cátalogo
12	Parra *et al.*	1982b	-	Fitoplancton	Agua	Cátalogo
13	Parra *et al.*	1982c	-	Fitoplancton	Agua	Cátalogo
14	Rivera	1983	-	Fitoplancton	Agua	Cátalogo
15	Campos	1984	Ra	Limnología	Agua	1 año
16	Campos *et al.* (DGA)	1984	Ra, Lla	Limnología	Agua	Revisión
17	Araya	1985	Ra, Pu, Ru, Lla,	Taxonomía	Zooplancton	-
18	Garín (DGA)	1985	Ra, Lla	Morfometría	-	-
19	Campos *et al.* (DGA)	1987	Lla	Limnología	Agua, sedimento, comunidades	1 año
20	Campos *et al.*	1988	Lla	Limnología	Agua	1 año
21	DGA-UACH	1988	Ra	Limnología	Agua, sedimento, comunidades	1 año
22	Donoso & Phinney	1988	Ru	Composición fitoplanctónica	Agua	1 año
23	Zúñiga	1988	Ra, Pu, Ru, Lla	Zooplancton	Agua	5 años
24	Campos *et al.*	1989	Pu	Limnología	Agua	1 año
25	Ruiz & Bahamonde	1989	Ra, Pu, Ru, Lla, Rie	Distribución cladóceros y copépodos	Zooplancton	Cátalogo
26	Torres *et al.*	1990	Hui, Na	Parasitismo	Peces, antrópico	?
27	Campos	1991		Impacto ecologico		

28	Montecino	1991	Lla	Productividad primaria	Agua	-
29	Soto & Zuñiga	1991		Zooplancton	Agua	
30	Campos *et al.*	1992a	Ra, Pu	Carga de fósforo y nitrogeno	Agua	
31	Campos *et al.*	1992b	Ru	Limnología	Agua	1 año
32	Cembrano *et al.*	1992	Lla	Paleoecología	Sedimentos	-
33	Geller	1992	Ra, Ru, Lla, Ye, Rie	Temperatura	Agua	1 año
34	Hauenstein *et al.*	1992	Lla	Taxonomía	Macrófitas	1 año
35	Pankhurst *et al.*	1992	Ye	Geología	-	-
36	Schmid-Araya	1993	Pu, Ru, Lla	Comunidades de rotíferos	Agua	2 años
37	Campos (FIP IT 93-27)	1995	Ru	Capacidad de carga	Cuenca, agua, sedimento	1 año
38	Campos *et al.*	1996	Ta	Taxonomía	*Cheirodon australe*	1 mes
39	Campos *et al.* (FIP IT 96-54)	1997	Te, Hui, Cu, Ta, Na	Capacidad carga-balance de N y P	Cuenca, agua, sedimento	1 año
40	Moreno	1997	Lla	Paleolimnología	Vegetación, clima	1 año
41	Oyarzún *et al.*	1997	Ru	Exportación de nutrientes	Cuenca	1 año
42	Parra	1998		Fitoplancton	Agua	
43	Campos *et al.* (FIP IT 97-39)	1999	Rie	Capacidad de carga-balance de N y P	Cuenca, agua, sedimento	1 año
44	Prado-Fiedler *et al.* (FIP IT 97-40)	1999	Cha, Ye, Po	Capacidad Carga-balance de N y P	Cuenca, agua, sedimento	1 año
45	Godoy *et al.*	1999	Pu	Flujos hidroquímicos	Bosque	1 año
46	Godoy *et al.*	2001	Pu			
47	Pinochet *et al.*	2001	Na	Desechos de cultivos de salmónidos	Sedimentos	-
48	Buschmann	2002	Ru, Lla, Hui, Na	Impacto ambiental de salmonicultura	Agua	-
49	Corcuera *et al.*	2002	Te	Áreas protegidas privadas	Cuenca	-
50	Miranda & Zemelman	2002a	Na	Bacterias	Agua	-
51	Miranda & Zemelman	2002b	Na	Bacterias	Agua	-
52	Oyarzún *et al.*	2002	Pu, Ru	Depositación de Nitrógeno	Cuenca	1 año
53	Soto	2002	Pu, Ru, Lla, Ye	Trofia-Nutrientes	Agua, sedimento	9 años

54	Steinhart *et al*.	2002	Pu, Ru, Lla, Cha, Ye	Nutrientes	Fitoplancton	3 meses
55	Heusser	2003	Lla	Paleoecología	Sedimentos	-
56	Godoy *et al*.	2003	Pu, Cu	Depositiación atmosférica de N	Bosque	Revisión
57	Oyarzún & Huber	2003	Ru, Hui	Exportación nitrógeno	Cuenca, agua	1 año
58	Villalobos *et al*.	2003a	Cu, Hui, Te, Ta, Na	Limnología	Cuenca, agua, comunidades	1 año
59	Villalobos *et al*.	2003b	Cha	Propiedades biológicas	Agua	1 año
60	Woelf *et al*.	2003	Cha	Limnología	Agua, sedimento, comunidades	1 año
61	Leiva *et al*.	2004	Ta, Na, Te	Actividad antimicrobiana	Actinomycetes en sedimentos	1 año
62	Oyarzún *et al*.	2004	Pu, Ru	Química agua - balance nutrientes	Bosque Aledaño	1,5 años
63	Bertrand *et al.*	2005	Pu	Evolución de sedimentos	Sedimentos	-
64	Rojas & Le Roux	2005	Lla	Sedimentología	Sedimentos	1 año
65	Bertrán *et al*.	2006	Cu, Hui	Caracterización comunitaria	Macroinvertebrados	1 mes
66	Parra	2006	-	Revisión de algas dulceacuícolas	Agua	Revisión
67	Soto *et al.*	2006	Ra, Pu, Ru, Lla, Ye	Peces	Agua	6 años
68	Villalobos	2006	-	Crustáceos zooplanctónicos	Agua	-
69	Woelf	2006	Ru, Lla, Cha	Estado de conocimiento	Protozoos	-
70	De Batist *et al.*	2007	Pu	Variabilidad ENSO	Sedimentos	-
71	González *et al*.	2007	Cu	Mineralogía-Metales Pesados	Río Cu	1 año
72	Soto & Jara	2007	Lla	Servicios ecosistémicos para disminuir huella ecológica	Salmonicultura	-
73	Soto *et al*.	2007	Pu, Ye	Invasiones biológicas	*Oncorhynchus tshawytscha*	10 años
74	Teuber *et al.*	2007	Lla	Lodo de balsas jaulas	Sedimentos	1 año
75	Valdovinos & Pedreros	2007	Ra, Pu, Ru, Lla, Hui, Cu, Ta, Te, Na, Ye	Tasa de crecimiento	*Diplodon chilensis*	1 año
76	Woelfl	2007	Ra, Ru, Pu, Lla, Cha	Ciliados mixotrófico	Agua	1 año
77	León-Muñoz *et al*. (WWF Chile)	2007	Ra, Pu, Ru, Lla, Cha, Po, Hui, Cu, Ta, Te, Na, Ye, Rie	Salmonicultura	Agua	Revisión
78	Bannister *et al.*	2008	Te	Estructura y dinámica de bosques	Cuenca	-
79	Bertrand *et al*.	2008a	Pu	Clima-paleolimnología	Sedimento	2 años
80	Bertrand *et al.*	2008b	Pu	Clima-paleolimnología	Sedimento	2 años
81	Boes & Fagel	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año

82	Charlet *et al*.	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año
83	De Batist *et al*.	2008	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año
84	Oyadenel	2008	Ra, Pu, Ru, Lla, Cha, Cu, Hui, Ta, Na, Te, Rie	Patrones de distribución de fitoplancton, zooplancton y peces	Agua	Revisión
85	Sterken *et al.*	2008	Pu	Cambio climático	Diatomeas en sedimento	-
86	Vargas-Ramírez *et al*.	2008	Pu	Paleolimnología-clima	Polen	1 año
87	Arismendi *et al*.	2009	Ra, Pu, Ru, Lla, Ye	Invasiones biológicas	Salmónidos	9 años
88	Bohle *et al*.	2009	Lla	Mortalidad *Salmo salar*	*Francisella philomiragia*	1 año
89	Benavides *et al*. (DGA-POCH)	2009	Ra, Lla, Cha	Validación de datos y condición trófica	Agua	-
90	Ramos-Jiliberto *et al.*	2009	Ra, Pu, Ru, Lla, Cha, Cu, Hui, Ta, Te, Na, Rie	Estructura de comunidades planctónicas	Agua	Revisión
91	Bertrand *et al*.	2010	Pu	Paleolimnología	Sedimento	1 año
92	Valdovinos *et al.*	2010	Ye	Distribución de macroinvertebrados	Agua	3 años
93	Zemlak *et al*.	2010	Ru, Lla, Hui, Ta, Na, Ye	Filogeografía	*Galaxias maculatus*	9 años
94	DGA- EULA	2011	Lla, Cha	Composición fitoplanctónica	Agua	-
95	Woelfl *et al*. (DGA-UACH)	2011	Ra	Impacto económico y social de norma Secundaria	Agua	1 año
96	Torres-Álvarez & Peña-Cortés	2011	Ra	Potencial energético de biomasa residual forestal	Cuenca	1 año
97	DGA- EULA	2012	Ra, Lla, Cha	Composición fitoplanctónica	Agua	8 meses
98	Habit *et al.*	2012	Ru, Lla, Hui, Cu, Ta, Na, Te, Ye, Rie	Riqueza de especies nativas e introducidas	Peces	6 años
99	De Los Ríos-Escalante	2013	Ra, Pu, Ru, Lla, Cu, Hui, Ta, Na, Te, Rie	Riqueza de especies	Zooplancton	-
100	León-Muñoz *et al.*	2013	Ru, Pu, Lla	Impactos uso suelo	Agua-Sedimento	8 años
101	Woelfl *et al.*	2013	Ru, Lla, Cha, Hui, Ta, Na	Estado ambiental	Agua, Sedimentos, Correntometría	3 meses

102	Martínez *et al.* (DGA)	2014	Ra, Pu, Ru, Lla, Cha	Condición trófica	Agua	-
103	Contreras *et al.* (DGA)	2014	Ra, Pu, Ru, Lla, Cha, Po, Cu, Hui, Ta, Na, Te, Ye, Rie	Condición trófica con nuevas herramientas tecnológicas	Agua	-
104	Ortiz-Sandoval	2014	Rie	Interferencia trófica de peces introducidos	Agua	6 años
105	Valdés- Pineda *et al.*	2014	Ra, Pu, Ru, Lla, Ye,	Gobernanza del agua	-	-
106	Alegría *et al.*	2015	Ru, Lla, Cha, Po, Hui, Cu, Ta, Na, Te	Virus del páncreas	Salmon	-
107	Habit *et al.*	2015	-	Peces	Agua	-
108	Schubert *et al.*	2015	Ra, Lla, Cha, Cu, Hui, Te, Ye, Rie	Biogrografia charophytes	Agua	3 años

Tabla 12.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del **lago Ranco.**

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	14,92	54	10,27	7,38	<20	<20	2	<1	<1	74	16,7	19	3	0,98	7	1,3
10	14,85	60	10,2	7,5	50	38,8	53	1	0,3	152	34,3	88	15	4,89	8	1
20	14,82	60	10,19	7,49	<20	<20	<1	<1	<1	28	6,3	<10	6	1,96	7	0,9
30	14,81	60	9,99	7,54	<20	<20	6	1	0,3	22	5	11	3	0,98	5	0,9
40	13,16	60	9,06	7,57	<20	<20	5	<1	<1	51	11,5	17	3	0,98	3	1,2
50	11,16	60	9,26	7,47	<20	<20	2	<1	<1	83	18,8	21	3	0,98	3	1,1
80	10,56	50	9,28	7,43	30	23,3	25	1	0,3	158	35,7	61	3	0,98	5	0,2
120	10,37	50	9,01	7,43	<20	<20	<1	<1	<1	189	42,7	43	6	1,96	7	0,1
150	10,34	50	8,39	7,43	<20	<20	1	<1	<1	300	67,8	69	15	4,89	7	0,1
180	----	----	----	7,32	<20	<20	12	2	0,6	250	56,5	69	12	3,91	8	0,1
Promedio	12,78	56	9,52	7,46	40	31,1	13,3	1,3	0,4	130,7	29,5	44,2	6,9	2,3	6	0,69
DS	2,14	4,9	0,67	0,07	14,1	11	17,9	0,5	0,2	95,3	21,5	28,4	5,1	1,7	1,9	0,5
C2																
0	14,84	60	10,29	7,95	<20	<20	3	<1	<1	35	7,9	11	<1	<1	4	0,8
10	14,83	60	10,25	7,5	<20	<20	1	<1	<1	42	9,5	10	3	1	4	1,1
20	14,81	60	10,17	7,4	<20	<20	<1	<1	<1	43	9,7	10	9	2,9	4	1,1
30	14,71	60	9,66	7,75	<20	<20	<1	<1	<1	43	9,7	10	15	4,9	9	0,8
50	10,98	50	9,38	7,24	<20	<20	2	<1	<1	150	33,9	36	9	2,9	7	0,5
80	10,51	50	9,12	7,2	<20	<20	<1	<1	<1	308	69,6	70	12	3,9	6	0,7
100	----	----	----	7,42	<20	<20	3	<1	<1	167	37,7	41	6	2,0	6	<0,1
Promedio	13,45	56,7	9,81	7,49			2,3			112,6	25,4	26,9	9	2,9	5,7	0,83
DS	2,10	5,2	0,5	0,27			1			102,7	23,2	23,3	4,2	1,4	1,9	0,23

Continuación Tabla 12. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Ranco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100972 (E1)																
0	14,66	60	10,17	7,3	20	15,5	29	4	1,2	43	9,7	40	<1	<1	4	1,7
10	14,6	60	10,17	7,15	<20	<20	2	<1	<1	61	13,8	16	6	1,96	4	1,2
20	14,57	60	9,99	7,01	30	23,3	41	<1	<1	117	26,4	67	6	1,96	5	1,2
30	14,47	60	9,65	7,07	<20	<20	<1	5	1,5	68	15,4	17	3	0,98	5	1
40	13,51	60	9,34	7,03	40	31,1	34	5	1,5	36	8,1	44	<1	<1	5	<0,1
50	11,89	50	9,19	7,12	20	15,5	17	1	0,3	75	16,9	34	6	1,96	14	<0,1
Promedio	13,95	58,3	9,75	7,11	27,5	21,4	24,6	3,8	1,1	66,7	15,1	36,3	5,3	1,7	6,2	1,28
DS	1,10	4,1	0,42	0,11	9,6	7,4	15,4	1,9	0,6	28,8	6,5	19	1,5	0,5	3,9	0,3
101955 (E2)																
0	14,53	60	10,3	7,77	40	31,1	39	3	0,9	53	12,0	52	6	1,96	14	1,2
10	14,53	60	10,28	7,57	<20	<20	3	<1	<1	98	22,1	25	9	2,94	5	1
20	14,528	60	10,23	7,35	30	23,3	21	2	0,6	49	11,1	33	6	1,96	5	1,1
30	14,48	60	9,85	7,21	<20	<20	<1	<1	<1	97	21,9	22	9	2,94	4	0,9
40	13,58	60	9,47	7,08	<20	<20	3	1	0,3	66	14,9	18	12	3,91	5	0,2
50	11,40	50	9,37	7,08	<20	<20	<1	<1	<1	47	10,6	11	6	1,96	190	0,3
Promedio	13,84	58,3	9,92	7,34	35	27,2	16,5	2	0,6	68,3	15,4	26,8	8	2,6	37,2	0,78
DS	1,25	4,1	0,42	0,28	7,1	5,5	17,2	1	0,3	23,5	5,3	14,3	2,4	0,8	75	0,43
E3																
0	14,79	60	10,04	7,46	<20	<20	7	<1	<1	30	6,8	14	3	0,98	4	0,6
10	14,69	60	10,19	7,2	<20	<20	<1	1	0,3	109	24,6	25	12	3,91	6	0,8
20	14,68	60	10,77	7,32	20	15,5	25	<1	<1	46	10,4	35	3	0,98	4	1,5
30	14,67	60	11,09	7,4	<20	<20	8	<1	<1	59	13,3	21	9	2,94	11	1,4
40	11,79	50	10,84	7,2	<20	<20	<1	<1	<1	89	20,1	20	6	1,96	5	1,2
Promedio	14,12	58	10,59	7,32	20	15,5	13,3	1	0,3	66,6	15	23	6,6	2,2	6	1,1
DS	1,31	4,5	0,45	0,12			10,1			32,1	7,3	7,8	3,9	1,3	2,9	0,39

Tabla 13.
Composición fitoplanctónica, densidad y abundancia relativa por taxa en el lago Ranco durante otoño de 2015.

Lago Ranco		C1		C2		100972 (E1)		101955		E3	
Clase	**Taxa**	58110	100	22807	100	49045	100	53986	100	58521	100
		cél /L	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	40213	69	18566	81	21847	45	16805	31	23408	40
	Urosolenia aff eriensis	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0
	Melosira varians	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
	Cyclotella spp	0	0	0	0	19330	39	15314	28	27707	47
	Gomphonema spp	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
	Cymbella spp	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
	Rhopalodia gibba	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
	Nitzschia spp	x	0	0	0	0	0	1332	2	x	0
	Asterionella formosa	1200	2	960	4	440	1	2281	4	800	1
	Diatoma spp	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fragilaria crotonensis	200	0	0	0	560	1	x	0	0	0
	Hannaea arcus	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	1427	2	600	3	3222	7	1332	2	0	0
Cloroficeas	*Eudorina sp*	x	0	0	0	0	0	x	0	x	0
	Sphaerocystis spp	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0
	Monoraphidium sp	3567	6	120	1	0	0	1997	4	644	1
	Geminella sp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0
	aff Hormidium	1080	2	1400	6	80	0	4161	8	3161	5
	Closterium sp	713	1	0	0	40	0	0	0	0	0
	Mougeotia sp	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciabacterias	*Dolichospermum sp (ex Anabaena)*	5642	10	0	0	1520	3	9203	17	1080	2
	Phormidium spp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
Criptophyceas	*Cryptomonas spp*	1427	2	0	0	644	1	0	0	240	0
Dinoflagelados	*Ceratium hirundinella*	2161	4	1000	4	1160	2	1440	3	1440	2
	Peridinium sp	40	0	80	0	0	0	x	0	x	0
Euglenoficeas	*Trachelomonas sp*	40	0	0	0	0	0	120	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		21		12		12		14		13	

Tabla 14.

Análisis granulométrico. 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 100972 (E1)					
Grava	-1	4 – 2	4,0	0,6	0,5
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,8	1,9	0,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,5	3,0	4,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	10,8	12,5	12,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	25,7	15,6	23,4
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	24,9	23,4	24,2
Fango	5	< 0.063	32,0	42,7	34,4
Centro 101955 (E2)					
Grava	-1	4 – 2	5,9	3,1	22,7
Arena muy gruesa	0	2 – 1	11,7	2,7	4,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	16,5	5,4	6,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	24,9	13,4	11,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	18,5	34,6	22,6
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	10,6	24,3	20,1
Fango	5	< 0.063	11,5	16,3	12,3
Centro 3					
Grava	-1	4 – 2	1,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,8	5,3	1,1
Arena gruesa	1	1 – 0.5	6,7	18,5	14,5
Arena media	2	0.5 – 0.25	20,2	12,9	14,9
Arena fina	3	0.25 – 0.125	21,3	10,4	12,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	36,3	22,7	12,7
Fango	5	< 0.063	12,3	29,9	44,0

Tabla 15.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Ranco***. (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
Centro 100972	1	A	3,00	1,13	Arena muy fina
		B	s/m		
		C	3,13	1,71	Arena muy fina
	2	A	2,87	1,30	Arena fina
		B	3,64	1,15	Arena muy fina
		C	3,45	1,44	Arena muy fina
	3	A	3,06	1,16	Arena muy fina
		B	3,59	1,05	Arena muy fina
		C	2,89	1,45	Arena fina
Centro 101955	1	A	2,13	2,01	Arena fina
		B	1,57	1,34	Arena mediana
		C	1,30	1,48	Arena mediana
	2	A	2,63	1,67	Arena fina
		B	2,70	1,15	Arena fina
		C	2,53	1,35	Arena fina
	3	A	1,92	1,87	Arena mediana
		B	0,54	2,17	Arena gruesa
		C	2,51	1,73	Arena fina
Centro 3	1	A	s/m		
		B	2,56	1,22	Arena fina
		C	2,78	1,33	Arena fina
	2	A	2,67	1,82	Arena fina
		B	3,16	1,38	Arena muy fina
		C	2,16	1,60	Arena fina
	3	A	2,74	1,70	Arena fina
		B	3,41	1,40	Arena muy fina
		C	2,94	1,51	Arena fina

Tabla 16.

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

Punto	Prof. (m)	Fecha - Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	15-04-015 12:29	S40° 19.167' W72° 15.688'	15-04-2015 16:39	S40° 19.167' W72° 15.688'	4:10:30
A2	15	15-04-015 12:36	S40° 19.174' W72° 15.654'	16-04-2015 10:42	S40° 18.689' W72° 15.179'	22:07:00
A3	1	15-04-015 12:58	S40° 18.387' W72° 15.487'	15-04-2015 16:51	S40° 18.604' W72° 14.571'	3:53:39
A4	15	15-04-015 12:49	S40° 18.386' W72° 15.496'	15-04-2015 16:56	S40° 18.483' W72° 14.835'	4:06:48
B1	1	16-04-015 11:11	S40° 17.477' W72° 20.030'	16-04-2015 15:14	S40° 17.478' W72° 19.531'	4:03:30
B2	15	16-04-015 11:14	S40° 17.469' W72° 20.047'	16-04-2015 15:06	S40° 17.438' W72° 19.469'	4:02:58
B3						
B4	15	16-04-015 11:25	S40° 18.283' W72° 20.835'	16-04-2015 15:57	S40° 18.381' W72° 20.436'	4:32:05
C1	1	17-04-2015 9:00	S40° 08.849' W72° 20.824'	17-04-2015 13:03	S40° 09.217' W72° 20.923'	4:03:30
C2	15	17-04-2015 9:04	S40° 09.008' W72° 20.575'	17-04-2015 13:18	S40° 09.090' W72° 20.864'	4:14:03
C3	1					
C4	15					

Tabla 17.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Puyehue.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	10,72	55,7	10,17	6,21	60	46,6	53	<1	<1	375	84,7	138	6	2	9	1,1
10	10,71	55,6	10,17	6,15	50	38,8	43	1	0,3	340	76,8	120	18	5,9	12	0,8
20	10,71	55,7	10,16	6,26	40	31,1	30	3	0,9	329	74,3	105	9	2,9	5	0,7
30	10,71	55,67	10,17	6,08	40	31,1	36	1	0,3	62	14	50	9	2,9	4	2,8
40	10,71	55,71	10,16	6,62	60	46,6	50	<1	<1	285	64,4	114	18	5,9	10	0,7
50	10,7	55,68	10,17	6	20	15,5	18	2	0,6	360	81,3	100	9	2,9	5	0,9
80	10,44	54,81	9,51	5,5	60	46,6	55	1	0,3	552	124,7	180	21	6,8	9	0,7
120	----	----	----	5,41	70	54,4	56	1	0,3	477	107,8	164	21	6,8	13	0,8
Promedio	10,67	55,55	10,07	6,03	50	38,8	42,6	1,5	0,5	348	78,5	121,4	13,9	4,5	8,4	1,06
DS	0,10	0,33	0,25	0,4	16	12,5	13,6	0,8	0,3	144,1	32,5	40,4	6,2	2	3,4	0,7
C2																
0	10,88	55,87	10,25	5,58	<20	<20	<1	2	0,6	337	76,1	77	9	2,9	9	1,5
10	10,87	55,82	10,24	5,87	<20	<20	<1	3	0,9	310	70,0	71	6	2	7	1,2
20	10,86	55,97	10,24	5,94	<20	<20	6	2	0,6	343	77,5	84	9	2,9	7	1,2
30	10,86	55,85	10,23	6,08	80	62,1	70	1	0,3	418	94,4	165	12	3,9	8	0,8
40	10,84	55,65	10,17	6,2	60	46,6	75	3	0,9	287	64,8	141	6	2	9	0,4
50	10,65	55,12	9,78	6,1	<20	<20	10	2	0,6	338	76,4	87	3	1	18	0,8
80	10,1	53,76	9,07	----	30	23,3	38	1	0,3	319	72,1	110	25	8,2	12	0,1
Promedio	10,72	55,43	10	5,96	56,7	44	39,8	2	0,6	336	75,9	105	10	3,3	10	0,86
DS	0,29	0,79	0,44	0,22	25,2	19,5	32,3	0,8	0,2	41,1	9,3	35,7	7,2	2,4	3,9	0,49

Continuación Tabla 17. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Puyehue.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
E3																
0	10,84	104,68	8,75	7,05	40	31,1	29	<1	<1	51	11,5	41	6	2	5	0,7
10	10,85	63,64	9,64	7,02	50	38,8	39	<1	<1	86	19,4	58	3	1	10	1,1
20	----	----	----	7,08	30	23,3	19	<1	<1	68	15,4	34	6	2	105	2,4
Promedio	10,85	84,16	9,2	7,05	40	31,1	29			68,3	15,4	44,3	5	1,6	40	1,4
DS	0,01	29,02	0,63	0,03	10	7,8	10			17,5	4	12,3	1,7	0,6	56,3	0,89
100205 (E1)																
0	10,83	55,73	10,46	6,4	<20	<20	<1	3	0,9	275	62,1	63	3	1	9	0,7
10	10,83	55,66	10,26	6,23	<20	<20	<1	3	0,9	193	43,6	45	15	4,9	6	0,3
20	10,83	55,67	10,27	6,47	<20	<20	<1	1	0,3	358	80,9	81	31	10,1	14	0,9
30	10,83	55,6	10,27	6,41	<20	<20	<1	4	1,2	411	92,8	94	9	2,9	5	0,3
40	10,74	55,27	10,05	6,86	<20	<20	<1	2	0,6	338	76,4	77	15	4,9	8	5,1
50	10,50	54,18	9,44	6,38	<20	<20	<1	4	1,2	454	102,6	104	31	10	10	0,4
Promedio	10,76	55,35	10,13	6,46				2,8	0,9	338,2	76,4	77,3	17,3	5,7	8,7	1,28
DS	0,13	0,6	0,36	0,21				1,2	0,4	94	21,2	21,2	11,5	3,7	3,2	1,89
100578 (E2)																
0	10,83	55,83	9,81	6,25	<20	<20	<1	3	0,9	203	45,9	47	9	2,9	8	0,6
10	10,82	55,77	10,23	6,14	<20	<20	<1	2	0,6	239	54	55	12	3,9	5	0,8
20	10,82	55,77	10,23	5,73	<20	<20	<1	<1	<1	194	43,8	44	15	4,9	5	0,5
30	10,81	55,70	10,21	6,25	<20	<20	<1	3	0,9	310	70	71	9	2,9	6	0,7
40	10,75	55,49	10,06	6,34	<20	<20	<1	4	1,2	350	79,1	80	9	2,9	9	0,5
50	----	----	----	5,86	<20	<20	<1	3	0,9	328	74,1	75	12	3,9	7	0,4
Promedio	10,81	55,71	10,11	6,1				3	0,9	270,7	61,1	62	11	3,6	6,7	0,58
DS	0,03	0,13	0,18	0,24				0,7	0,2	67,2	15,2	15,3	2,4	0,8	1,6	0,15

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 18.
Composición fitoplanctónica en el lago Puyehue.

Lago Puyehue		C1		C2		E3		E1 (100205)		E2 (100578)	
Clase	**Taxa**	27791	100	34396	100	32085	100	24537	100	24240	100
		cél /L	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	4762	17	4321	13	7322	23	3361	14	4922	20
	Urosolenia aff eriensis	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
	Melosira varians	0	0	x	0	1160	4	1280	5	x	0
	Cyclotella sp	19309	69	24193	70	18000	56	14361	59	16258	67
	Nitzschia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	419	2
	Asterionella formosa	600	2	0	0	x	0	x	0	1480	6
	Diatoma spp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0
	Fragilaria crotonensis	2961	11	5402	16	5402	17	4521	18	920	4
	Hannaea arcus	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Synedra spp	0	0	x	0	0	0	653	3	0	0
Cloroficeas	*Chlamydomonas spp*	40	0	40	0	40	0,1	0	0	0	0
	Eudorina sp	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0
	Sphaerocystis spp	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0
	Quadrigula sp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Oocystis sp	0	0	x	0	0	0	x	0	x	0
	Cosmarium sp	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0
	Staurastrum spp	0	0	40	0	x	0	40	0	40	0
Criptoficeas	*Cryptomonas spp*	40	0	120	0	40	0,1	0	0	40	0
Dinoflagelado	*Ceratium hirundinella*	40	0	280	1	120	0,4	320	1	160	1
	Peridinium sp	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0
Riqueza de taxa (S)		8		14		12		11		15	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 19.

