



Gobierno
de Chile

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN
Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA
DE LA RED DE CONTROL
DE LAGOS DE LA DGA**

REALIZADO POR

M&W Ambientales

S.I.T N° 348

SANTIAGO, NOVIEMBRE 2014

**Ministro de Obras Públicas
Sr. Alberto Undurraga Vicuña**

**Director General de Aguas
Sr. Carlos Estévez Valencia**

**Jefe Departamento de Conservación y Proyección de
Recursos Hídricos**

Sra. Mónica Musalem Jara

**Inspector Fiscal
Srta. Marysol Azócar Gutiérrez**

**Jefe Proyecto
Ginger Martínez Zaror
Profesionales:
Ginger Martínez Zaror
Katalina Ovalle Merino
Valentina Martínez Zaror**

Índice

1	AGRADECIMIENTOS	1
2	PRESENTACIÓN	2
3	RESUMEN	3
4	INTRODUCCIÓN	4
5	OBJETIVOS	4
6	METODOLOGÍA	5
6.1	Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Lagos de la DGA	5
6.2	Disponibilidad sub-acuática de irradianza: Zona Eufótica (ZEUF)	7
6.3	Determinación del nutriente limitante de la producción biológica mediante las Razones de Redfield-Brzezinski (1985) y Redfield (1934).	7
6.4	Determinación de la condición trófica en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....	10
7	RESULTADOS	11
7.1	Patrones hidrodinámicos de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.	11
7.2	Disponibilidad sub-superficial de irradianza: Zona Eufótica (ZEUF)	67
7.3	Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N/P) y su relación con la condición hidrodinámica de la columna de agua de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.	70
7.4	Variación estacional de la limitación por nutrientes.	72
7.5	Análisis de la concentración del nutriente limitante (NL)	74
7.6	Determinación de la condición trófica de los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA.....	80
7.7	Variación temporal a largo plazo (2000-2014) de la condición trófica de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.	88
8	CONCLUSIONES	139
8.1	Laguna Aculeo.....	139
8.2	Lago Caburgua	139
8.3	Lago Calafquen	140
8.4	Lago Chapo	141
8.5	Lago Colico.....	142
8.6	Lago Lanalhue.....	142
8.7	Lago Llanquihue	143
8.8	Lago LLeulleu.....	144
8.9	Lago Maihue	144
8.10	Lago Neltume.....	145

8.11	Lago Panguipulli	145
8.12	Lago Puyehue	146
8.13	Lago Ranco.....	147
8.14	Lago Riñihue.....	147
8.15	Lago Rupanco	148
8.16	Laguna Grande de San Pedro.....	149
8.17	Lago Todos Los Santos	149
8.18	Laguna Torca	150
8.19	Lago Vichuquen.....	150
8.20	Lago Villarrica	151
9	BIBLIOGRAFÍA	152

Índice de Tablas

Tabla 1a.	Periodo de registros de datos de CTD para los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....	6
Tabla 1b.	Concentración del nutriente SiO ₂ en los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA....	7
Tabla 1c.	Determinación de las razones Si/N _{NIT} y Si/P _{PIT}	8
Tabla 1d.	Determinación del nutriente limitante de la producción biológica.....	9
Tabla 2.	Criterios y valores de clasificación de la condición trófica para lagos.....	10
Tabla 3.	Determinación de la estratificación y mezcla de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....	12
Tabla 4.	Ambiente lumínico sub-superficial de los lagos y de la Red de Control de Lagos de la DGA evaluado a través de la profundidad de la Zona Eufótica (Z _{EUF})	68
Tabla 5.	Valores de la razón N _{NIT} /P _{PIT} (Razón de Redfield) en diferentes condiciones hidrodinámicas en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....	71
Tabla 6.	Valores de la razón N _{NIT} /P _{PIT} (Razón de Redfield) medidos en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA entre periodos estacionales.....	73
Tabla 7.	Valores de concentración de la fracción inorgánica y fracción orgánica de del Nutriente limitante (NL) en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA...75	75

Tabla 8. Valores de la concentración del nutriente limitante Nitrógeno (N_{MIT} , N_{TOT} , $\mu\text{g/l}$) y/o Fósforo (P_{PIT} , P_{TOT} , $\mu\text{g/l}$) medido en los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA a través de periodos estacionales.....77

Tabla 9. Determinación de la condición trófica en función de la concentración de Clorofila **a** en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....81

Tabla 10. Valores de concentración del nutriente limitante (Nitrógeno o Fósforo) y su asociación con la condición trófica bajo diferentes condiciones hidrodinámicas en los sistemas acuáticos de la Red de Control de Lagos de la DGA.....85

Tabla 11. Variación estacional de la concentración de Clorofila a ($\mu\text{g/l}$) y de la condición trófica de los lagos limitados por Fósforo y Nitrógeno..... 87

Índice de Figuras

Figura 1a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Aculeo..... 14

Figura 1b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Aculeo.....15

Figura 1c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Aculeo.....16

Figura 2a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Caburgua.....17

Figura 2b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Caburgua.....18

Figura 2c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Caburgua.....19

Figura 3a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Calafquen.....20

Figura 3b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Calafquen.....21

Figura 3c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Calafquen.....22

Figura 4a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Chapo.....23

Figura 4b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Chapo.....24

Figura 4c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Chapo.....25

Figura 5a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del Lago Colico.....26

Figura 5b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Colico.....	27
Figura 5c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Colico.....	27
Figura 6a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Lanalhue.....	29
Figura 6b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Lanalhue.....	30
Figura 6c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Lanalhue.....	31
Figura 7a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Llanquihue.....	32
Figura 7b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Llanquihue.....	33
Figura 7c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Llanquihue.....	34
Figura 8a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Maihue.....	35
Figura 8b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Maihue.....	36
Figura 8c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Maihue.....	37
Figura 9a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Neltume.....	38
Figura 9b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Neltume.....	39
Figura 9c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Neltume.....	40
Figura 10a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Panguipulli.....	41
Figura 10b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Panguipulli.....	42
Figura 10c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Panguipulli...	43
Figura 11a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del Lago Puyehue.....	44
Figura 11b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Puyehue.....	45
Figura 11c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Puyehue.....	46
Figura 12a.	Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Ranco.....	47
Figura 12b.	Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Ranco.....	48
Figura 12c.	Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Ranco...	49

Figura 13a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Riñihue.....	50
Figura 13b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Riñihue.....	51
Figura 13c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Riñihue.....	51
Figura 14a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Rupanco.....	52
Figura 14b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Rupanco.....	53
Figura 14c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Rupanco.....	54
Figura 15a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Grande de San Pedro.....	55
Figura 15b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Grande de San Pedro.....	56
Figura 15c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Grande de San Pedro.....	57
Figura 16a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Todos los Santos.....	58
Figura 16b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Todos Los Santos...	59
Figura 16c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Todos Los Santos.....	60
Figura 17a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Torca.....	61
Figura 17b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Torca.....	62
Figura 17c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Torca.....	62
Figura 18a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Vichuquen.....	63
Figura 18b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Vichuquen.....	64
Figura 18c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Vichuquen....	64
Figura 19a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Villarrica.....	65
Figura 19b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Villarrica.....	66

Figura 19c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Villarrica.....	67
Figura 20. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Aculeo.....	90
Figura 21. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Caburgua.....	92
Figura 22. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Calafquen.....	94
Figura 23. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Chapo.....	97
Figura 24. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Colico.....	100
Figura 25. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Lanalhue.....	102
Figura 26. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Llanquihue.....	104
Figura 27. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago LLeulleu.....	107
Figura 28. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Maihue.....	109
Figura 29. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Neltume.....	112
Figura 30. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Panguipulli.....	114
Figura 31. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Puyehue.....	117
Figura 32. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Ranco.....	119
Figura 33. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Riñihue.....	122
Figura 34. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Rupanco.....	125
Figura 35. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Grande de San Pedro.....	127
Figura 36. Análisis temporal interanual de la condición trófica del Todos los Santos.....	130
Figura 37. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Torca.....	133
Figura 38. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Vichuquen.....	135
Figura 39. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Villarrica.....	137

Tabla de Anexos

ANEXO 1	156
ANEXO 2	184
ANEXO 3	198
ANEXO 4	202

1 AGRADECIMIENTOS

M&W Ambientales agradece al equipo profesional y técnico del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas (DGA) por la buena disposición y por disponer de la información requerida para realizar este estudio lo que facilitó nuestro trabajo.

2 PRESENTACIÓN

El presente Informe ha contado con la colaboración de la Dirección General de Aguas (DGA) a través del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos en la entrega de información de calidad de agua proveniente de 20 cuerpos lacustres distribuidos a lo largo de Chile entre la IV Región de Coquimbo y la X Región de Los Lagos y monitoreados en el marco de la Red de Control de Lagos de la DGA, la cual tiene más de 14 años de desarrollo y cuyo objetivo ha sido velar por el buen funcionamiento de estos sistemas acuáticos.

A través de este estudio se han coordinado esfuerzos y compartido experiencias que han permitido la determinación de la condición trófica de cada cuerpo lacustre desde un enfoque químico a través de determinaciones del pigmento *Clorofila* y desde otro enfoque biológico mediante la descripción de las comunidades fitoplanctónicas. Los resultados del estudio permitieron realizar un diagnóstico actualizado de la condición trófica de los sistemas acuáticos y plantear recomendaciones para implementar eficaces acciones de manejo.

3 RESUMEN

Conforme a lo estipulado en las Bases Técnicas del presente contrato y sobre la base de antecedentes técnicos y a la experiencia del Consultor, se actualizó la base de datos de calidad de agua de 20 lagos incluidos en la Red de Control de Lagos de la Dirección General de Aguas (DGA en adelante). El estudio permitió determinar la condición trófica de cada sistema acuático en el largo plazo (2000-2013).

Previamente a la determinación de condición trófica, se determinó la condición hidrodinámica, el ambiente lumínico sub-acuático y la condición de limitación de la producción biológica por Sílice, Nitrógeno y Fósforo. Estos aspectos de los sistemas fueron asociados a la disponibilidad de biomasa de origen autótrofo mediante la cuantificación del pigmento Clorofila *a*, lo que permitió realizar una clasificación trófica de los 20 lagos mediante la propuesta de Smith *et al.* 1999.

Los resultados de la condición de trofia de los lagos de la Red de Control mostraron que las lagunas Aculeo y Torca fueron los sistemas con mayor nivel trófico (Hipereutrofia) y que el lago Lanalhue, la laguna Grande de San Pedro y el lago Vichuquen presentaron una condición de Meso-Eutrofia. Estos lagos estuvieron limitados principalmente por Fósforo. Por el contrario, los lagos Araucanos de la Red de Control presentaron en más del 90% de los casos una condición de Oligotrofia que usualmente se mantuvo en el largo plazo. Estos lagos estuvieron limitados por Fósforo en otoño, invierno y primavera y por Nitrógeno en verano.

El análisis de la condición trófica a más largo plazo (2000-2013) mostró que los sistemas de mayor trofia históricamente han presentado condiciones de alta trofia (Mesotrofia-Hipereutrofia). La laguna Aculeo ha sido y es un sistema Hipereutrótico, el lago Lanalhue ha mostrado permanentemente niveles de Mesotrofia y Eutrofia y la laguna Grande de San Pedro presenta niveles de Oligo-Mesotrofia. La laguna Torca y el lago LLeulleu no presentan suficientes datos para análisis histórico de la trofia. El análisis de la condición trófica de los lagos Araucanos entre el 2000 y 2013 indica que históricamente ha habido niveles de Oligotrofia con excepción de los lagos Villarrica, Calafquen y Chapo que han mostrado una condición de Oligo-mesotrofia en el tiempo.

Los principales factores que inciden en la condición trófica de los lagos son la variación estacional de la disponibilidad de nutrientes en cuencas de alta estacionalidad climática y las condiciones de alta intervención antrópica por actividades productivas y desechos domiciliarios lo que en conjunto podrían estar generando una alternancia de la disponibilidad de Fósforo y/o Nitrógeno.

4 INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los 80, la Dirección General de Aguas (DGA) a través del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos ha llevado a cabo el programa de monitoreo de lagos denominado Red de Control de Lagos. Actualmente esta red incluye el monitoreo estacional en 20 cuerpos lénticos a lo largo de Chile, los cuales se distribuyen entre la IV Región de Coquimbo y la X Región de Los Lagos.

Conforme a lo estipulado en las Bases Técnicas del presente contrato y sobre la base del análisis de antecedentes técnicos y a la experiencia del Consultor, se realizó una revisión de la base de datos colectados por la DGA en el marco del monitoreo de la Red de Control de Lagos, la cual permitió realizar correcciones y recomendaciones y la validación de los registros obtenidos por la DGA en el periodo 2000-2014. Con esta base de datos mejorada y con la disponibilidad de registros en el largo plazo, se determinó la condición trófica que históricamente han mostrado los lagos de la Red Control.

5 OBJETIVOS

Los objetivos de la asesoría son:

- 1 Revisar, corregir y validar la base de datos de calidad de agua de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA comprendida entre el 2009 y 2014 e integrar estos datos a la Base de datos existente y generada para el periodo 2000-2008.
- 2 Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Control de Lagos existente y su relación con la condición trófica.
- 3 Determinación del nutriente limitante de la producción biológica mediante las Razones de Redfield-Brzezinski (Redfield-Brzezinski, 1985) y Redfield (Redfield A., 1934).
- 4 Determinar la condición trófica de los lagos de la Red de Control de Lagos en el periodo 2000-2014.

6 METODOLOGÍA

6.1 Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Lagos de la DGA

La condición hidrodinámica afecta significativamente la disponibilidad de nutrientes y consecuentemente la condición trófica del sistema acuático. El análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA consistió en determinar los periodos de mezcla y estratificación en un año promedio para cada periodo estacional en cada lago. Se determinó el patrón hidrodinámico estacional de los 20 lagos de la Red de Control de lagos con datos de perfiles sub-acuáticos de temperatura obtenidos entre los años 2000 y 2014 para 13 lagos de los cuales se tienen datos desde el año 2000 (**Tabla 1a**) y para 7 nuevos lagos que fueron incorporados más recientemente y para los cuales se tienen datos de perfiles subacuáticos de temperatura entre los años 2012 y 2013 (**Tabla 1a**). Los 7 nuevos cuerpos de agua fueron: lago Colico (Minuta DCPRH N° 6/2013), lago LLeulleu, lago Neltume (Minuta DCPRH N° 6/2013), lago Puyehue (Minuta DCPRH N° 36/2012), lago Rupanco (Minuta DCPRH N° 36/2012), laguna Torca (Minuta DCPRH N° 6/2013) y lago Vichuquen (Minuta DCPRH N° 6/2013).

Para determinar estratificación térmica se cuantificó una variación de temperatura en la columna de agua mayor o igual a 1 °C en un metro de profundidad (Wetzel, 2001). Se analizaron perfiles para cada periodo estacional y en cada estación de muestreo en las cuales se registró la ocurrencia de estratificación, la profundidad de la termoclina y la profundidad del Epilimnion, Metalimnion e Hipolimnion (Wetzel, 2001). Con estos datos se obtuvieron perfiles verticales representativos de cada estación de muestreo y de cada periodo estacional de un determinado rango de años. En la mayoría de los lagos hubo diferencias en los patrones hidrodinámicos entre estaciones de muestreo por lo que fue considerado como representativo el patrón hidrodinámico encontrado en la estación Centro, la cual es la más representativa de un lago. En base a este análisis se estableció el régimen intra-anual de mezcla y estratificación para cada sistema acuático (Wetzel, 2001).

Tabla 1a. Periodo de registros de datos de CTD para los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. (*) Lagos nuevos incorporados a partir de 2012 o 2013.

CUERPO DE AGUA	PERIODO DE DATOS DE CTD													
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Laguna de Aculeo (AC)	x	x	x		x	x	x	x						
Lago Caburgua (CA)	x	x	x		x	x	x	x						
Lago Calafquen (CF)	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	
Lago Chapo (CH)	x	x	x		x	x	x	x		x		x		
Lago Colico (CO)*														x
Lago Lanahue (LA)		x										x		
Lago Llanquihue (LLA)	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x
Lago LLeulleu (LLE)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lago Maihue (MA)	x	x	x			x	x	x		x				x
Lago Neltume (NE)*														x
Lago Panguipulli (PA)	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	
Lago Puyehue (PU)*													x	x
Lago Ranco (RA)	x	x	x		x	x	x	x		x			x	x
Lago Riñihue (RI)	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	
Lago Rupanco (RU)*													x	x
Lag. Grande de San Pedro (SP)												x		
Lago Todos los Santos (TLS)			x		x	x	x	x		x		x		
Laguna Torca (TO)*														x
Lago Vichuquen (VIQ)*														x
Lago Villarrica (VI)	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x

6.2 Disponibilidad sub-acuática de irradiación: Zona Eufótica (Z_{EUF})

Un factor alternativo a la disponibilidad de nutrientes que podría estar limitando la producción biológica principalmente en los sistemas eutróficos e hipertróficos es el clima lumínico subacuático (Wetzel, 2001). Debido a esto, se determinó la profundidad a la que llega el 1 % aproximado de la irradiación superficial lo cual se define como Zona Eufótica (Z_{EUF}). La Z_{EUF} fue determinada mediante los valores del Disco Secchi (DS) y a través de la expresión $Z_{EUF} = 3 \times DS$, (Montecino, 1991). Los lagos fueron agrupados como Sistemas con baja disponibilidad sub-acuática de irradiación y Sistemas con alta disponibilidad sub-acuática de irradiación en base a los valores del porcentaje de la columna de agua irradiada (Z_{EUF} / Z_{MAX} , %) obtenidos para cada lago del estudio. El cálculo de Z_{EUF} fue basado en los datos de DS obtenidos entre el 2000 y el 2014 y para los lagos nuevos entre el 2012 y 2013. Se obtuvo el valor promedio y el rango de valores (máximo-mínimo) de Z_{EUF} medidos en los periodos de estratificación y mezcla en cada lago.

6.3 Determinación del nutriente limitante de la producción biológica mediante las Razones de Redfield-Brzezinski (1985) y Redfield (1934).

6.3.1 Análisis de Sílice (SiO_2)

Para determinar el nivel de producción biológica se debe identificar primero el nutriente que estaría limitando la generación de biomasa en un sistema acuático ya que su variación determinaría también variación de la biomasa o de la producción biológica. Se determinó la concentración de los principales nutrientes que limitan la producción en un sistema léntico: Nitrógeno (N_{NIT} =Nitrógeno inorgánico total), Fósforo (P_{PIT} =Fósforo inorgánico total) y Sílice (SiO_2). Inicialmente se determinó la concentración de SiO_2 (**Tabla 1b**) y luego se obtuvieron las razones de sílice con el resto de nutrientes (SiO_2/P_{PIT} y SiO_2/N_{NIT}) (**Tabla 1c**) para determinar la importancia del SiO_2 como nutriente limitante. Un valor de la razón entre Sílice y Nitrógeno (SiO_2/N_{NIT}) que fuera menor a 2 (en gramos) indicaría limitación por Sílice y un valor de la razón entre Sílice y Fósforo (SiO_2/P_{PIT}) que fuera menor a 14 (en gramos) indicaría limitación por Sílice (Brzezinski, 1985). Los valores de las razones SiO_2/P_{PIT} y SiO_2/N_{NIT} se presentan en la **Tabla 1c**.

Tabla 1b. Concentración del nutriente SiO_2 en los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA. (-) No existen datos.

Lago o Embalse	Sílice (mg/L SiO_2)
Laguna Aculeo	4,1 (0,4 - 13,7)
Lago Caburgua	9,0 (3,1 - 13,8)
Lago Calafquen	13,0 (2,5 - 18,2)
Lago Chapo	6,8 (1,5 - 9,0)
Lago Colico	4,3 (4,2 - 4,5)
Lago Lanalhue	3,1 (0,4 - 7,6)

Lago o Embalse	Sílice (mg/L SiO ₂)
Lago Llanquihue	1,2 (0,01 - 3,6)
Lago LLeulleu	2,0 (1,7 - 2,9)
Lago Maihue	13,5 (3,1 - 16,9)
Lago Neltume	15,1 (14,9 - 15,4)
Lago Panguipulli	10,8 (1,1 - 17,3)
Lago Puyehue	7,6 (1,0 - 9,0)
Lago Ranco	11,0 (3,4 - 14,0)
Lago Riñihue	10,3 (1,8 - 16,6)
Lago Rupanco	5,0 (1,0 - 6,0)
Laguna Grande de San Pedro	191,0 (0,0 - 4928,0)
Lago Todos Los Santos	9,9 (3,7 - 17,4)
Laguna Torca	-
lago Vichuquen	-
Lago Villarrica	12,9 (3,8 - 19,1)

Tabla 1c. Determinación de las razones Si/N_{NIT} y Si/P_{PIT}. N_{NIT}=Nitrógeno inorgánico total (N-NO₃ + N-NO₂) y P_{PIT}=Fósforo inorgánico total (P-PO₄). (-) No existen datos.

Lago	Si / N _{NIT}	Si / P _{PIT}
Laguna Aculeo	1 - 411	19 - 4.567
Lago Caburgua	16 - 4.433	172 - 4.433
Lago Calafquen	10 - 5.233	342 - 6.067
Lago Chapo	18 - 2.733	165 - 2.890
Lago Colico	45 - 80	1.387 - 1.490
Lago Lanalhue	9 - 1.567	119 - 2.523
Lago Llanquihue	0,1 - 967	4 - 1.450
Lago LLeulleu	33 - 79	569 - 951
Lago Maihue	37 - 5.500	1540 - 5.633
Lago Neltume	200 - 3.841	7434 - 7.717
Lago Panguipulli	9 - 4.600	323 - 5.766
Lago Puyehue	57 - 992	43 - 2666
Lago Ranco	46 - 10.900	407 - 4.668
Lago Riñihue	6 - 4.502	324 - 5.533
Lago Rupanco	54 - 1512	333 - 1872
Laguna Grande de San Pedro	11 - 1.300	92 - 1.833
Lago Todos Los Santos	28 - 3.933	264 - 5.811
Laguna Torca	-	-
Lago Vichuquen	-	-
Lago Villarrica	35 - 5.412	82 - 6.233

El análisis de los resultados mostró que la gran mayoría de los casos analizados en cada lago, el Nitrógeno o el Fósforo fueron los nutrientes limitantes de la producción biológica (**Tabla 1d**). Por lo tanto y debido a la ausencia de limitación por Sílice, el análisis posterior para determinar el nutriente limitante fue enfocado a Nitrógeno y Fosforo.

Tabla 1d. Determinación del nutriente limitante de la producción biológica. La tabla muestra el número de casos en que el nutriente fue limitante en cada caso analizado para cada lago. N_{NIT} =Nitrógeno inorgánico total ($N-NO_3 + N-NO_2$) y P_{PIT} =Fósforo inorgánico total ($P-PO_4$). (-) No existen datos.

Lago o Embalse	Si / N_{NIT}	Si / P_{PIT}
Laguna Aculeo	N (204 de 209 casos)	P (204 de 204 casos)
Lago Caburgua	N (338 de 338 casos)	P (332 de 332 casos)
Lago Calafquen	N (99 de 99 casos)	P (225 de 225 casos)
Lago Chapo	N (135 de 135)	P (281 de 281)
Lago Colico	N (18 de 18 casos)	P (18 de 18 casos)
Lago Lanalhue	N (351 de 351 casos)	P (325 de 325 casos)
Lago Llanquihue	N (399 de 424 casos)	P (560 de 574 casos)
Lago LLeulleu	N (6 de 6 casos)	P (6 de 6 casos)
Lago Maihue	N (231 de 231 casos)	P (200 de 200 casos)
Lago Neltume	N (4 de 4 casos)	P (4 de 4 casos)
Lago Panguipulli	N (230 de 230 casos)	P (206 de 206 casos)
Lago Puyehue	N (44 de 44 casos)	P (62 de 62 casos)
Lago Ranco	N (288 de 288 casos)	P (284 de 284 casos)
Lago Riñihue	N (323 de 323 casos)	P (307 de 307 casos)
Lago Rupanco	N (36 de 36 casos)	P (51 de 51 casos)
Laguna Grande de San Pedro	N (187 de 190 casos)	P (182 de 182 casos)
Lago Todos Los Santos	N (215 de 215 casos)	P (216 de 216 casos)
Laguna Torca	-	-
Lago Vichuquen	-	-
Lago Villarrica	N (408 de 408 casos)	P (409 de 409 casos)

6.3.1 Análisis de Nitrógeno (N_{NIT}) y Fósforo (P_{PIT})

Se utilizó la razón de Redfield (1934) para determinar limitación por Nitrógeno o Fósforo, la cual indica que cuando la razón N_{NIT} / P_{PIT} presenta un valor igual o mayor que 7 (en gramos) existe limitación por Fósforo y en caso contrario el Nitrógeno sería el nutriente limitante de la producción biológica (Redfield 1934). Se determinó la razón N_{NIT} / P_{PIT} promedio de cada estación de muestreo considerando los periodos de estratificación y mezcla de cada una. También se determinó la razón N_{NIT} / P_{PIT} promedio en cada periodo estacional para cada lago. La determinación del nutriente limitante muestra el número de casos en que el Fósforo o el Nitrógeno o ambos nutrientes fueron limitantes de la producción biológica respecto del total de casos analizados. El número total de casos analizados correspondió a la suma de los casos de limitación por Fósforo o Nitrógeno que ocurrió durante los periodos de estratificación o mezcla o en los periodos estacionales considerando los datos de todas las profundidades de muestreo. El nutriente limitante fue definido cuando hubo una mayoría de casos que respaldaron este resultado.

Así por ejemplo, para determinar el nutriente limitante en el lago Panguipulli se analizaron por separado las estaciones Centro y Choshuenco de la estación Bahía Panguipulli ya que se generan diferencias del patrón hidrodinámico entre estas estaciones. Por ejemplo, en las estaciones Centro y Choshuenco ocurre estratificación en verano y mezcla de la columna de agua durante el resto del año por lo que se determinó el nutriente limitante para el periodo de estratificación (Nitrógeno, 27 de 28 casos, Tabla 5 de resultados) y para el periodo de mezcla (Fósforo, 57 de 113 casos, Tabla 5 de resultados) de estas estaciones, ello a pesar que hubo pocos casos que respaldaron la definición del nutriente limitante en el periodo de mezcla. Cabe mencionar que en los casos en que hubo escaso respaldo de casos de estudio para definir el nutriente limitante se mantuvo un patrón detectado previamente en el estudio inicial de Evaluación Trófica de la Condición Trófica de Lagos de la Red Mínima de lagos de la DGA (2000-2008), en el cual se postuló limitación de Nitrógeno en verano con estratificación y limitación de Fósforo en periodo de mezcla. De esta manera, se definió el nutriente limitante de la producción biológica para cada estación de muestreo de cada lago de la Red de Control.

También se realizó un análisis temporal de la limitación de nutrientes mediante el análisis de la razón N_{NIT} / P_{PIT} considerando los cuatro periodos estacionales. Para ello se registró el número de casos en que el Fósforo o el Nitrógeno fue limitante en cada periodo estacional respecto del total de casos (casos de P + casos de N) ocurridos en cada periodo estacional.

6.4 Determinación de la condición trófica en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

Para determinar la condición trófica se utilizó la clasificación indicada por Smith et al. (1999). El criterio determinante de clasificación fue la concentración de Clorofila *a* mientras que la concentración del nutriente limitante fue usada para confirmar y explicar los valores de biomasa cuantificados a través de la Clorofila *a*. La concentración de nutrientes no necesariamente puede generar aumento de biomasa por lo que se usa para proponer posibles variaciones futuras de la biomasa o de la producción biológica toda vez que varía la concentración de nutrientes. En la **Tabla 2** se indica la clasificación de condición trófica indicada por Smith et al. 1999.

Tabla 2. Criterios y valores de clasificación de la condición trófica para lagos. Smith *et al.* 1999.

Condición trófica	Fósforo total (µg/l)	Nitrógeno total (µg/l)	Clorofila a (µg/l)	Color
Oligotrofia	< 10	< 350	< 3,5	
Mesotrofia	10 - 30	350 - 650	3,5 - 9	
Eutrofia	30 - 100	650 - 1.200	9 - 25	
Hipereutrofia	>100	> 1.200	> 25	

El análisis de condición trófica consideró la variación por condiciones de estratificación térmica y de mezcla de la columna de agua y la variación estacional de la concentración de Clorofila **a**. También se determinó la variación espacial y estacional del nutriente limitante para confirmar la causalidad o asociación entre trofia y nutrientes. También se determinó las variaciones de concentración de Clorofila **a** y del nutriente limitante en una escala inter-anual (2000-2014) para evaluar el proceso a más largo plazo. El análisis de la condición trófica a una escala inter-anual permitió determinar la variación histórica de la trofia y de los nutrientes asociados y las tendencias de variación en el tiempo, de modo de tipificar el patrón de variación de la condición trófica en el tiempo. En los gráficos de variación de la trofia a largo plazo se muestran valores puntuales de Clorofila **a** y de nutrientes obtenidos en cada profundidad de muestreo de cada estación de monitoreo a través de los distintos periodos estacionales en el rango de años 2000-2014.

La concentración de Clorofila **a** graficada fue obtenida de los valores medidos en cada estación de monitoreo en cada periodo estacional para cada año en cada lago.

7 RESULTADOS

7.1 Patrones hidrodinámicos de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA

Se describió el comportamiento térmico vertical de los lagos de la Red de Control de Lagos con excepción de los lagos LLeulleu, Rupanco y Torca para los cuales no hay datos. Los resultados se presentan en la **Tabla 3**. El análisis integral de los lagos muestra la existencia de tres patrones hidrodinámicos en la mayoría de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. El patrón más frecuente fue encontrado en 13 de los 20 lagos estudiados y fue el patrón denominado **M-e-E-e** (coloreado amarillo en la **Tabla 3**). Este patrón fue presentado en los lagos Caburgua, Calafquen, Chapo (Estaciones Centro y Chamiza), Colico, Llanquihue (Estaciones Ensenada y Puerto Varas), Maihue, Panguipulli (Centro, Choshuenco), Puyehue, Ranco, Riñihue (Estaciones Enco y Centro), Laguna Grande de San Pedro, Todos Los Santos y Villarrica. Estos lagos muestran una estratificación durante el verano (indicado con una E en la **Tabla 3**) y usualmente dos periodos de transición que indican el comienzo o el declive de la estratificación ya sea en primavera o en otoño (indicados con una e en la **Tabla 3**) y un periodo de mezcla en invierno (indicado con una M en la **Tabla 3**). Otro patrón significativo fue el denominado **M-E-E-M** (coloreado verde en la **Tabla 3**), el cual se observó en tres de los 20 lagos: Lanalhue, Neltume y Panguipulli (Estación bahía Panguipulli). Este patrón muestra una estratificación más prolongada que comienza en primavera y se extiende hasta verano o que comienza en verano y se extiende hasta otoño. Este patrón también indica un periodo prolongado de mezcla de la columna de agua desde otoño y hasta invierno. Un tercer patrón hidrodinámico fue encontrado en la laguna Aculeo y en el lago Riñihue (Sector

desagüe y bahía Riñihue), los que muestran una condición de mezcla permanente de la columna de agua durante todo el ciclo anual (indicado en rosado en la **Tabla 3**).

A continuación se realiza un análisis de la condición de mezcla y estratificación de la columna de agua para cada lago. Se incluyen los perfiles verticales de la concentración de Clorofila a y Oxígeno disuelto.

Tabla 3. Determinación de la estratificación y mezcla de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. Los colores indican agrupaciones de lagos en función de patrones hidrodinámicos (ver pie de tabla). - No hay datos.

Lago	Estación	Periodo estacional			
		Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna Aculeo	Desagüe Puntilla León Casa de Bomba	M	e	e	e
Lago Caburgua	Centro Norte	M	e	E	e
	Desagüe	M	E	E	e
Lago Calafquen	Centro	M	e	E	e
	Coñaripe Lican-Ray	M	E	E	e
Lago Chapo	Canutillar	M	E	E	e
	Centro Chamiza	M	e	E	e
Lago Colico	Centro Bahía Trafampulli Puerto Colico	-	e	E	e
Lago Lanalhue	Puerto Peleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto Manzano	M	E	E	M
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	M	M	E	M
	Puerto Octay Frutillar	M	M	e	M
Lago LLeulleu	Centro Sur	-	-	-	-
Lago Maihue	Centro Los Lloles Z _{max}	M	e	E	e
Lago Neltume	Centro Neltume	-	E	e	M
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	M	e	E	e
	Bahía Panguipulli	M	E	M	M
Lago Puyehue	Entre Lagos Caulle Centro	-	e	-	e
Lago Ranco	Futróno Riñinahue Puerto Nuevo	M	e	E	M

Lago	Estación	Periodo estacional			
		Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Lago Riñihue	Desagüe Bahía Riñihue	M	M	e	e
	Enco Centro	M	M	E	e
Lago Rupanco	Puerto Gaviota Sector Cascada Desagüe	-	e	E	-
Laguna Grande de San Pedro	Centro Desagüe Sur	M	e	E	M
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas Petrohue Peulla	M	M	E	e
Laguna Torca	Centro	E	-	-	-
Lago Vichuquen	Bahía Vichuquen Centro Z _{MAX}	e	-	E	-
Lago Villarrica	Molco Pucón Villarrica La Poza	M	e	E	e

M = Mezcla, **E** = Estratificación (> 1°C/m), **e** = Mezcla pero en etapa de comienzo o decline de una estratificación.

Estratificación en verano	M-e-E-e
Estratificación en primavera-verano o verano-otoño	M-E-E-e / M-e-E-E
Ausencia de Estratificación (Mezcla permanente)	M / e

7.1.1 Laguna Aculeo

La laguna Aculeo presenta una columna mezclada durante todo el ciclo anual (**Tabla 3, Figura 1a**). La temperatura superficial promedio en primavera es 24,7 °C y disminuye en profundidad hasta 22,0 °C, diferencia que no genera estratificación. En verano, la temperatura superficial promedio es 26,0 °C y disminuye hasta 22,8 °C lo cual tampoco permitiría generar un Metalimnion (**Figura 1a**). Cabe mencionar que en primavera, verano y otoño se observan indicios de un proceso de estratificación el cual no llega a desarrollarse. La baja profundidad del sistema (6 - 7 m) y los vientos predominantes son factores que promoverían una mezcla permanente en el año (**Figura 1a**). En base a estos resultados es posible indicar que la laguna Aculeo es un sistema Polimictico, condición asociada a la morfometría de la cubeta y al régimen e intensidad de viento en el área. Este patrón hidrodinámico fue observado en las tres estaciones de muestreo de la DGA: Desagüe, Puntilla León y Casa de bomba. En las **Figuras 1b** y **1c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

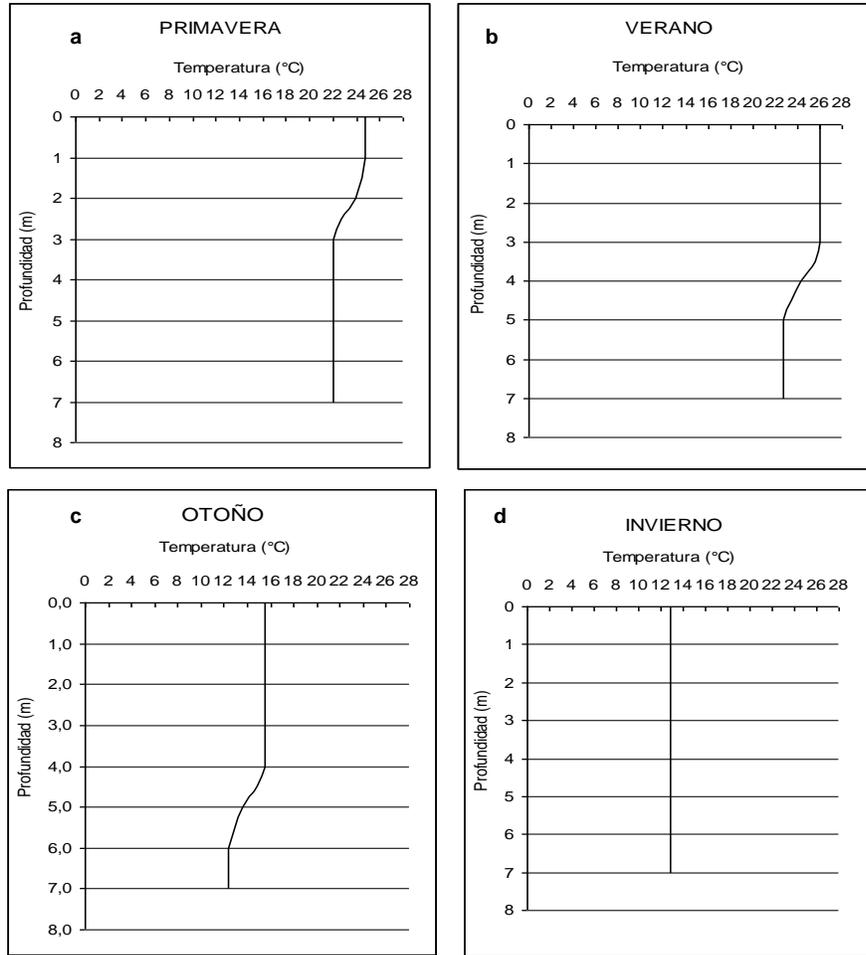


Figura 1a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Aculeo. a) Indicios de estratificación en primavera, b) Indicios de estratificación en verano, c) Indicios de estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