Análisis granulométrico. 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 100205					
Grava	-1	4 – 2	7,2	17,0	30,6
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,9	8,3	15,6
Arena gruesa	1	1 – 0.5	2,3	5,6	17,1
Arena media	2	0.5 – 0.25	9,8	21,7	11,4
Arena fina	3	0.25 – 0.125	11,6	22,1	4,0
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	8,9	6,0	1,8
Fango	5	< 0.063	59,0	18,9	19,1
Centro 100578					
Grava	-1	4 – 2	6,6	6,3	2,9
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,2	2,8	2,3
Arena gruesa	1	1 – 0.5	5,7	6,6	5,7
Arena media	2	0.5 – 0.25	24,2	31,3	15,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	15,4	32,0	33,1
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	9,2	11,4	23,0
Fango	5	< 0.063	36,3	9,4	17,7
Centro 3					
Grava	-1	4 – 2	0,2	0,0	0,7
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,1	0,0	1,2
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,9	0,7	10,6
Arena media	2	0.5 – 0.25	20,4	21,9	36,4
Arena fina	3	0.25 – 0.125	69,9	68,6	42,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	5,9	7,4	6,8
Fango	5	< 0.063	2,2	1,1	1,2

Tabla 20.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Puyehue***.

Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
Centro 100205	1	A	1,71	1,60	Arena mediana
		B	3,89	1,68	Arena muy fina
		C	4,32	0,66	Limo grueso
	2	A	1,98	1,04	Arena mediana
		B	1,87	2,46	Arena mediana
		C	1,18	2,16	Arena mediana
	3	A	0,14	1,58	Arena gruesa
		B	0,33	1,33	Arena gruesa
		C	1,78	2,94	Arena mediana
Centro 100578	1	A	4,13	1,17	Limo grueso
		B	1,78	1,58	Arena mediana
		C	1,97	1,60	Arena mediana
	2	A	1,93	1,69	Arena mediana
		B	1,96	1,39	Arena mediana
		C	2,16	1,22	Arena fina
	3	A	2,78	0,85	Arena fina
		B	3,11	1,44	Arena muy fina
		C	2,01	1,58	Arena fina
Centro 3	1	A	2,08	0,87	Arena fina
		B	2,51	0,49	Arena fina
		C	2,52	0,40	Arena fina
	2	A	2,50	0,43	Arena fina
		B	2,61	0,52	Arena fina
		C	1,98	0,63	Arena mediana
	3	A	2,54	0,64	Arena fina
		B	1,81	0,95	Arena mediana
		C	1,51	0,79	Arena mediana

Tabla 21.
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= Tramo A, B= Tramo B, C= Tramo C.

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	20-04-2015 9:32	S40° 40.452' W72° 33.609'	20-04-2015 17:30	S40° 40.106' W72° 33.713'	8:00:00
A2	15	20-04-2015 9:40	S40° 40.451' W72° 33.625'	20-04-2015 18:12	S40° 40.179' W72° 33.664'	8:34:00
A3	1	20-04-2015 10:03	S40° 39.899' W72° 33.546'	20-04-2015 18:21	S40° 39.540' W72° 33.644'	8:19:30
A4	15					
B1	1	21-04-2015 10:22	S40° 39.139' W72° 23.751'	21-04-2015 16:51	S40° 39.322' W72° 23.261'	6:30:00
B2	15	21-04-2015 10:29	S40° 39.042' W72° 23.910'	21-04-2015 16:51	S40° 39.098' W72° 23.308'	6:22:30
B3	1	21-04-2015 10:47	S40° 39.030' W72° 22.474'	21-04-2015 17:40	S40° 39.039' W72° 21.911'	6:54:00
B4	15					
C1	1	22-04-2014 11:12	S40° 39.383' W72° 20.486'	22-04-2014 14:03	S40° 39.386' W72° 20.254'	02:52:00
C2	15	22-04-2015 11:18	S40° 39.362' W72° 20.487'	22-04-2015 13:28	S40° 39.303' W72° 20.326'	2:11:00
C3	1	22-04-2015 11:32	S40° 39.772' W72° 20.475'	22-04-2015 14:20	S40° 39.710' W72° 20.261'	2:49:00
C4	1					

Tabla 22.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Rupanco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	12,16	40	10,55	6,96	30	23,3	22	<1	<1	<3	<3	22	3	1	5	0,3
10	11,61	40	10,63	7,36	30	23,3	25	<1	<1	127	28,7	54	<1	<1	2	0,5
20	10,06	40	10,53	7,18	20	15,5	12	<1	<1	105	23,7	36	<1	<1	5	0,6
30	10,72	40	10,32	7,22	20	15,5	13	<1	<1	<3	<3	13	<1	<1	4	0,8
40	10,64	40	10,18	7,14	20	15,5	13	<1	<1	151	34,1	47	3	1	4	1,1
50	10,45	39	9,82	7,08	20	15,5	16	<1	<1	34	7,7	24	3	1	3	1,5
80	10,35	73	9,33	7,01	20	15,5	12	<1	<1	95	21,5	33	3	1	2	0,6
100	---	---	---	7,04	20	15,5	14	<1	<1	159	35,9	50	3	1	3	0,8
Promedio	10,86	44,6	10,20	7,12	22,5	17,5	15,9			111,8	25,3	34,9	3	1	3,5	0,78
DS	0,75	12,6	0,47	0,13	4,6	3,6	4,9			45,6	10,3	14,7	0	0	1,2	0,36
C2																
0	11,93	40	10,46	7,45	20	15,5	13	<1	<1	184	41,6	55	3	1	8	0,3
10	11,26	40	10,53	7,36	20	15,5	13	<1	<1	134	30,3	43	9	2,9	3	0,3
20	10,92	40	10,44	7,93	20	15,5	14	<1	<1	300	67,8	82	3	1	2	0,4
30	10,67	40	10,39	8,04	20	15,5	12	<1	<1	<3	<3	12	3	1	8	0,7
40	10,53	40	10,2	8,23	80	62,1	60	<1	<1	61	13,8	74	<1	<1	11	0,7
50	10,39	40	10,1	8,25	<20	<20	7	<1	<1	255	57,6	65	3	1	3	0,6
80	10,3	40	9,79	8,04	<20	<20	11	<1	<1	173	39,1	50	9	2,9	6	0,4
120	10,21	40	9,31	8,30	20	15,5	12	<1	<1	100	22,6	35	12	3,9	4	0,2
160	10,06	40	8,92	8,07	20	15,5	13	<1	<1	226	51,1	64	12	3,9	5	0,1
200	10,02	40	8,81	7,99	20	15,5	14	<1	<1	195	44,1	58	15	4,9	10	0,3
260	---	---	---	7,65	<20	<20	11	<1	<1	428	96,7	108	<1	<1	15	0,6
Promedio	10,63	40	9,90	7,94	27,5	21,4	16,4			205,6	46,4	58,7	7,7	2,5	6,8	0,4
DS	0,60	0	0,66	0,32	21,2	16,5	14,6			105,4	23,8	25,2	4,8	1,6	4,0	0,2
100625																
0	12,66	30	10,63	7,12	20	15,5	13	<1	<1	150	33,9	47	<1	<1	3	0,3
30	11,02	30	10,52	7,01	<20	<20	11	<1	<1	157	35,5	46	<1	<1	8	0,7
60	---	---	---	7,14	20	15,5	16	<1	<1	<3	<3	16	6	1,96	82	7,4
Promedio	11,84	30	10,57	7,09	20	15,5	13,3			153,5	34,7	36,3	6	1,96	31	2,79
DS	1,16	0	0,08	0,07	0	0	2,5			4,9	1,1	17,6			44,2	3,98

Continuación Tabla 22. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Rupanco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
101851																
0	12,03	27	10,69	6,12	30	23,3	22	<1	<1	15	3,4	25	<1	<1	2	0,3
50	10,49	37	10,06	5,10	40	31,1	32	<1	<1	<3	<3	32	<1	<1	<0,4	0,4
100	---	---	---	7,16	50	38,8	35	<1	<1	27	6,1	41	3	0,98	3	0,8
Promedio	11,26	31,8	10,38	6,13	40	31,1	29,7			21,0	4,7	32,7	3	1,0	2,5	0,51
DS	1,09	7,3	0,44	1,03	10	7,8	6,8			8,5	1,9	8			0,7	0,23
101862																
0	12,07	40	10,74	7,35	40	31,1	30	<1	<1	15	3,4	33	3	0,98	10	1,0
30	10,99	38	10,63	7,12	40	31,1	33	<1	<1	14	3,2	36	<1	<1	<0,4	0,5
60	---	---	---	7,22	30	23,3	21	<1	<1	20	4,5	26	<1	<1	<0,4	1,7
Promedio	11,53	39	10,68	7,23	36,7	28,5	28			16,3	3,7	31,7	3	1,0	10	1,08
DS	0,76	1,4	0,08	0,12	5,8	4,5	6,2			3,2	0,7	5,1				0,61
100522																
0	12,51	30	10,68	6,61	40	31,1	28	<1	<1	<3	<3	28	<1	<1	<0,4	0,3
50	11,53	36	10,30	6,78	40	31,1	32	<1	<1	<3	<3	32	<1	<1	<0,4	<0,1
100	---	---	---	5,77	40	31,1	29	<1	<1	46	10,4	39	3	0,98	10	<0,1
Promedio	12,02	33	10,49	6,39	40	31,1	29,7			46,000	10,4	33	3	0,98	10	0,300
DS	0,69	4,2	0,27	0,54	0	0	2,1					5,6				
100389																
0	12,78	63	10,56	6,98	40	31,1	32	<1	<1	56	12,7	45	3	1,0	2	0,4
10	11,94	62	7,93	7,03	20	15,5	18	<1	<1	3	0,7	19	18	5,9	6	0,4
20	---	---	---	7,04	40	31,1	29	<1	<1	449	101,4	130	12	3,9	18	2,2
Promedio	12,36	62,1	9,24	7,02	33,3	25,9	26,3			169,3	38,3	64,7	11	3,6	8,7	1,02
DS	0,59	0,6	1,86	0,03	11,5	9,0	7,4			243,6	55,0	58,1	7,5	2,5	8,3	1,04
100081																
0	12,48	37	10,69	6,79	30	23,3	24	<1	<1	25	5,6	30	12	3,9	4	0,4
20	11,59	35	10,70	6,85	40	31,1	29	<1	<1	11	2,5	31	<1	<1	<0,4	0,5
40	10,59	32	10,27	6,82	40	31,1	32	<1	<1	<3	<3	32	3	0,98	3	1,1
Promedio	11,55	34,5	10,55	6,82	36,7	28,5	28,3			18	4,1	31	7,5	2,4	3,5	0,65
DS	0,95	2,46	0,24	0,03	5,8	4,5	4,0			9,9	2,2	1	6,4	2,1	0,7	0,38
101707																
0	12,22	37	10,85	5,58	40	31,1	33	<1	<1	<3	<3	33	<1	<1	<0,4	0,4
70	10,38	39	9,77	5,47	40	31,1	31	<1	<1	4	0,9	32	9	2,9	5	0,6
140	---	---	---	6,91	60	46,6	45	<1	<1	86	19,4	64	3	1,0	1	0,8
Promedio	11,30	37,97	10,31	5,99	46,7	36,2	36,3			45	10,2	43	6	2,0	3	0,58
DS	1,30	1,8	0,76	0,80	11,5	9	7,6			58	13,1	18,2	4,2	1,4	2,8	0,18

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 23. Composición fitoplanctónica en el lago Rupanco.

Lago Rupanco		C1		C2		100625		101851		101862		100522		100389		100081		101707	
Clase	Taxa	139476	100	130745	100	168391	100	121965	100	213718	100	114242	100	143130	100	170893	100	143363	100
		cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%
Diatomeas	*Melosira varians*	120	0	1200	1	2001	1	480	0	1360	1	1000	1	0	0	360	0	1080	1
	Aulacoseira spp	11764	8	11204	9	11604	7	10483	9	16125	8	9163	8	4245	3	4922	3	5802	4
	Cyclotella spp	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	x	0	83	0	0	0	0	0
	Urosolenia aff eriensis	1997	1	x	0	0	0	0	0	666	0	0	0	x	0	1332	1	1332	1
	Nitzschia spp	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	0
	Cocconeis sp	0	0	0	0	0	0	666	1	0	0	0	0	653	0	0	0	0	0
	Cymbella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40	0
	Synedra spp	666	0	1997	2	40	0	0	0	40	0	3329	3	653	0	1332	1	2000	1
	Ulnaria ulna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	x	0	0	0	0	0
	Hannaea arcus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0
	Frustulia sp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pinnularia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0
	Navicula spp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Rhopalodia gibba	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
	Epithemia adnata	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Surirella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0
	Gomphoneis spp	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0
	Gomphonema spp	0	0	0	0	40	0	40	0	0	0	0	0	653	0	0	0	0	0
	Asterionella spp	1801	1	1761	1	2041	1	1320	1	920	0	2001	2	874	1	920	1	2041	1
	Fragilaria crotonensis	5402	4	4481	3	8803	5	2401	2	10724	5	x	0	x	0	12404	7	3161	2
	Tabellaria fenestrata	114157	82	108395	83	119399	71	101673	83	164374	77	79826	70	108986	76	107795	63	75145	52
	Tabellaria flocculosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0
	Diatoma spp	x	0	960	1	0	0	2663	2	0	0	0	0	250	0	8003	5	666	0
Crisoficeas	*Dinobryon spp*	3329	2	666	1	23304	14	1997	2	19309	9	18643	16	26110	18	32625	19	49270	34
Cloroficeas	*Dictyosphaerium pulchellum*	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1
	Geminella sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1080	1	0	0
	Nephrocytium sp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	40	0
	Sphaerocystis sp	0	0	0	0	800	0	x	0	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0
	Monoraphidium spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
	Eudorina sp	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0
	Elakathotrix gelatinosa	0	0	0	0	0	0	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Spirogyra sp filamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1
	Staurastrum johnsonii	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cosmarium spp	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cianobacterias	*Phormidium sp filamen*	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinoflagelados	*Ceratium sp*	160	0	40	0	240	0	240	0	40	0	160	0	166	0	40	0	40	0
	Peridinium sp	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	40	0	0	0
Euglenoficeas	*Lepocinclis sp*	40	0	40	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		13		13		18		16		12		14		19		16		18	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 24.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Rupanco. 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	0,0	16,7	0,2
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,0	4,6	0,4
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,1	13,4	0,4
Arena media	2	0.5 – 0.25	1,3	23,2	1,5
Arena fina	3	0.25 – 0.125	4,8	21,6	4,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	9,5	16,8	5,4
Fango	5	< 0.063	84,0	3,4	86,8
Centro 100081					
Grava	-1	4 – 2	29,0	4,7	0,4
Arena muy gruesa	0	2 – 1	20,2	6,2	0,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	17,9	14,1	2,7
Arena media	2	0.5 – 0.25	9,7	19,2	4,7
Arena fina	3	0.25 – 0.125	6,0	23,2	18,1
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	5,7	23,6	17,7
Fango	5	< 0.063	11,1	8,6	55,3
Centro 100389					
Grava	-1	4 – 2	0,5	1,2	0,4
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,6	6,1	2,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	12,1	18,8	13,7
Arena media	2	0.5 – 0.25	19,5	18,9	33,1
Arena fina	3	0.25 – 0.125	16,9	21,3	23,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	18,3	22,9	22,6
Fango	5	< 0.063	29,9	10,5	3,4
Centro 100522					
Grava	-1	4 – 2	55,8	20,7	20,2
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,5	7,3	16,1
Arena gruesa	1	1 – 0.5	7,2	5,2	16,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	22,1	25,2	26,4
Arena fina	3	0.25 – 0.125	5,4	14,5	11,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	0,9	10,6	2,5
Fango	5	< 0.063	4,7	16,4	6,9
Centro 100625					
Grava	-1	4 – 2	3,0	0,4	12,9
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,2	0,2	9,2
Arena gruesa	1	1 – 0.5	13,4	0,6	22,8
Arena media	2	0.5 – 0.25	17,7	4,1	28,5
Arena fina	3	0.25 – 0.125	14,3	11,8	12,2
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	25,6	23,5	10,7
Fango	5	< 0.063	19,4	59,2	3,4
Centro 101851					
Grava	-1	4 – 2	4,6	3,4	0,1
Arena muy gruesa	0	2 – 1	12,3	7,7	0,5
Arena gruesa	1	1 – 0.5	17,3	15,2	2,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	20,0	21,6	7,7
Arena fina	3	0.25 – 0.125	17,4	23,7	20,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	11,0	18,9	24,7
Fango	5	< 0.063	17,1	9,2	44,0
101862					
Grava	-1	4 – 2	2,2	9,6	1,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	3,7	5,8	0,9
Arena gruesa	1	1 – 0.5	10,0	11,7	3,4
Arena media	2	0.5 – 0.25	17,4	26,6	10,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	15,7	21,1	17,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	15,4	15,5	24,3
Fango	5	< 0.063	35,4	9,4	42,5

Tabla 25.

Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) por centro seleccionado en el ***lago Rupanco***.

Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
101707	1	A	4,25	0,61	Limo grueso
		B	4,25	0,59	Limo grueso
		C	4,27	0,66	Limo grueso
	2	A	1,70	1,68	Arena mediana
		B	1,32	1,67	Arena mediana
		C	1,27	1,83	Arena mediana
	3	A	4,21	0,87	Limo grueso
		B	4,27	0,71	Limo grueso
		C	4,25	0,76	Limo grueso
100081	1	A	0,50	2,20	Arena gruesa
		B	0,38	1,69	Arena gruesa
		C	0,78	2,06	Arena gruesa
	2	A	2,10	1,38	Arena fina
		B	1,89	1,68	Arena mediana
		C	2,18	1,62	Arena fina
	3	A	3,32	1,17	Arena muy fina
		B	3,85	1,08	Arena muy fina
		C	3,74	1,25	Arena muy fina
100389	1	A	3,30	1,45	Arena muy fina
		B	2,96	1,47	Arena fina
		C	1,97	1,33	Arena mediana
	2	A	1,78	1,28	Arena mediana
		B	2,66	1,49	Arena fina
		C	1,98	1,54	Arena mediana
	3	A	2,06	1,28	Arena fina
		B	2,00	1,18	Arena fina
		C	2,20	1,07	Arena fina
100522	1	A	0,63	2,09	Arena gruesa
		B	-0,29	1,54	Arena muy gruesa
		C	-0,64	1,42	Arena muy gruesa
	2	A	2,06	1,38	Arena fina
		B	0,97	2,13	Arena gruesa
		C	1,57	2,40	Arena mediana
	3	A	0,78	1,80	Arena gruesa
		B	0,97	1,66	Arena gruesa
		C	0,60	1,68	Arena gruesa
100625	1	A	2,25	1,40	Arena fina
		B	2,03	1,91	Arena fina
		C	2,89	1,54	Arena fina
	2	A	3,88	0,91	Arena muy fina
		B	3,87	0,97	Arena muy fina
		C	3,76	1,06	Arena muy fina
	3	A	1,55	1,46	Arena mediana
		B	1,21	0,97	Arena mediana
		C	0,66	2,00	Arena gruesa
101851	1	A	1,73	1,76	Arena mediana
		B	2,61	1,69	Arena fina
		C	1,21	1,55	Arena mediana
	2	A	1,91	1,62	Arena mediana
		B	1,97	1,48	Arena mediana
		C	2,06	1,50	Arena fina
	3	A	3,37	1,20	Arena muy fina
		B	3,63	1,01	Arena muy fina
		C	3,46	1,13	Arena muy fina
101862	1	A	2,77	1,85	Arena fina
		B	1,85	1,14	Arena mediana
		C	3,73	1,34	Arena muy fina
	2	A	1,71	1,72	Arena mediana
		B	1,54	1,48	Arena mediana
		C	2,09	1,78	Arena fina
	3	A	2,37	1,29	Arena fina
		B	3,46	1,19	Arena muy fina
		C	4,22	0,58	Limo grueso

Tabla 26.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en enero del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	17,5*	---	6,7*	7,93	< 20	< 20	10	< 1	< 1	< 3	< 3	10	3	0,98	1	<0,1
10	17,6*	---	7,33*	7,87	< 20	< 20	3	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	6	1,96	2	<0,1
20	16,9*	---	6,8*	7,93	< 20	< 20	4	< 1	< 1	47	10,6	15	3	0,98	1	0,12
30	16,5*	---	7,11*	7,99	< 20	< 20	10	< 1	< 1	265	59,9	70	3	0,98	2	0,11
40	14,1*	---	7,77*	8,04	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	85	19,2	19	3	0,98	2	0,12
50	12,8*	---	7,13*	7,92	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	198	44,7	45	3	0,98	2	0,21
80	13*	---	7,97*	7,81	< 20	< 20	2	5	1,52	911	205,8	209	9	2,94	3	1,04
120	13*	---	7,69*	7,5	< 20	< 20	1	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	6	1,96	2	0,23
160	13,3*	---	7,7*	7,57	< 20	< 20	11	< 1	< 1	46	10,4	21	6	1,96	3	<0,1
200	12,6*	---	7,4*	7,83	< 20	< 20	5	< 1	< 1	76	17,2	22	6	1,96	3	0,11
250	12,6*	---	7,11*	7,78	< 20	< 20	6	< 1	< 1	32	7,2	13	3	0,98	1	0,11
300	12,5*	---	6,93*	7,87	< 20	< 20	7	< 1	< 1	40	9	16	6	1,96	2	0,11
Promedio	14,37		7,30	7,84			5,9	5	1,522	188,9	42,7	44	4,75	1,55	2	0,24
DS	2,10		0,41	0,16			3,5			282,4	63,8	60,8	2,01	0,65	0,74	0,3
C 2																
0	18,3*	---	6,11*	7,35	< 20	< 20	10	< 1	< 1	19	4,3	14	9	2,94	5	0,2
10	18,3*	88*	6,24*	----	< 20	< 20	8	< 1	< 1	62	14	22	3	0,98	2	<0,1
20	18,1*	88*	6,47*	----	30	23,3	20	< 1	< 1	479	108,2	128	6	1,96	3	0,22
30	17,9*	---	7,48*	8,34	< 20	< 20	10	< 1	< 1	117	26,4	36	6	1,96	3	0,23
40	13,9*	90*	7,1*	----	20	15,5	14	< 1	< 1	19	4,3	18	6	1,96	3	<0,1
50	13,6*	85*	7,1*	----	30	23,3	20	< 1	< 1	50	11,3	31	3	0,98	2	0,11
80	13,6*	88*	7,1*	----	< 20	< 20	9	< 1	< 1	75	16,9	26	3	0,98	2	0,24
120	14*	83*	7,1*	----	< 20	< 20	5	< 1	< 1	4	0,9	< 10	3	0,98	2	0,12
160	13,9*	89*	7,35*	----	30	23,3	26	< 1	< 1	14	3,2	29	< 1	< 1	1	<0,1
200	15,9*	91*	6,93*	----	< 20	< 20	10	< 1	< 1	316	71,4	81	9	2,94	4	<0,1
250	14,9*	91*	7,2*	----	20	15,5	12	< 1	< 1	123	27,8	40	6	1,96	2	0,12
Promedio	15,67	88,11	6,93	7,85	26	20,2	13,1			116,2	26,2	42,5	5,40	1,76	2,64	0,18
DS	2,07	2,67	0,45	0,7	5,5	4,3	6,3			149,2	33,7	35,4	2,37	0,77	1,12	0,06

Continuación Tabla 26. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en enero del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100070																
0	19,7*	---	6,36*	----	< 20	< 20	7	6	1,83	171	38,6	47	3	0,98	2	0,45
5	19,2*	---	6,38*	----	< 20	< 20	6	51	15,53	460	103,9	125	3	0,98	2	0,11
10	19,5*	---	6,35*	----	< 20	< 20	7	6	1,83	105	23,7	33	18	5,87	6	0,57
Promedio	19,47		6,36				6,67	21	6,39	245,3	55,4	68	8	2,61	3,33	0,38
DS	0,25		0,02				0,58	26	7,91	188,8	42,7	49,6	9	2,82	2,31	0,24
100390																
0	19,1*	---	6,29*	7,7	< 20	< 20	8	4	1,22	14	3,2	12	3	0,98	1	0,21
35	17,5*	---	7,47*	7,9	< 20	< 20	9	1	0,3	143	32,3	41	6	1,96	3	0,11
70	13,5*	---	7,64*	7,9	< 20	< 20	10	5	1,52	91	20,6	32	3	0,98	2	0,11
Promedio	16,70		7,13	7,83			9	3,33	1,01	82,7	18,7	28,3	4	1,30	2	0,14
DS	2,88		0,74	0,12			1	2,08	0,63	64,9	14,7	14,8	1,73	0,56	1	0,06
100370																
0	16,8*	---	6,1*	8,14	< 20	< 20	6	< 1	< 1	14	3,16	< 10	12	3,91	8	0,11
25	16,9*	---	6,15*	7,94	< 20	< 20	6	< 1	< 1	3	0,68	< 10	21	6,85	9	0,1
50	15,2*	---	6,5*	8,39	< 20	< 20	7	1	0,3	14	3,16	11	9	2,94	7	0,21
Promedio	16,30		6,25	8,16			6,33	1	0,3	10,3	2,33	11	14	4,57	8	0,14
DS	0,95		0,22	0,23			0,58			6,4	1,43		6,24	2,04	1	0,06
100628																
0	17,7*	---	6,13*	7,9	< 20	< 20	10	< 1	< 1	< 3	< 3	10	6	1,96	3	0,33
15	17*	---	6,43*	7,98	< 20	< 20	8	< 1	< 1	37	8,36	16	6	1,96	2	0,2
30	17,8*	---	6,23*	7,93	< 20	< 20	9	< 1	< 1	17	3,84	13	6	1,96	2	0,31
Promedio	17,50		6,26	7,94			9			27	6,10	13	6	1,96	2,33	0,28
DS	0,44		0,15	0,04			1			14,1	3,19	3	0	0	0,58	0,07
100627																
0	17,6*	---	6,15*	7,89	< 20	< 20	9	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	< 1	< 1	1	0,2
15	17,1*	---	6,23*	7,74	< 20	< 20	8	6	1,83	37	8,36	18	9	2,94	3	0,1
25	17,1*	---	6,32*	7,7	< 20	< 20	10	< 1	< 1	6	1,36	11	< 1	< 1	1	0,2
Promedio	17,27		6,23	7,78			9	6	1,83	21,5	4,86	14,5	9	2,94	1,67	0,17
DS	0,29		0,09	0,1			1			21,9	4,95	4,9			1,15	0,06
100545																
0	17,9*	---	6,8*	7,71	< 20	< 20	7	3	0,91	< 3	< 3	< 10	6	1,96	2	0,6
10	18,2*	---	6,85*	7,8	< 20	< 20	6	4	1,22	19	4,3	12	6	1,96	2	1
20	17,8*	---	6,66*	7,7	< 20	< 20	6	3	0,91	227	51,3	58	6	1,96	2	1,2
Promedio	17,97		6,77	7,74			6,33	3,33	1,01	123	27,8	34,8	6	1,96	2	0,92
DS	0,21		0,10	0,06			0,58	0,58	0,18	147,1	33,2	32,9	0	0	0	0,32

Continuación Tabla 26. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en enero del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100204																
0	22,1*	---	5,76*	7,5	< 20	< 20	8	1	0,3	41	9,26	17	3	0,98	1	0,8
30	20,6*	---	5,62*	7,56	< 20	< 20	6	11	3,35	< 3	< 3	< 10	3	0,98	2	1,1
60	17,3*	---	6,42*	7,58	< 20	< 20	5	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	< 1	< 1	< 0,4	0,8
Promedio	20		5,93	7,55			6,33	6	1,83	41	9,26	17	3	0,98	1,5	0,9
DS	2,46		0,43	0,04			1,53	7,07	2,15				0	0	0,71	0,19
100507																
0	22,1*	---	7,08*	7,24	< 20	< 20	7	< 1	< 1	13	2,9	10	6	1,96	3	0,8
25	19,4*	---	7,17*	7,31	< 20	< 20	6	< 1	< 1	47	10,6	17	3	0,98	2	0,6
50	19,8*	---	8,41*	7,3	< 20	< 20	5	< 1	< 1	158	35,7	41	6	1,96	3	1,1
Promedio	20,43		7,55	7,28			6			72,7	16,4	22,7	5	1,63	2,67	0,81
DS	1,46		0,74	0,04			1			75,8	17,1	16,3	1,73	0,56	0,58	0,25
100332																
0	22,2*	---	5,87*	7,61	< 20	< 20	9	8	2,44	160	36,1	48	3	0,98	2	0,7
30	18,7*	---	6,2*	7,55	< 20	< 20	9	1	0,3	51	11,5	21	6	1,96	3	0,8
50	18,1*	---	6,66*	7,67	< 20	< 20	7	11	3,35	165	37,3	48	6	1,96	3	0,8
Promedio	19,67		6,24	7,61			8,33	6,67	2,03	125,3	28,3	38,7	5	1,63	2,67	0,78
DS	2,21		0,40	0,06			1,15	5,13	1,56	64,4	14,6	15,4	1,73	0,56	0,58	0,05
100510																
0	20,7*	---	6,52*	7,48	< 20	< 20	5	3	0,91	< 3	< 3	< 10	3	0,98	1	0,6
30	18,9*	---	6,06*	7,5	< 20	< 20	6	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	3	0,98	1	0,8
60	16,5*	---	6,62*	7,18	< 20	< 20	8	5	1,52	132	29,8	39	9	2,94	4	0,8
Promedio	18,70		6,40	7,39			6,3	4	1,22	132	29,8	39	5	1,63	2	0,74
DS	2,11		0,30	0,18			1,5	1,41	0,43				3	1,13	1,73	0,11
100100																
0	21,2*	---	5,58*	7,07	< 20	< 20	4	4	1,22	25	5,6	11	3	0,98	1	0,2
20	20,9*	---	5,8*	7,52	< 20	< 20	6	1	0,3	167	37,7	44	6	1,96	2	0,8
40	18,2*	---	6,42*	7,6	< 20	< 20	8	< 1	< 1	130	29,4	37	9	2,94	4	0,7
Promedio	20,10		5,93	7,4			6	2,50	0,76	107,3	24,2	30,7	6	1,96	2,33	0,56
DS	1,65		0,44	0,29			2	2,12	0,65	73,7	16,6	17,4	3	0,98	1,53	0,35
101866																
0	22,3*	---	6,63*	7,47	< 20	< 20	5	< 1	< 1	< 3	< 3	< 10	6	1,96	2	0,6
20	25,3*	---	7,52*	7,33	< 20	< 20	5	< 1	< 1	75	16,9	22	3	0,98	2	0,8
45	19,8*	---	7,64*	7,51	< 20	< 20	6	10	3,04	46	10,4	19	15	4,89	6	0,8
Promedio	22,47		7,26	7,44			5,3	10	3,045	61	13,7	21	8	2,61	3,33	0,73
DS	2,75		0,55	0,09			0,6			20,5	4,6	2,12	6,24	2,04	2,31	0,15