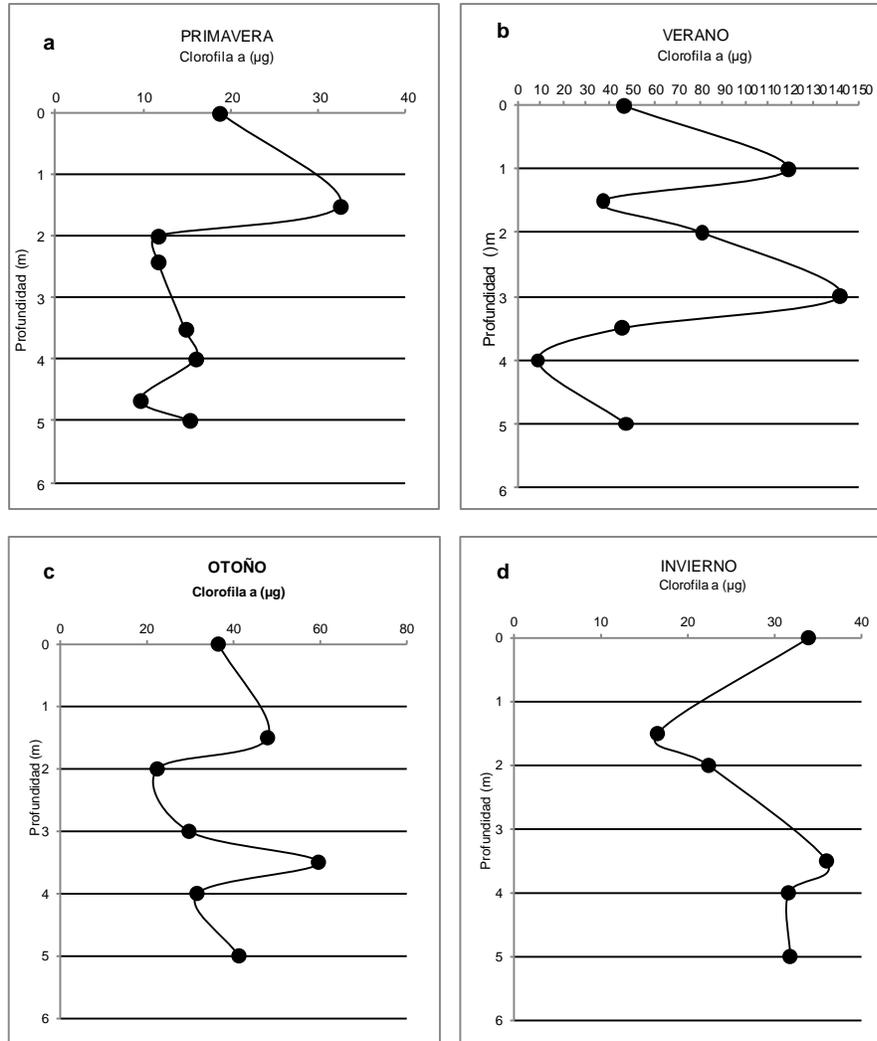


Figura 1b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Aculeo. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

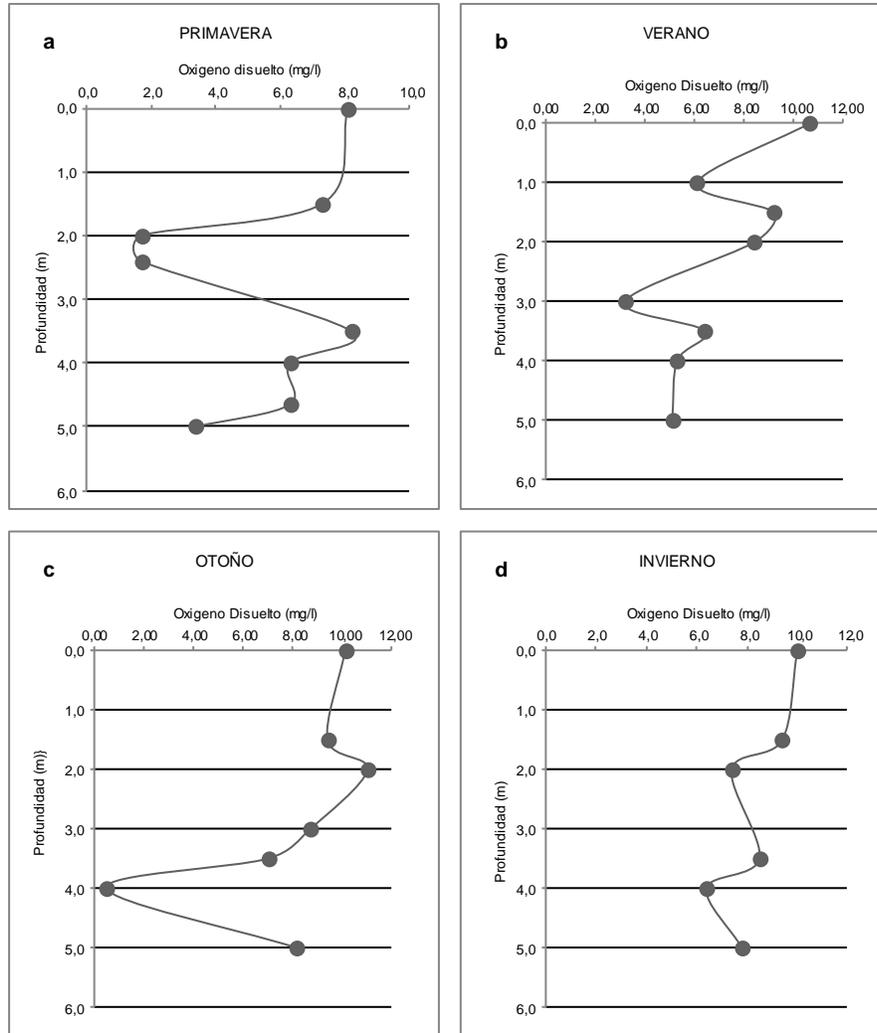


Figura 1c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Aculeo. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.2 Lago Caburgua

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2014 en el lago Caburgua mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 2a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 10 m, Metalimnion que se desarrolla entre 10 y 25 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 25 m (**Figura 2a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 20,5 °C y del Hipolimnion es 9,1 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Caburgua es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Cabe destacar que este patrón hidrodinámico fue observado en las estaciones de muestreo Centro y Norte (**Tabla 3**). En las **Figuras 2b y 2c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

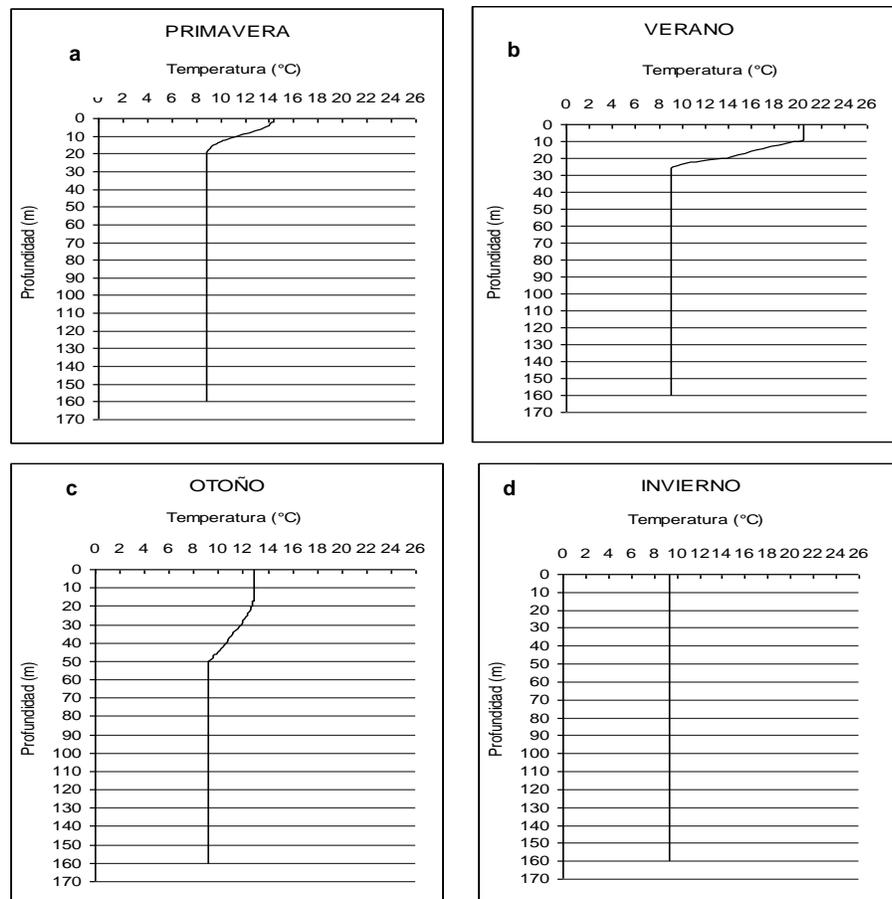


Figura 2a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Caburgua. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

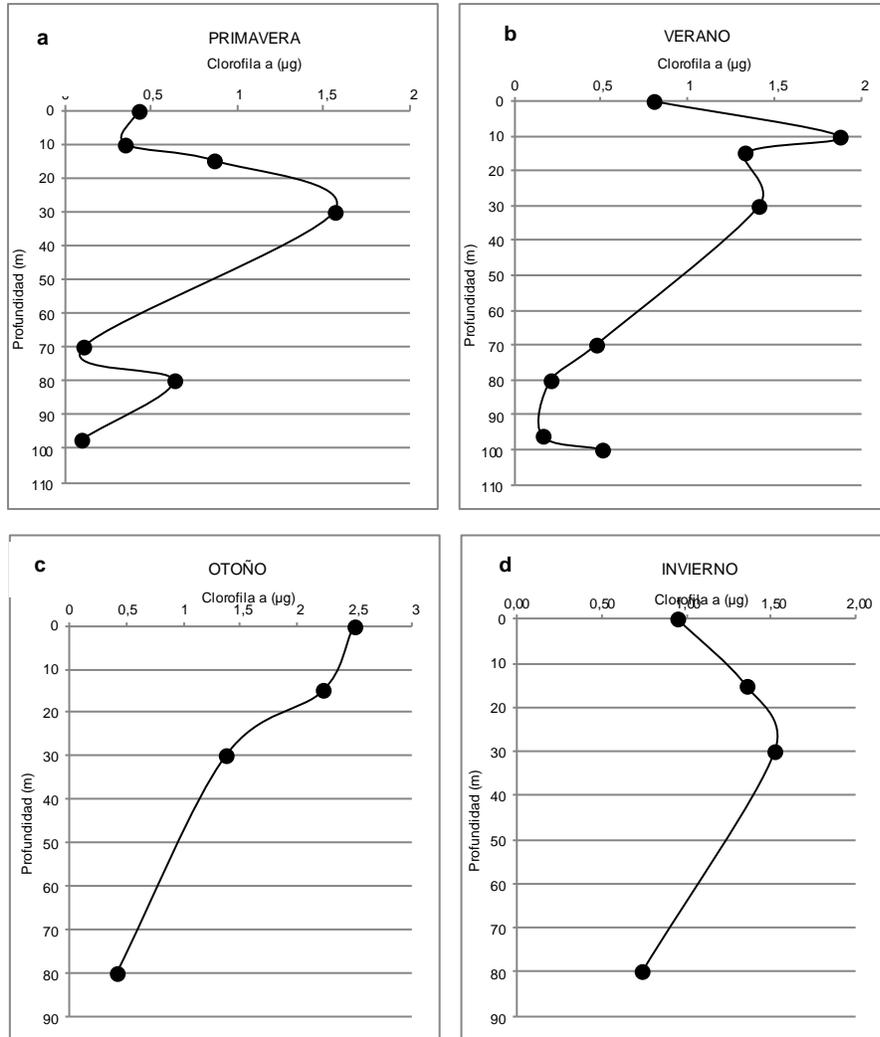


Figura 2b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Caburgua. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

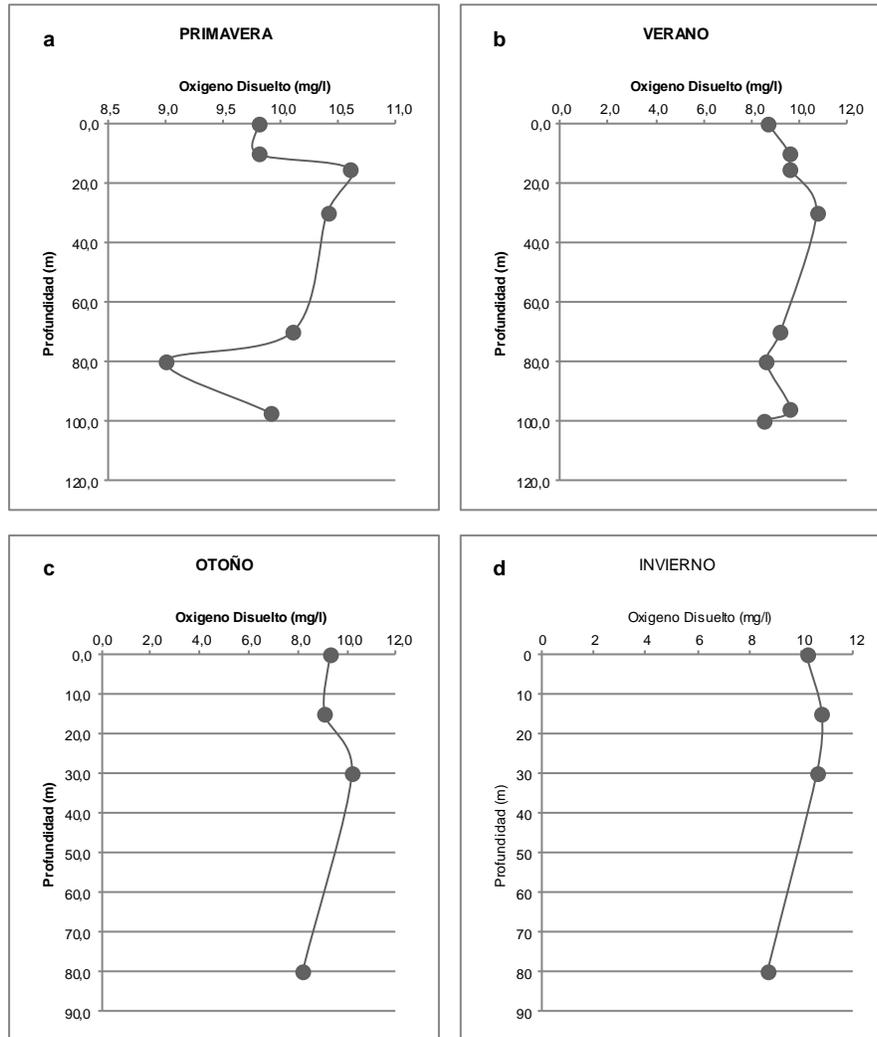


Figura 2c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Caburgua. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.3 Lago Calafquen

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2014 en el lago Calafquen mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 3a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 12 m, Metalimnion que se genera entre 12 y 27 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 27 m (**Figura 3a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 21,3 °C y del Hipolimnion es 9,8 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Calafquen es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en la estación de muestreo Centro, la cual se consideró la estación más representativa del lago (**Tabla 3**). En las **Figuras 3b y 3c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

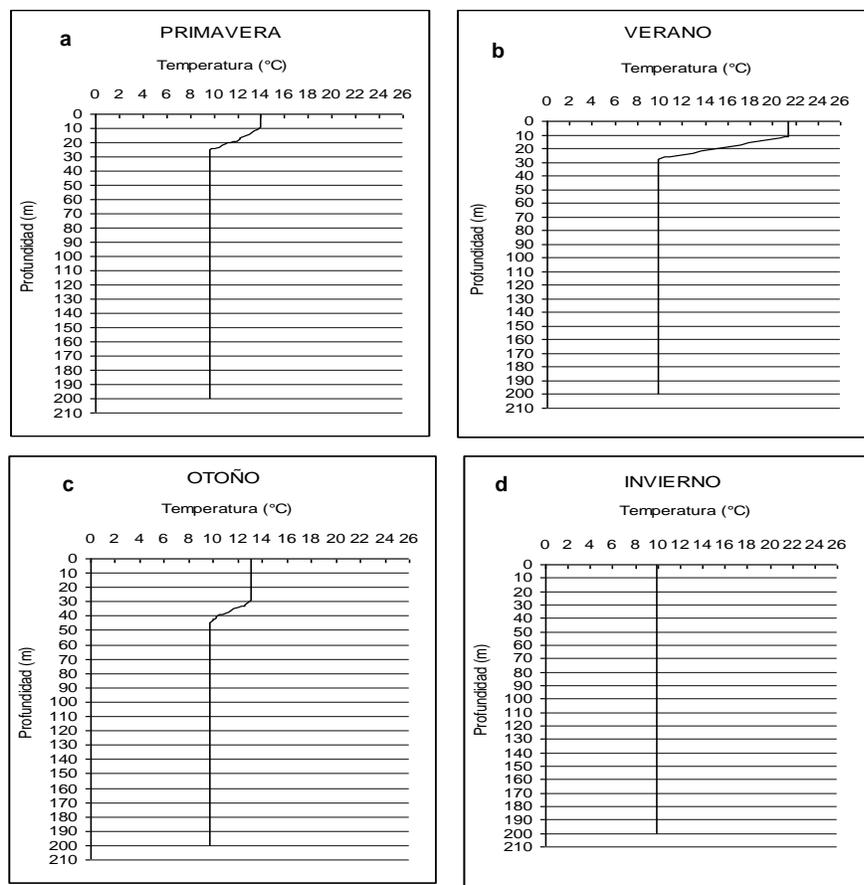


Figura 3a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Calafquen. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

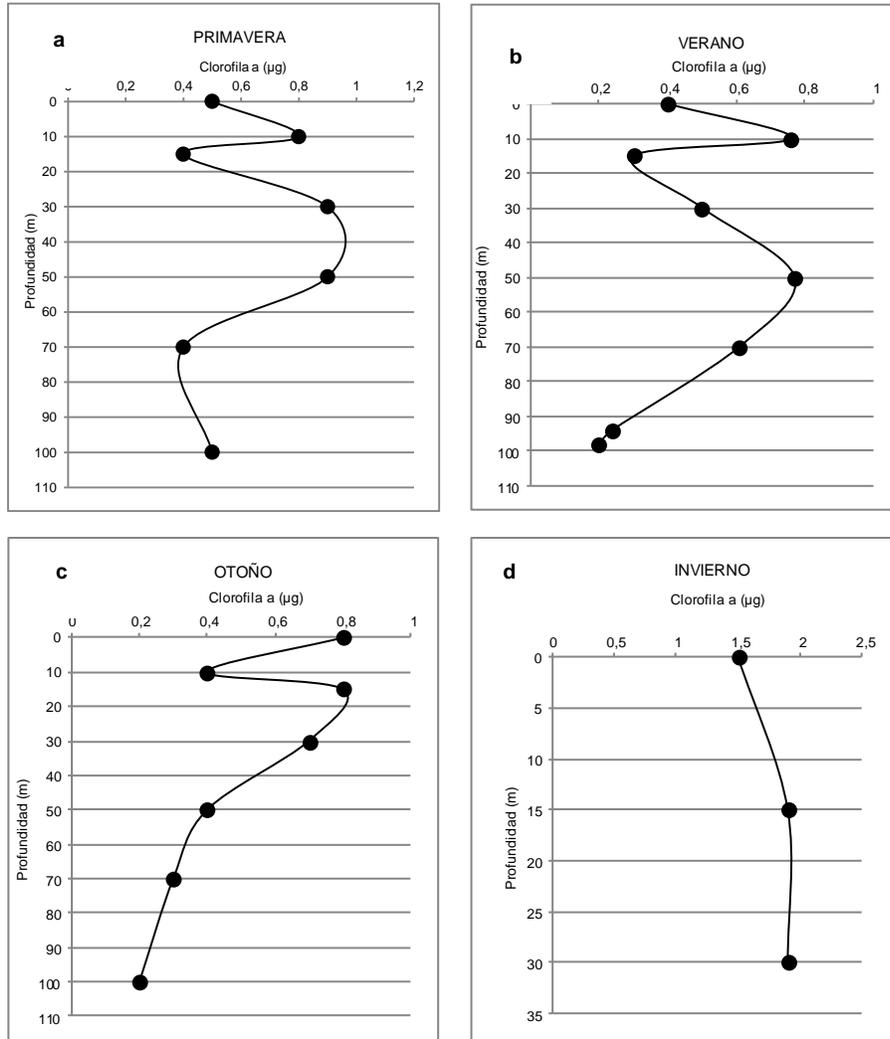


Figura 3b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Calafquen. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

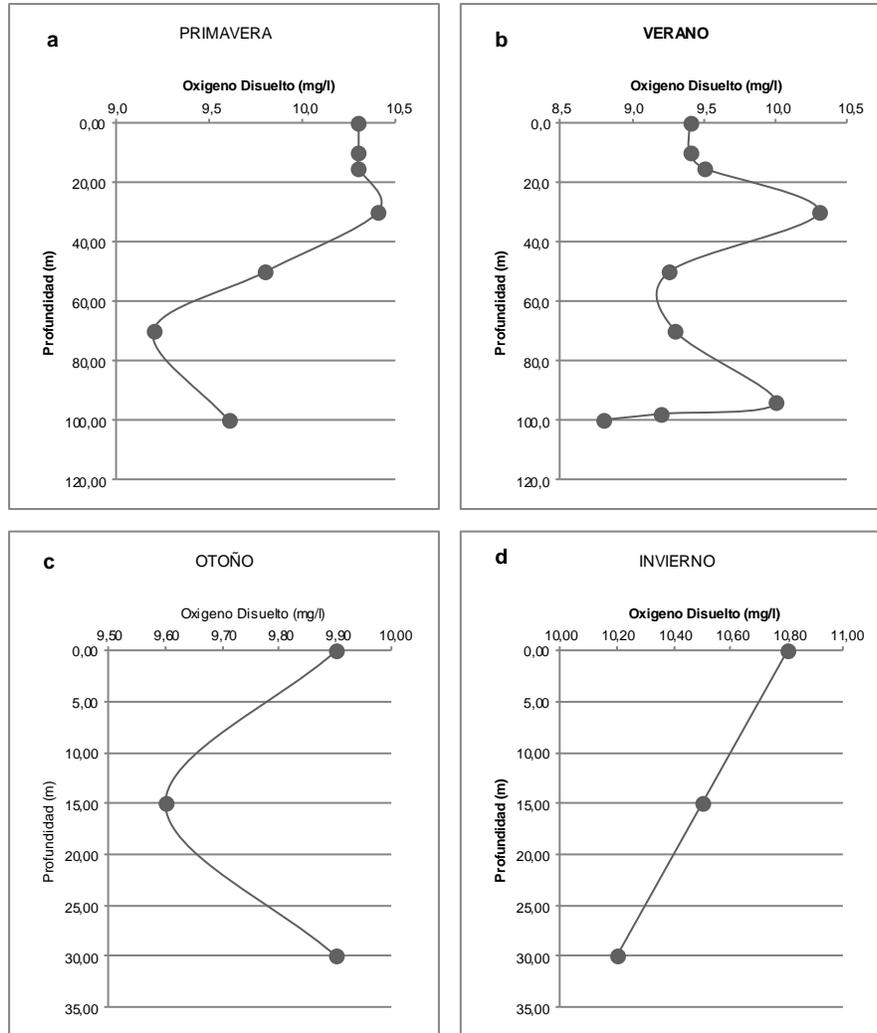


Figura 3c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Calafquen. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.4 Lago Chapo

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1999 y 2014 en el lago Chapo mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 4a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y declina en otoño. En el lago Chapo se observa con una condición de mezcla en invierno. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 12 m, Metalimnion que se genera entre 12 y 25 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 25 m (**Figura 4a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 18,5 °C y del Hipolimnion es 8,5 °C. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Chapo es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las estaciones de muestreo Centro y Chamiza, las cuales fueron consideradas representativas del lago. La estación de muestreo Canutillar mostró una condición de estratificación prolongada desde primavera hasta verano (**Tabla 3**). En las **Figuras 4b** y **4c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

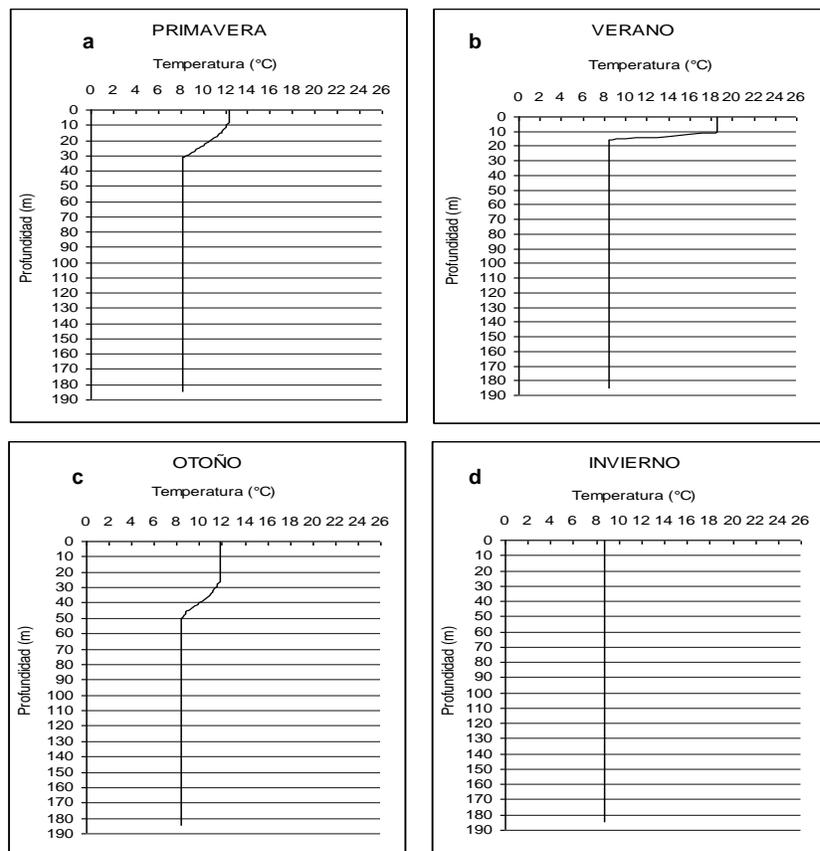


Figura 4a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Chapo. a) Inicios de la estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

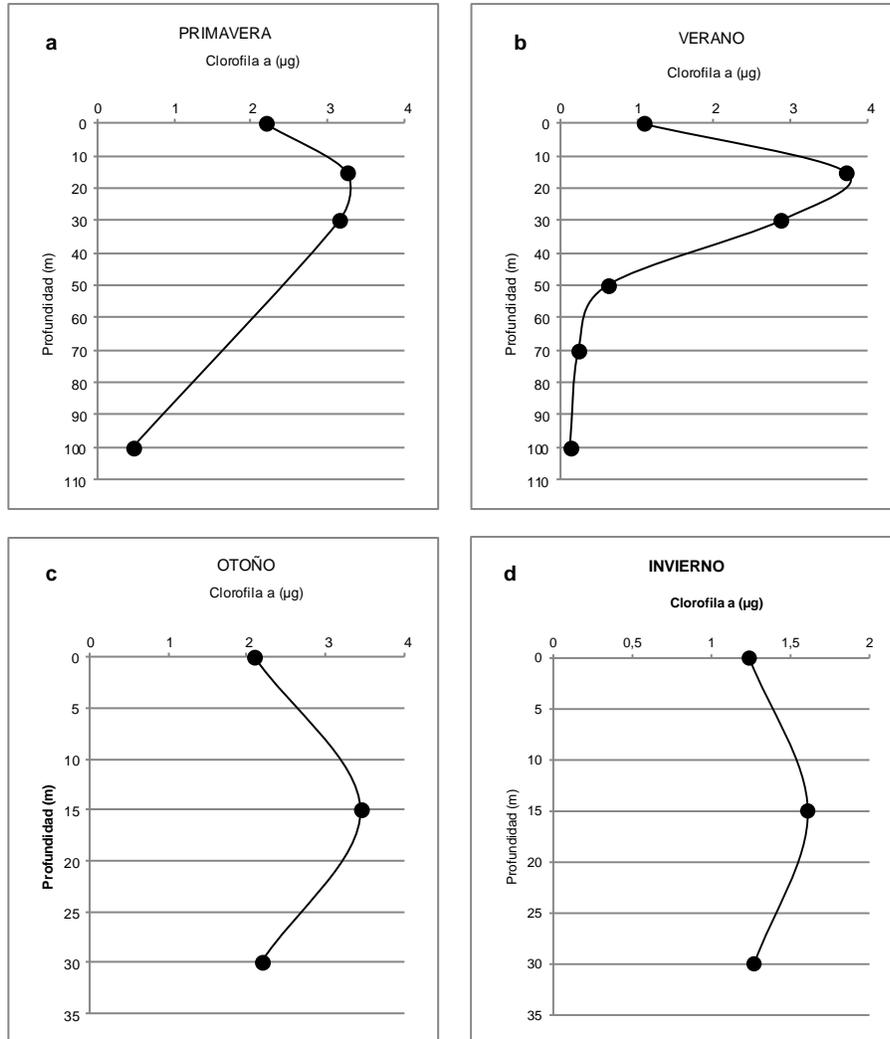


Figura 4b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Chapo. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

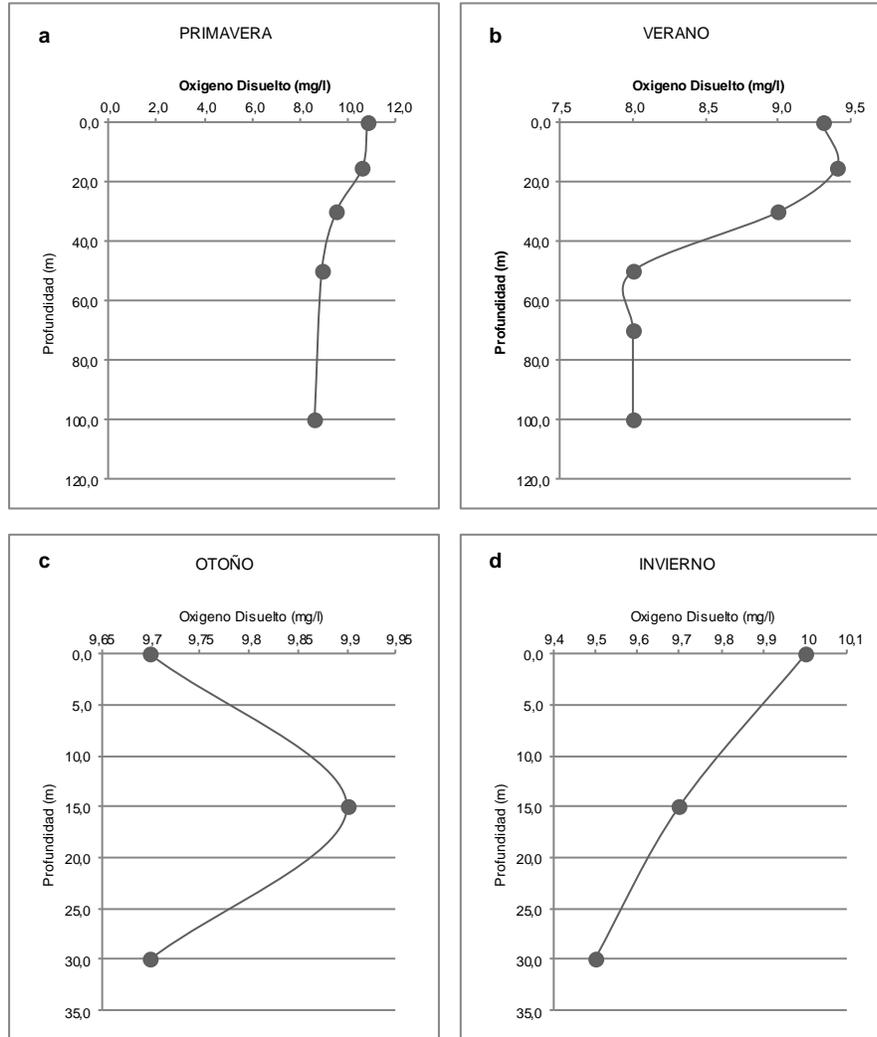


Figura 4c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Chapo. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.5 Lago Colico

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2009 y 2014 en el lago Colico mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 5a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y declina en otoño. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 10 m, Metalimnion que se desarrolla entre 10 y 25 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 35 m (**Figura 5a**). La columna de agua se mantiene mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) (**Tabla 3**). A pesar que no hay datos es posible suponer un proceso de mezcla durante invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Colico es un lago monomíctico temperado con estratificación de verano. En las **Figuras 5b** y **5c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

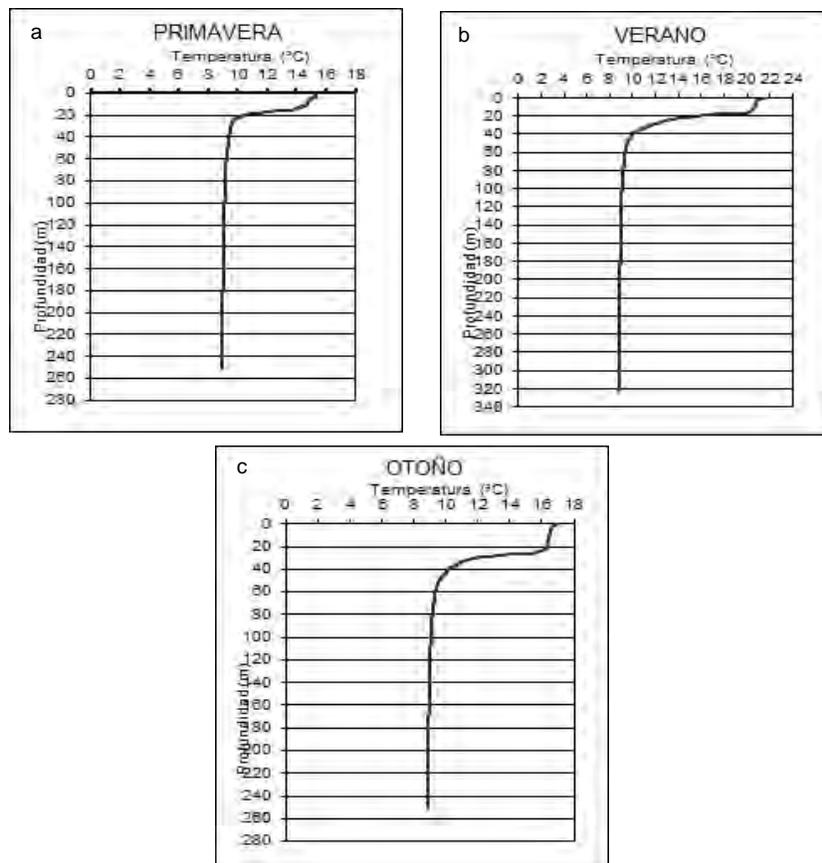


Figura 5a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del Lago Colico. a) Indicios de estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) declive de estratificación en otoño.