*Valores medidos con multiparamétrico. En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 27.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Agosto del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	11,1	40	10,26	6,3	50	38,8	40	2	0,61	72	16,3	56,9	6	1,96	4	13,3
10	11,09	44	10,23	6,19	60	46,6	44	1	0,3	94	21,2	65,5	12	3,91	5	1,3
20	11,08	37	10,20	5,4	50	38,8	37	2	0,61	61	13,8	51	15	4,89	6	1,1
30	11,08	53	10,18	5,76	70	54,4	53	2	0,61	72	16,3	69,9	3	0,98	3	0,9
40	11,08	46	10,14	5,41	60	46,6	46	2	0,61	89	20,1	66,7	6	1,96	8	1,2
50	11,08	29	10,12	5,81	40	31,1	29	4	1,22	272	61,4	91,7	3	0,98	3	1,7
80	11,06	39	9,97	7,05	50	38,8	39	2	0,61	216	48,8	88	9	2,94	4	0,6
120	10,8	41	9,35	6,58	50	38,8	41	2	0,61	272	61,4	103,1	15	4,89	5	<0,1
160	10,73	38	9,06	6,6	50	38,8	38	2	0,61	249	56,3	94,9	18	5,87	7	<0,1
200	10,66	37	8,96	7,78	50	38,8	37	2	0,61	302	68,2	105,8	21	6,85	8	0,4
250	10,6	26	8,59	6,19	30	23,3	26	1	0,30	369	83,4	109,7	9	2,94	5	0,6
Promedio	10,94	39,1	9,73	6,28	50,9	39,5	39,1	2	0,61	188	42,5	82,1	10,6	3,47	5,27	2,34
DS	0,2	7,44	0,62	0,71	10,4	8,1	7,4	0,77	0,24	112,3	25,4	20,8	6,1	1,97	1,79	4,13
C2																
0	11,1	26	----	7,73	30	23,3	26	2	0,61	85	19,2	45,8	6	1,96	2	1,3
10	11,04	31	----	7,66	40	31,1	31	2	0,61	56	12,7	44,3	6	1,96	3	1,4
20	11,04	32	----	7,57	40	31,1	32	2	0,61	19	4,3	36,9	6	1,96	3	1,4
30	11,04	34	----	7,33	40	31,1	34	3	0,91	157	35,5	70,4	3	0,98	2	1,3
40	11,04	24	----	7,02	30	23,3	24	2	0,61	91	20,6	45	15	4,89	6	1,8
50	11,03	56	----	6,61	70	54,4	56	4	1,22	110	24,8	82	< 1	< 1	<0,4	1,4
80	11,03	48	----	7,02	60	46,6	48	18	5,48	140	31,6	85	< 1	< 1	1	1,1
120	11,04	55	----	7,45	70	54,4	55	2	0,61	138	31,2	86,8	9	2,94	3	0,3
160	10,82	22	----	7,46	30	23,3	22	< 1	< 1	165	37,3	59	12	3,91	4	<0,1
200	10,72	50	----	7,82	60	46,6	50	45	13,70	255	57,6	121,3	18	5,87	7	0,6
Promedio	10,99	37,8		7,37	47	36,5	37,8	8,89	2,71	121,6	27,5	67,7	9,38	3,06	3,44	1,18
DS	0,12	13,14		0,38	16,4	12,7	13,1	14,5	4,42	65,6	14,8	26,5	5,2	1,69	1,94	0,46

Continuación Tabla 27. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Agosto del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100070																
0	10,19	51	10,69	7,99	70	54,4	51	2	0,61	35	7,9	59,5	6	1,96	3	1
5	9,88	47	10,64	8,05	60	46,6	47	1	0,30	37	8,4	55,7	3	0,98	8	1,8
10	----	----	----	8,17	60	46,6	45	1	0,30	41	9,3	54,6	6	1,96	2	2
Promedio	10,04	49	10,66	8,07	63,3	49,2	47,7	1,33	0,41	37,7	8,5	56,6	5	1,63	4,33	1,60
DS	0,22	3	0,03	0,09	5,8	4,5	3,1	0,58	0,18	3,1	0,7	2,6	1,7	0,56	3,21	0,53
100390																
0	11,18	49	10,21	7,93	60	46,6	49	2	0,61	95	21,5	71,1	3	0,98	5	0,9
35	11,07	49	10,18	7,98	60	46,6	49	1	0,3	75	16,9	66,2	9	2,94	3	1,2
70	----	----	----	8,07	60	46,6	44	1	0,3	231	52,2	96	3	0,98	4	0,8
Promedio	11,13	49	10,20	7,99	60	46,6	47,3	1,33	0,41	133,7	30,2	77,8	5	1,63	4	0,97
DS	0,08	0	0,02	0,07	0	0	2,9	0,58	0,18	84,9	19,2	16	3,46	1,13	1	0,21
100370																
0	11,03	52	10,3	8,08	70	54,4	52	3	0,91	120	27,1	80	6	1,96	3	0,8
25	11,04	43	10,26	8,21	60	46,6	43	1	0,3	279	63	106	9	2,94	3	2,4
50	----	----	----	8,65	30	23,3	23	< 1	< 1	66	14,9	38	3	0,98	7	1,2
Promedio	11,04	48	10,28	8,31	53,33	41,4	39,3	2	0,61	155	35	74,7	6	1,96	4,33	1,47
DS	0,01	6	0,03	0,3	20,82	16,2	14,8	1,41	0,43	110,7	25	34,3	3	0,98	2,31	0,83
100628																
0	11,09	24	10,4	7,91	30	23,3	24	< 1	< 1	60	13,6	38	3	0,98	5	1,3
15	11,06	27	10,36	7,89	40	31,1	27	1	0,3	56	12,7	40	3	0,98	4	1,5
30	11,05	39	7,94	7,83	50	38,8	39	2	0,61	539	121,8	161,4	6	1,96	2	1,5
Promedio	11,07	30,0	9,56	7,88	40	31,1	30	1,5	0,46	218,3	49,3	79,8	4	1,3	3,67	1,43
DS	0,02	7,94	1,41	0,04	10	7,8	7,9	0,71	0,22	277,7	62,7	70,7	1,73	0,56	1,53	0,12
100627																
0	11,09	28	10,55	8,15	40	31,1	28	< 1	< 1	62	14	42	3	0,98	6	2,1
15	11,09	31	10,5	8,17	40	31,1	31	< 1	< 1	61	13,8	45	3	0,98	10	1,2
30	11,08	30	9,99	8,37	40	31,1	30	< 1	< 1	60	13,6	44	3	0,98	3	1,4
Promedio	11,09	29,67	10,35	8,23	40	31,1	29,7			61	13,8	43,7	3	0,98	6,33	1,57
DS	0,00	1,53	0,31	0,12	0	0	1,5			1	0	1,5	0	0	3,51	0,47
100545																
0	11,1	52	10,38	7,81	70	54,4	52	1	0,3	46	10,4	62,7	28	9,13	3	0,2
10	10,93	62	10,39	7,88	80	62,1	62	1	0,3	40	9	71	< 1	< 1	2	<0,1
20	10,89	98	10,37	7,87	130	100,9	98	1	0,3	39	8,8	107	< 1	< 1	244	0,1
Promedio	10,97	70,67	10,38	7,85	93,33	72,5	70,7	1	0,3	41,7	9,4	80	28	9,13	83	0,14
DS	0,11	24,19	0,01	0,04	32,15	25,0	24,2	0	0	3,8	0,9	23,5			139,431	0,1

Continuación Tabla 27. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Agosto del 2015.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100204																
0	11,07	30	10,48	7,81	40	31,1	30	1	0,3	41	9,3	39,6	9	2,94	3	<0,1
30	11,03	44	10,43	7,97	60	46,6	44	1	0,3	40	9,0	53	< 1	< 1	2	0,1
60	10,99	39	10,37	8,07	50	38,8	39	1	0,3	47	10,6	50	6	1,96	126	0,1
Promedio	11,03	38	10,43	7,95	50	38,8	37,7	1	0,3	42,7	9,6	47,5	7,50	2,45	43,7	0,12
DS	0,04	7	0,05	0,13	10	7,8	7,1	0	0	3,8	0,9	7,0	2,12	0,69	71,3	0
100507																
0	11,09	35	10,55	7,88	50	38,8	35	1	0,3	41	9,3	44,6	< 1	< 1	2	0,2
25	11,07	30	10,5	8,04	40	31,1	30	1	0,3	57	12,9	43	3	0,98	2	<0,1
50	11,01	33	10,5	7,8	40	31,1	33	1	0,3	52	11,7	45	3	0,98	7	0,1
Promedio	11,06	32,7	10,51	7,91	43,33	33,6	32,7	1	0,3	50	11,3	44,2	3	0,98	3,67	0,18
DS	0,04	2,52	0,03	0,12	5,77	4,5	2,5	0	0	8,2	1,8	1,1	0	0	2,89	0,09
100332																
0	11,24	90	10,65	7,66	100	77,6	90	2	0,61	50	11,3	102	15	4,89	2	<0,1
30	11,09	77	10,63	7,75	80	62,1	77	3	0,91	43	9,7	87,6	6	1,96	<0,4	<0,1
50	11,1	62	10,25	7,71	80	62,1	62	1	0,3	42	9,5	71,8	12	3,91	123	0,2
Promedio	11,14	76,33	10,51	7,71	86,67	67,3	76,3	2	0,61	45	10,2	87,1	11	3,59	62,5	0,23
DS	0,08	14,01	0,23	0,05	11,55	9,0	14,0	1	0,3	4,36	1,0	15,1	4,58	1,49	85,6	
100510																
0	11,26	172	10,53	7,65	180	139,8	172	1	0,3	314	70,9	243,2	12	3,91	1	<0,1
30	11,13	70	10,48	7,72	90	69,9	70	2	0,61	118	26,7	97,3	21	6,85	< 0,4	<0,1
60	11,11	46	10,41	7,55	50	38,8	46	4	1,22	94	21,2	68	9	2,94	<0,4	0,6
Promedio	11,17	96	10,47	7,64	106,67	82,8	96	2,33	0,71	175,3	39,6	136,2	14	4,57	1	0,58
DS	0,08	67	0,06	0,09	66,58	51,7	66,9	1,53	0,47	120,7	27,3	93,8	6,24	2,04		
100100																
0	11,21	30	10,64	7,54	40	31,1	30	1	0,3	40	9,0	39	9	2,94	122	0,2
20	11,06	39	10,6	7,6	50	38,8	39	1	0,3	41	9,3	48,6	6	1,96	3	0,4
40	----	----	----	7,62	340	264,0	291	4	1,22	47	10,6	303	12	3,91	1	0,5
Promedio	11,14	34,5	10,62	7,59	143,33	111,3	120	2	0,61	42,7	9,6	130	9	2,94	42	0,36
DS	0,10	6,36	0,03	0,04	170,39	132,3	148,2	1,7	0,53	3,8	0,9	149,7	3	0,98	69,3	0,12
101866																
0	11,12	43	10,67	7,74	60	46,6	43	1	0,3	44	9,9	53	6	1,96	2	0,6
20	11,06	81	10,61	7,44	100	77,6	81	1	0,3	48	10,8	92	12	3,91	1	0,2
45	11,01	60	10,54	7,32	80	62,1	60	1	0,3	46	10,4	70,7	6	1,96	2	0,5
Promedio	11,06	61	10,61	7,5	80	62,1	61,3	1	0,3	46	10,4	71,9	8	2,61	1,67	0,43
DS	0,06	19,04	0,07	0,22	20	15,5	19,0	0	0	2	0,5	19,5	3,46	1,13	0,58	0,19

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4 y valor de fósforo total inferior a P-PO_4, según corresponda.

Tabla 28.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Enero del 2016.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	18,3	77,3	9,62	7,22	100	77,6	80	< 1	< 1	33	7,5	87	< 1	< 1	1	<0,1
10	17,95	76,8	9,64	7,49	100	77,6	77	< 1	< 1	52	11,7	89	< 1	< 1	1	<0,1
20	17,14	75,1	9,94	6,94	170	132	130	< 1	< 1	69	15,6	146	< 1	< 1	1	0,4
30	15,56	72,1	10,42	7,07	110	85,4	83	< 1	< 1	36	8,1	91	9	2,94	5	0,2
40	14,14	69,7	10,73	7,14	140	108,7	108	< 1	< 1	125	28,2	136	< 1	< 1	1	0,3
50	12,42	66,6	10,78	7,29	150	116,5	113	< 1	< 1	32	7,2	120	6	1,96	4	0,5
80	11,23	64,6	10,51	6,69	170	132	132	< 1	< 1	30	6,8	139	6	1,96	4	0,6
120	10,96	64,3	10,49	6,91	130	100,9	104	< 1	< 1	47	10,6	115	3	0,98	4	0,2
160	10,82	64,4	10,28	6,93	140	108,7	110	< 1	< 1	50	11,3	121	15	4,89	7	0,1
200	10,74	64,8	9,83	7,12	130	100,9	103	< 1	< 1	140	31,6	135	6	1,96	4	0,7
250	10,65	65,7	9,2	7,35	130	100,9	104	< 1	< 1	300	67,8	172	6	1,96	4	0,1
300	----	----	----	6,92	140	108,7	107	< 1	< 1	203	45,9	152,9	6	1,96	22	0,3
Promedio	13,63	69,2	10,13	7,09	134,2	104,2	104,3			93,1	21	125,3	7,13	2,32	4,83	0,34
DS	3,10	5,2	0,52	0,23	23,1	18	17,4			84,7	19,1	27	3,56	1,16	5,73	0,21
C2																
0	18,07	76,8	9,64	7,11	180	139,8	142	< 1	< 1	102	23,0	165	< 1	< 1	1	< 0,1
10	17,71	76,2	9,73	7,18	70	54,4	50	< 1	< 1	41	9,3	59	3	0,98	2	0,2
20	17,52	75,8	9,76	7,4	200	155,3	152	< 1	< 1	59	13,3	165	3	0,98	2	0,6
30	15,36	71,8	10,53	7,21	160	124,2	124	< 1	< 1	108	24,4	148	< 1	< 1	< 0,4	< 0,1
40	13,33	68,2	10,85	7,18	170	132	131	< 1	< 1	118	26,7	158	< 1	< 1	< 0,4	< 0,1
50	12,21	66,3	10,85	7,03	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,6
80	11,28	64,7	10,59	6,88	170	132	133	< 1	< 1	45	10,2	143	< 1	< 1	< 0,4	0,7
120	10,89	64,2	10,44	7,27	110	85,4	84	< 1	< 1	87	19,7	104	3	0,98	3	0,4
160	----	----	----	7,11	200	155,3	153	< 1	< 1	215	48,6	202	3	0,98	1	0,6
200	----	----	----	7,21	190	147,5	144	< 1	< 1	420	94,9	239	< 1	< 1	1	0,5
250	----	----	----	7,21	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,1
Promedio	14,55	70,5	10,3	7,16	161,1	125,1	123,7			132,8	30	153,67	3	0,98	1,67	0,46
DS	3,00	5,3	0,51	0,13	43,7	33,9	34,6			119,7	27,1	51,8	0	0	0,82	0,21

Continuación Tabla 28. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Enero del 2016.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100070																
0	19,55	150,1	5,95	7,06	130	100,9	100	< 1	< 1	23,00	5,20	105	3	0,98	10	0,5
5	19,41	141	6,37	7,15	110	85,4	84	< 1	< 1	< 3	< 3	84	< 1	< 1	3	0,3
10	----			7,27	120	93,2	94	< 1	< 1	57,00	12,88	107	12	3,91	6	1,6
Promedio	19,48	145,5	6,16	7,16	120	93,2	92,7			40	9,0	98,7	7,5	2,45	6,33	0,8
DS	0,10	6,5	0,3	0,11	10	7,8	8,1			24,04	5,4	12,7	6,36	2,08	3,51	0,7
100390																
0	19,72	79,8	9,5	7,49	100	77,6	80	< 1	< 1	104	23,5	103	< 1	< 1	1	0,1
35	15,71	72,4	10,36	7,2	130	100,9	97	< 1	< 1	< 3	< 3	97	< 1	< 1	1	< 0,1
70	11,37	64,8	10,56	7,1	140	108,7	104	< 1	< 1	79	17,8	122	25	8,2	11	0,4
Promedio	15,6	72,3	10,14	7,26	123,3	95,8	93,7			92	20,7	107,3	25	8,15	4,33	0,25
DS	4,18	7,5	0,56	0,20	20,8	16,2	12,3			17,7	4	13,1			5,77	0,21
100370																
0	19,76	78,7	9,57	7,3	180	139,8	139	< 1	< 1	36	8,1	147	< 1	< 1	1	0,1
25	17,19	75,1	10,03	7,33	50	38,8	41	< 1	< 1	31	7	48	< 1	< 1	< 0,4	< 0,1
50	12,83	67,2	10,78	7,55	80	62,1	59	< 1	< 1	< 3	< 3	59	< 1	< 1	21	0,4
Promedio	16,59	73,7	10,13	7,39	103,3	80,2	79,7			33,5	7,6	84,7			11	0,25
DS	3,50	5,9	0,61	0,14	68,1	52,9	52,2			3,5	0,8	54,3			14,14	0,21
100628																
0	18,79	78,6	9,53	7,08	50	38,8	41	< 1	< 1	102	23,0	64	9	2,94	21	0,2
15	18,48	77,6	9,53	6,84	80	62,1	63	< 1	< 1	52	11,7	75	6	1,96	22	0,2
30	----	----	----	6,93	90	69,9	69	< 1	< 1	49	11,1	80	< 1	< 1	1	0,3
Promedio	18,64	78,1	9,53	6,95	73,3	56,9	57,7			67,7	15,3	73	7,5	2,45	14,67	0,23
DS	0,22	0,7	0	0,12	20,8	16,2	14,7			29,8	6,7	8,2	2,1	0,69	11,85	0,06
100627																
0	18,92	78,8	9,42	7,25	70	54,4	57	< 1	< 1	87	19,7	77	< 1	< 1	< 0,4	0,2
15	18,21	77,5	9,73	7	90	69,9	66	< 1	< 1	47	10,6	76,6	< 1	< 1	11	0,2
30	15,15	76	10,29	7,02	140	108,7	109	< 1	< 1	37	8,4	117,4	40	13,05	61	0,6
Promedio	17,43	77,4	9,81	7,09	100	77,6	77,3			57	12,9	90,3	40	13,05	36	0,33
DS	2,00	1,4	0,44	0,14	36,1	28	27,8			26,5	6,0	23,4			35,4	0,23
100545																
0	19,57	80	9,39	7,48	20	15,5	14	< 1	< 1	56	12,7	27	3	0,98	3	0,2
10	18,8	78,3	9,77	7,18	20	15,5	15	< 1	< 1	62	14,0	29	6	1,96	3	< 0,1
20	18,04	76,9	9,87	7,4	20	15,5	17	< 1	< 1	119	26,9	44	3	0,98	2	0,1
Promedio	18,80	78,4	9,68	7,35	20	15,5	15,3			79	17,8	33,3	4	1,30	2,67	0,14
DS	0,77	1,6	0,25	0,16	0	0	1,5			34,8	7,9	9,3	1,73	0,56	0,58	0,1

Continuación Tabla 28. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Llanquihue en Enero del 2016.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100204																
0	19,22	79,1	9,46	7,54	130	100,9	100	< 1	< 1	40	9,0	109	< 1	< 1	1	< 0,1
30	14,4	69,9	10,66	7,14	20	15,5	16	< 1	< 1	56	12,7	29	55	17,9	22	0,1
60	----	----	----	7,27	< 20	< 20	3	< 1	< 1	58	13,1	16	61	19,9	24	0,1
Promedio	16,81	74,5	10,06	7,32	75	58,2	39,7			51,3	11,6	51,33	58	18,9	15,7	0,12
DS	3,41	6,5	0,85	0,20	77,78	60,4	52,7			9,9	2,2	50,4	4,2	1,4	12,7	0
100507																
0	18,71	78,1	9,47	7,55	< 20	< 20	1	< 1	< 1	64	14,5	15	31	10,1	14	0,2
25	15,91	72,8	10,37	7,14	< 20	< 20	1	< 1	< 1	106	23,9	25	6	1,96	3	< 0,1
50	12,83	67,4	10,79	7,31	40	31,1	33	< 1	< 1	45	10,2	43	3	0,98	2	0,1
Promedio	15,82	72,8	10,21	7,33	40	31,1	11,7			71,7	16,2	27,7	13,3	4,35	6,3	0,18
DS	2,94	5,4	0,67	0,21			18,5			31,2	7,1	14,2	15,4	5,01	6,7	0,09
100332																
0	18,89	78,6	9,56	7,46	50	38,8	41	< 1	< 1	51	11,5	53	276	90	99	0,7
30	15,35	71,6	10,45	8,02	< 20	< 20	9	< 1	< 1	35	7,9	17	< 1	< 1	1	0,8
50	----	----	----	8,14	< 20	< 20	10	< 1	< 1	39	8,8	19	25	8,2	11	0,9
Promedio	17,12	75,1	10,01	7,87	50	38,8	20			41,7	9,4	29,7	150,5	49,1	37	0,8
DS	2,50	4,9	0,63	0,36			18,2			8,3	1,9	20,2	177,5	57,9	53,93	0,1
100510																
0	19	78,8	9,61	7,08	30	23,3	23	< 1	< 1	66	14,9	38	3	0,98	2	1,2
15	17,07	75,1	10,06	7,01	40	31,1	28	2	0,61	55	12,4	41	83	27,1	31	0,6
27	15,71	72,6	10,36	7,10	40	31,1	28	6	1,83	623	140,7	171	169	55,1	610	16,6
Promedio	17,26	75,5	10,01	7,06	36,7	28,5	26,3	4	1,22	248	56	83,33	85	27,7	214,3	6,13
DS	1,65	3,1	0,38	0,05	5,8	4,5	2,9	2,83	0,86	324,8	73,4	75,94	83,02	27,1	343	9,07
100100																
0	19,15	79	9,6	7,01	< 20	< 20	10	< 1	< 1	104	23,5	33	3	0,98	3	0,8
20	16,01	72,9	10,34	6,86	40	31,1	34	< 1	< 1	54	12,2	46,2	< 1	< 1	< 0,4	1,2
35	----	----	----	7,16	< 20	< 20	11	< 1	< 1	62	14	25	9	2,94	5	0,9
Promedio	17,58	75,9	9,97	7,01	40	31,1	18,3			73,3	16,6	34,7	6	1,96	4	0,97
DS	2,22	4,3	0,52	0,15			13,6			26,9	6,1	10,7	4,2	1,38	1,41	0,21
101866																
0	18,79	78,2	9,6	6,77	60	46,6	46	< 1	< 1	55	12,4	58	< 1	< 1	1	0,5
20	16,05	73	10,36	6,94	< 20	< 20	9	< 1	< 1	104	23,5	32	3	0,98	2	1,2
45	12,31	66,5	10,69	7,3	30	23,3	25	< 1	< 1	75	16,9	42	12	3,91	6	1,2
Promedio	15,72	72,6	10,22	7	45	34,9	26,7			78	17,6	44	7,5	2,45	3	0,97
DS	3,25	5,9	0,56	0,27	21,21	16,5	18,6			24,6	5,6	13,1	6,4	2,08	2,65	0,4

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 29. Composición fitoplanctónica en el lago Llanquihue, campaña de invierno.

Lago Llanquihue		C1		C2		100070		100390		100370		100628		100627		100545		100204		100507		100332		100510		100100		101866	
Clase	Taxa	52729	100	35971	100	199171	100	153074	100	24131	100	10627	100	11540	100	31231	100	29276	100	25336	100	13818	100	124627	100	82605	100	99889	100
		cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%
Diatomeas	*Melosira varians*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	400	0	x	0	x	0
	Aulacoseira spp	80	0	x	0	104874	53	200	0	160	1	40	0	7002	61	40	0	240	1	120	0	1881	14	18566	15	1300	2	2401	2
	Cyclotella spp	45775	87	30332	84	37952	19	131499	86	19975	83	4994	47	x	0	28630	92	20462	70	16645	66	6333	46	24635	20	54582	66	78331	78
	Achnanthidium spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cocconeis sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Cymbella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rhoicosphenia curvata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1
	Ulnaria ulna	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	40	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	1	0	0	x	0
	Hannaea arcus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nitzschia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	480	4	0	0	487	2	0	0	0	0	1561	1	600	1	x	0
	Amphora spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
	Gomphoneis spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Gomphonema spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	499	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gyrosigma sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	x	0	0	0
	Navicula spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	999	9	x	0	x	0	0	0	0	0	760	1	1161	1	x	0
	Diploneis spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	499	4	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	x	0	0	0
	Pinnularia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0
	Epithemia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	40	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Rhopalodia gibba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Surirella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	400	0	x	0	0	0
	Entomoneis alata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Asterionella spp	x	0	800	2	8003	4	x	0	560	2	x	0	x	0	0	0	720	2	600	2	280	2	520	0	1000	1	1000	1
	Fragilaria spp	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1161	1	0	0
	Fragilaria crotonensis	1601	3	x	0	6802	3	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	x	0	4001	16	1601	12	400	0	7002	8	2501	3
	Synedra spp	832	2	2219	6	1332	1	3329	2	0	0	x	0	x	0	40	0	487	2	1332	5	x	0	1997	2	2323	3	0	0
	Tabellaria fenestrata	x	0	0	0	0	0	300	0	0	0	320	3	x	0	x	0	40	0	0	0	x	0	440	0	300	0	x	0
	Diatoma spp	0	0	0	0	0	0	1665	1	x	0	0	0	1280	11	0	0	0	0	0	0	0	0	666	1	0	0	x	0
	Pennada indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisoficeas	*Dinobryon spp*	4161	8	2219	6	17311	9	6658	4	1997	8	499	5	499	4	x	0	560	2	120	0	487	4	2663	2	5807	7	13055	13
Cloroficeas	*Sphaerocystis sp*	0	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	800	3	360	1	600	4	x	0	x	0	x	0
	Eudorina sp	0	0	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	x	0	x	0	0	0	x	0
	Tetraedron sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kirchneriella sp	0	0	0	0	666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Scenedesmus sp	0	0	0	0	1997	1	0	0	499	2	0	0	0	0	0	0	487	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Monoraphidium spp	0	0	0	0	2663	1	4994	3	499	2	0	0	0	0	0	0	487	2	0	0	0	0	3329	3	0	0	0	0
	Oedogonium filamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dictyosphaerium	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13316	11	0	0	0	0
	Oocystis sp	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0	x	0	40	0	0	0	x	0	x	0	x	0
	Nephrocytium sp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	aff Hormidium filamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Crucigenia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
	Elakathotrix gelatinosa	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1949	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	aff Klebsormidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0
	Gonatozygon sp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Staurastrum sp	40	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0	40	0	x	0	40	0	x	0	x	0
	Pleurotaenium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sphaerozosma aubertianum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0
	Cosmarium spp	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mougeotia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Spirogyra sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0
Cianobacterias	*Oscillatoria spp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Phormidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49985	40	0	0	0	0
	Dolichospermum sp (ex Anabe	0	0	0	0	12004	6	0	0	0	0	x	0	x	0	2401	8	0	0	0	0	0	0	4001	3	0	0	0	0
	Chroococcus sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	499	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lyngbya sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Merismopedia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
Dinoficeas	*Ceratium spp*	200	0	200	1	240	0	x	0	200	1	120	1	80	1	x	0	80	0	x	0	80	1	40	0	200	0	200	0
	Peridinium spp	0	0	0	0	3329	2	3329	2	40	0	3995	38	x	0	120	0	2436	8	666	3	2436	18	x	0	6968	8	x	0
Euglenoficeas	*Lepocinclis sp*	40	0	200	1	0	0	1000	1	200	1	40	0	0	0	0	0	40	0	40	0	120	1	0	0	200	0	1400	1
Criptoficeas	*Cryptomonas spp*	0	0	0	0	1997	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		11		14		18		15		16		23		30		22		21		18		14		29		25		25	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 30. Composición fitoplanctónica en el lago Llanquihue, campaña de verano.