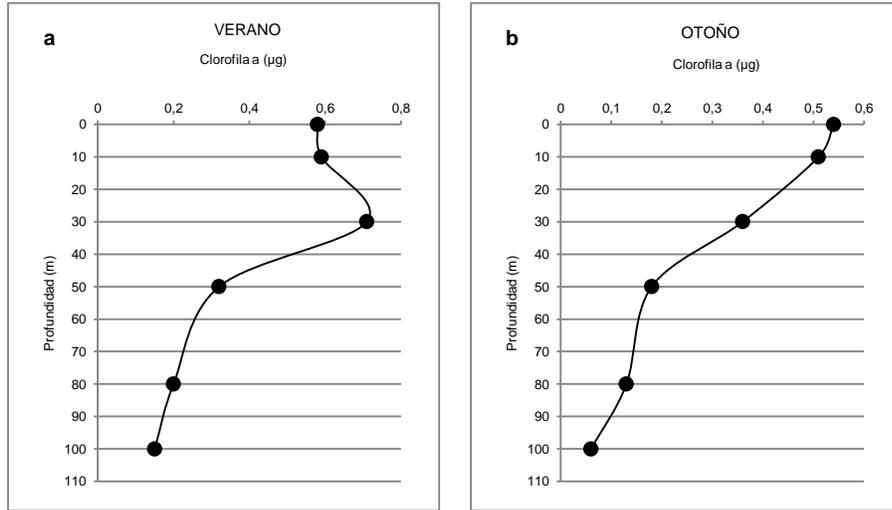


Figura 5b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Colico. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

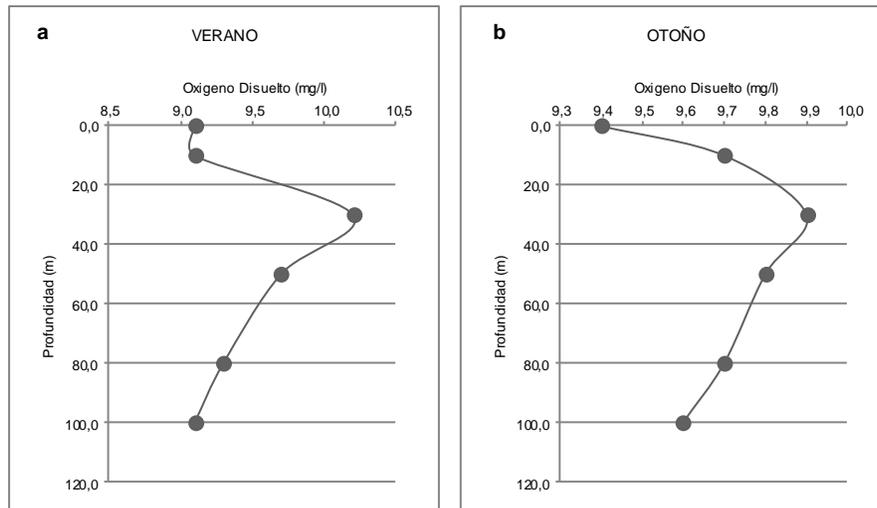


Figura 5c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Colico. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.6 Lago Lanalhue

No hubo información de perfiles verticales de temperatura para el lago Lanalhue por lo que el patrón hidrodinámico fue inferido en función de los valores de oxígeno disuelto y de temperatura obtenidos de la base de datos considerando los registros entre 2000 y 2014. El lago Lanalhue mostró una estratificación prolongada estival que se desarrolla entre primavera y verano (**Tabla 3, Figura 6a**). La estratificación decae al final del verano ya que en otoño se observa mezcla en la columna de agua. La estratificación que surge en primavera y verano ocurre entre 9 y 12 m aproximadamente (**Figura 6a**). La temperatura promedio del Epilimnion en primavera es 17,8 °C y en verano es 22,4 °C. La columna de agua se mezcla a partir de otoño, condición que se extiende hasta invierno. No se detectan condiciones de transición en los periodos de primavera y otoño (**Figura 6a**). En base a estos resultados es posible indicar que el lago Lanalhue muestra un comportamiento similar al de un sistema monomíctico con estratificación en verano, sin embargo, las mayores temperaturas superficiales de primavera conllevarían a generar una capa estratificada a partir de primavera y hasta el verano, condición que no ocurriría en los lagos Araucanos debido a las menores temperaturas superficiales de primavera. Cabe mencionar que este patrón hidrodinámico fue observado en las cuatro estaciones de muestreo de la DGA: Puerto Paleco, frente a la hostería, Playa Blanca y Puerto Manzano. En las **Figuras 6b** y **6c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

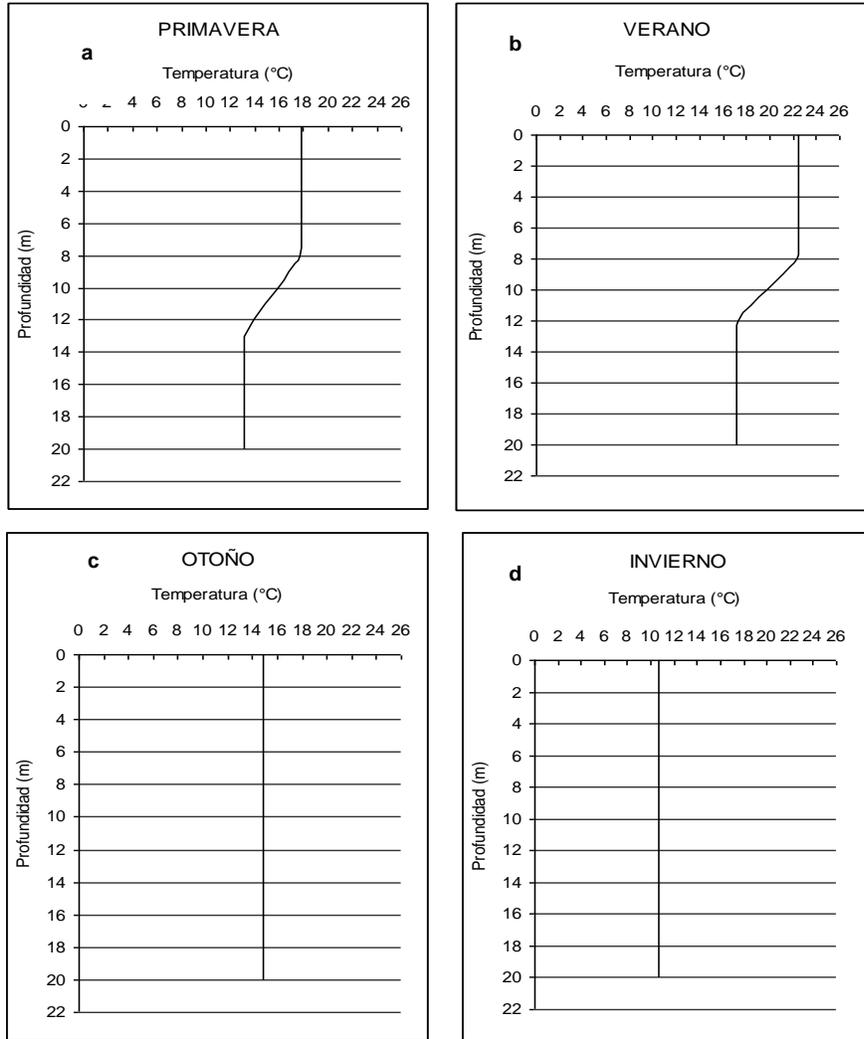


Figura 6a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Lanalhue. a) Estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

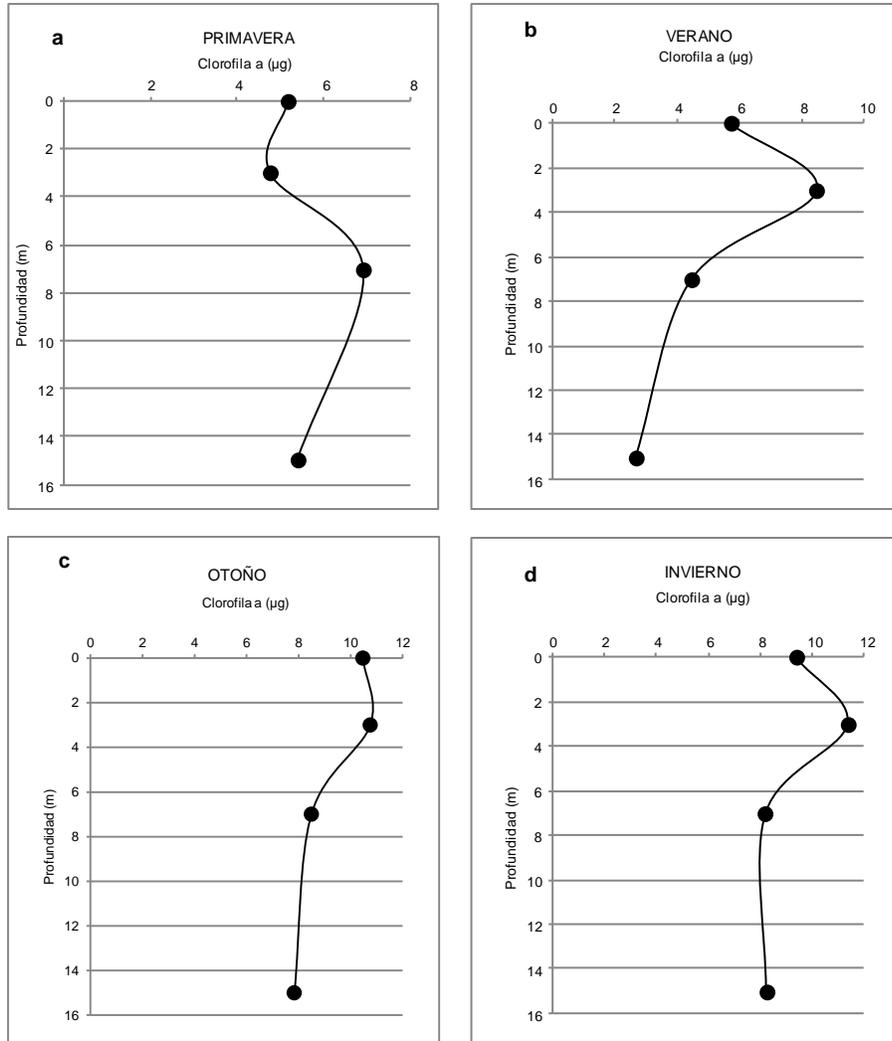


Figura 6b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Lanalhue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

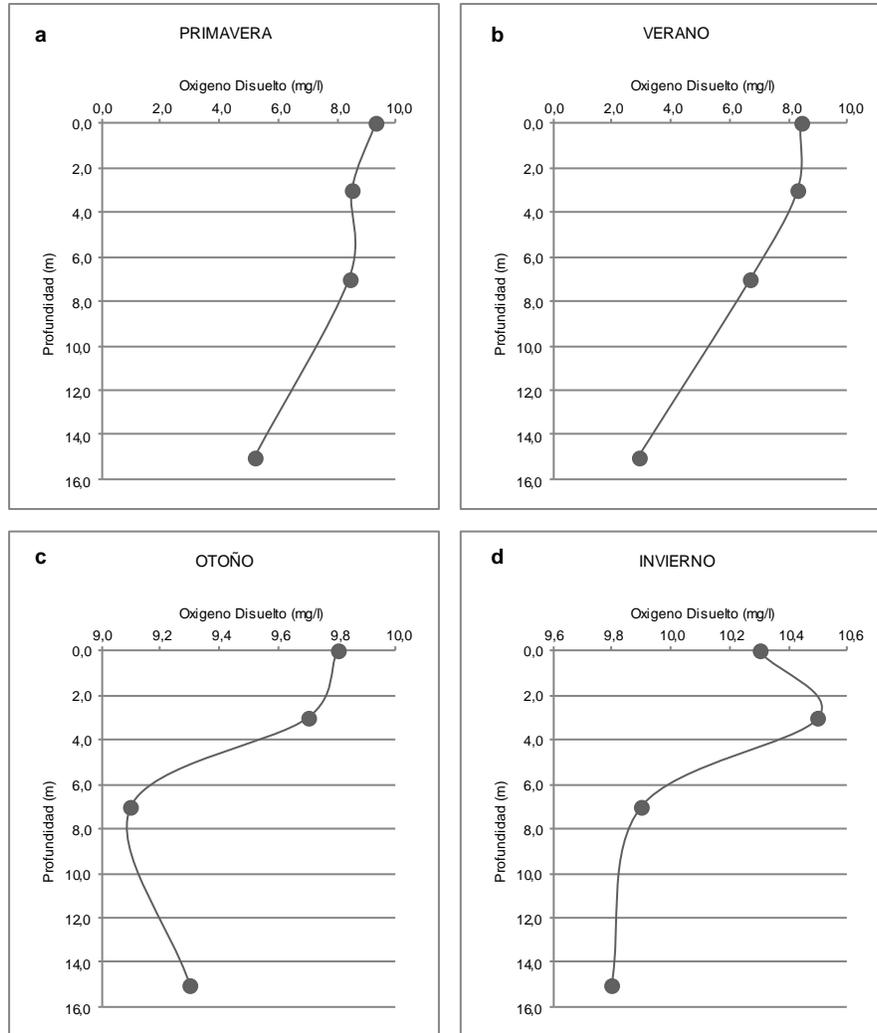


Figura 6c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Lanalhue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.7 Lago Llanquihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2014 en el lago Llanquihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 7a**). La estratificación comienza, se desarrolla y desaparece en verano ya que durante otoño se observa mezclada la columna de agua (**Tabla 3**). La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 30 m, Metalimnion que se desarrolla entre 30 y 55 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 55 m (**Figura 7a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 17,6 °C y del Hipolimnion es 10,9 °C. La columna de agua se mantiene mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera). En base a estos resultados se puede indicar que el lago Llanquihue es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en dos de las cuatro estaciones de muestreo de la DGA: Ensenada y Puerto Varas. Las estaciones de muestreo Frutillar y Puerto Octay no presentaron estratificación en verano y por lo tanto hubo mezcla permanente durante el año (**Tabla 3**). En las **Figuras 7b y 7c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

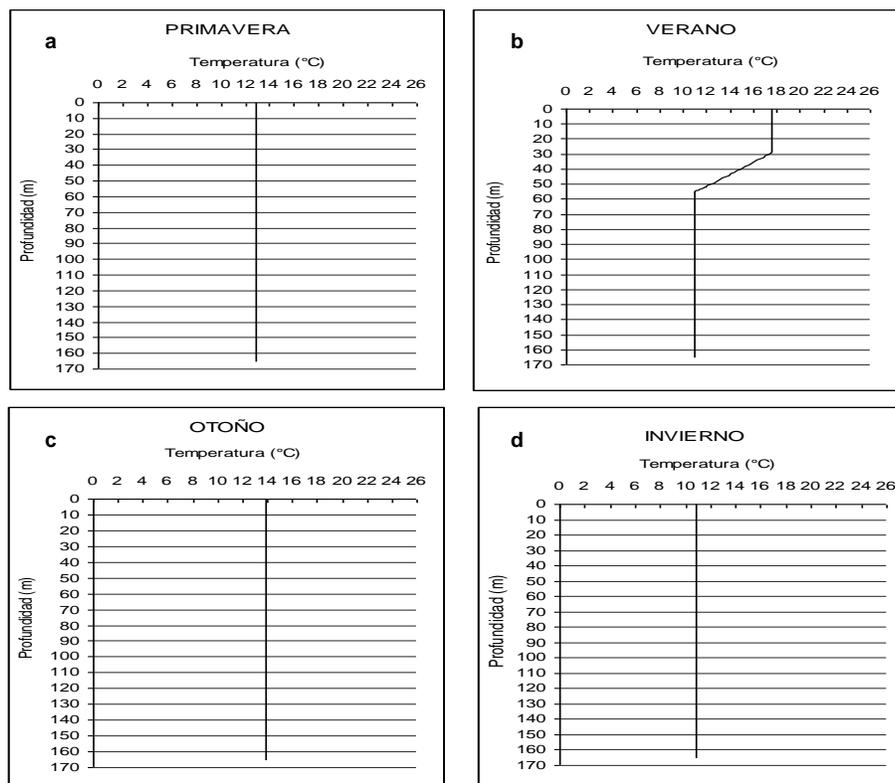


Figura 7a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Llanquihue. a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

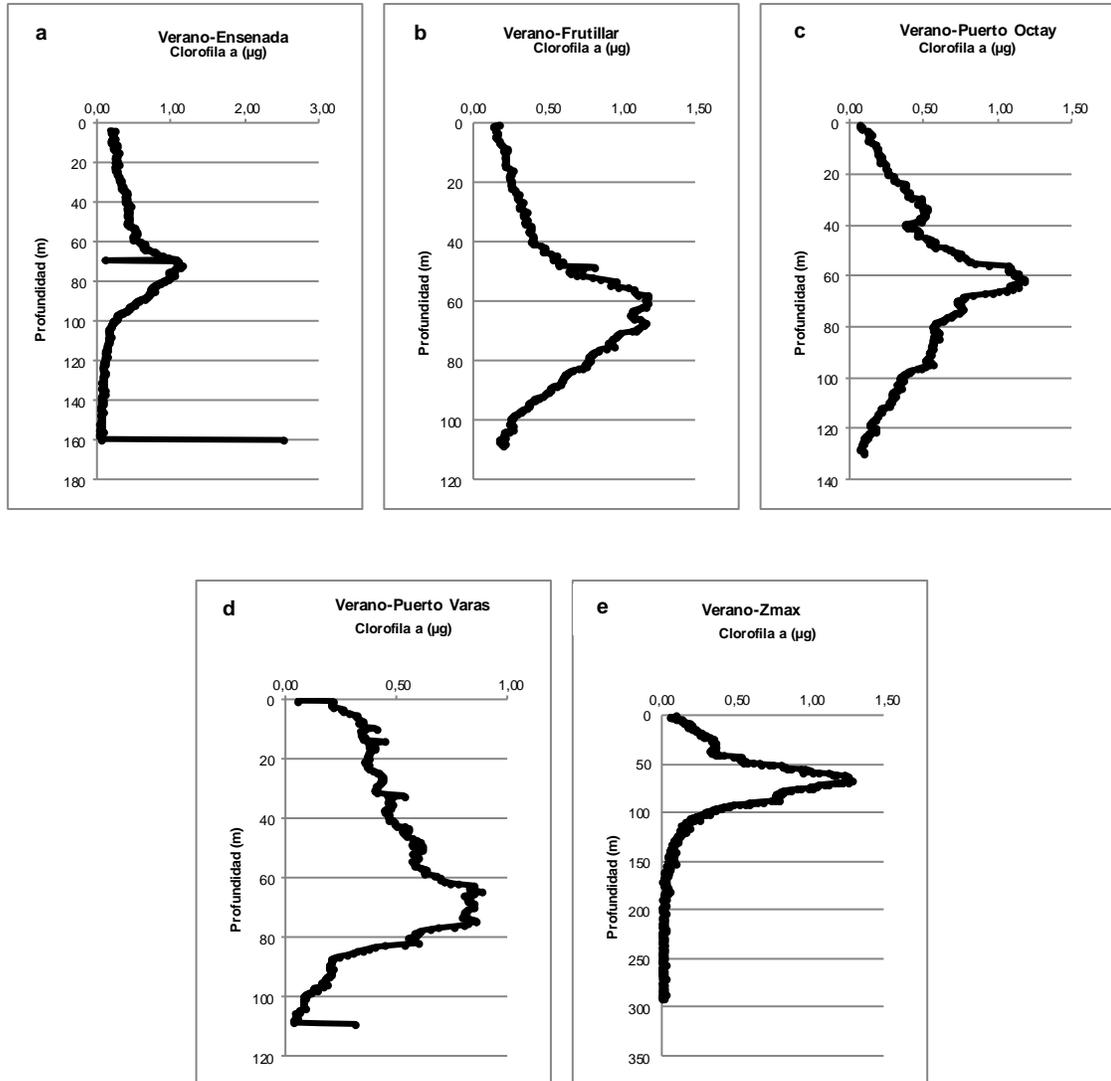


Figura 7b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Llanquihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