Clase	Lago Llanquihue	C1		C2		100070		100390		100370		100628		100627		100545		100204		100507		100332		100510		100100		101866	
	Taxa	23262	100	83326	100	18707	100	41594	100	16610	100	67416	100	28178	100	64493	100	31059	100	44990	100	27767	100	38251	100	69198	100	75549	100
		cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	13444	58	56018	67	780	4	21847	53	15725	95	32090	48	9523	34	11484	18	12004	39	7683	17	12084	44	20887	55	35829	52	3201	4
	Melosira varians	x	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Cyclotella spp	0	0	13982	17	2996	16	x	0	x	0	16978	25	15694	56	18438	29	3995	13	23304	52	5327	19	5992	16	16645	24	22638	30
	Achnanthidium sp	0	0	0	0	999	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cocconeis sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	768	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Amphora spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nitzschia spp	3307	14	40	0	8765	47	11319	27	40	0	40	0	1040	4	16902	26	5327	17	1329	3	0	0	3329	9	8763	13	1332	2
	Gomphonema spp	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gomphoneis spp	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	x	0	0	0	16902	26	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
	Rhoicosphenia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gyrosigma sp	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Navicula spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diploneis sp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Epithemia sp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rhopalodia gibba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	979	1	0	0
	Surirella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Asterionella formosa	x	0	680	1	480	3	x	0	x	0	280	0	600	2	x	0	640	2	x	0	0	0	320	1	1873	3	320	0
	Diatoma sp	0	0	40	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0
	Tabellaria fenestrata	0	0	1332	2	160	1	666	2	0	0	0	0	x	0	x	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fragilaria crotonensis	x	0	2001	2	0	0	1160	3	200	1	2996	4	x	0	0	0	4041	13	3681	8	2001	7	4321	11	1248	2	19309	26
	Synedra spp	1984	9	1310	2	1245	7	1560	4	644	4	7990	12	200	1	0	0	1025	3	5992	13	3995	14	0	0	2986	4	3995	5
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas	*Eudorina sp*	x	0	x	0	680	4	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0	x	0	600	2	x	0	62	0	x	0
	Sphaerocystis sp	1801	8	0	0	0	0	480	1	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0	960	3	0	0	x	0
	Monoraphidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coelastrum spp	x	0	2001	2	x	0	x	0	x	0	0	0	40	0	x	0	360	1	x	0	40	0	1000	3	0	0	666	1
	Dictyosphaerium sp	0	0	40	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	40	0	0	0	x	0	666	1
	aff Microspora sp	80	0	5202	6	0	0	4401	11	x	0	1921	3	1000	4	0	0	x	0	2801	6	3681	13	0	0	624	1	6658	9
	Crucigenia sp	2646	11	640	1	x	0	x	0	x	0	80	0	0	0	x	0	360	1	0	0	x	0	1120	3	125	0	666	1
	Oocystis sp	x	0	0	0	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	aff Hormidium sp	0	0	0	0	680	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2361	8	0	0	0	0	280	1	0	0	0	0
	Staurastrum sp	0	0	40	0	x	0	40	0	x	0	0	0	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0	x	0	x	0	1332	2
	Sphaerozosma aubentianum	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mougeotia sp	x	0	0	0	1561	8	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14648	19
	Elakatothrix gelatinosa	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	40	0	0	0	0	0	62	0	40	0
Cianobacterias	*Microcystis sp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3921	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dolichospermum spp (ex Anabaena)	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Criptoficeas	*Cryptomonas sp*	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	999	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinoflagelados	*Ceratium hirundinella*	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0	80	0	80	0	x	0	40	0	x	0	0	0	40	0	x	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		15		15		23		18		14		14		12		14		19		17		13		15		14		16	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 31.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Chapo.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	9,95	20	10,54	6,03	20	15,5	12	< 1	< 1	59	13,3	25	6	1,96	2	1,89
10	9,10	18,7	10,31	---	< 20	< 20	10	< 1	< 1	46	10,4	20	3	0,98	3	1,08
20	8,89	20	10,08	6,51	---	---	---	---	---	---	---		---	---		2,17
30	8,74	17	9,85	6,8	< 20	< 20	9	< 1	< 1	132	29,8	39	6	1,96	17	1,37
40	8,59	17,9	9,60	6,42	< 20	< 20	7	< 1	< 1	52	11,7	19	< 1	< 1	5	0,99
50	8,48	16,3	9,41	7,23	< 20	< 20	5	< 1	< 1	115	26,0	31	6	1,96	3	0,75
80	8,37	16,9	9,02	6,87	20	15,5	14	< 1	< 1	124	28,0	42	37	12,1	4	0,31
120	8,35	16,9	8,65	6,96	< 20	< 20	2	< 1	< 1	80	18,1	20	3	0,98	8	0,19
160	8,34	18	8,42	7,04	40	31,1	34	< 1	< 1	406	91,7	126	3	0,98	4	0,17
200	8,34	16,2	8,24	7,72	40	31,1	30	< 1	< 1	102	23,0	53	6	1,96	3	0,24
250	8,33	20	7,98		< 20	< 20	10	< 1	< 1	144	32,5	43	6	1,96	2	0,19
Promedio	8,68	17,97	9,28	6,84	30,00	23,3	13,3			126	28,5	41,8	8,4	2,75	5,1	0,85
DS	0,49	1,5	0,88	0,49	11,55	9,0	10,5			104,3	23,6	31,8	10,8	3,52	4,5	0,72
C2																
0	9,67	20	10,35	5,54	20	15,5	18	< 1	< 1	< 3	< 3	18	< 1	< 1	<0,4	1,8
10	9,16	20	10,38	6,41	20	15,5	15	< 1	< 1	76	17,2	32	< 1	< 1	1	1,8
20	9,10	20	10,30	---	20	15,5	13	< 1	< 1	87	19,7	33	< 1	< 1	1	2,2
30	9,01	20	9,98	6,5	< 20	< 20	10	< 1	< 1	125	28,2	38	6	1,96	5	2,0
40	8,57	20	9,43	---	20	15,5	15	< 1	< 1	53	12,0	27	6	1,96	3	1,1
50	8,44	20	9,17	---	20	15,5	16	< 1	< 1	14	3,2	19	3	0,98	2	1,3
80	8,37	20	8,78	---	20	15,5	17	< 1	< 1	143	32,3	49	3	0,98	5	1,4
120	8,35	20	8,48	6,92	60	46,6	46	< 1	< 1	89	20,1	66	6	1,96	3	0,7
160	8,34	20	8,24	6,57	< 20	< 20	11	< 1	< 1	186	42,0	53	3	0,98	2	1,3
200	8,33	20	8,08	6,43	< 20	< 20	4	< 1	< 1	102	23,0	27	3	0,98	<0,4	1,1
250	8,33	20	7,94	---	< 20	< 20	5	< 1	< 1	133	30,0	35	6	1,96	4	1,1
290	---	---	---	7,65	< 20	< 20	7	< 1	< 1	146	33,0	40	< 1	< 1	26	1,4
Promedio	8,70	20	9,19	6,57	25,7	20	14,8			104,9	23,7	36,4	4,5	1,47	5,2	1,43
DS	0,46	0	0,95	0,63	15,1	11,7	10,9			48,3	10,9	14,1	1,6	0,52	7,5	0,44
101278																
0	9,50	20	10,40	7,99	40	31,1	34	4	1,22	29	6,6	42	9	2,94	3	1,9
20	8,84	18	10,53	8,11	50	38,8	39	2	0,61	10	2,3	42	< 1	< 1	1	1,3
40	---	---	---	8,07	100	77,6	79	2	0,61	60	13,6	93	6	1,96	3	1,9
Promedio	9,17	19	10,47	8,06	63,3	49,2	50,7	2,7	0,81	33	7,5	59,0	7,5	2,4	2,3	1,70
DS	0,47	1,41	0,10	0,06	32,1	25	24,7	1,2	0,4	25,2	5,7	29,4	2,1	0,7	1,2	0,35

Continuación Tabla 31. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Chapo.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100678																
0	9,50	18,6	10,29	8,15	40	31,1	30	2	0,61	19	4,3	35	6	1,96	3	1,80
100	8,36	20	8,49	8	50	38,8	41	3	0,91	110	24,8	67	6	1,96	3	0,20
190	8,33	20	7,81	8,05	50	38,8	36	2	0,61	173	39,1	76	3	0,98	3	<0,1
Promedio	8,73	19,52	8,86	8,07	46,7	36,2	35,7	2,33	0,71	100,7	22,7	59,3	5	1,63	3	1,0
DS	0,67	0,83	1,28	0,08	5,8	4,5	5,5	0,58	0,18	77,4	17,5	21,5	1,732	0,56	0	1,1
101051																
0	9,76	20	10,42	7,73	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,7
100	8,35	20	8,62	---	40	31,1	32	< 1	< 1	131	29,6	62	6	1,96	<0,4	1,1
250	---	---	---	7,52	20	15,5	13	< 1	< 1	231	52,2	65	3	0,98	1	1,4
Promedio	9,06	20	9,52	7,63	30	23,3	22,5			181	40,9	63,5	4,50	1,47	1	1,4
DS	1,00	0	1,27	0,15	14,1	11,0	13,4			70,7	16,0	2,1	2,1	0,69		0,3
101332																
0	9,54	20	9,82	8,03	140	108,7	107	19	5,78	114	25,8	139	< 1	< 1	<0,4	1,8
20	8,44	20	9,26	7,87	60	46,6	45	15	4,57	104	23,5	73	< 1	< 1	<0,4	2,1
40	8,38	20	9,28	7,74	40	31,1	32	5	1,52	143	32,3	66	3	0,98	4	1,7
80	8,36	20	9,36	7,91	< 20	< 20	11	2	0,61	148	33,4	45	< 1	< 1	45	1,7
Promedio	8,68	20	9,43	7,89	80,0	62,1	48,8	10,3	3,12	127,3	28,7	80,8	3	0,98	24,5	1,83
DS	0,57	0	0,26	0,12	52,9	41,1	41,3	8,1	2,45	21,6	4,9	40,6			29	0,19
100394																
0	8,75	20	9,74	8	40	31,1	27	2	0,61	130	29,4	57	< 1	< 1	15	2,2
10	8,43	20	10,05	8,05	40	31,1	34	4	1,22	114	25,8	61	< 1	< 1	3	2,5
20	8,31	20	10,97	8,17	80	62,1	61	1	0,30	107	24,2	85	3	0,98	12	13,2
Promedio	8,50	20	10,25	8,07	53,3	41,4	40,7	2,33	0,71	117	26,4	67,7	3	0,98	10	5,97
DS	0,23	0	0,64	0,09	23,1	17,9	18,0	1,53	0,47	11,8	2,7	15,1			6,2	6,27
101291																
0	9,41	20	10,41	7,7	< 20	< 20	11	< 1	< 1	20	4,5	16	6	1,96	2	1,9
20	8,97	20	10,17	8,24	20	15,5	14	< 1	< 1	277	62,6	77	3	0,98	1	3,3
40	8,67	19	9,86	8,02	< 20	< 20	11	< 1	< 1	54	12,2	23	3	0,98	1	3,0
80	8,55	19	9,96	8	20	15,5	12	< 1	< 1	70	15,8	28	3	0,98	19	1,3
Promedio	8,9	19,5	10,10	7,99	20	15,5	12			105,3	23,8	36,0	3,75	1,22	5,8	2,38
DS	0,38	0,58	0,24	0,22	0	0	1,4			116,4	26,3	27,8	1,50	0,49	8,8	0,94

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4 y valor de fósforo total inferior a P-PO_4, según corresponda.

Tabla 32.
Composición fitoplanctónica en el lago Chapo.

Lago Chapo		C1		C2		101278		100678		101051		101332		100394		101291	
Clase	Taxa	387262	100	252686	100	242905	100	196431	100	375976	100	164639	100	388460	100	405182	100
		cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%	cél /L	%
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	x	0	0	0	x	0	0	0	x	0	x	0	x	0	x	0
	Melosira varians	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	667	0	0	0
	Eunotia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0
	Achnanthidium spp	0	0	0	0	1637	1	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
	Cocconeis spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
	Nitzschia spp	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	667	0	1332	0
	Cymbella spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
	Frustulia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
	Navicula spp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	333	0	40	0
	Stauroneis spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Epithemia adnata	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Asterionella formosa	840	0	5162	2	14805	6	7282	4	13724	4	6082	4	6002	2	11524	3
	Fragilaria spp	1665	0	1816	1	0	0	1997	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fragilaria crotonensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46607	12
	Synedra cf accus	336238	87	188850	75	165363	68	143817	73	285747	76	126030	77	8336	2	262332	65
	Ulnaria ulna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3334	1	0	0
	Diatoma cf mesodon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	46815	12	56859	23	61100	25	43294	22	75785	20	30150	18	152383	39	83347	21
	Tabelllaria flocculosa	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	197064	51	x	0
Crisoficeas	Dinobryon spp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas	Eudorina sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Sphaerocystis sp	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0
	Stigeoclonium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Bulbochaete sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Oocystis sp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nephrocytium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
	Crucigenia sp	0	0	x	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sphaerozosma cf aubentianum celula	0	0	x	0	x	0	x	0	720	0	0	0	x	0	x	0
	Zygnema sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16672	4	0	0
	Mougeotia sp sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elakathotrix gelatinosa	40	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
Cianobacterias	*Lyngbya spp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	0	0
Criptoficeas	*Cryptomonas spp*	1665	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2378	1	0	0	0	0
Dinoflagelados	*Peridinium spp*	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0	x	0
Euglenoficeas	*Trachelomonas sp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		11		11		9		11		7		9		21		11	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 33.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Chapo. 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	11,9	0,0	10,3
Arena muy gruesa	0	2 – 1	6,6	0,0	1,1
Arena gruesa	1	1 – 0.5	8,5	0,0	1,3
Arena media	2	0.5 – 0.25	14,5	0,5	1,7
Arena fina	3	0.25 – 0.125	16,8	14,9	4,1
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	9,5	37,8	19,8
Fango	5	< 0.063	31,9	46,5	61,3
Centro 101291					
Grava	-1	4 – 2	0,7	2,5	
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,3	1,8	
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,7	3,2	
Arena media	2	0.5 – 0.25	3,5	5,8	
Arena fina	3	0.25 – 0.125	7,6	17,8	
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	15,6	25,9	
Fango	5	< 0.063	69,3	42,6	
Centro 100678					
Grava	-1	4 – 2	2,9	17,8	56,7
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,1	3,5	7,2
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,8	8,8	2,3
Arena media	2	0.5 – 0.25	2,8	13,1	3,2
Arena fina	3	0.25 – 0.125	2,8	4,4	9,6
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	8,3	9,1	10,3
Fango	5	< 0.063	80,0	42,9	10,4
Centro 101051					
Grava	-1	4 – 2			
Arena muy gruesa	0	2 – 1			
Arena gruesa	1	1 – 0.5			
Arena media	2	0.5 – 0.25			
Arena fina	3	0.25 – 0.125			
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063			
Fango	5	< 0.063			
Centro 101332					
Grava	-1	4 – 2	18,2	17,0	44,5
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,9	6,6	7,5
Arena gruesa	1	1 – 0.5	2,5	9,1	6,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	2,9	11,6	5,8
Arena fina	3	0.25 – 0.125	6,0	5,8	4,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	10,4	3,2	8,9
Fango	5	< 0.063	56,9	46,4	22,3
Centro 101278					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	7,6
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,7	0,3	5,2
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,2	0,3	6,4
Arena media	2	0.5 – 0.25	2,4	0,5	11,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	7,6	2,7	13,6
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	13,1	12,5	9,4
Fango	5	< 0.063	74,7	83,3	46,4

Tabla 34.

Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Chapo*** (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
100394	1	A	Sin muestra				
		B	2,33	1,93	-0,42	2,01	Arena fina
		C	2,15	2,20	-0,48	1,86	Arena fina
	2	A	3,93	0,68	-1,14	5,59	Arena muy fina
		B	3,97	0,69	-1,10	3,94	Arena muy fina
		C	3,51	0,78	-0,24	2,39	Arena muy fina
	3	A	1,88	2,58	-0,33	1,34	Arena mediana
		B	4,28	0,51	-3,14	18,14	Limo grueso
		C	4,13	0,57	-1,53	6,02	Limo grueso
101291	1	A	3,08	1,52	-1,12	3,68	Arena muy fina
		B	4,33	0,59	-4,30	24,52	Limo grueso
		C	4,31	0,45	-2,74	13,91	Limo grueso
	2	A	3,07	1,69	-1,35	4,04	Arena muy fina
		B	3,87	0,83	-1,42	5,33	Arena muy fina
		C	3,05	1,45	-1,03	3,71	Arena muy fina
	3	A	Fondo pedregoso				
		B					
		C					
100628	1	A	3,70	1,70	-2,20	6,54	Arena muy fina
		B	4,17	0,96	-3,84	19,00	Limo grueso
		C	4,04	1,22	-2,94	11,17	Limo grueso
	2	A					
		B	2,32	2,33	-0,53	1,73	Arena fina
		C	Sin muestra				
	3	A	-0,93	1,53	2,83	9,70	Arena muy gruesa
		B	1,36	2,48	0,00	1,33	Arena mediana
		C	0,30	2,17	0,59	1,54	Arena gruesa
101051	1	A	Fondo pedregoso				
		B					
		C					
	2	A					
		B					
		C					
	3	A					
		B					
		C					
101332	1	A	3,87	1,63	-2,56	8,11	Arena muy fina
		B	3,08	2,28	-1,34	3,05	Arena muy fina
		C	1,58	2,49	-0,14	1,32	Arena mediana
	2	A	0,30	1,57	0,36	2,10	Arena gruesa
		B	Sin muestra				
		C	4,27	0,97	-4,87	27,03	Limo grueso
	3	A	-0,55	1,37	1,33	3,82	Arena muy gruesa
		B	-0,88	1,23	1,96	5,74	Arena muy gruesa
		C	3,98	0,96	-2,83	12,96	Arena muy fina
101278	1	A	4,05	0,96	-2,76	11,53	Limo grueso
		B	4,13	0,93	-2,94	11,51	Limo grueso
		C	3,97	0,90	-1,82	6,39	Arena muy fina
	2	A	4,34	0,55	-5,13	36,26	Limo grueso
		B	4,12	0,75	-2,67	12,20	Limo grueso
		C	4,34	0,53	-5,41	43,50	Limo grueso
	3	A	3,70	1,42	-1,77	5,08	Arena muy fina
		B	1,65	2,11	-0,13	1,74	Arena mediana
		C	3,11	1,74	-1,12	3,33	Arena muy fina

Tabla 35.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Popetán.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
E1																
0	17,39	18,4	9,76	7,55	110	85,4	87	16	4,9	< 3	< 3	92	3	0,98	11	2,7
5	13,82	17,02	9,86	6,26	120	93,2	90	< 1	< 1	< 3	< 3	90	6	1,96	3	2,7
10	11,88	16,79	9,7	6,38	120	93,2	89	9	2,7	< 3	< 3	92	9	2,9	5	1,8
15	----	----	----	5,99	120	93,2	90	32	9,7	< 3	< 3	100	34	11,1	15	1,9
Promedio	14,36	17,4	9,77	6,55	117,5	91,2	89	19	5,8			93,5	13	4,2	8,5	2,28
DS	2,79	0,87	0,08	0,69	5	3,9	1,4	11,8	3,6			4,4	14,2	4,6	5,5	0,49
E2																
0	17,68	19,74	9,76	6,62	110	85,4	86	< 1	< 1	< 3	< 3	86	3	0,98	2	2,7
5	13,97	17,4	9,83	6,3	110	85,4	87	< 1	< 1	< 3	< 3	87	12	3,9	6	2,9
10	11,64	16,64	9,46	6,35	100	77,6	81	< 1	< 1	< 3	< 3	81	3	0,98	3	1,7
15	10,39	15,68	8,94	6,18	110	85,4	88	53	16,1	< 3	< 3	104,1	3	0,98	2	0,8
Promedio	13,42	17,36	9,50	6,36	107,5	83,5	85,5	53	16,1			90	5,3	1,7	3,3	2,03
DS	3,20	1,73	0,40	0,19	5	3,9	3,1					10	4,5	1,5	1,9	0,97

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 36.
Composición fitoplanctónica en el lago Popetán.

Lago Popetan		E1		E2	
Clase	Taxa	42500	100	67514	100
		cél /L	%	cél /L	%
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	666	2	80	0
	Achnanthidium spp	0	0	819	1
	Nitzschia spp	666	2	0	0
	Navicula spp	666	2	0	0
Cloroficeas	*Sphaerocystis sp*	13164	31	13404	20
	Staurastrum spp	x	0	x	0
	Mougeotia sp	40	0	x	0
Criptoficeas	*Cryptomonas spp*	16645	39	31926	47
Dinoficeas	*Ceratium sp*	x	0	x	0
	Peridinium spp	10653	25	21284	32
Cianoficeas	*Phormidium sp*	0	0	x	0
Riqueza de taxa (S)		9		9	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 37.
Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Popetán. 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	0,7	0,1	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	8,3	7,8	6,9
Arena gruesa	1	1 – 0.5	29,9	20,9	26,8
Arena media	2	0.5 – 0.25	24,5	22,2	27,9
Arena fina	3	0.25 – 0.125	16,8	28,9	19,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	11,8	16,1	9,5
Fango	5	< 0.063	7,8	3,7	8,9
Centro 2					
Grava	-1	4 – 2	1,1	0,4	0,1
Arena muy gruesa	0	2 – 1	15,6	5,0	8,4
Arena gruesa	1	1 – 0.5	28,7	6,9	22,6
Arena media	2	0.5 – 0.25	23,9	26,6	25,8
Arena fina	3	0.25 – 0.125	14,6	29,3	23,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	8,0	20,0	10,9
Fango	5	< 0.063	7,8	11,4	8,1

Tabla 38.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Popetán*** (s/m: sin muestra).

Código Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
E1	1	A	1,2	1,5	Arena mediana
		B	1,5	1,1	Arena mediana
		C	2,1	1,4	Arena fina
	2	A	1,5	1,2	Arena mediana
		B	2,2	0,9	Arena fina
		C	1,7	1,5	Arena mediana
	3	A	1,5	1,3	Arena mediana
		B	1,6	1,1	Arena mediana
		C	2,0	1,5	Arena fina
E2	1	A	1,6	1,6	Arena mediana
		B	1,1	1,5	Arena mediana
		C	1,4	1,1	Arena mediana
	2	A	2,0	1,2	Arena fina
		B	2,5	1,4	Arena fina
		C	2,4	1,2	Arena fina
	3	A	2,2	1,5	Arena fina
		B	1,2	1,1	Arena mediana
		C	1,8	1,2	Arena mediana

Tabla 39.
Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Popetán*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Tramo A, B= Tramo B.

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	06-11-2015 11:55	S42° 12.339' W73° 27.647'	06-11-2015 15:31	S42° 12.339' W73° 27.917'	3:36:30
A2	5	06-11-2015 11:41	S42° 12.504' W73° 27.687'	06-11-2015 15:19	S42° 12.435' W73° 28.139'	3:38:56
A3	1	06-11-2015 11:47	S42° 12.479' W73° 27.736'	06-11-2015 15:21	S42° 12.463' W73° 27.923'	3:34:30
A4	5	06-11-2015 11:58	S42° 12.327' W73° 27.666'	06-11-2015 15:36	S42° 12.317' W73° 27.778'	3:38:21

Tabla 40.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Cucao.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
E3																
0	19,86	2583,2	9,1	7,3	131,4	102	2750	< 23	< 23	385	87,0	2837	1180	384,8	400	1,5
5	19,34	2679,7	9,09	7,24	136,5	106	1920	< 23	< 23	343	77,5	1997,5	1300	424,0	400	1,9
Promedio	19,6	2631,5	9,095	7,27	133,9	104	2335			364	82,2	2417,2	1240	404,4	400	1,7
DS	0,37	68,2	0,007	0,04	3,6	2,8	586,9			29,7	6,7	593,6	84,9	28	0	0,3
C2																
0	20,73	2218,1	8,35	7,28	142,3	110,5	2320	< 23	< 23	274	61,9	2381,9	820	267,4	200	2
5	19,9	2690,3	8,85	7,38	128,8	100	2190	< 23	< 23	354	80,0	2270	1240	404,4	400	1,4
10	13,95	16580,8	5,75	7,09	135,2	105	2180	< 23	< 23	457	103,2	2283,2	990	322,9	300	0,2
15	13,17	24525,2	0,22	7	140,4	109	2410	< 23	< 23	< 23	< 23	2410	< 500	< 500	< 200	0,3
20	13,17	25015,4	0,08	7,11	128,8	100	2230	< 23	< 23	921	208,1	2438,1	600	195,7	300	0,3
Promedio	16,18	14206	4,65	7,17	135,1	104,9	2266			501,5	113,3	2356,6	912,5	297,6	300	0,84
DS	3,80	11239,3	4,27	0,15	6,3	4,9	97,6			289,5	65,4	75,9	270,5	88,2	81,6	0,81
C1																
0	20,7	2044,1	8,56	7,31	135,2	105	1500	< 23	< 23	363	82,0	1582	940	306,6	300	1,4
5	18,66	3143,5	8,67	7,6	128,8	100	2200	< 23	< 23	407	91,9	2291,9	1230	401,2	400	1,3
10	14,07	16264,8	6,07	7,25	136,5	106	2210	< 23	< 23	582	131,5	2341,5	710	231,6	200	0,1
15	13,09	24429,2	0,15	7,05	139,1	108	2100	< 23	< 23	799	180,5	2280,5	750	244,6	200	0,5
20	13,31	25413,9	0,08	6,98	133,9	104	2300	< 23	< 23	788	178,0	2478	810	264,2	300	0,8
Promedio	15,97	14259,1	4,71	7,24	134,7	104,6	2062			587,8	132,8	2194,8	888	289,6	280	0,82
DS	3,49	11232,2	4,32	0,24	3,8	3,0	322,1			204,9	46,3	351,4	210	68,5	83,7	0,54
E2																
0	20,77	1441	8,21	7,29	128,8	100	2300	< 23	< 23	517	116,8	2416,8	1160	378,3	400	1,7
5	19,78	2885,3	8,74	7,25	128,8	100	2800	< 23	< 23	586	132,4	2932,4	770	251,1	300	1,4
10	13,9	15619,3	4,99	6,98	128,8	100	2930	< 23	< 23	446	100,8	3030,8	1590	518,6	500	0,5
Promedio	18,15	6648,6	7,31	7,17	128,8	100	2676,7			516,3	116,6	2793,3	1173,3	382,7	400	1,2
DS	3,71	7802,4	2,03	0,17	0	0	332,6			70	15,8	329,8	410,2	133,8	100	0,6
100618 (E1)																
0	20,6*	1972*	7,34*	7,33	128,8	100	1930	< 23	< 23	337	76,1	2006,1	1170	381,6	400	1,7
5	19,9*	2760*	6,56*	7,26	130,7	101,5	1770	< 23	< 23	660	149,1	1919,1	860	280,5	300	1,1
Promedio	20,25	2366	6,95	7,3	129,8	100,8	1850			498,5	112,6	1962,6	1015	331	350	1,4
DS	0,49	557,2	0,55	0,05	1,4	1,1	113,1			228,4	51,6	61,5	219,2	71,5	70,7	0,42

*Valores medidos con multiparamétrico y en gris valor de fósforo total inferior a P-PO_4.

Tabla 41.
Composición fitoplanctónica en el lago Cucao.

Clase	Lago Cucao	E3		C2		C1		C1 prof		E2		E1	
		1620	100	200	100	0	100	40	100	360	100	3845	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	x	0	200	100	x	0	x	0	0	0	0	0
	aff Coscinodiscus sp	0	0	x	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Cyclotella spp	40	2	0	0	0	0	0	0	160	44	3805	99
	Chaetoceros sp	x	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Amphora spp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gomphonema spp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Gyrosigma sp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Navicula spp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diploneis spp	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Diatoma spp	1040	64	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1
	Fragilaria crotonensis	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0
	Synedra cf accus	0	0	0	0	0	0	0	0	120	33	0	0
	Pennada indet	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	499	31	0	0	0	0	0	0	40	11	0	0
Cloroficeas	*Sphaerocystis sp*	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Cosmarium spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Staurastrum spp	40	2	0	0	x	0	x	0	0	0	0	0
	Spirogyra spp	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Gonatozygon sp	0	0	0	0	x	0	40	100	0	0	0	0
	Cryptomonas spp	0	0	0	0	0	0	0	0	40	11	0	0
Euglenoficeas	*Phacus sp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Trachelomonas sp	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dinoficeas	*Ceratium sp*	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		12		4		9		9		7		3	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 42.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Cucao. 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	1,9	0,0	31,9
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,9	1,6	10,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	13,5	3,1	7,3
Arena media	2	0.5 – 0.25	45,1	7,6	14,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	29,2	6,1	10,6
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	1,5	9,7	3,8
Fango	5	< 0.063	2,7	71,6	21,4
CENTRO 2					
Grava	-1	4 – 2	0,2	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,9	1,8	0,6
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,0	1,0	0,6
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,8	2,3	1,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,1	5,2	2,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	2,0	6,4	4,9
Fango	5	< 0.063	91,6	82,9	89,9
CENTRO 3					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	4,1
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,1	0,1	5,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,2	0,3	14,5
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,8	0,6	26,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	39,2	7,8	17,0
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	29,2	8,6	9,4
Fango	5	< 0.063	30,3	82,2	22,6

Tabla 43.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Cucao*** (s/m: sin muestra).