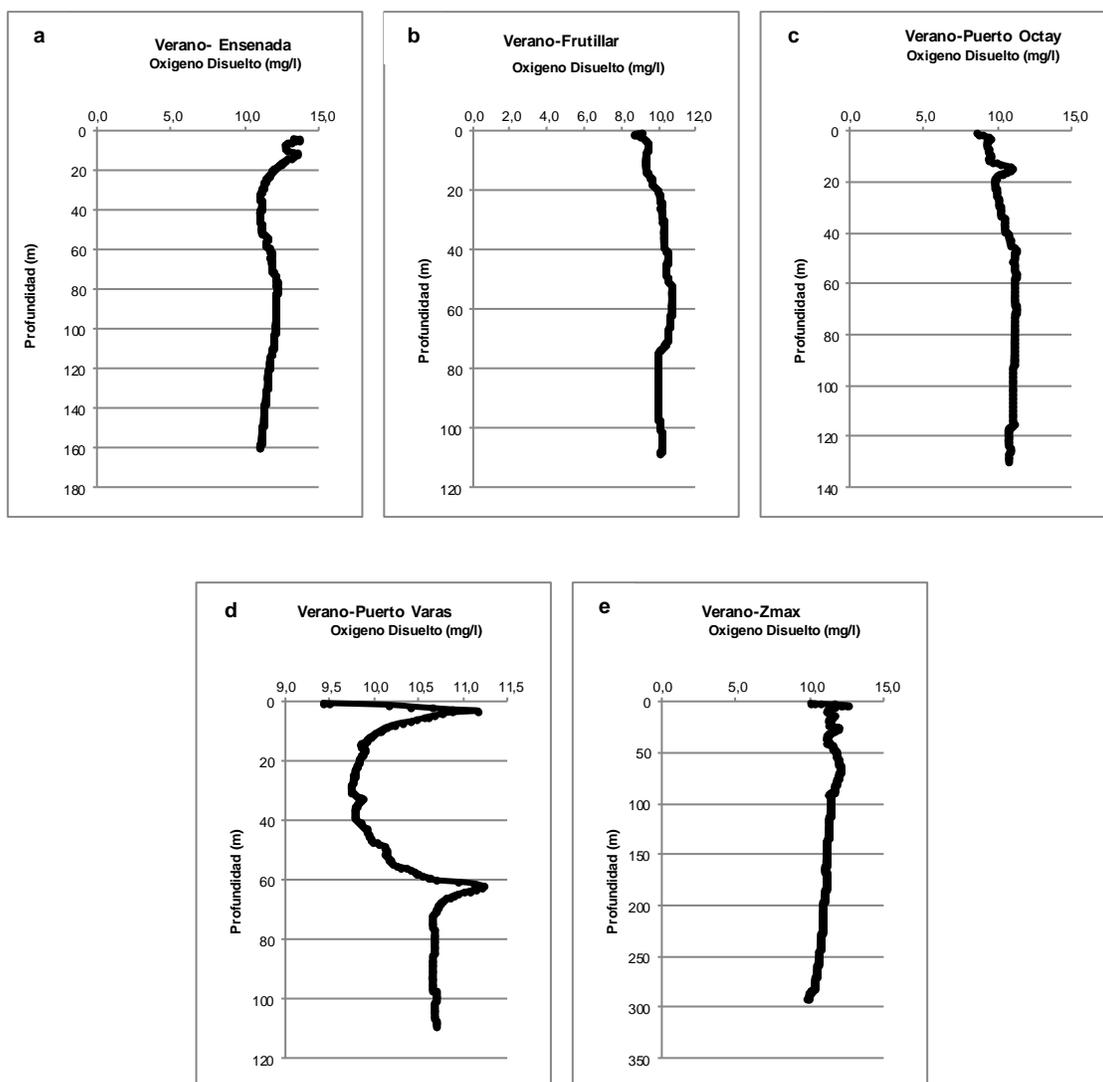


Figura 7c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Llanquihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.8 Lago Maihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1999 y 2014 en el lago Maihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 8a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y termina en otoño. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 20 m, Metalimnion que surge entre 20 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 8a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 18,3 °C y del Hipolimnion es 8,3 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Maihue es un lago monomíctico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las dos estaciones de muestreo de la DGA: Centro y Los Llolles (**Tabla 3**). En las **Figuras 8b** y **8c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

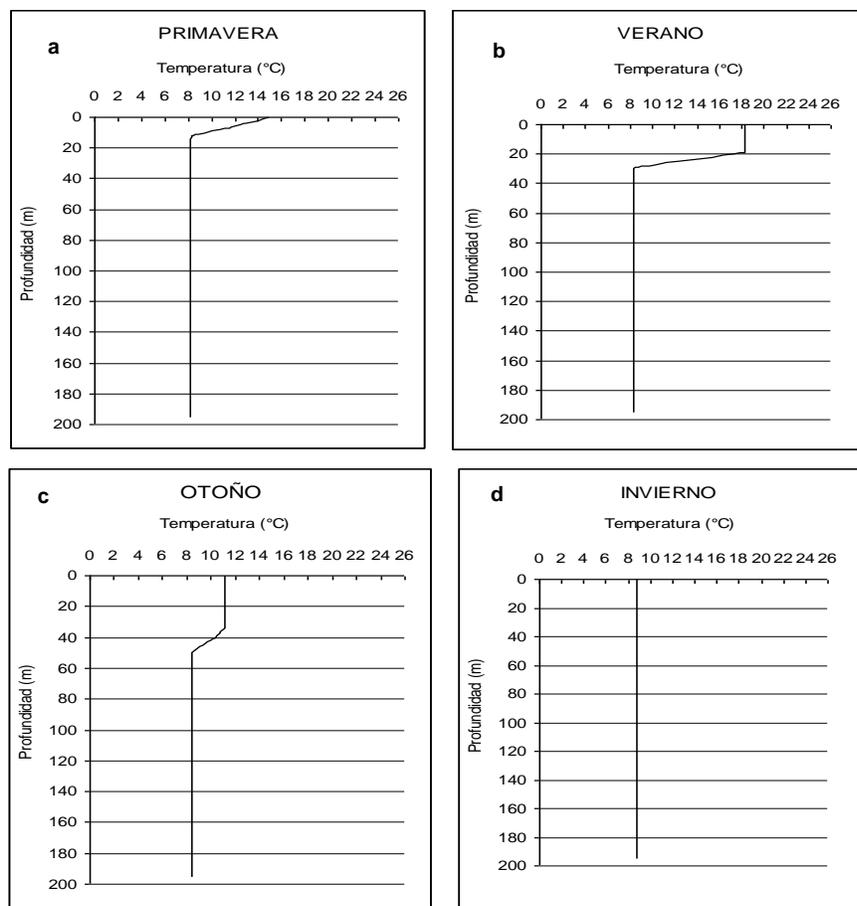


Figura 8a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Maihue. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

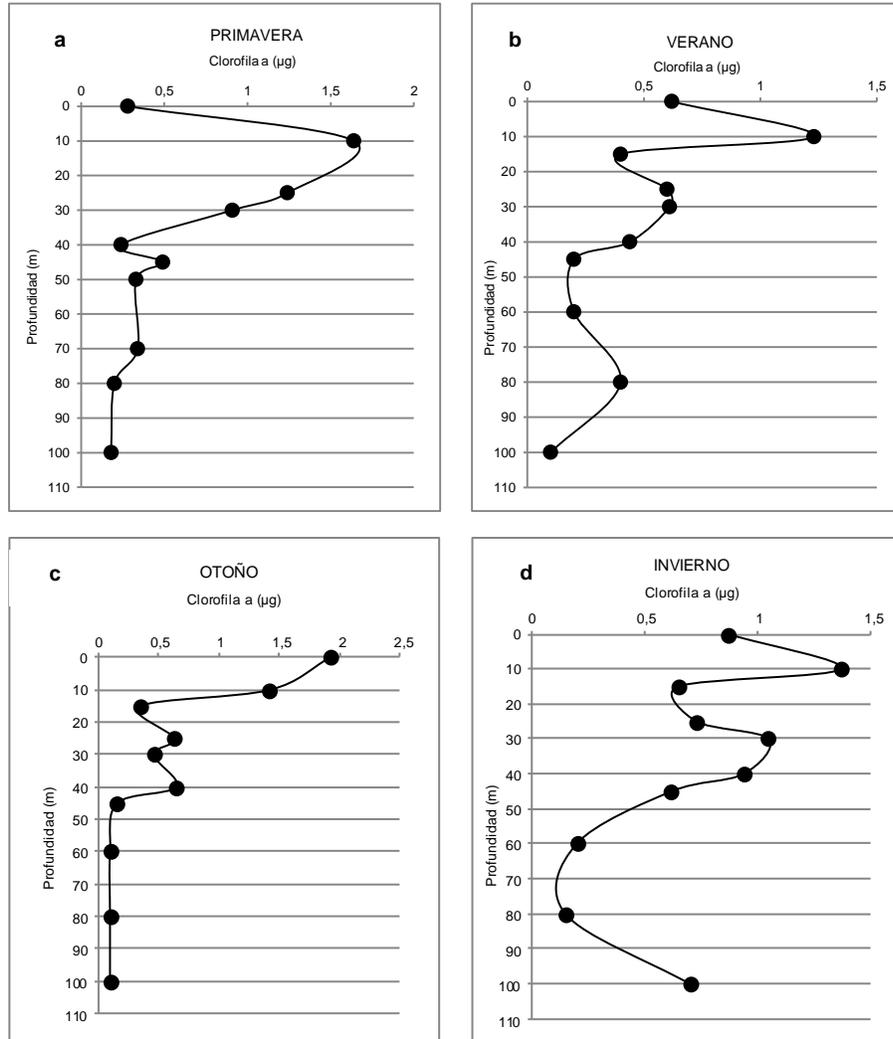


Figura 8b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Maihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

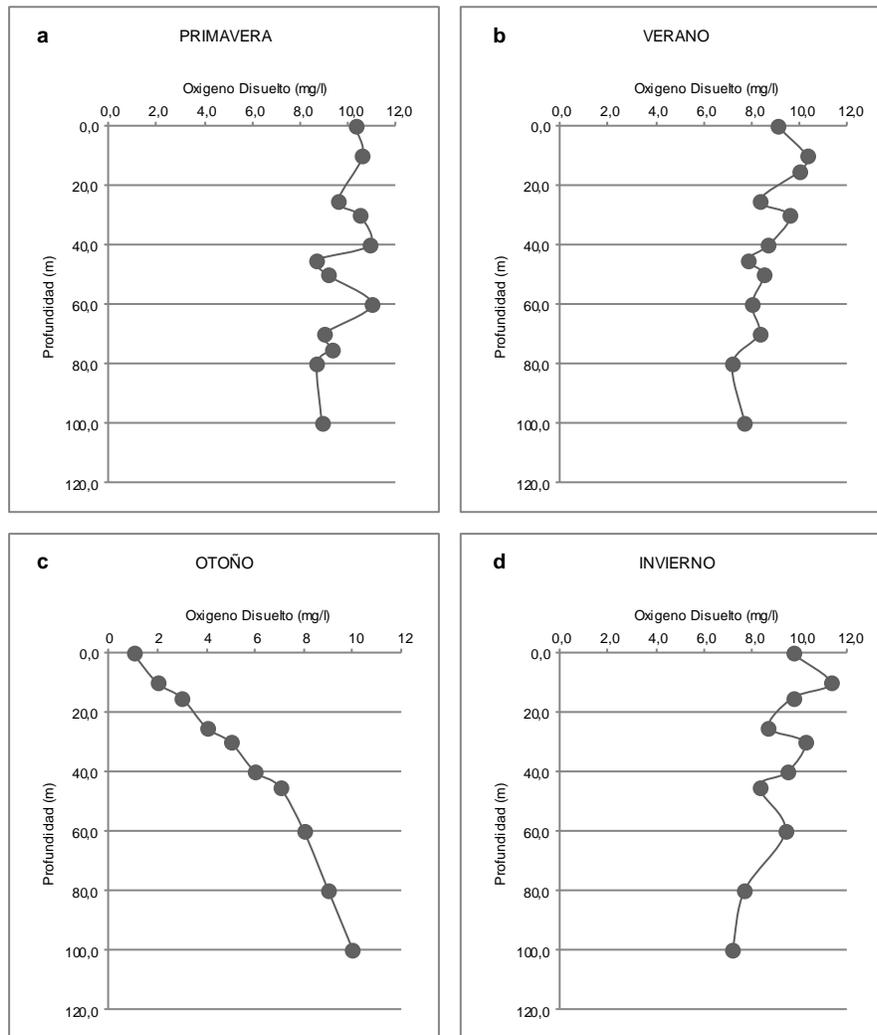


Figura 8c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Maihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.9 Lago Neltume

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos en 2013 en el lago Neltume (estación Centro) mostró que este sistema presenta una leve estratificación en el año, la cual surge durante primavera y se debilita en verano (**Tabla 3, Figura 9a**). La estratificación que surge no permite distinguir tres estratos en la columna de agua (**Tabla 3**). En otoño se observa una columna de agua mezclada (**Figura 9a**). En base a estos resultados se puede indicar que el lago Neltume podría ser un lago monomictico temperado con estratificación estival (primavera-verano). Este patrón hidrodinámico deberá ser confirmado con más datos. En las **Figuras 9b** y **9c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

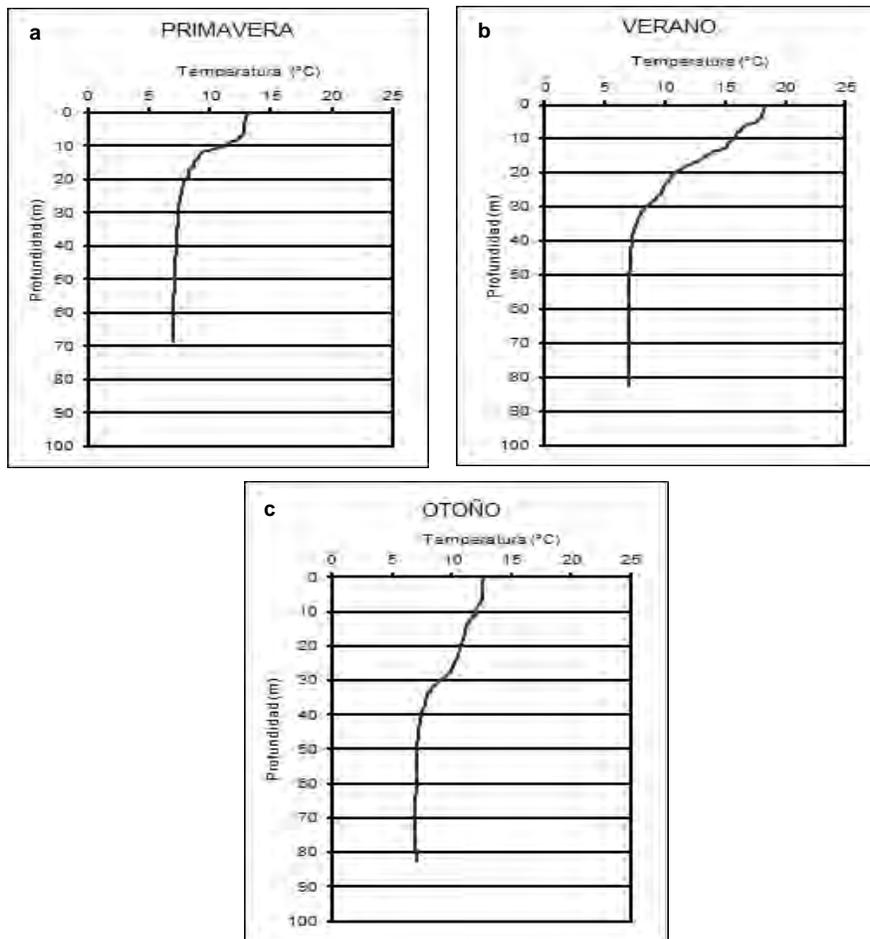


Figura 9a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Neltume. a) Estratificación en primavera, b) Decline de estratificación en verano, c) Mezcla en otoño.

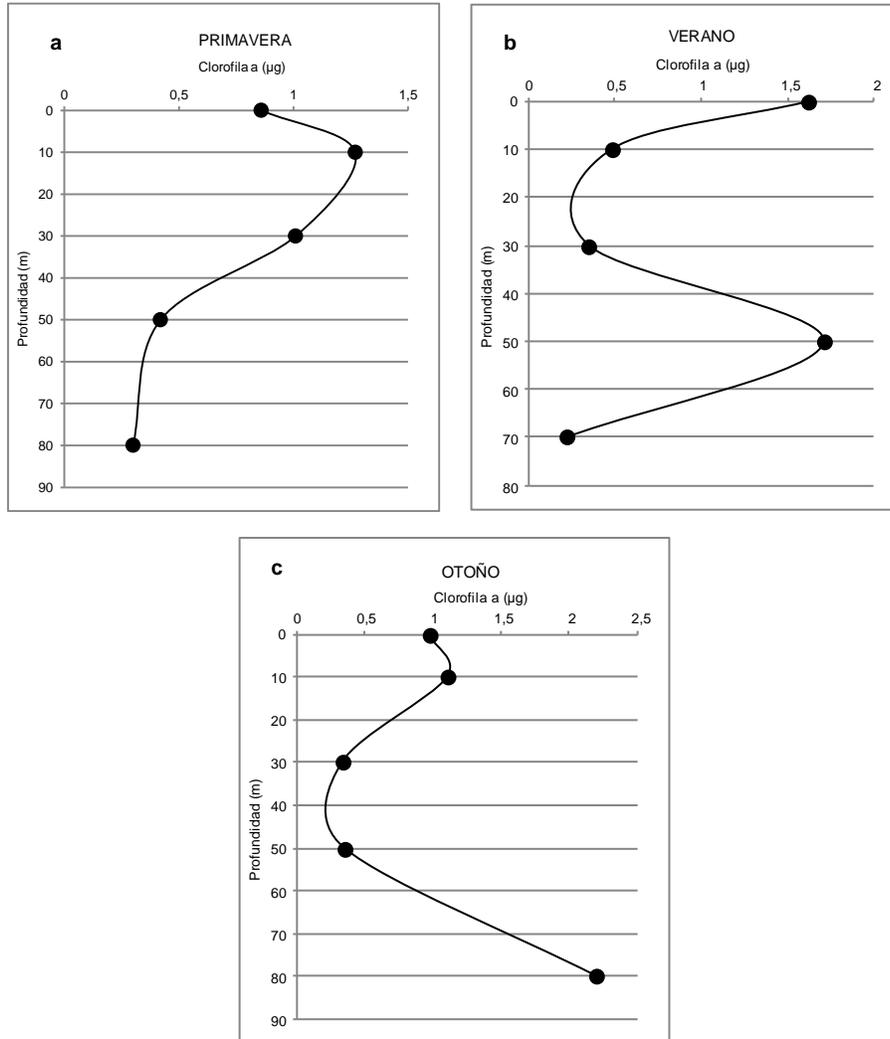


Figura 9b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Neltume. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

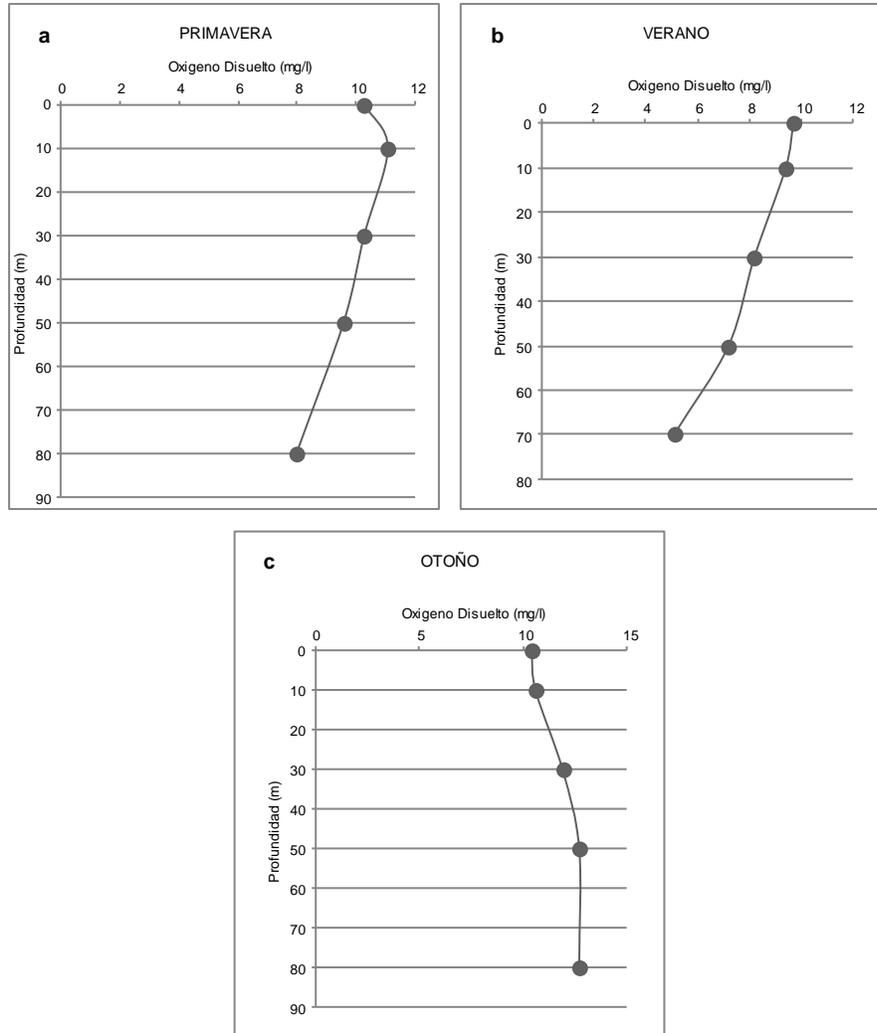


Figura 9c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Neltume. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.10 Lago Panguipulli

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1997 y 2014 en el lago Panguipulli mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 10a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y declina en otoño. La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 10 m, Metalimnion que se desarrolla entre 10 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 10a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 20,3 °C y del Hipolimnion es 9,7 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Panguipulli es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las estaciones de muestreo Centro y Choshuenco de la DGA (**Tabla 3**). En las **Figuras 10b** y **10c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

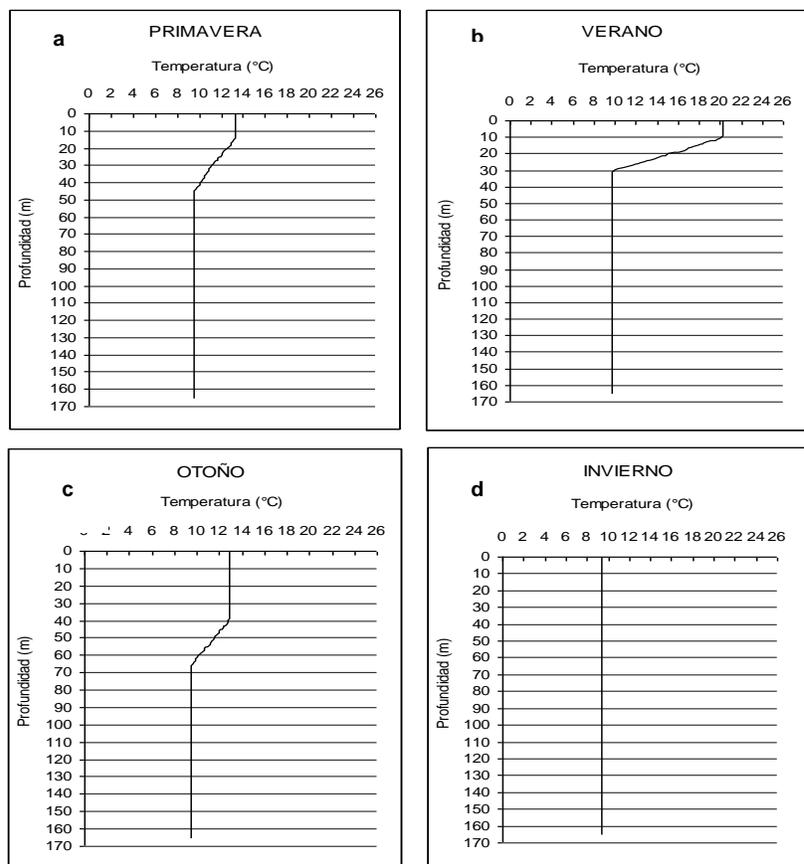


Figura 10a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Panguipulli. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

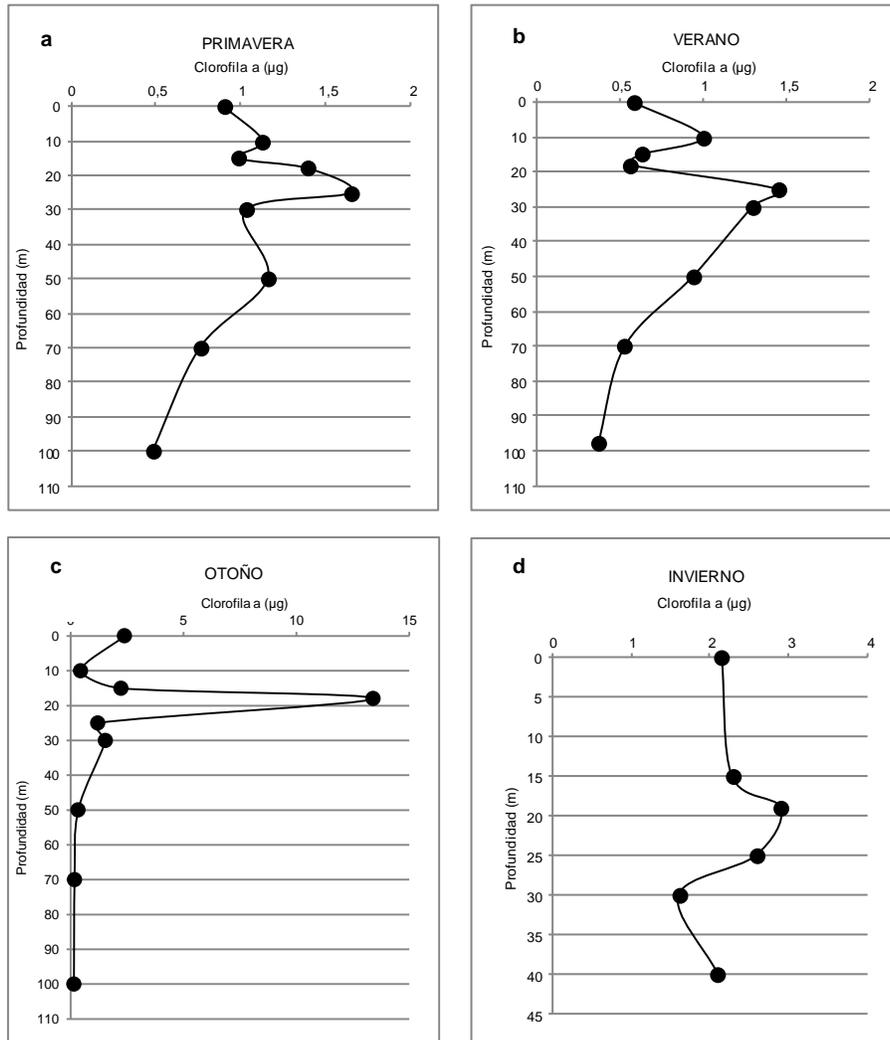


Figura 10b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Panguipulli. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

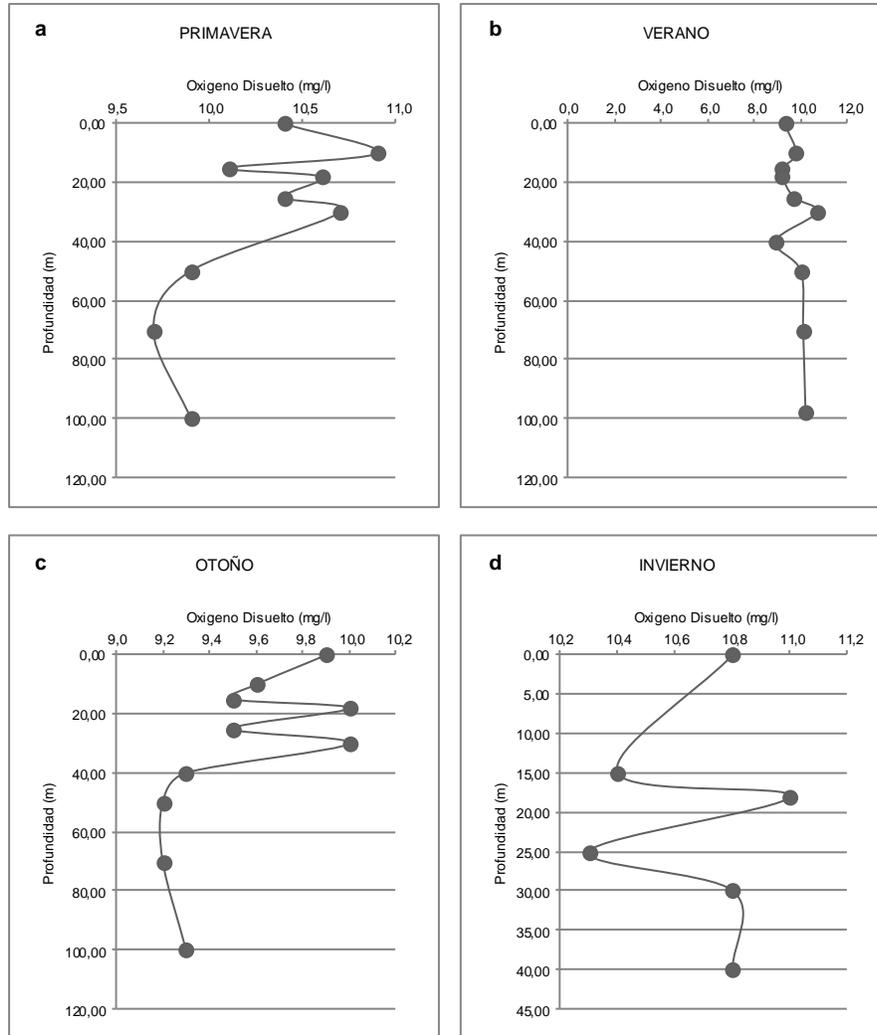


Figura 10c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Panguipulli. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.11 Lago Puyehue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2012 y 2013 en el lago Puyehue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual se observa desde primavera hasta el otoño (**Tabla 3, Figura 11a**). Debido a lo anterior, es predecible que se genere una estratificación en verano. La ausencia de datos en esta época impide completar el patrón. La estratificación que surgiría en periodo estival generaría tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 15 m, Metalimnion que se desarrolla entre 20 y 35 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 35 m (**Figura 11a**). En base a estos resultados se puede indicar que el lago Puyehue es un lago monomítico temperado con estratificación de verano (**Tabla 3**). Este patrón hidrodinámico deberá ser confirmado con más datos. En las **Figuras 11b** y **11c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de Oxígeno Disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

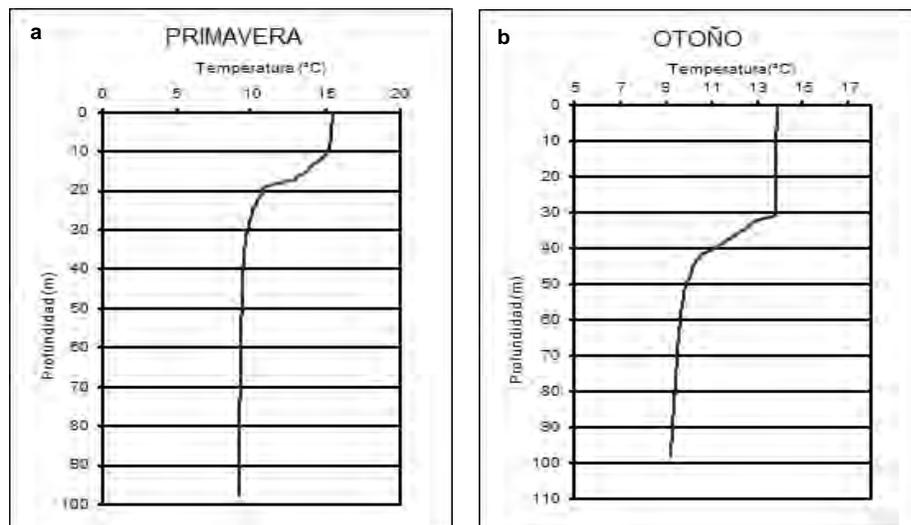


Figura 11a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Puyehue. a) Indicios de estratificación en primavera y b) Decline de estratificación en otoño.

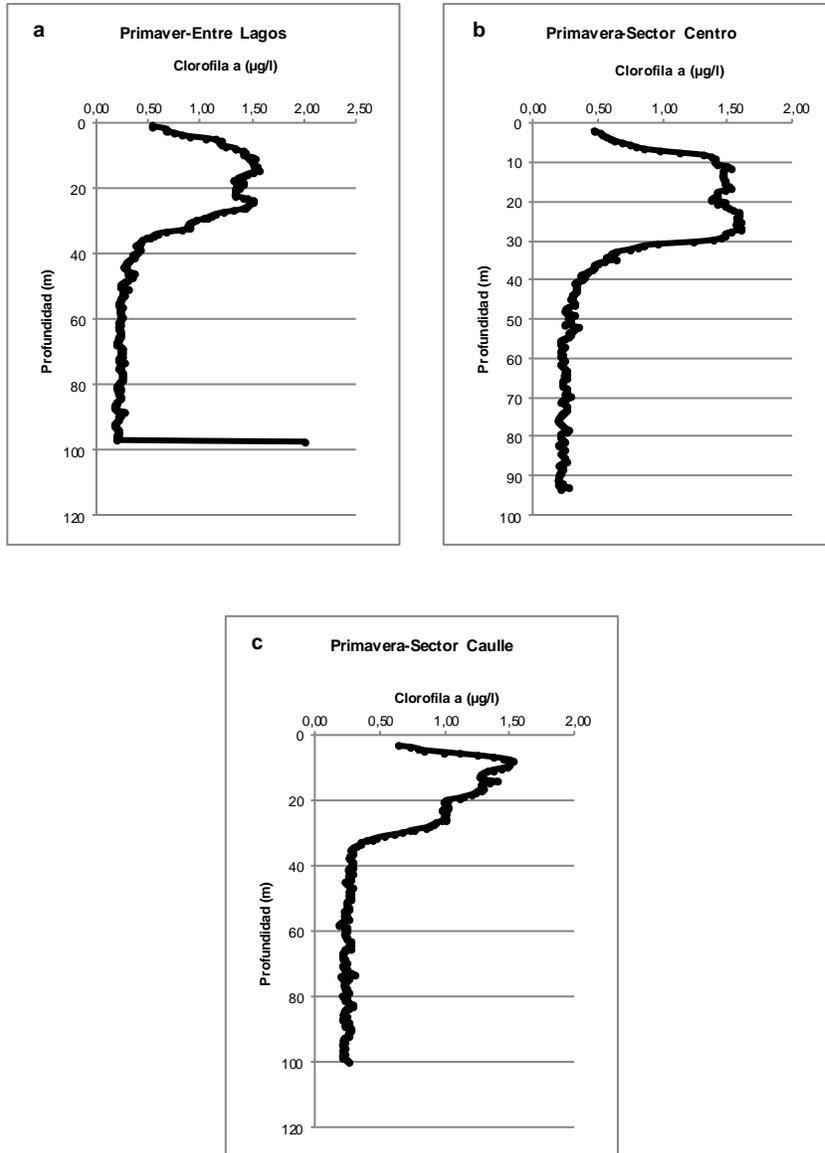


Figura 11b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Puyehue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