Código Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
C1	1	A	1,6	1,1	Arena mediana
		B	1,4	1,1	Arena mediana
		C	1,7	0,9	Arena mediana
	2	A	3,8	1,0	Arena muy fina
		B	4,2	0,7	Limo grueso
		C	3,3	1,5	Arena muy fina
	3	A	-0,2	1,6	Arena muy gruesa
		B	1,3	2,3	Arena mediana
		C	2,1	2,2	Arena fina
C2	1	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	3,9	1,4	Arena muy fina
		C	0,0	0,5	Arena gruesa
	2	A	4,3	0,5	Limo grueso
		B	4,2	0,8	Limo grueso
		C	3,7	1,3	Arena muy fina
	3	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	4,3	0,6	Limo grueso
		C	4,2	0,7	Limo grueso
C3	1	A	3,1	0,7	Arena muy fina
		B	3,5	0,8	Arena muy fina
		C	3,3	0,9	Arena muy fina
	2	A	3,9	0,8	Arena muy fina
		B	4,2	0,6	Limo grueso
		C	4,4	0,4	Limo grueso
	3	A	1,7	1,5	Arena mediana
		B	2,8	1,7	Arena fina
		C	1,8	1,6	Arena mediana

Tabla 44.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Huillinco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100617																
0	19,73	1513,7	7,65	7,6	128,8	100	1720	<23	<23	<23	<23	1720	1280	417,5	400	1,7
5	19,85	1533,4	8,94	7,35	128,8	100	1720	<23	<23	309	69,8	1789,8	710	231,6	200	1,2
10	13,67	14693,6	4,41	7,47	133,9	104	1780	<23	<23	833	188,2	1968,2	680	221,8	200	0,9
15	12,9	21848,1	0,8	7,13	128,8	100	2200	<23	<23	539	121,8	2321,8	670	218,5	200	0,8
20	13,27	29007	0,18	7,19	422,4	328	2170	<23	<23	265	59,9	2229,9	780	254,4	300	1,1
30	13,33	32674,4	0,08	7,13	6503,7	5050	10200	<23	<23	<23	<23	10200	4160	1356,8	300	0,8
Promedio	15,46	16878,4	3,68	7,31	1241,1	963,7	3298,3			486,5	109,9	3371,6	1380	450,1	266,7	1,08
DS	3,36	13398,8	3,94	0,2	2580,8	2003,9	3388,2			260,4	58,8	3353,6	1381,4	450,5	81,6	0,34
100520																
0	19,39	1542,3	8,99	7,35	128,8	100	1230	<23	<23	433	97,8	1327,8	1190	388,1	400	1,07
5	19,4	1543,5	9	7,44	141,7	110	2220	<23	<23	362	81,8	2301,8	1370	446,8	500	1,17
10	13,04	15384,1	3,72	7,12	135,2	105	2110	<23	<23	452	102,1	2212,1	930	303,3	300	0,28
15	12,81	20781,9	0,96	7,35	251,1	195	2770	<23	<23	363	82,0	2852	<0,50	<0,50	<0,2	0,20
20	13,27	27707	0,15	7,26	4932,5	3830	10600	<23	<23	<23	<23	10600	3810	1242,6	1200	0,06
30	13,33	32743,8	0,09	7,25	8383,9	6510	15800	<23	<23	<23	<23	15800	5900	1924,2	1800	0,06
40	13,33	32813	0,01	7,48	9159,9	7112,5	1790	<23	<23	399	90,1	1880,1	4560	1487,2	1400	0,06
Promedio	14,94	18930,8	3,27	7,32	3304,7	2566,1	5217,1			401,8	90,8	5282	2960	965,4	933,3	0,42
DS	3,05	13424	4,11	0,12	4127	3204,5	5675,1			40,6	9,2	5632,2	2083,7	679,6	618,6	0,49
E18																
0	19,43	1459,2	8,97	7,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,02
5	19,42	1506,2	8,97	7,3	130,7	101,5	1180	<23	<23	325	73,4	1253,4	870	283,7	300	1,19
10	13,04	15599,6	4,16	6,28	133,9	104	1250	<23	<23	420	94,9	1344,9	<0,50	<0,50	<0,2	0,01
15	12,69	20695,9	0,58	7,44	476,5	370	2310	<23	<23	351	79,3	2389,3	1220	397,9	400	0,12
20	13,28	27990	0,3	7,2	5447,6	4230	7550	<23	<23	304	68,7	7618,7	<0,50	<0,50	<0,2	0,05
30	13,34	32735,3	0,18	7,23	8139,3	6320	7920	<23	<23	323	73	7993	6720	2191,7	2100	0,07
40	13,33	32815	0,13	7,48	9118	7080	9270	<23	<23	295	66,6	9336,6	4590	1497	1400	0,06
Promedio	14,93	18971,6	3,33	7,18	3907,7	3034,3	4913,3			336,3	76	4989,3	3350	1092,6	1050	0,36
DS	3,08	13469	4,11	0,41	4188,2	3252,1	3717,7			45,3	10,2	3710,4	2803,7	914,4	858,3	0,51

Continuación Tabla 44. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Huillinco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	19,52	1455,3	9,06	7,48	136,5	106	1160	<23	<23	301	68	1228	1350	440,3	400	1,44
5	19,5	1463,5	9,04	7,34	133,9	104	1060	<23	<23	<23	<23	1060	1080	352,2	300	1,25
10	13	15452	4,32	7	128,8	100	1100	<23	<23	678	153,2	1253,2	810	264,2	300	0,27
15	12,62	21064,8	0,55	7,14	130,1	101	1220	<23	<23	588	132,8	1352,8	1220	397,9	400	0,16
20	13,28	27663,7	0,19	7,48	4134	3210	5050	<23	<23	314	70,9	5120,9	2800	913,2	900	0,09
30	13,34	32624,7	0,1	7,3	7327,9	5690	7800	<23	<23	385	87,0	7887	3850	1255,7	1200	0,08
40	13,33	32800	0,07	7,23	7340,8	5700	15200	<23	<23	280	63,3	15263,3	3560	1161,1	1100	0,07
45	---	---	---	7,19	7083,2	5500	15100	<23	<23	441	99,6	15199,6	3760	1226,3	1100	0,15
Promedio	14,94	18932	3,33	7,27	3301,9	2563,9	5961,3			426,7	96,4	6045,6	2303,8	751,4	712,5	0,44
DS	3,13	13436,9	4,18	0,17	3539,5	2748,4	6167,5			153,4	34,6	6165,1	1317,4	429,7	397,99	0,56
101212																
0	19,48	1363,4	8,19	7,36	139,1	108	1930	<23	<23	382	86,3	2016,3	1250	407,7	400	1,29
5	19,54	1414,9	8,83	7,48	128,8	100	1600	<23	<23	352	79,5	1679,5	1680	547,9	500	1,14
10	13,06	15048	4,63	6,91	141,7	110	1640	<23	<23	773	174,6	1814,6	1120	365,3	400	0,26
15	12,65	20516,8	0,55	7,2	665,8	517	1860	<23	<23	355	80,2	1940,2	1290	420,7	400	0,14
20	13,27	27104,1	0,27	7,22	2189,4	1700	4500	<23	<23	302	68,2	4568,2	3380	1102,4	1200	2,51
Promedio	15,6	13089,4	4,49	7,23	652,9	507	2306			432,8	97,8	2403,8	1744	568,8	580	1,07
DS	3,58	11502,3	4,06	0,21	888,9	690,3	1234,5			192,4	43,5	1216,7	938,1	306,0	349,3	0,95
100968																
0	19,77	749,3	8	7,47	130,1	101	1810	<23	<23	960	216,9	2026,9	890	290,3	300	1,59
5	19,62	1322	8,72	7,37	128,8	100	2000	<23	<23	802	181,2	2181,2	700	228,3	200	1,24
Promedio	19,695	1035,7	8,36	7,42	129,4	100,5	1905			881	199	2104	795	259,3	250	1,42
DS	0,11	405,0	0,51	0,07	0,9	0,7	134,4			111,7	25,2	109,1	134,4	43,8	70,7	0,24
100616																
0	19,7	1196,5	8,4	7,37	141,7	110	2010	<23	<23	449	101,4	2111,4	720	234,8	200	1,13
5	19,43	1389,4	8,83	7,24	136,5	106	1780	<23	<23	338	76,4	1856,4	1360	443,6	400	2,98
Promedio	19,57	1292,9	8,62	7,31	139,1	108	1895			393,5	88,9	1984	1040	339,2	300	2,06
DS	0,19	136,4	0,3	0,09	3,6	2,8	162,6			78,5	17,7	180,4	452,5	147,6	141,4	1,31

* En gris valor de NKT inferior a N-NH_4 y valores de fósforo total inferior a P-PO_4.

Tabla 45.
Composición fitoplanctónica en el lago Huillinco.

Clase	Lago Huillinco	C1		C1 prof		101212		101212 prof		100968		100616	
		619	100	0	100	1.239	100	2.638	100	1.660	100	7.843	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Melosira varians*	x	0	x	0	80	6	0	0	0	0	0	0
	Aulacoseira spp	0	0	0	0	120	10	0	0	0	0	0	0
	Cyclotella spp	499	81	x	0	999	81	1332	50	499	30	440	6
	Urosolenia sp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fragilaria spp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	0
	Tabellaria fenestrata	80	13	0	0	0	0	666	25	0	0	0	0
	Tabellaria flocculosa	0	0	0	0	0	0	0	0	1160	70	80	1
	Diatoma spp	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0	6602	84
	Amphora sp	0	0	0	0	40	3	0	0	0	0	0	0
	Gomphonema spp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gyrosigma sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	2
	Navicula spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	1
	Diploneis sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1
	Nitzschia spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	3
	Pinnularia spp	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	120	2
	Entomoneis alata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	2
Cloroficeas	*Gonatozygon sp*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Staurastrum sp	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cianobacterias	*Oscillatoria spp*	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenoficeas	*Lepocinclis spp*	40	6	0	0	0	0	640	24	0	0	40	1
Riqueza de taxa (S)		10		8		6		5		2		11	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 46.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Huillinco. 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 100617					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	8,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,8	3,3	5,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,4	1,1	4,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	1,4	1,0	3,2
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,9	1,2	2,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	1,5	1,4	2,8
Fango	5	< 0.063	91,7	91,8	73,4
Centro 100520					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,7	2,5	3,0
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,9	1,2	3,3
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,8	3,8	3,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,3	6,4	3,9
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	1,3	5,0	8,1
Fango	5	< 0.063	93,6	80,8	78,4
E18					
Grava	-1	4 – 2	0,0		
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,1		
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,6		
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,6		
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,1		
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	2,0		
Fango	5	< 0.063	94,3		
C1					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,5	1,0	0,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,5	0,6	1,1
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,7	1,1	1,1
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,3	2,6	2,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	3,5	7,4	6,7
Fango	5	< 0.063	91,3	87,1	87,5
Centro 101212					
Grava	-1	4 – 2	2,1	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,3	1,0	1,5
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,0	1,3	2,2
Arena media	2	0.5 – 0.25	2,7	2,3	4,9
Arena fina	3	0.25 – 0.125	5,0	5,5	6,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	19,3	7,1	29,2
Fango	5	< 0.063	68,4	82,4	55,2
Centro 100968					
Grava	-1	4 – 2	0,1	0,3	2,4
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,8	0,7	2,1
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,0	1,8	3,7
Arena media	2	0.5 – 0.25	3,3	6,1	10,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	13,0	27,9	14,0
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	46,3	51,6	36,6
Fango	5	< 0.063	35,3	11,3	30,6
Centro 100616					
Grava	-1	4 – 2	0,5	0,0	2,9
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,4	0,4	6,0
Arena gruesa	1	1 – 0.5	2,9	1,4	1,1
Arena media	2	0.5 – 0.25	8,6	9,8	7,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	17,8	9,2	11,0
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	39,6	47,7	18,7
Fango	5	< 0.063	28,9	31,3	52,9

Tabla 47.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Huillinco*** (s/m: sin muestra).

Código	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
100617	1	A	4,2	1,0	Limo grueso
		B	4,3	0,9	Limo grueso
		C	4,3	0,9	Limo grueso
	2	A	4,3	0,9	Limo grueso
		B	4,2	1,0	Limo grueso
		C	4,1	1,2	Limo grueso
	3	A	3,4	2,0	Arena muy fina
		B	Fondo duro		
		C			
100520	1	A	4,4	0,7	Limo grueso
		B	4,3	0,8	Limo grueso
		C	4,2	1,0	Limo grueso
	2	A	3,7	1,2	Arena muy fina
		B	4,2	1,0	Limo grueso
		C	4,2	1,1	Limo grueso
	3	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	4,3	0,8	Limo grueso
		C	3,3	1,7	Arena muy fina
E18	1	A	4,4	0,7	Limo grueso
C1		B	4,3	0,7	Limo grueso
		C	4,4	0,6	Limo grueso
	1	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	4,1	1,2	Limo grueso
		C	4,3	0,7	Limo grueso
	2	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	4,2	0,8	Limo grueso
		C	4,2	0,8	Limo grueso
	3	A	4,3	0,7	Limo grueso
		B	4,3	0,7	Limo grueso
		C	4,2	0,9	Limo grueso
101212	1	A	3,8	1,2	Arena muy fina
		B	3,9	1,5	Arena muy fina
		C	4,0	0,8	Limo grueso
	2	A	4,2	0,9	Limo grueso
		B	4,0	1,0	Limo grueso
		C	4,2	0,9	Limo grueso
	3	A	3,5	1,2	Arena muy fina
		B	4,2	0,9	Limo grueso
		C	3,6	1,1	Arena muy fina
100968	1	A	3,5	0,8	Arena muy fina
		B	3,7	1,0	Arena muy fina
		C	3,5	1,0	Arena muy fina
	2	A	3,1	0,9	Arena muy fina
		B	3,0	0,9	Arena muy fina
		C	3,2	0,9	Arena muy fina
	3	A	3,3	1,4	Arena muy fina
		B	3,0	1,5	Arena muy fina
		C	3,1	1,4	Arena muy fina
100616	1	A	3,1	1,1	Arena muy fina
		B	3,4	1,2	Arena muy fina
		C	3,3	1,2	Arena muy fina
	2	A	3,6	0,9	Arena muy fina
		B	3,4	1,1	Arena muy fina
		C	3,4	1,0	Arena muy fina
	3	A	2,7	2,2	Arena fina
		B	3,9	1,0	Arena muy fina
		C	3,5	1,2	Arena muy fina

Tabla 48.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Tarahuín.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	15,4	44,1	9,8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,92
5	15	44	9,78	---	20	15,5	15	< 1	< 1	< 3	< 3	15	9	2,94	9	2,17
10	12,4	40,7	9,5	---	20	15,5	16	< 1	< 1	< 3	< 3	16	6	1,96	7	1,97
15	10,5	37,9	9,5	---	< 20	< 20	11	< 1	< 1	< 3	< 3	11	6	1,96	7	0,72
20	10	37,4	9,36	---	< 20	< 20	11	< 1	< 1	< 3	< 3	11	3	0,98	4	0,74
Promedio	12,6	40,8	9,59		20	15,5	13,3					13,3	6	1,96	6,8	1,70
DS	2,5	3,22	0,19		0	0	2,6					2,6	2,4	0,8	2,1	0,96
100436																
0	14,5	43,2	9,82	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,10
5	14,4	42,6	9,83	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,14
10	11,4	39,2	9,17	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,93
Promedio	13,4	41,7	9,61													1,72
DS	1,8	2,19	0,38													0,69
100521																
0	15,5	42,8	9,87	---	20	15,5	14	< 1	< 1	< 3	< 3	14	6	1,96	5	3,66
5	15,3	44,8	9,86	---	20	15,5	13	< 1	< 1	< 3	< 3	13	3	0,98	4	3,64
10	13,1	42	9,61	---	20	15,5	15	< 1	< 1	< 3	< 3	15	3	0,98	4	2,38
15	10,5	37,8	8,96	---	20	15,5	17	< 1	< 1	< 3	< 3	17	9	2,94	10	1,05
Promedio	13,6	41,9	9,58		20	15,5	14,8					14,8	5,3	1,71	5,8	2,68
DS	2,3	2,98	0,43		0	0	1,7					1,7	2,9	0,94	2,9	1,24

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4.

Tabla 49.
Composición fitoplanctónica en el lago Tarahuín.

Clase	Lago Tarahuín	C1		100436		100521	
		805519	100	784133	100	2608668	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	11.380	1	20.333	3	13.060	1
	Navicula spp	0	0	0	0	40	0
	Epithemia sp	x	0	0	0	0	0
	Rhopalodia gibba	x	0	0	0	0	0
	Eunotia sp	0	0	x	0	0	0
	Asterionella formosa	520	0	600	0	320	0
	Fragilaria crotonensis	13044	2	3961	1	1400	0
	Diatoma spp	80	0	0	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	0	0	80	0	360	0
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	x	0	x	0	0	0
Cloroficeas	*Volvox aff aureus*	0	0	x	0	0	0
	Sphaerocystis spp	x	0	1200	0	1200	0
	Dolichospermum spp (ex Anabaena) célula	0	0	0	0	x	0
	Sphaerozosma aubentianum	x	0	0	0	0	0
Cianobacterias	*Dolichospermum (ex Anabaena)*	760.248	94	756.887	97	2.592.206	99
	Nostocales filamento indeterminado	x	0	0	0	0	0
	Microcystis spp	20007	2	0	0	0	0
Dinoflagelados	*Ceratium hirundinella*	200	0	120	0	80	0
	Peridinium sp	x	0	0	0	0	0
Euglenoideas	*Lepocinclis sp*	40	0	80	0	0	0
	Trachelomonas sp	0	0	870	0	0	0
Riqueza de taxa (S)		15		12		9	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 50.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las dos 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 100436					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,0	0,0	0,0
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,0	0,0	0,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,0	0,0	0,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	0,0	0,0	0,3
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	0,0	0,1	1,3
Fango	5	< 0.063	99,9	99,7	98,2
CENTRO 100521					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,0	0,0	0,0
Arena gruesa	1	1 – 0.5	0,1	0,0	0,2
Arena media	2	0.5 – 0.25	0,9	0,1	0,6
Arena fina	3	0.25 – 0.125	1,8	0,2	2,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	3,4	0,7	0,0
Fango	5	< 0.063	93,6	98,9	96,6

Tabla 51.

Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Tarahuín*** (s/m: sin muestra).

Código Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
100436	1	A	Sin muestra		
		B	4,5	0,0	Limo grueso
		C	4,5	0,0	Limo grueso
	2	A	4,5	0,0	Limo grueso
		B	4,4	0,1	Limo grueso
		C	4,5	0,0	Limo grueso
	3	A	Sin muestra		
		B	Sin muestra		
		C	4,4	0,1	Limo grueso
100521	1	A	4,4	0,4	Limo grueso
		B	4,3	0,4	Limo grueso
		C	4,3	0,4	Limo grueso
	2	A	4,4	0,1	Limo grueso
		B	4,4	0,1	Limo grueso
		C	4,4	0,1	Limo grueso
	3	A	Sin muestra		
		B	4,4	0,4	Limo grueso
		C	Sin muestra		

Tabla 52.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Natri.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	19,97	43	9,11	5,98	160	124,2	124	< 1	< 1	< 3	< 3	124	< 1	< 1	6	2,9
5	19,62	42,6	8,9	5,95	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3,3
10	11,69	110,8	6,82	5,94	70	54,4	57	< 1	< 1	124	28,0	85	< 1	< 1	22	1,6
15	11,87	67,2	6,84	6,11	60	46,6	43	< 1	< 1	327	73,9	117	< 1	< 1	9	1,1
20	12,54	53,3	6,82	5,7	60	46,6	45	< 1	< 1	772	174,4	219	25	8,2	11	0,8
30	14,14	75,1	6,65	5,86	50	38,8	36	< 1	< 1	677	152,9	189	< 1	< 1	106	0,7
40	15,16	76,8	6,52	5,57	110	85,4	84	< 1	< 1	741	167,4	251	21	6,8	8	0,8
50	16,48	79	6,44	5,7	110	85,4	83	< 1	< 1	710	160,4	243	3	0,98	10	1
55	17,22	80	6,54	5,6	100	77,6	77	10	3	638	144,1	224	18	5,9	9	1,2
Promedio	15,41	69,7	7,18	5,82	90	69,9	68,6	10	3	569,9	128,7	181,6	16,8	5,5	22,6	1,49
DS	3,15	21,5	1,04	0,19	37	28,8	29,3			246,2	55,6	64	9,6	3,1	34	0,96
100437																
0	18,98	145,1	5,26	6,64	170	132	131	< 1	< 1	< 3	< 3	131	6	2	4	3,1
5	19,02	148,9	5,18	6,46	130	100,9	101	< 1	< 1	< 3	< 3	101	< 1	< 1	1	4,1
10	19,07	151,2	5,33	6,54	40	31,1	34	< 1	< 1	< 3	< 3	34	18	5,9	9	3,5
15	19,12	152,3	5,53	6,26	50	38,8	42	10	3	220	49,7	95	< 1	< 1	15	1,9
20	19,14	152,9	5,64	6,1	80	62,1	58	< 1	< 1	493	111,4	169	43	14	18	1,4
25	19,13	153,1	5,87	5,75	100	77,6	78	< 1	< 1	499	112,7	191	12	3,9	3	1,3
30	19,08	153,2	6,17	5,83	100	77,6	74	< 1	< 1	721	162,9	237	15	4,9	8	1,3
Promedio	19,08	151	5,57	6,23	95,7	74,3	74	10	3	483,3	109,2	136,9	18,8	6,1	8,3	2,37
DS	0,06	3	0,36	0,35	45	35	33,8			205,1	46,3	67,9	14,2	4,6	6,3	1,17

Continuación Tabla 52. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Natri.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
100600																
0	20,4	43,3	9,24	5,86	160	124,2	120	< 1	< 1	< 3	< 3	120	15	4,9	8	4,4
5	20,17	42,9	9,25	6,28	100	77,6	76	< 1	< 1	< 3	< 3	76	< 1	< 1	1	4,9
10	18,45	41,1	8,31	5,22	130	100,9	99	< 1	< 1	< 3	< 3	99	< 1	< 1	2	2,7
15	14,83	37,3	7,82	5,85	150	116,5	113	< 1	< 1	255	57,6	171	9	2,9	5	2,6
20	11,47	34,3	7,89	5,86	130	100,9	102	10	3	200	45,2	150	12	3,9	7	2
30	10,18	33,4	7,84	5,82	70	54,4	50	10	3	549	124,0	177	147	47,9	54	1,4
Promedio	15,92	38,7	8,39	5,82	123,3	95,8	93,3	10	3	334,7	75,6	132,2	45,8	14,9	12,8	3
DS	4,44	4,3	0,68	0,34	33,3	25,8	26	0	0	187,6	42,4	40,6	67,5	22	20,4	1,37
100427																
0	11,92	110,6	4,22	6,79	160	124,2	122	< 1	< 1	142	32,1	154	3	0,98	3	4,1
5	11,62	107,4	4,28	6,72	110	85,4	87	< 1	< 1	< 3	< 3	87	3	0,98	3	4,2
10	11,48	103,5	4,28	6,96	90	69,9	69	< 1	< 1	< 3	< 3	69	3	0,98	3	3,4
15	11,47	97,5	4,32	6,9	70	54,4	56	< 1	< 1	144	32,5	89	37	12,1	15	1,8
20	11,45	87,9	4,5	6,78	130	100,9	99	9	2,7	352	79,5	181	9	2,9	5	2,1
25	11,29	77,2	4,94	6,68	90	69,9	71	10	3	< 3	< 3	74	49	16	20	2,2
Promedio	11,54	97,3	4,42	6,81	108,3	84,1	84	9,5	2,9	212,7	48,0	109	17,3	5,7	8,2	2,97
DS	0,21	12,7	0,27	0,11	32,5	25,2	23,9	0,71	0,2	120,7	27,3	46,7	20,4	6,6	7,4	1,07

*En gris valor de NKT inferior a N-NH_4 y valor de fósforo total inferior a P-PO_4, según corresponda.

Tabla 53.
Composición fitoplanctónica en el lago Natri.

Clase	Lago Natri	C1		100437		100600		100427	
		303896	100	451315	100	508212	100	440931	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	1280	0	1961	0	800	0	160	0
	Achnanthidium spp	0	0	0	0	666	0	0	0
	Navicula spp	0	0	0	0	0	0	80	0
	Fragilaria crotonensis	4001	1	17566	4	6002	1	6842	2
Cloroficeas	*Elakathotrix gelatinosa*	0	0	680	0	560	0	x	0
	Staurastrum sp	40	0	80	0	40	0	40	0
	Eudorina sp	x	0	0	0	0	0	0	0
	Sphaerocystis sp	295136	97	425739	94	484958	95	420137	95
	Scenedesmus spp	0	0	0	0	5327	1	0	0
	Dictyopherium pulchellum	0	0	0	0	0	0	3441	1
Criptoficeas	*Cryptomonas spp*	1997	1	3329	1	6658	1	7990	2
Dinoflagelados	*Ceratium sp*	1440	0	1961	0	3201	1	2241	1
Riqueza de taxa (S)		7		7		9		9	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 54.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Natri. 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	0,5	3,0	0,2
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,5	25,4	0,4
Arena gruesa	1	1 – 0.5	3,6	34,2	1,9
Arena media	2	0.5 – 0.25	16,8	18,5	8,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	32,9	8,7	28,0
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	34,3	7,9	39,9
Fango	5	< 0.063	11,1	1,9	20,9
CENTRO 100600					
Grava	-1	4 – 2	0,1	5,6	28,3
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,7	2,7	5,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	8,5	11,1	7,5
Arena media	2	0.5 – 0.25	21,6	36,9	17,0
Arena fina	3	0.25 – 0.125	27,6	26,8	20,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	20,7	7,3	16,9
Fango	5	< 0.063	19,5	9,3	3,4
CENTRO 100427					
Grava	-1	4 – 2	0,2	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,5	1,5	2,3
Arena gruesa	1	1 – 0.5	11,6	10,5	11,3
Arena media	2	0.5 – 0.25	25,1	27,5	17,7
Arena fina	3	0.25 – 0.125	23,7	28,7	22,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	26,1	25,6	23,5
Fango	5	< 0.063	10,4	6,0	22,2

Tabla 55.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Natri*** (s/m: sin muestra).

Código Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
100437	1	A	2,7	0,8	Arena fina
		B	2,8	1,1	Arena fina
		C	2,7	1,1	Arena fina
	2	A	0,6	1,3	Arena gruesa
		B	1,0	1,3	Arena mediana
		C	0,9	1,3	Arena gruesa
	3	A	3,1	1,0	Arena muy fina
		B	3,2	1,0	Arena muy fina
		C	3,1	0,9	Arena muy fina
100600	1	A	2,0	1,1	Arena fina
		B	2,9	1,3	Arena fina
		C	2,8	1,2	Arena fina
	2	A	2,1	1,4	Arena fina
		B	1,3	1,3	Arena mediana
		C	2,0	1,2	Arena fina
	3	A	0,7	2,0	Arena gruesa
		B	0,8	1,5	Arena gruesa
		C	1,7	2,1	Arena mediana
100427	1	A	2,3	1,3	Arena fina
		B	2,0	1,1	Arena fina
		C	2,8	1,2	Arena fina
	2	A	2,3	1,0	Arena fina
		B	2,5	1,3	Arena fina
		C	2,1	1,0	Arena fina
	3	A	3,0	1,5	Arena muy fina
		B	1,9	1,2	Arena mediana
		C	3,0	1,0	Arena muy fina

Tabla 56.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Tepuhueico.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	$N\text{-}NH_4$ (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	$N\text{-}NO_2$ (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	$N\text{-}NO_3$ (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	$P\text{-}PO_4$ (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
E1																
0	20,21	31,3	8,59	6,85	160	124,2	121	< 1	< 1	< 3	< 3	121	< 1	< 1	6	1,6
5	20,06	31	8,54	6,7	130	100,9	100	< 1	< 1	< 3	< 3	100	< 1	< 1	24	1,6
10	19,34	30,2	8,41	6,9	40	31,1	33	< 1	< 1	< 3	< 3	33	< 1	< 1	1	0,8
15	16,65	28,7	5,65	7,02	130	100,9	98	< 1	< 1	< 3	< 3	100	< 1	< 1	2	0,6
20	16,16	53,2	5,47	7,06	70	54,4	50	< 1	< 1	< 3	< 3	50	< 1	< 1	38	---
Promedio	18,48	34,9	7,33	6,91	106	82,3	80,4					80,8			14,2	1,15
DS	1,93	10,3	1,62	0,14	49,3	38,3	37,1					37,4			16,2	0,53
E2																
0	20,85	31,8	8,6	7,36	100	77,6	76	< 1	< 1	< 3	< 3	80	< 1	< 1	57	2,1
5	20,26	31,3	8,48	7,33	90	69,9	69	< 1	< 1	< 3	< 3	70	< 1	< 1	17	1,7
10	18,84	30,1	7,83	6,7	100	77,6	80	< 1	< 1	< 3	< 3	80	< 1	< 1	7	0,9
15	16,41	29,8	5,3	7,15	190	147,5	144	< 1	< 1	< 3	< 3	144	< 1	< 1	25	1,2
Promedio	19,09	30,7	7,55	7,14	120	93,2	92,3					93,5			26,5	1,48
DS	1,98	0,9	1,54	0,3	46,9	36,4	34,8					34			21,6	0,53

*En gris valor de NKT inferior a $N\text{-}NH_4$.

Tabla 57.
Composición fitoplanctónica en el lago Tepuhueico.

Clase	Lago Tepuhueico	E1		E2	
		238832	100	202464	100
	Abundancia Total	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatpomeas	*Aulacoseira spp*	x	0	0	0
	Urosolenia aff eriensis	237792	99,56	201704	99,62
	Cyclotella spp	x	0	0	0
	Surirella spp	80	0	0	0
	Asterionella formosa	x	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	680	0	0	0
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	280	0	760	0
Cloroficeas	*Sphaerocystis sp*	x	0	x	0
	Oocystis sp	x	0	0	0
	Elakathotrix gelatinosa	x	0	x	0
Riqueza de taxa (S)		10		4	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 58.
Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Tepuhueico. 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	0,0	0,0	23,7
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,4	1,8	10,9
Arena gruesa	1	1 – 0.5	5,0	13,0	17,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	22,0	27,7	19,2
Arena fina	3	0.25 – 0.125	21,0	21,5	14,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	18,5	9,9	10,6
Fango	5	< 0.063	33,0	26,1	3,8
Centro 2					
Grava	-1	4 – 2	0,0	0,0	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	1,2	0,9	2,6
Arena gruesa	1	1 – 0.5	10,9	13,3	14,7
Arena media	2	0.5 – 0.25	30,2	25,1	27,9
Arena fina	3	0.25 – 0.125	26,8	22,8	24,4
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	19,2	17,1	22,3
Fango	5	< 0.063	11,8	20,9	8,0

Tabla 59.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Tepuhueico*** (s/m: sin muestra).

Código Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
Centro 1	1	A	3,2	1,2	Arena muy fina
		B	3,1	1,4	Arena muy fina
		C	2,6	1,1	Arena fina
	2	A	2,2	1,2	Arena fina
		B	3,0	1,4	Arena muy fina
		C	2,2	1,5	Arena fina
	3	A	2,0	1,1	Arena fina
		B	0,7	1,4	Arena gruesa
		C	-0,2	1,9	Arena muy gruesa
Centro 2	1	A	2,8	1,1	Arena fina
		B	2,2	1,3	Arena fina
		C	2,0	0,9	Arena fina
	2	A	3,0	1,2	Arena muy fina
		B	2,6	1,4	Arena fina
		C	1,9	1,0	Arena mediana
	3	A	1,8	1,2	Arena mediana
		B	2,6	1,1	Arena fina
		C	2,2	1,2	Arena fina

Tabla 60.
Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Tepuhueico*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término. A= Tramo A, B= Tramo B.

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	04-11-2015 13:13	S42° 47.622' W73° 57.315'	04-11-2015 19:28	S42° 48.289' W73° 55.494'	6:15:30
A2	5	04-11-2015 13:05	S42° 47.608' W73° 57.341'	04-11-2015 18:42	S42° 47.727' W73° 57.034'	5:37:58
A3	1	04-11-2015 11:49	S42° 47.679' W73° 57.835'	04-11-2015 19:24	S42° 48.321' W73° 56.012'	7:35:30

Tabla 61.
Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Yelcho.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	16,22	34,2	8,87	6,32	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	49	11,1	11	3	0,98	2	0,11
10	15,83	33,7	8,48	7,02	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	382	86,3	86	3	0,98	2	<0,1
20	14,97	32,5	8,65	7,12	< 20	< 20	6	< 1	< 1	173	39,1	45	9	2,94	4	0,11
30	13,72	31,1	8,94	6,61	< 20	< 20	4	< 1	< 1	73	16,5	20	9	2,94	4	0,45
50	10,68	28,7	9,14	6,19	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	53	12	12	9	2,94	3	0,1
80	8,64	27,4	9,6	6,19	< 20	< 20	3	< 1	< 1	267	60,3	63	< 1	< 1	1	<0,1
120	8,24	27,3	9,76	6,17	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	100	22,6	23	9	2,94	4	<0,1
150	8,14	27,2	9,81	6,82	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	48	10,8	11	3	0,98	2	<0,1
180	---	---	---	7,1	< 20	< 20	9	< 1	< 1	110	24,8	34	3	0,98	2	0,11
200	---	---	---	6,97	< 20	< 20	6	< 1	< 1	131	29,6	36	6	1,96	3	<0,1
220	---	---	---	6,71	< 20	< 20	9	< 1	< 1	48	10,8	19,8	9	2,94	4	<0,1
Promedio	12,06	30,3	9,16	6,66			6,2			130,4	29,4	32,8	6,3	2,1	2,8	0,18
DS	3,51	3	0,51	0,38			2,5			107,1	24,2	24	3	1	1,1	0,15
C2																
0	16,32	34,4	7,48	6,6	< 20	< 20	4	< 1	< 1	4	0,9	< 10	3	0,98	2	0,21
10	16,09	33,9	9,75	6,91	< 20	< 20	6	< 1	< 1	36	8,1	14	3	0,98	2	0,31
20	15,99	33,7	9,55	6,92	< 20	< 20	7	< 1	< 1	28	6,3	13	18	5,9	7	0,31
30	15,43	32,8	9,51	6,8	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	30	6,8	< 10	3	0,98	2	0,22
50	11,84	29,7	9,74	5,95	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	89	20,1	20	9	2,94	4	0,11
80	8,76	27,6	10,23	6,61	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	221	49,9	50	< 1	< 1	1	0,1
120	8,28	27,4	9,93	6,74	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	103	23,3	23	3	0,98	2	0,2
150	8,15	27,4	9,78	6,49	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	128	28,9	29	< 1	< 1	1	0,2
180	---	---	---	6,75	< 20	< 20	8	< 1	< 1	149	33,7	42	9	2,94	3	0,3
200	---	---	---	4,74	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	93	21	21	6	1,96	3	<0,1
220	---	---	---	6,36	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	62	14	14	3	0,98	1	
Promedio	12,61	30,9	9,5	6,44			6,3			85,7	19,4	25,1	6,3	2,1	2,5	0,216
DS	3,77	3,1	0,85	0,63			1,7			63,7	14,4	13	5,1	1,7	1,8	0,079

Continuación Tabla 61. Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Yelcho.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C3																
0	16,18	33,7	8,14	6,94	< 20	< 20	6	< 1	< 1	73	16,5	22	3	0,98	1	<0,1
10	15,82	33,4	9,1	6,43	< 20	< 20	9	< 1	< 1	22	5	14	6	1,96	3	0,3
20	15,64	33,1	9,63	6,81	< 20	< 20	7	< 1	< 1	40	9	16	3	0,98	1	<0,1
30	15,46	32,8	9,42	6,62	< 20	< 20	10	< 1	< 1	51	11,5	22	6	1,96	2	<0,1
50	11,45	29,4	9,83	6,59	< 20	< 20	5	< 1	< 1	10	2,3	< 10	3	0,98	2	0,1
80	8,65	27,6	10,08	6,63	< 20	< 20	8	< 1	< 1	108	24,4	32	6	1,96	2	<0,1
120	8,25	27,5	9,96	6,59	< 20	< 20	8	< 1	< 1	99	22,4	30	3	0,98	2	0,1
150	8,17	27,4	10,05	6,43	< 20	< 20	6	< 1	< 1	13	2,9	< 10	9	2,94	4	<0,1
180	---	---	---	6,32	< 20	< 20	6	< 1	< 1	106	23,9	30	6	1,96	2	0,2
200	---	---	---	6,25	< 20	< 20	3	< 1	< 1	46	10,4	13	3	0,98	2	<0,1
220	---	---	---	6,3	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	129	29,1	29	6	1,96	2	<0,1
Promedio	12,45	30,6	9,53	6,54			6,8			63,4	14,3	23,1	4,9	1,6	2,1	0,18
DS	3,7	2,9	0,65	0,22			2			41,9	9,5	7,5	2	0,7	0,8	0,1
101521																
0	16,81	34,4	8,73	6,75	< 20	< 20	3	< 1	< 1	25	5,6	< 10	18	5,9	8	<0,1
10	16,04	33,6	8,71	6,55	< 20	< 20	3	< 1	< 1	25	5,6	< 10	3	0,98	2	0,1
20	15,78	33,3	9,38	6,32	< 20	< 20	6	< 1	< 1	13	2,9	< 10	9	2,94	4	0,3
30	15,44	32,9	9,19	6,29	< 20	< 20	8	< 1	< 1	50	11,3	19	9	2,94	4	0,1
Promedio	16,02	33,6	9	6,48			5			28,3	6,4	19	9,8	3,2	4,5	0,17
DS	0,58	0,6	0,34	0,22			2,4			15,6	3,5		6,2	2	2,5	0,12
101522																
0	16,32	33,9	7,4	6,1	< 20	< 20	7	< 1	< 1	26	5,9	13	12	3,9	5	0,2
10	15,97	33,6	9,1	5,99	< 20	< 20	5	< 1	< 1	7	1,6	< 10	6	1,96	3	<0,1
20	15,74	33,3	8,85	5,84	< 20	< 20	4	< 1	< 1	42	9,5	13	6	1,96	3	<0,1
30	15,35	32,8	9,21	6,3	< 20	< 20	< 1	< 1	< 1	23	5,2	< 10	6	1,96	3	0,2
40	13,43	30,8	9,15	6,26	< 20	< 20	7	< 1	< 1	22	5	12	6	1,96	3	<0,1
Promedio	15,36	32,9	8,74	6,1			5,8			24	5,4	12,7	7,2	2,3	3,4	0,2
DS	1,14	1,2	0,76	0,19			1,5			12,5	2,8	0,6	2,7	0,9	0,9	0

Tabla 62.
Composición fitoplanctónica en el lago Yelcho.

Clase	Lago Yelcho	C1		C2		C3		101521		101522	
		91944	100	30108	100	46476	100	12137	100	80378	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Aulacoseira spp*	0	0	x	0	x	0	x	0	x	0
	Cyclotella spp	6991	8	0	0	0	0	653	5	312	0
	Achnanthidium sp	999	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nitzschia spp	999	1	0	0	0	0	40	0	40	0
	Gomphonema spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cymbella spp	40	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Pinnularia sp	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
	Asterionella formosa	0	0	0	0	260	1	0	0	0	0
	Tabellaria flocculosa	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	37972	41	20527	68	23876	51	10003	82	59219	74
	Fragilaria crotonensis	0	0	0	0	0	0	800	7	0	0
	Synedra spp	19975	22	9021	30	22340	48	480	4	20807	26
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	24968	27	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas	*Eudorina sp*	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0
	Sphaerocystis	x	0	x	0	0	0	x	0	x	0
	Ulothrix sp	0	0	520	2	0	0	0	0	0	0
	Cosmarium spp	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0
	Staurastrum spp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Sphaerozosma cf aubentianum	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0
	Dictyosphaerium sp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Coelastrum sp	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0
Cianobacterias	*Aphanocapsa sp*	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Dolichospermum sp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
Dinoflagelados	*Ceratium hirundinella*	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
	Peridinium sp	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0
Criptoficeas	*Cryptomonas sp*	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
Euglenoideas	*Lepocinclis sp*	0	0	0	0	0,0	0	80	1	0	0
Riqueza de taxa (S)		9		6		7		20		9	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 63.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Yelcho. 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
101521					
Grava	-1	4 – 2	0,2	1,4	1,2
Arena muy gruesa	0	2 – 1	0,6	2,4	0,5
Arena gruesa	1	1 – 0.5	1,8	4,8	0,9
Arena media	2	0.5 – 0.25	7,1	25,7	6,3
Arena fina	3	0.25 – 0.125	17,5	30,2	27,5
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	34,8	15,9	35,4
Fango	5	< 0.063	38,0	19,6	28,3
101522					
Grava	-1	4 – 2	0,1	1,0	0,4
Arena muy gruesa	0	2 – 1	7,7	9,2	0,6
Arena gruesa	1	1 – 0.5	17,4	14,1	8,2
Arena media	2	0.5 – 0.25	13,5	19,7	27,8
Arena fina	3	0.25 – 0.125	17,9	16,0	17,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	23,6	15,3	15,4
Fango	5	< 0.063	19,8	24,7	29,8

Tabla 64.

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 Yelcho***. (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	A	C	Clasificación
101521	1	A	3,38	0,80	-1,19	6,37	Arena muy fina
		B	3,03	1,06	-0,81	4,30	Arena muy fina
		C	4,02	1,09	-2,27	7,21	Limo grueso
	2	A	2,81	1,08	-0,18	2,73	Arena fina
		B	1,99	1,10	-0,20	4,07	Arena mediana
		C	2,91	1,61	-0,78	2,92	Arena fina
	3	A	3,22	1,19	-1,62	7,16	Arena muy fina
		B	3,46	1,14	-1,32	5,25	Arena muy fina
		C	3,15	0,94	-0,75	5,52	Arena muy fina
101522	1	A	1,08	1,35	0,72	2,59	Arena mediana
		B	2,98	1,37	-0,60	2,30	Arena fina
		C	3,18	1,14	-0,67	2,97	Arena muy fina
	2	A	2,81	1,47	-0,30	1,76	Arena fina
		B	2,19	1,78	-0,09	1,77	Arena fina
		C	2,06	1,72	-0,09	1,91	Arena fina
	3	A	2,51	1,30	0,19	1,92	Arena fina
		B	2,80	1,37	-0,04	1,75	Arena fina
		C	3,01	1,51	-0,62	2,32	Arena muy fina

Tabla 65.
Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Yelcho*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.
A= tramo A, B= tramo B.

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	26-03-2015 12:12	S43° 20.332' W72° 14.315'	26-03-2015 17:06	S43° 20.556' W72° 14.937'	4:54:22
A2	15	26-03-2015 11:35	S43° 20.494' W72° 14.687'	26-03-2015 16:58	S43° 20.949' W72° 15.133'	5:23:43
A3	1	26-03-2015 11:43	S43° 20.500' W72° 14.710'	26-03-2015 16:54	S43° 20.605' W72° 15.242'	5:12:02
A4	15					
B1	1	27-03-2015 10:05	S43° 13.049' W72° 23.782'	27-03-2015 17:06	S43° 12.743' W72° 22.977'	7:01:30
B2	15	27-03-2015 14:32	S43° 12.775' W72° 23.141'	27-03-2015 16:12	S43° 12.927' W72° 22.597'	1:40:33
B3	1	27-03-2015 10:08	S43° 12.813' W72° 23.485'	27-03-2015 16:17	S43° 12.872' W72° 22.518'	6:09:01
B4	15	27-03-2015 10:10	S43° 12.813' W72° 23.479'	27-03-2015 16:22	S43° 12.991' W72° 22.239'	6:12:00

Tabla 66.

Parámetros físico-químicos en columna de agua del lago Riesco.

Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Oxígeno (mg/L)	pH	NH_4^+ (µg/L)	N-NH_4 (µg/L)	NKT (µg/L)	NO_2^- (µg/L)	N-NO_2 (µg/L)	NO_3^- (µg/L)	N-NO_3 (µg/L)	Nitrógeno Total (µg/L)	PO_4^- (µg/L)	P-PO_4 (µg/L)	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila (µg/L)
C1																
0	14,2	50	10,21	8,19	< 20	< 20	3	5	1,52	549	124	129	6	1,96	3	0,44
10	12,51	60	10,27	7,97	< 20	< 20	6	4	1,22	39	8,8	16	12	3,91	5	0,71
20	11,29	80	10,01	7,22	< 20	< 20	5	5	1,52	11	2,5	< 10	12	3,91	5	0,4
30	9,09	70	9,64	7,8	< 20	< 20	8	1	0,3	11	2,5	11	9	2,94	3	0,07
40	7,43	70	7,96	7,72	< 20	< 20	9	1	0,3	107	24,2	33	9	2,94	3	0,07
50	6,07	78	7,7	8,31	< 20	< 20	7	1	0,3	258	58,3	66	9	2,94	4	<0,1
80	5,50	75	4,6	8,36	< 20	< 20	6	11	3,35	531	120	129	18	5,87	7	0,01
100	5,46	80	2,45	6,92	< 20	< 20	8	11	3,35	163	36,8	48	3	0,98	2	<0,1
Promedio	8,94	70,3	7,85	7,81			6,5	4,88	1,48	208,6	47,1	61,6	9,8	3,18	4	0,28
DS	3,39	10,6	2,91	0,52			1,93	4,16	1,27	220,9	49,9	49,6	4,5	1,46	1,6	0,28
110038																
0	13,12	20	9,57	6,8	< 20	< 20	4	6	1,83	92	20,8	27	3	0,98	1	1,12
10	12,57	40	9,8	6,85	< 20	< 20	5	1	0,3	139	31,4	37	3	0,98	1	0,96
30	8,9	60	9,84	7,1	< 20	< 20	7	5	1,52	86	19,4	28	6	1,96	2	0,33
50	7,42	40	9,34	6,83	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	<0,1
Promedio	10,5	40	9,64	6,9			5,33	4,00	1,22	105,7	23,9	30,6	4	1,3	1,3	0,80
DS	2,78	16,3	0,24	0,14			1,53	2,65	0,81	29,0	6,6	5,3	1,7	0,6	0,6	0,42
110037																
0	14,7*	---	8,3*	6,84	< 20	< 20	6	6	1,83	87	19,7	27	3	0,98	1	1,09
10	13,5*	---	7,8*	7,92	< 20	< 20	6	7	2,13	129	29,1	37	3	0,98	1	1,10
30	12,3*	---	7,2*	6,79	< 20	< 20	5	6	1,83	175	39,5	46	< 1	< 1	<0,4	0,32
50	11,4*	---	7,94*	6,73	< 20	< 20	5	5	1,52	306	69,1	76	< 1	< 1	<0,4	0,07
80	8,8*	---	9,78*	6,68	< 20	< 20	4	10	3,04	201	45,4	52	3	0,98	1	0,07
Promedio	12,14		8,2	6,99			5,2	6,8	2,1	179,6	40,6	48	3	0,98	1	0,53
DS	2,24		0,97	0,52			0,84	1,9	0,6	83,1	18,8	18,5	0	0	0	0,53
110048																
0	14,46	30	9,41	7,78	< 20	< 20	6	4	1,22	168	38	45	6	1,96	2	0,56
10	12,56	40	10,23	7,61	< 20	< 20	8	4	1,22	1098	248	257	3	0,98	1	0,90
30	8,77	60	9,88	6,8	< 20	< 20	5	8	2,44	204	46,1	54	3	0,98	1	0,12
50	6,75	50	8,75	6,3	< 20	< 20	6	17	5,18	508	114,8	126	3	0,98	1	
80	5,51	70	5,5	7,58	< 20	< 20	5	8	2,44	307	69,4	77	6	1,96	2	<0,1
100	5,47	43	2,75	7,81	< 20	< 20	4	2	0,61	315	71,2	76	3	0,98	2	<0,1
Promedio	8,92	48,9	7,75	7,31			5,7	7,2	2,2	433,3	97,9	105,7	4,0	1,3	1,5	0,53
DS	3,8	14,4	2,98	0,62			1,4	5,4	1,6	346,5	78,3	79,3	1,55	0,51	0,55	0,39

Tabla 67.
Composición fitoplanctónica en el lago Riesco

Clase	Lago Riesco	C1		110038		110037		110048	
		1040	100	14605	100	14565	100	5682	100
	Taxa	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**	**cél /L**	**%**
Diatomeas	*Gomphoneis spp*	0	0	0	0	40	0	0	0
	Cymbella sp	0	0	x	0	x	0	0	0
	Navicula spp	0	0	40	0	0	0	0	0
	Asterionella formosa	0	0	x	0	80	1	0	0
	Diatoma spp	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tabellaria fenestrata	960	92	14165	97	14205	98	4762	84
	Tabellaria floculossa	0	0	400	3	120	1	480	8
	Fragilaria crotonensis	0	0	0	0	80	1	280	5
	Synedra spp	0	0	0	0	40	0	120	2
	Ulnaria ulna	0	0	0	0	0	0	40	1
Crisoficeas	*Dinobryon sp*	0	0	x	0	x	0	0	0
Xantoficeas	*Characiopsis sp*	40	4	0	0	0	0	0	0
Cloroficeas	*Sphaerocystis sp*	0	0	0	0	x	0	x	0
	Monoraphidium sp	40	4	0	0	0	0	0	0
	Coelastrum spp	0	0	x	0	x	0	x	0
	Stigeoclonium sp	0	0	0	0	x	0	0	0
	Geminella sp	x	0	0	0	0	0	0	0
	Mougeotia sp	0	0	x	0	x	0	0	0
Dinoflagelados	*Ceratium hirundinella*	0	0	0	0	0	0	x	0
Riqueza de taxa (S)		4		8		12		8	

x corresponde a individuos observados durante el análisis cualitativo que sin embargo no aparecen en el muestro cuantitativo.

Tabla 68.

Análisis granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del lago Riesco. 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 110037					
Grava	-1	4 – 2	1,2	4,6	0,6
Arena muy gruesa	0	2 – 1	7,9	17,9	10,8
Arena gruesa	1	1 – 0.5	16,9	17,7	14,9
Arena media	2	0.5 – 0.25	32,9	18,1	25,6
Arena fina	3	0.25 – 0.125	22,0	13,8	17,8
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	13,4	10,5	16,5
Fango	5	< 0.063	5,4	17,1	13,4
Centro 110038					
Grava	-1	4 – 2	2,5	29,8	0,9
Arena muy gruesa	0	2 – 1	5,5	14,4	9,6
Arena gruesa	1	1 – 0.5	11,6	20,1	28,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	29,2	19,6	34,1
Arena fina	3	0.25 – 0.125	26,3	12,6	21,1
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	15,9	2,6	5,9
Fango	5	< 0.063	8,6	0,5	0,0
Centro 110048					
Grava	-1	4 – 2	2,7	3,7	0,0
Arena muy gruesa	0	2 – 1	2,0	3,0	2,7
Arena gruesa	1	1 – 0.5	8,3	6,2	6,0
Arena media	2	0.5 – 0.25	8,9	28,0	9,8
Arena fina	3	0.25 – 0.125	12,4	33,7	8,7
Arena muy fina	4	0.125 – 0.063	8,1	10,0	10,2
Fango	5	< 0.063	57,3	15,1	62,2

Tabla 69.
Parámetros sedimentológicos (M: media y S: selección) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el ***lago Riesco***. (s/m: sin muestra).

Centro	Estación	Réplica	M	S	Clasificación
110038	1	A	2,1	1,6	Arena fina
		B	2,1	1,4	Arena fina
		C	2,0	1,1	Arena mediana
	2	A	Sin muestra		
		B	0,3	1,5	Arena gruesa
		C	Sin muestra		
	3	A	Sin muestra		
		B			
		C	1,3	1,1	Arena mediana
110037	1	A	1,5	1,3	Arena mediana
		B	2,0	1,3	Arena mediana
		C	Sin muestra		
	2	A	1,4	2,0	Arena mediana
		B	Sin muestra		
		C	1,9	1,7	Arena mediana
	3	A	2,3	1,8	Arena fina
		B	1,7	1,4	Arena mediana
		C	2,1	1,3	Arena fina
110048	1	A	4,2	0,9	Limo grueso
		B	2,8	1,8	Arena fina
		C	2,9	1,7	Arena fina
	2	A	2,3	1,6	Arena fina
		B	2,5	1,4	Arena fina
		C	2,0	1,2	Arena mediana
	3	A	3,9	1,3	Arena muy fina
		B	4,2	0,9	Limo grueso
		C	2,6	1,6	Arena fina

Tabla 70.
Listado de correntometrías lagrangeanas realizadas en el ***lago Riesco*** a distintas profundidades (m), tiempo (hrs), número de puntos georreferenciados y las coordenadas de los puntos de partida y término.
A= tramo A, B= tramo B, C= tramo C.

Punto	Prof. (m)	Fecha – Hora Inicial	Punto inicial	Fecha - Hora Final	Punto Final	Tiempo
A1	1	10-03-2015 12:44	S45° 32.197' W72° 44.387'	10-03-2015 15:51	S45° 32.106' W72° 44.602'	3:07:30
A2	15	10-03-2015 12:31	S45° 32.301' W72° 44.195'	10-03-2015 15:48	S45° 32.202' W72° 44.612'	3:17:56
A3	1					
A4	15	10-03-2015 12:53	S45° 32.183' W72° 44.379'	10-03-2015 15:53	S45° 31.930' W72° 44.421'	3:00:21
B1	1	11-03-2015 11:18	S45° 31.171' W72° 43.234'	11-03-2015 16:58	S45° 30.650' W72° 42.902'	5:40:31
B2	15	11-03-2015 11:16	S45° 31.107' W72° 43.414'	11-03-2015 17:01	S45° 30.896' W72° 43.191'	5:45:50
B3	1					
B4	15					
C1	1	12-03-2015 10:09	S45° 29.132' W72° 42.062'	12-03-2015 16:51	S45° 29.493' W72° 41.954'	6:42:30
C2	15	12-03-2015 10:13	S45° 29.003' W72° 41.847'	12-03-2015 16:56	S45° 29.412' W72° 41.738'	6:44:00
C3	1					
C4	15					

Tabla 71.
Ubicación geográfica de la estación meteorológica instalada en los ***lagos Yelcho*** y ***Riesco*** durante la campaña de monitoreo.

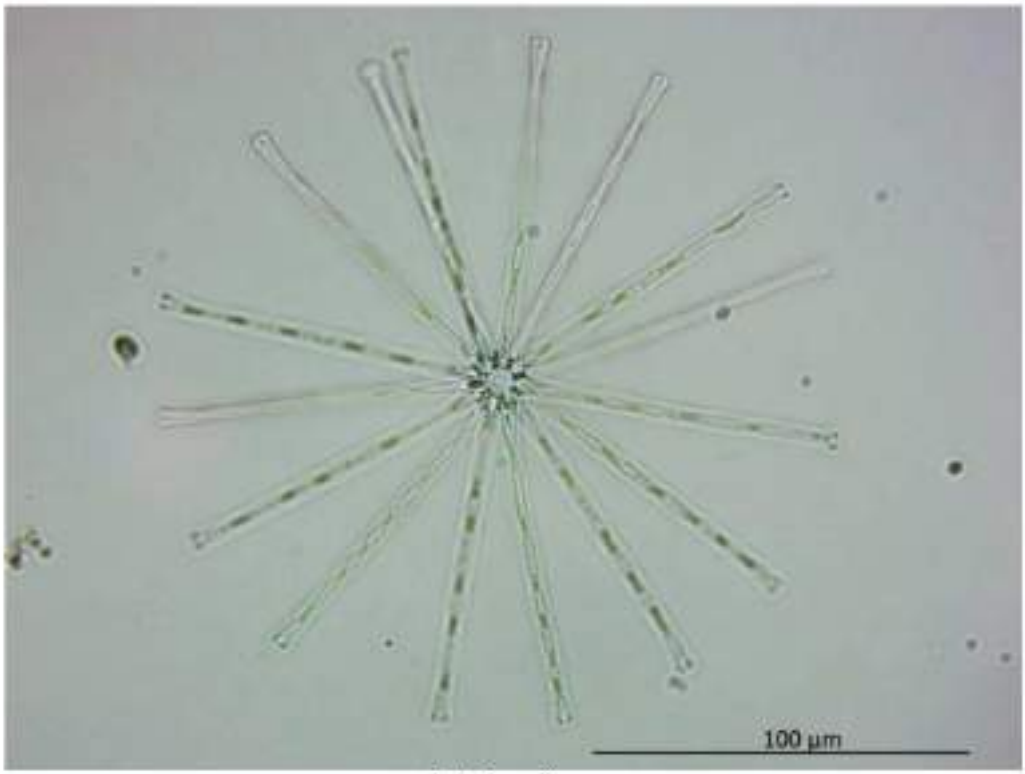
Estación meteorológica	Latitud	Longitud	Fecha	Tiempo (hrs:min)
Lago Yelcho	43°13'9.94"S	72°26'11.11"O	27/03/2015	36:41
Lago Riesco	45°30'29.91"S	72°42'5.94"O	10/03/2015 al 12/03/2015	57:56

A N E X O 2

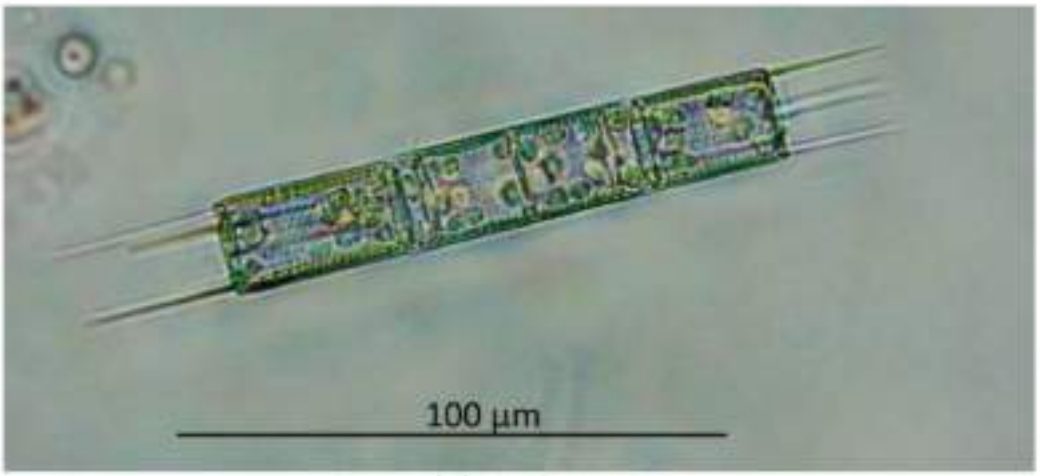
Fotografías fitoplancton, zooplancton y muestreos en los lagos.

Fotografías fitoplancton

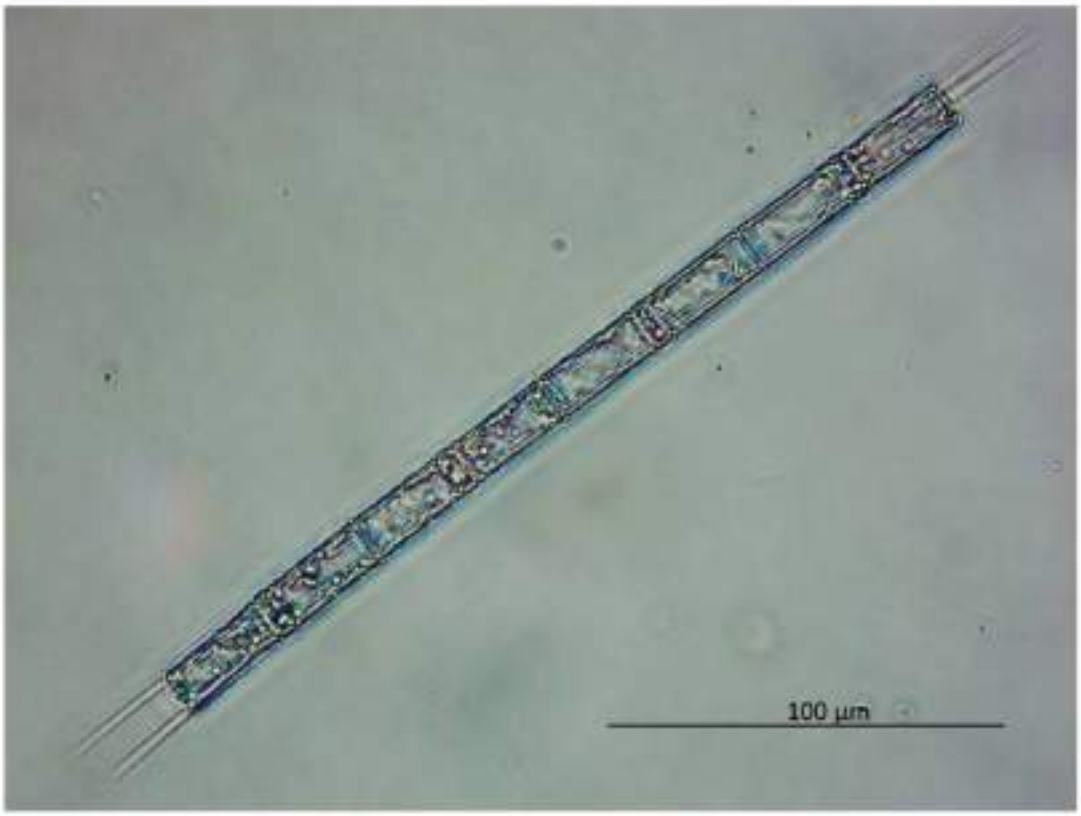
Proyecto:
"Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile (Tercera Etapa), 2015"



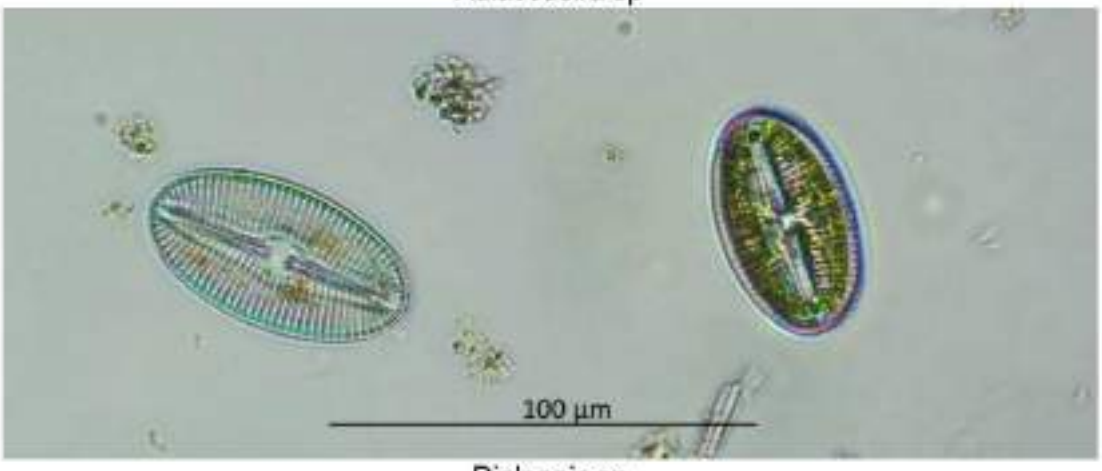
Asterionella sp



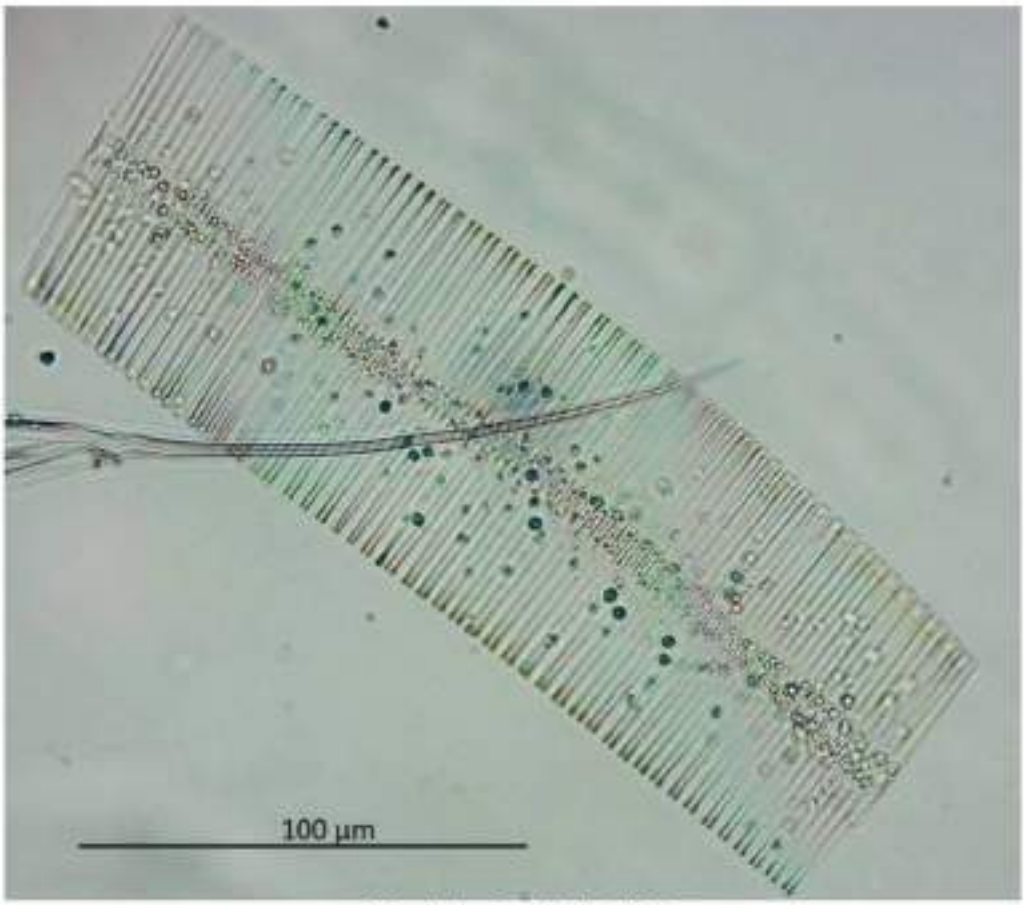
Aulacoseira sp



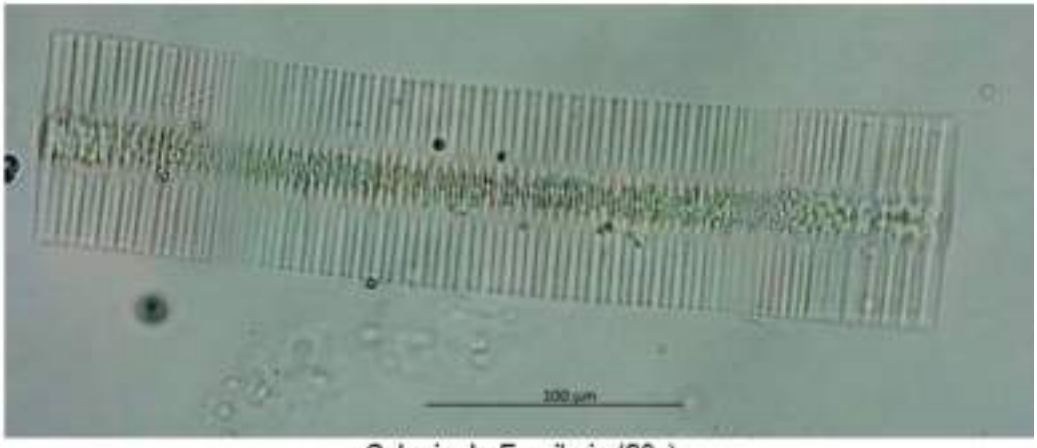
Aulacoseira sp



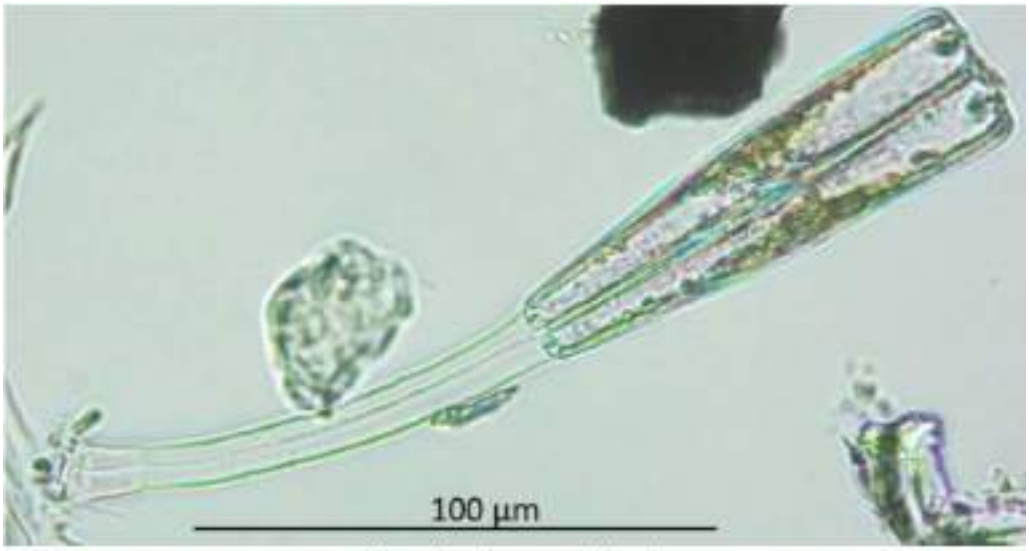
Diploneis sp



Colonia de Fragilaria (40x)

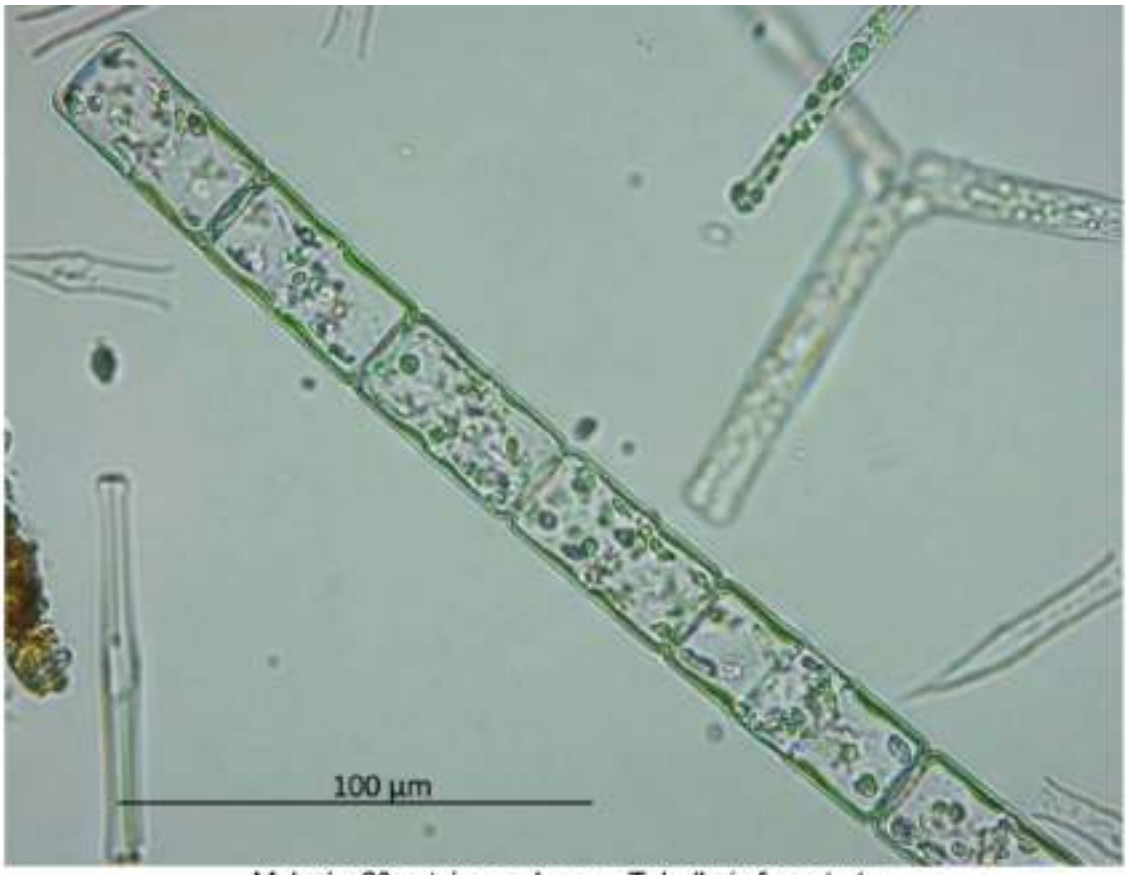


Colonia de Fragilaria (20x)

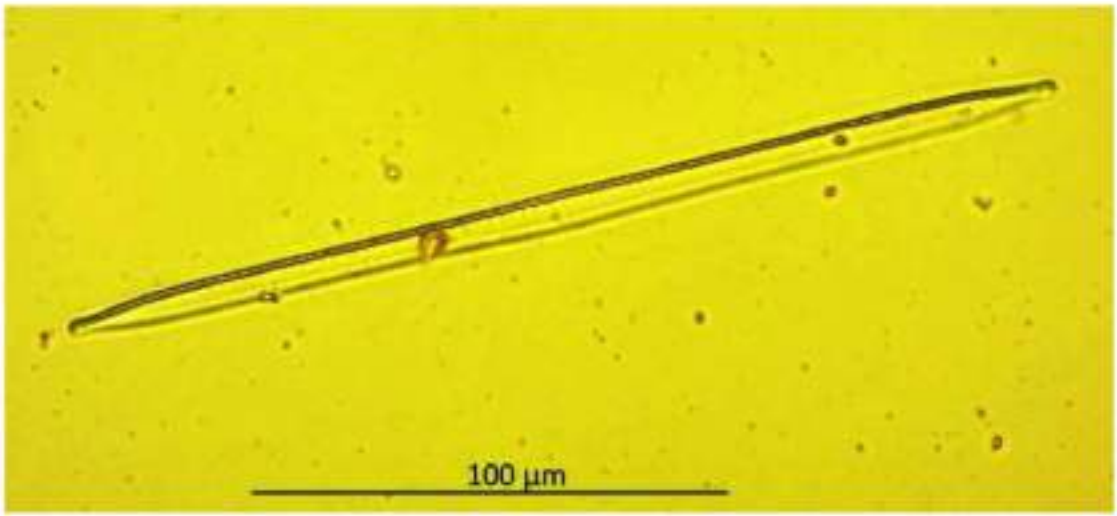


Gomphoneis con pedúnculo

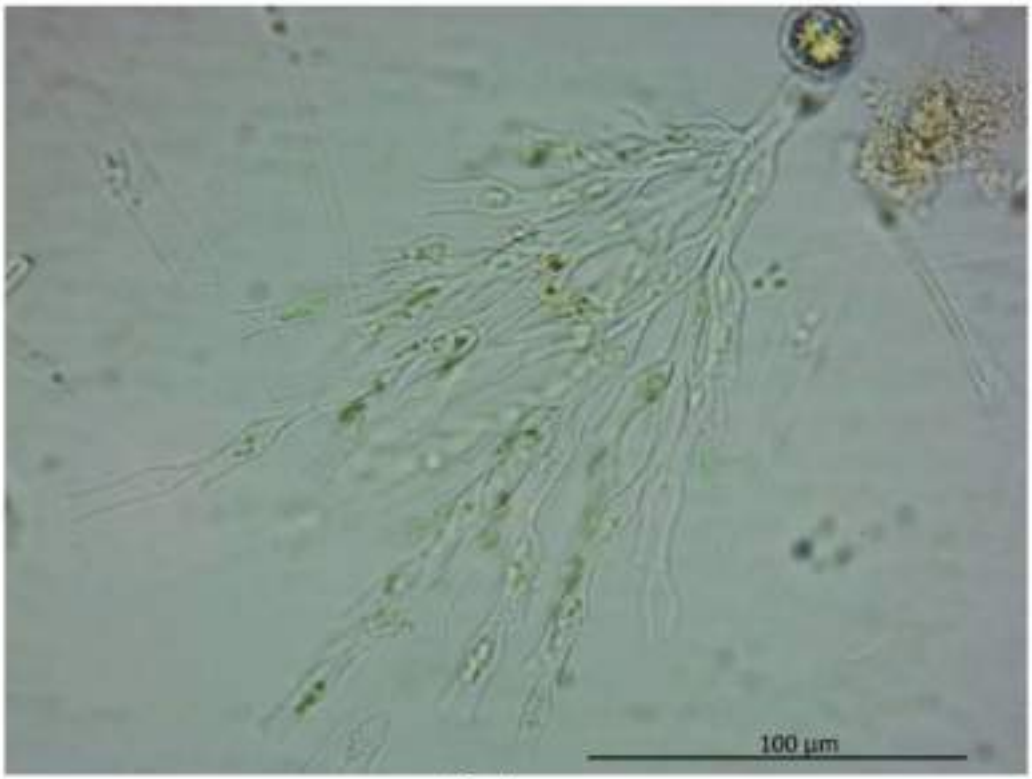
Melosira (20x)



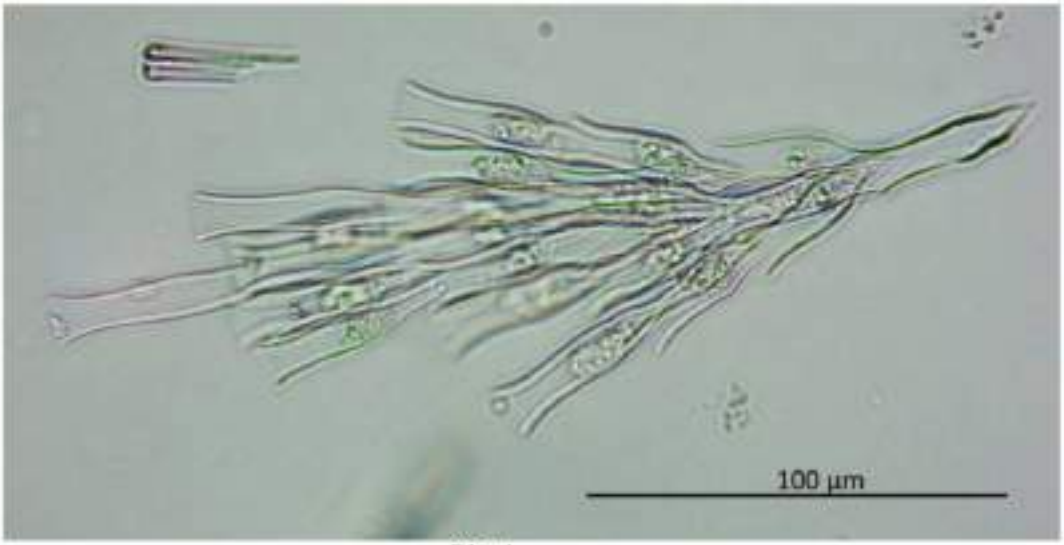
Melosira 20x atrás se observa *Tabellaria fenestrata*



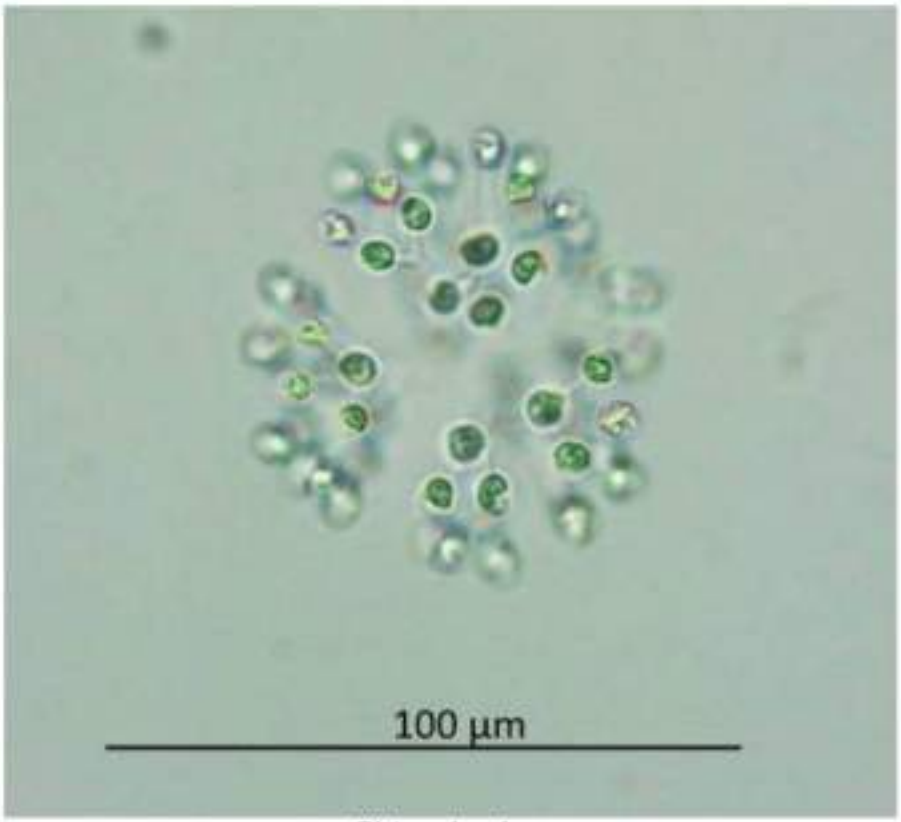
Nitzschia



Dinobryon

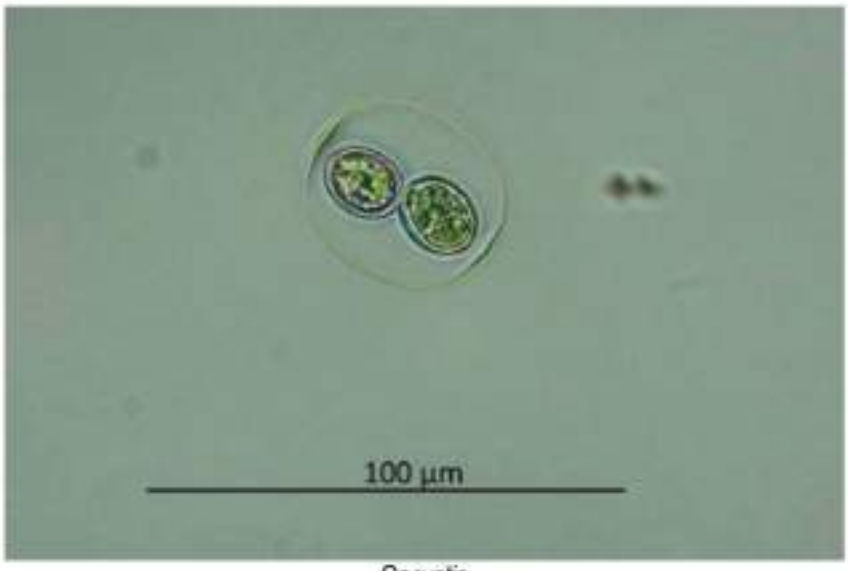


Dinobryon sp

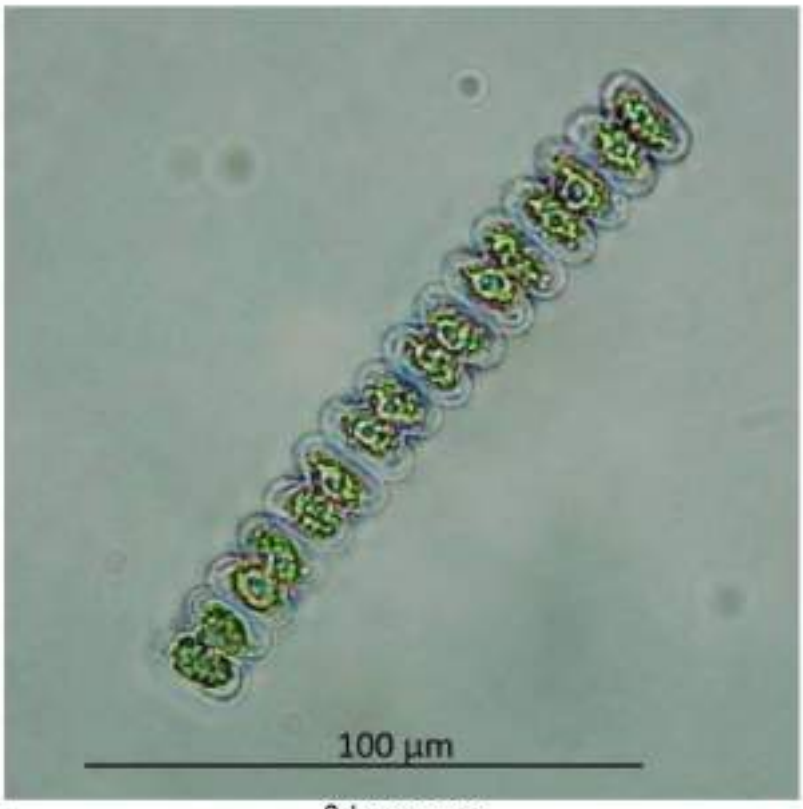


Dictyosphaerium

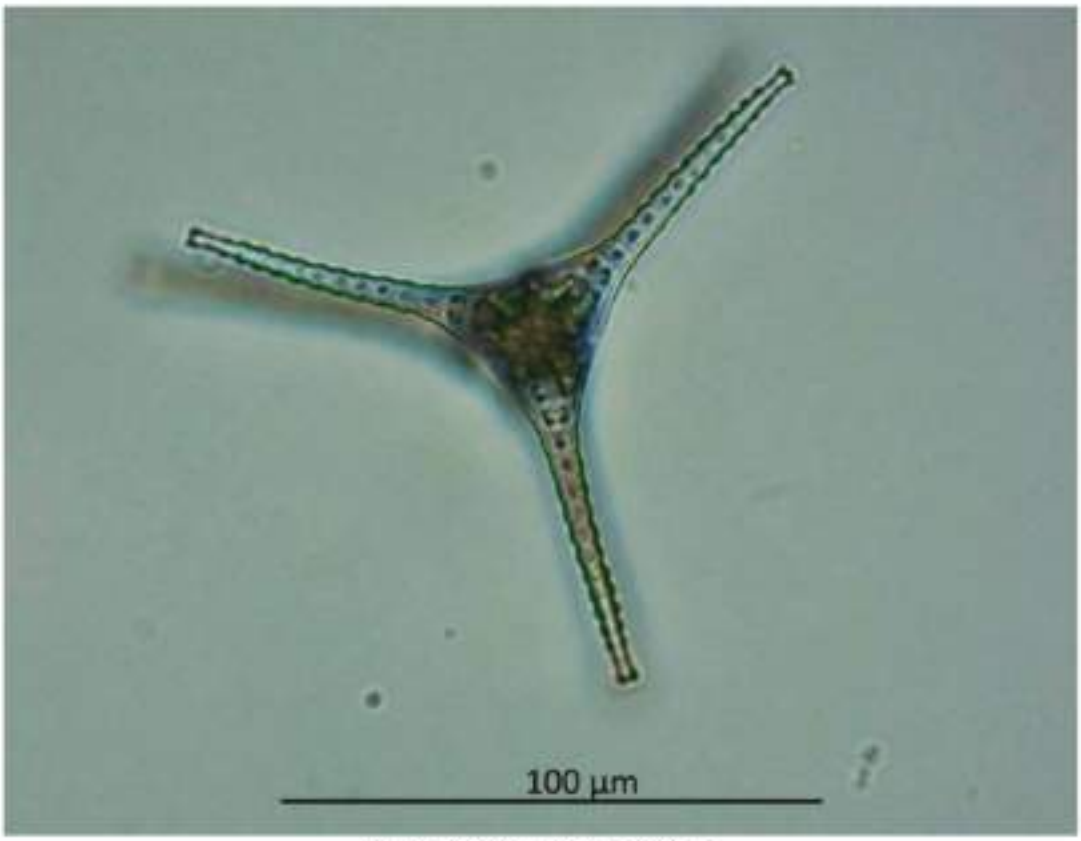
Dolichospermum



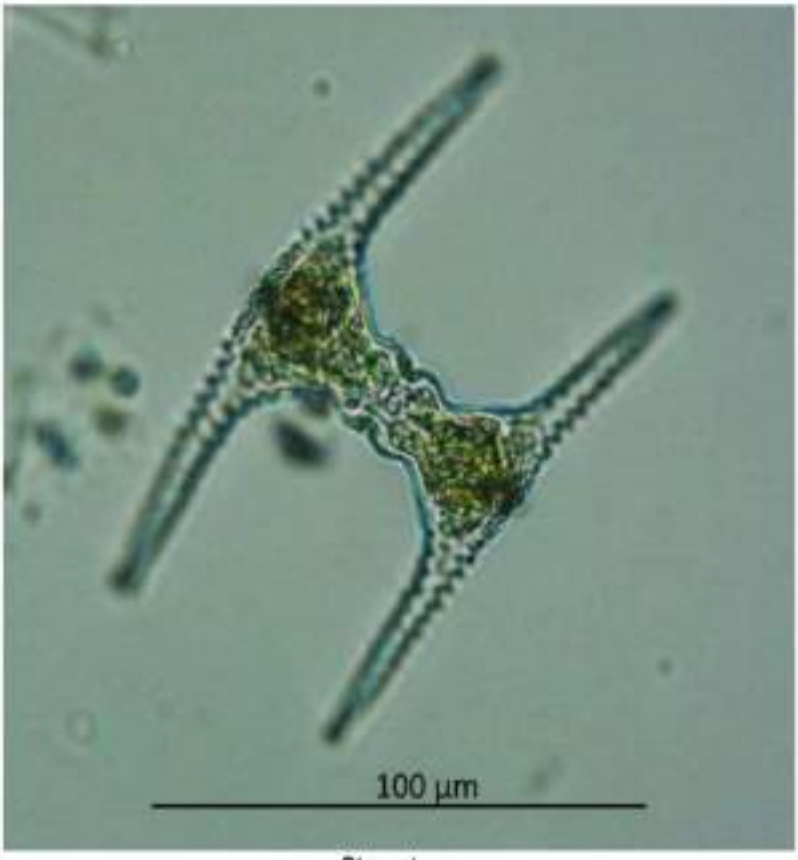
Cocystis



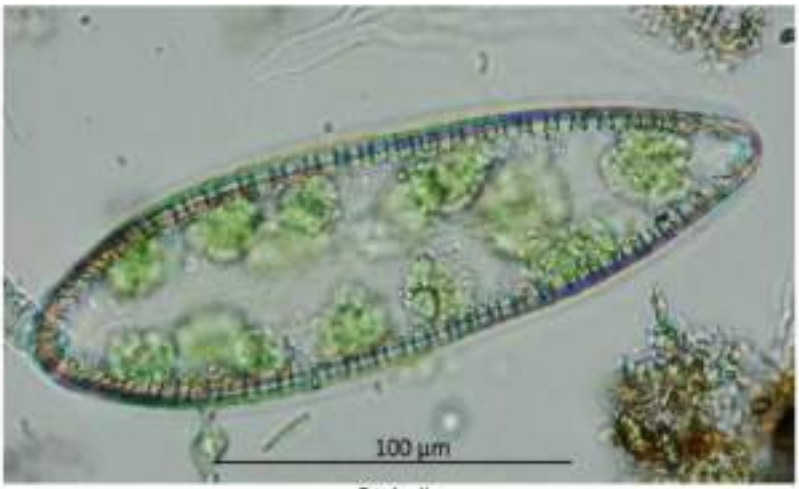
Sphaerozosma



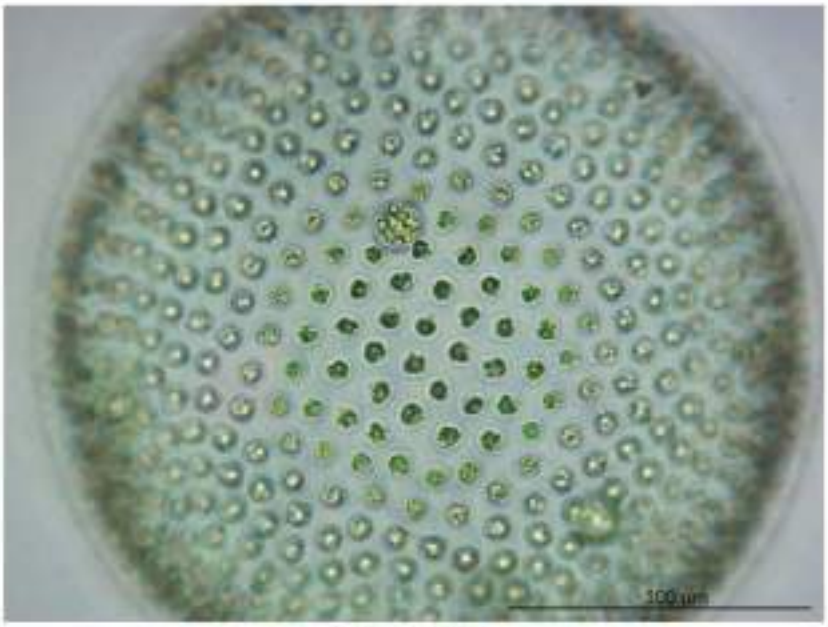
Staurastrum vista apical



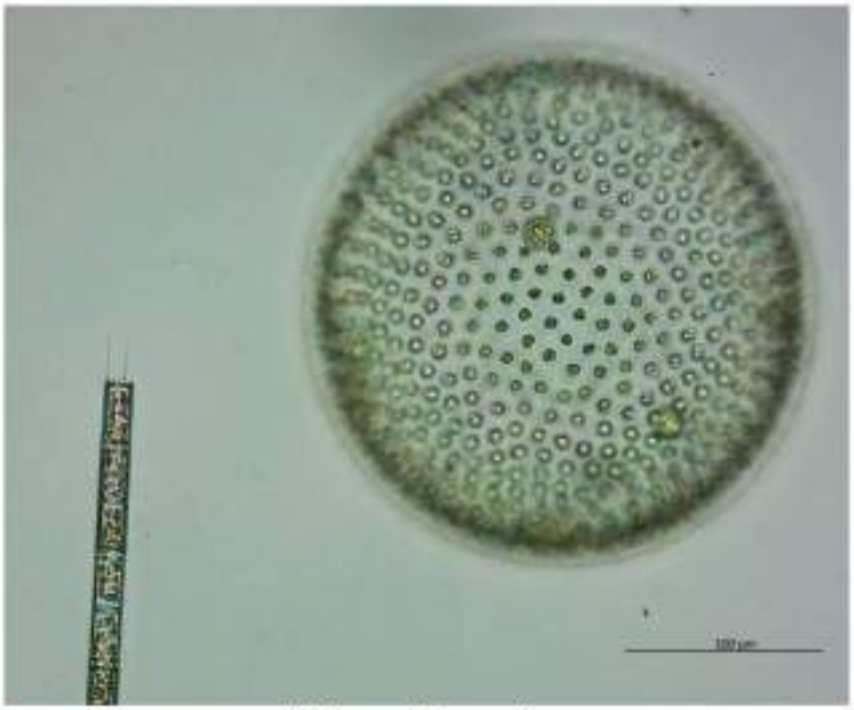
Stauratrum



Surirella



Volvox (40x)



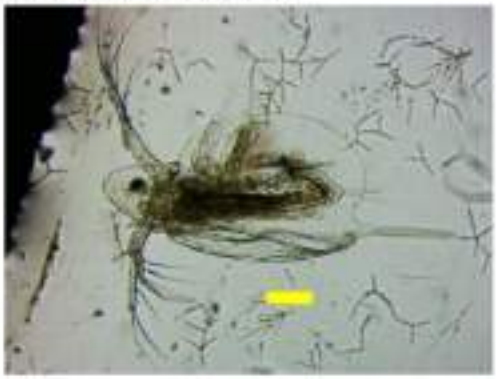
Volvox y Aulacoseira

Fotografías zooplancton

Proyecto:
"Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile (Tercera Etapa), 2015"

Anexo Fotográfico.
Las siguiente fotografiás fueron capturadas de las siguientes muestras: Lago Llanquihue 100545, Lago Rupanco 101851, Lago Chapo 101332 y 100678, Ranco E3. La barra representa 0,1mm.

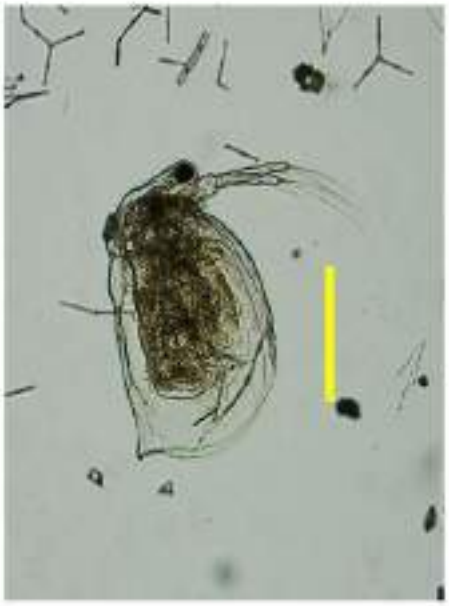
Daphnia pulex De Geer 1877



Postabdomen y garra.

Chydorus sphaericus Müller 1785

Ceriodaphnia dubia Richard 1895



Bosmina (Liederbosmina) chilensis Daday 1902

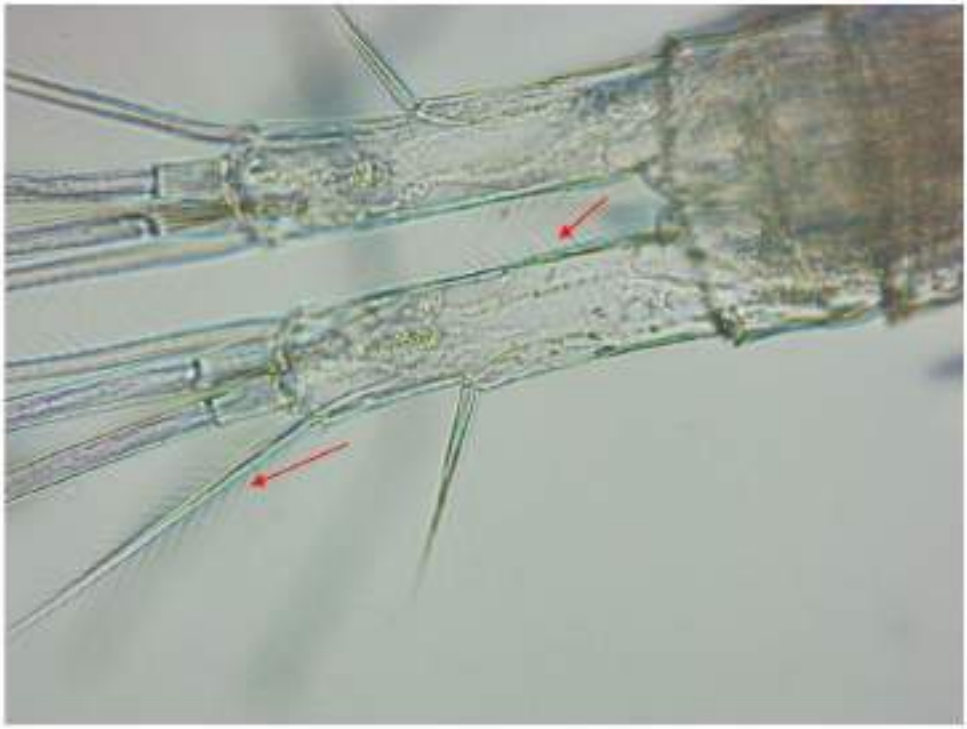
Tumeodiaptomus diabolicus Brehm 1935

Hembra

Macho

Boeckella gracilipes Daday 1901.
Macho.

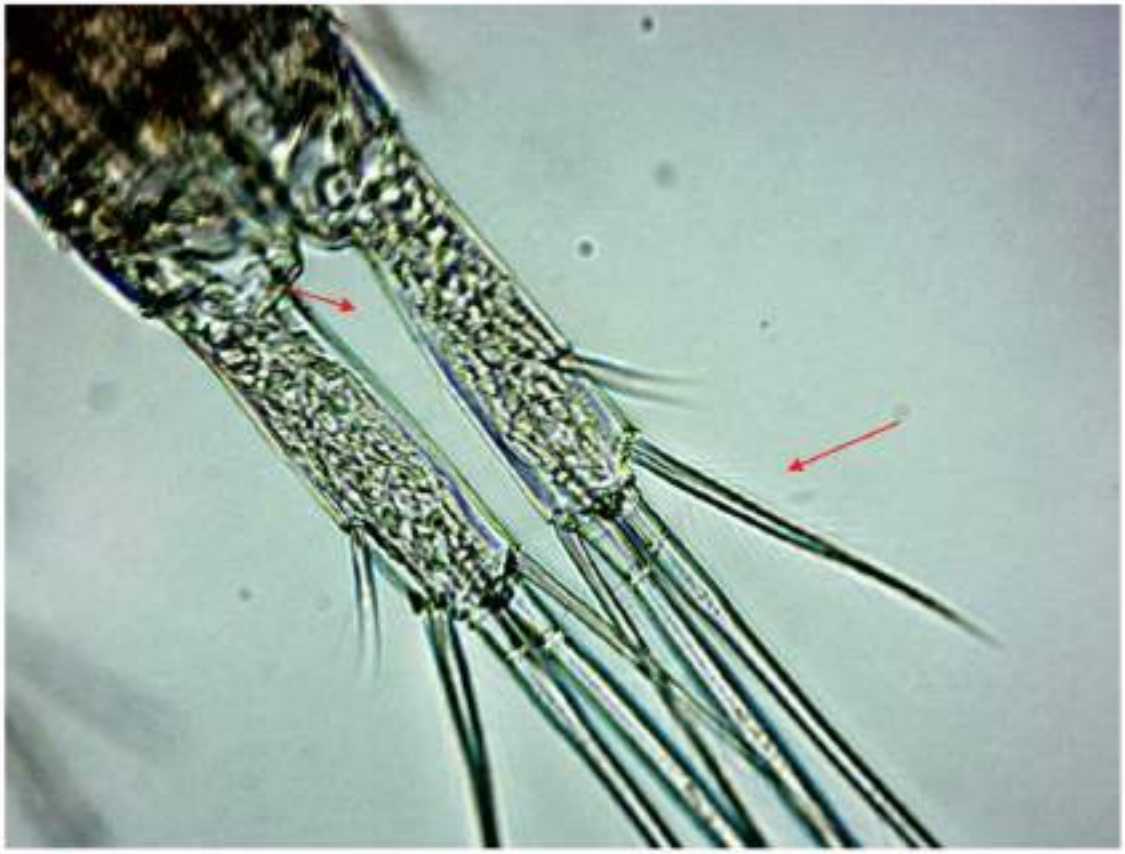
Mesocyclops longisetus Thiébaud 1914
(gran número de pelos en el ramo caudal y estos en la zona interior solo por el margen lateral)
Hembra



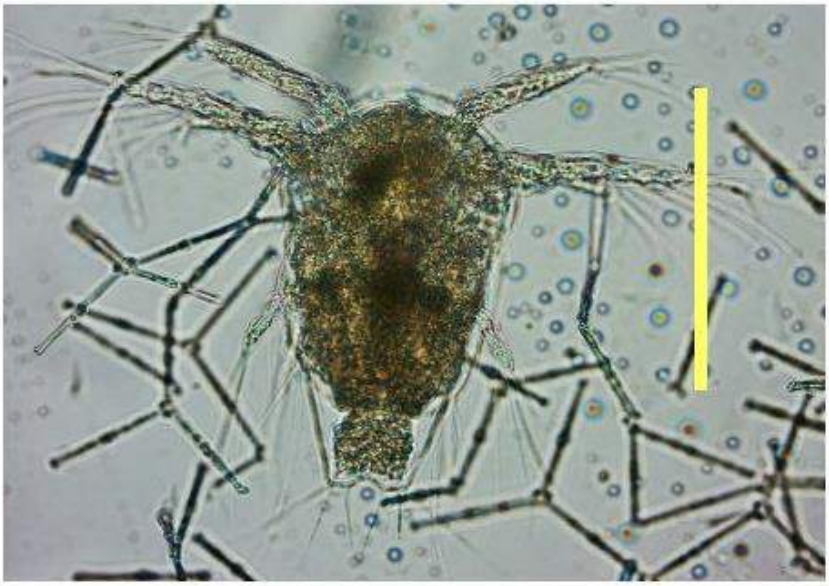
Mesocyclops araucanus Löffler 1962
(menor número de pelos en el ramo caudal y estos en la zona interior algunos dispuestos en el margen dorsal (apariencia de ausencia de pelos))

Hembra

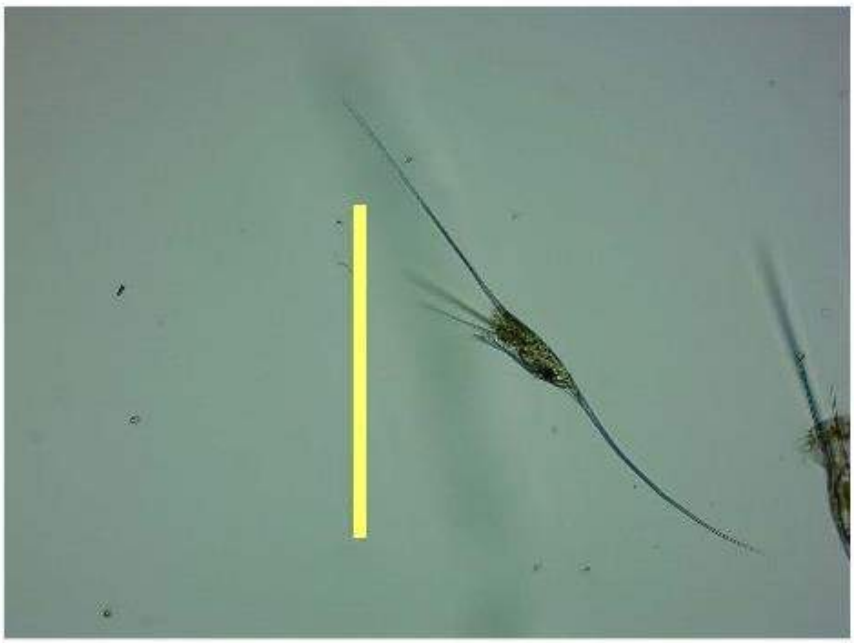
Macho



Nauplius



Filinia longiseta Ehrb 1834

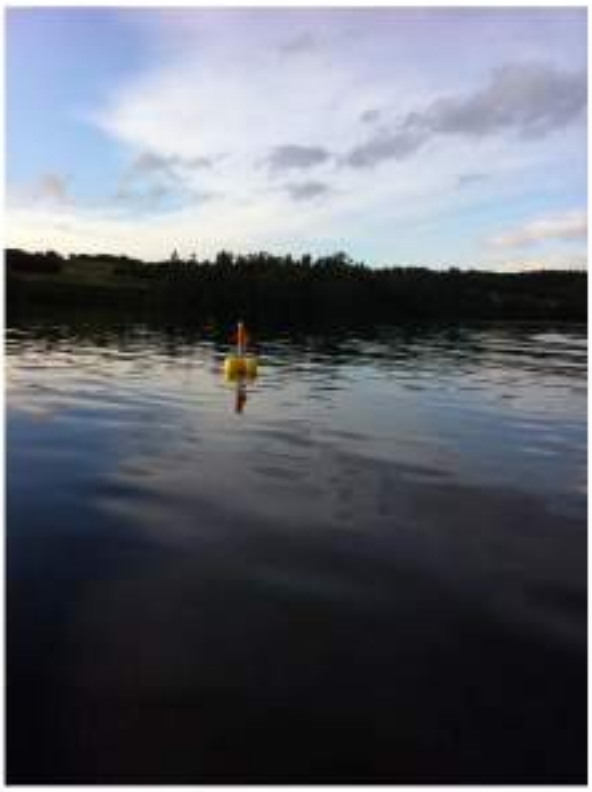


Keratella sp

Fotografías muestreos en los lagos

Proyecto:
"Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la Zona Sur Austral de Chile (Tercera Etapa), 2015"

LAGO TARAHUIN

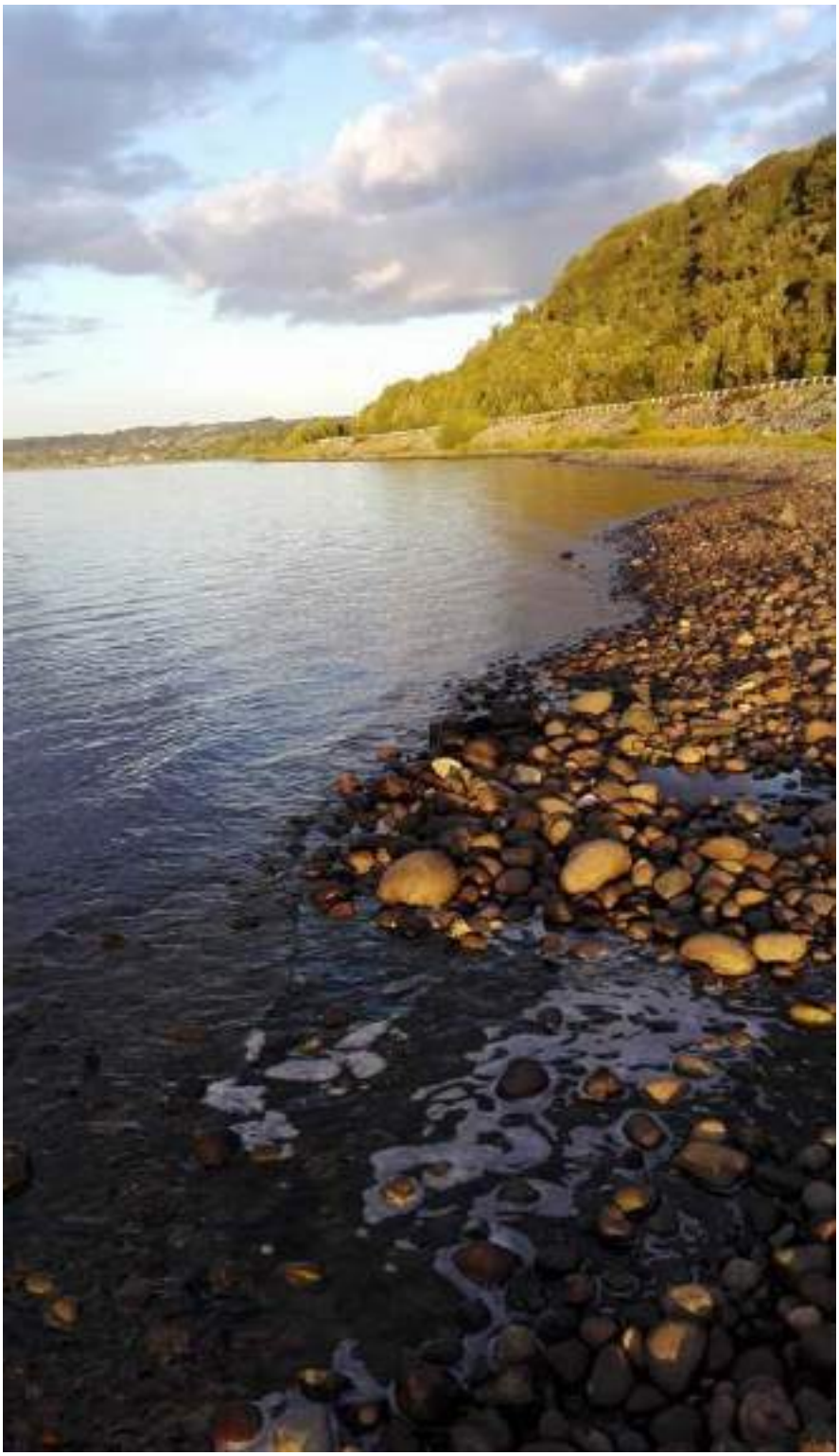


LAGO CUCAO

LAGO TEPUHUEICO

LAGO POPETAN

LAGO HUILLINCO



LAGO LLANQUIHUE

LAGO CHAPO

LAGO PUYEHUE

LAGO RUPANCO

LAGO RANCO

LAGO RIESCO

LAGO YELCHO

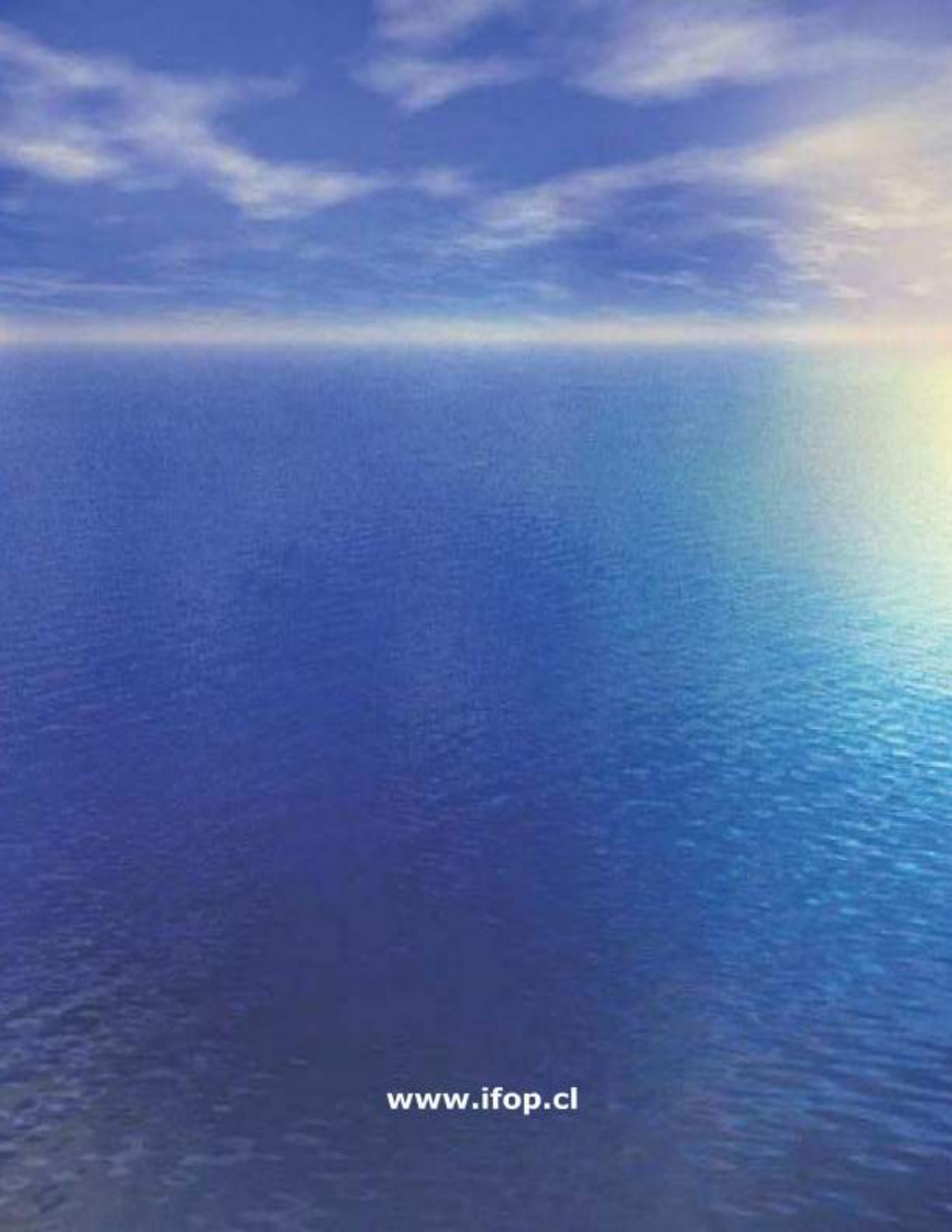
LAGO NATRI

A N E X O 3

Base datos Estado ambiental los lagos,
Tercera Etapa, 2015

(Incluída En CD presentado al inicio del documento)

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
Sección Ediciones y Producción
Almte. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl


www.ifop.cl