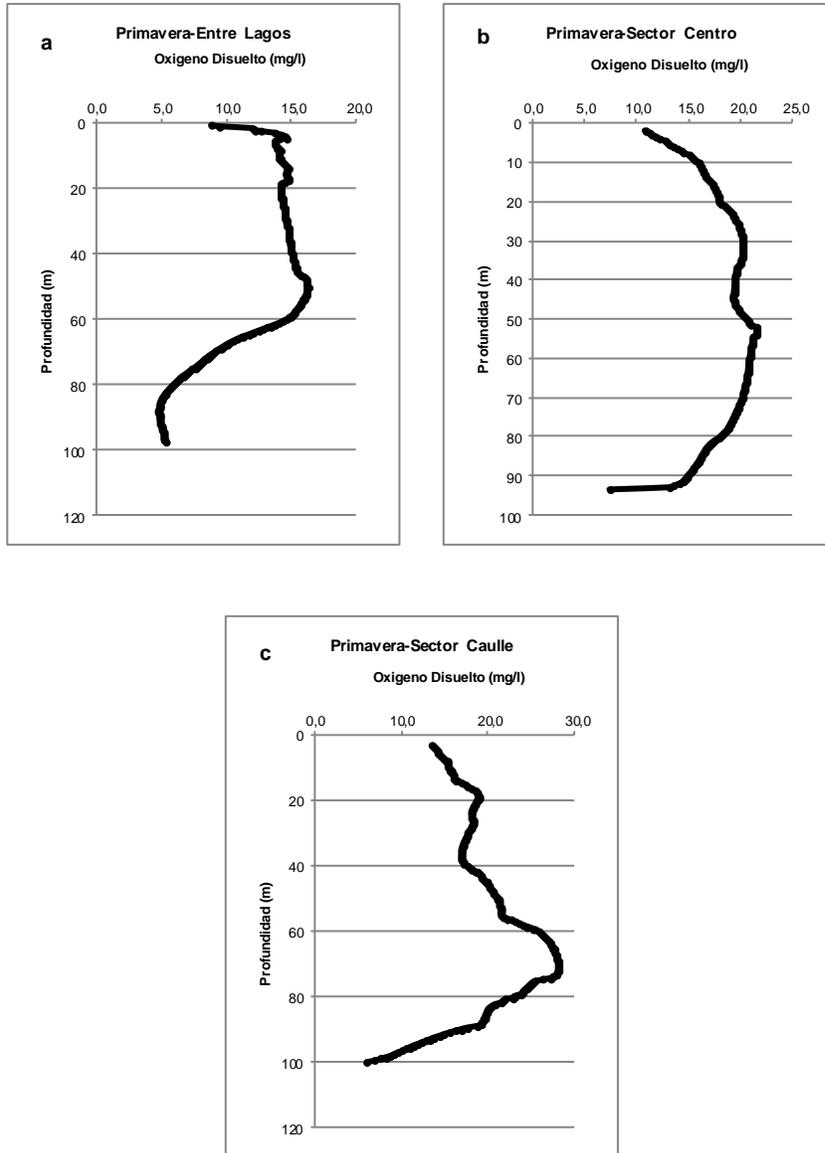


Figura 11c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno Disuelto en el lago Puyehue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.12 Lago Ranco

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2014 en el lago Ranco mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 12a**). La estratificación comienza en primavera y se desarrolla y termina en verano ya que en otoño la columna de agua se observa mezclada (**Figura 12a**). La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 25 m, Metalimnion que surge entre 25 y 40 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 40 m (**Figura 12a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 19,6 °C y del Hipolimnion es 10,3 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Ranco es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las tres estaciones de muestreo de la DGA: Futrono, Riñinahue y Puerto Nuevo (**Tabla 3**). En las **Figuras 12b** y **12c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

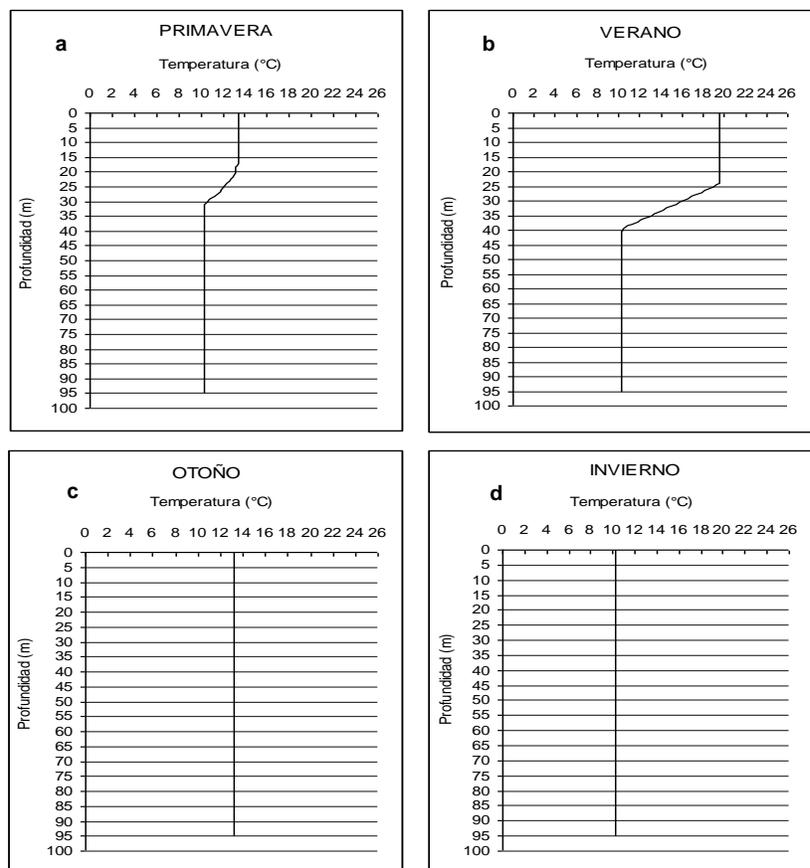


Figura 12a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Ranco. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

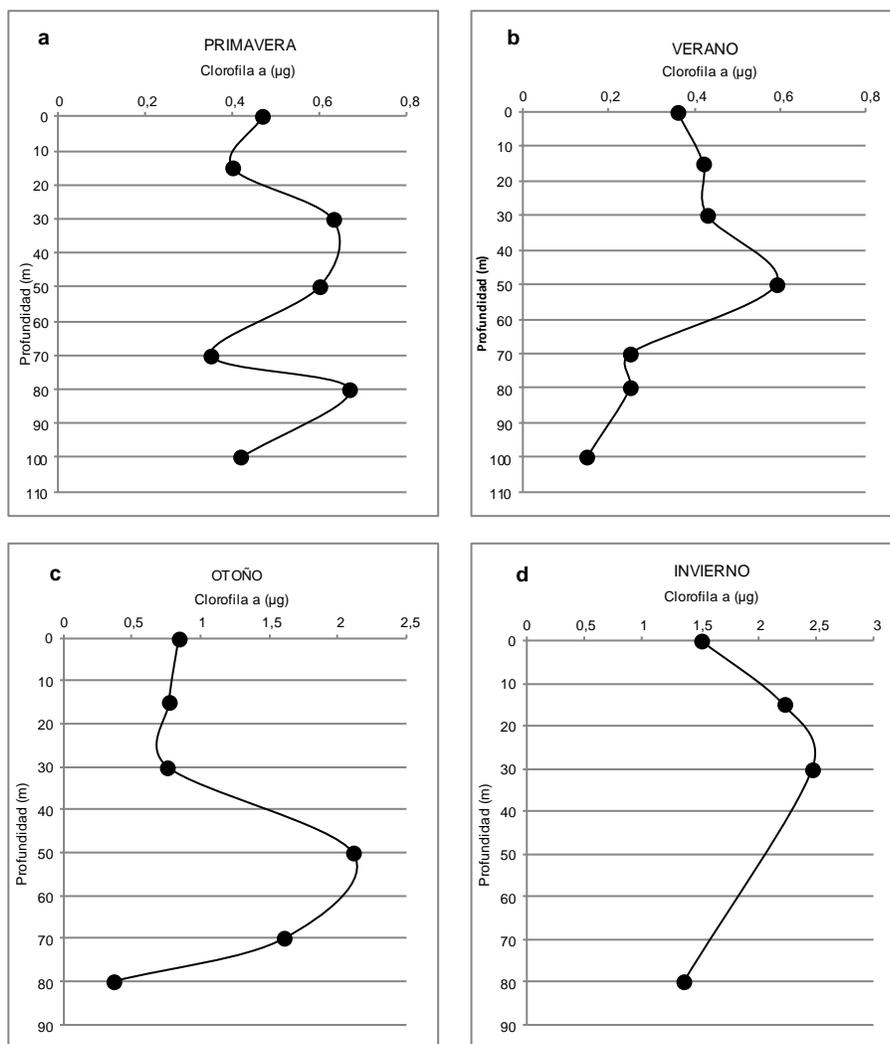


Figura 12b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Ranco. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

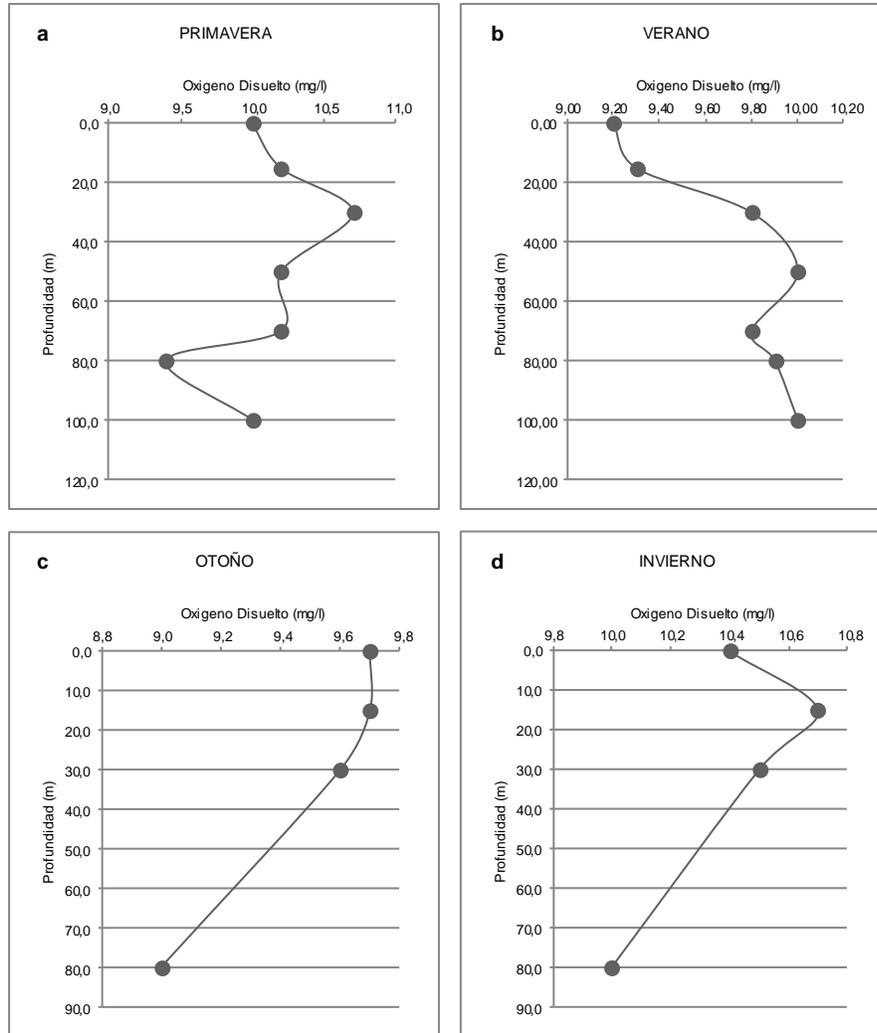


Figura 12c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Ranco. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.13 Lago Riñihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2014 en el lago Riñihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 13a**). La estratificación comienza y se desarrolla en verano y declina en otoño. En el lago Riñihue se observa con una condición de mezcla en invierno la cual se mantiene hasta la primavera. El Metalimnion que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 20 m, Metalimnion que se genera entre 20 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 13a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 19,4 °C y del Hipolimnion es 10,2 °C. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Riñihue es un lago monomíctico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las estaciones de muestreo Enco y Centro, las cuales se consideraron ser más representativas del lago (**Tabla 3**). En las **Figuras 13b y 13c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

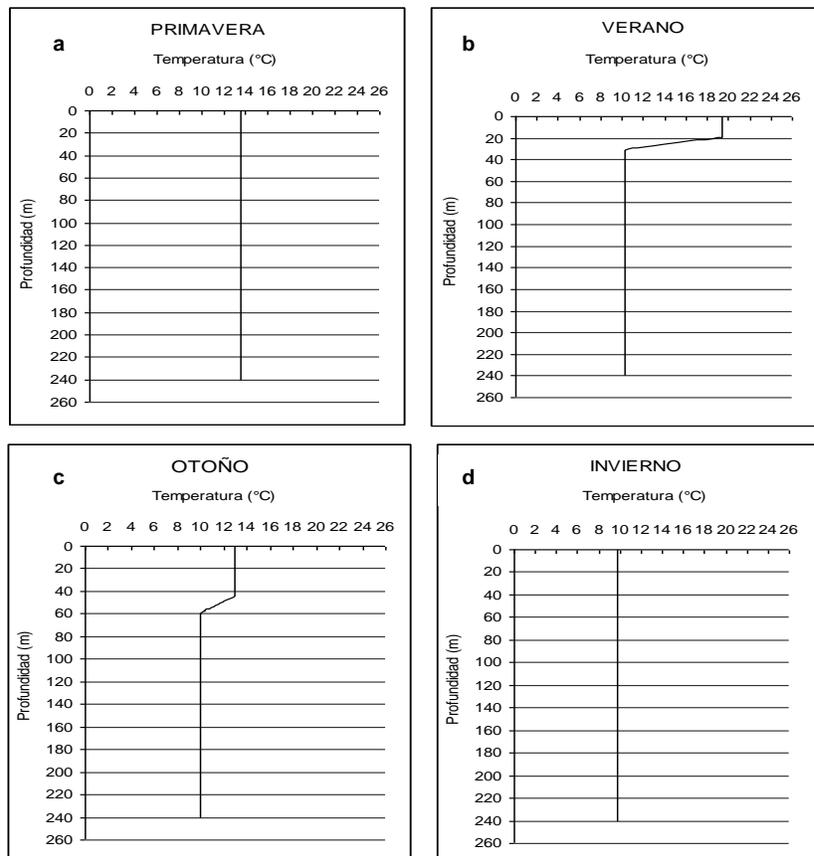


Figura 13a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Riñihue. a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decline de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

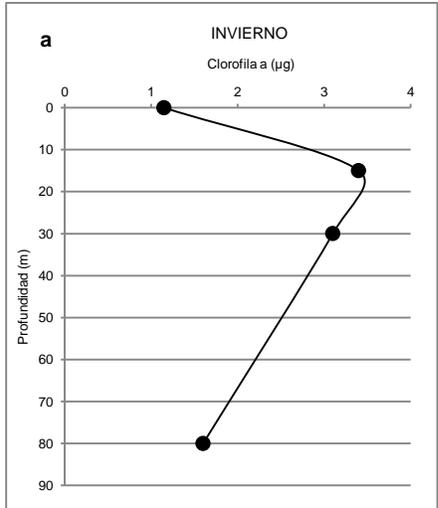


Figura 13b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Riñihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

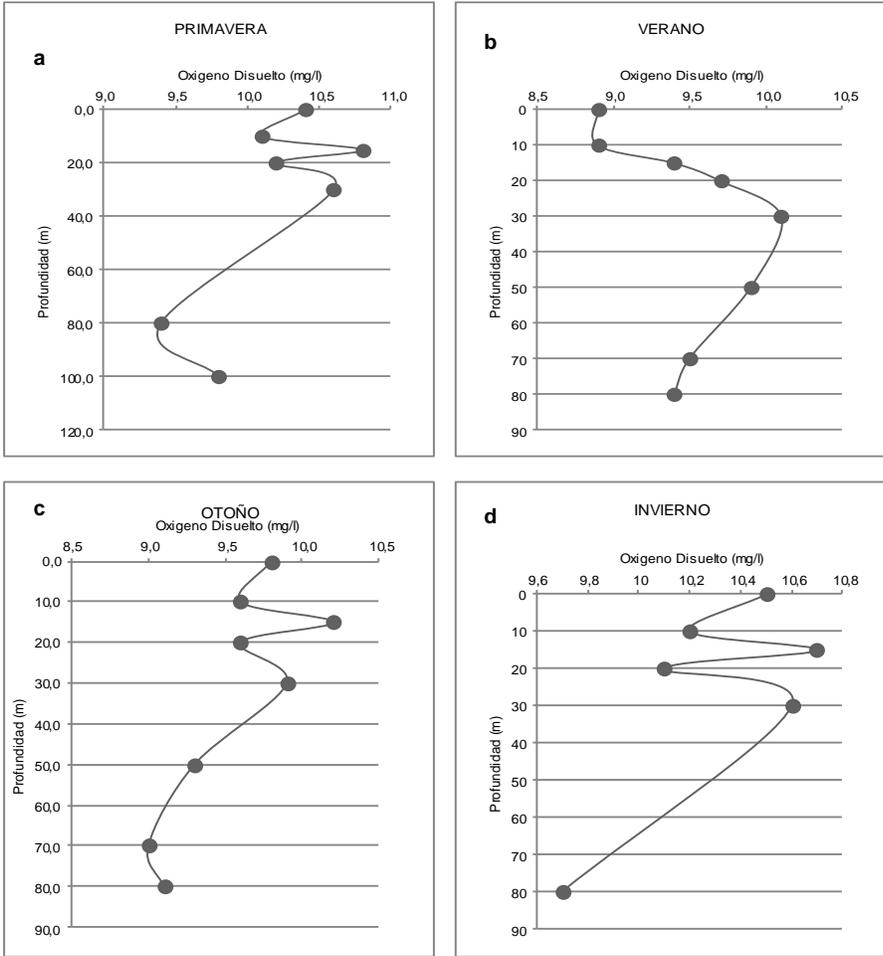


Figura 13c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Riñihue. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.14 Lago Rupanco

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2012 y 2013 en el lago Rupanco mostró que este sistema presenta una estratificación que surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 14a**). La estratificación comienza en primavera y se desarrolla en verano (**Figura 14a**). La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 20 m, Metalimnion que se genera entre 20 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 14a**). En base a estos resultados se puede indicar que el lago Rupanco es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico deberá ser confirmado con más datos y con registros obtenidos durante otoño e invierno. En las **Figuras 14b** y **14c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

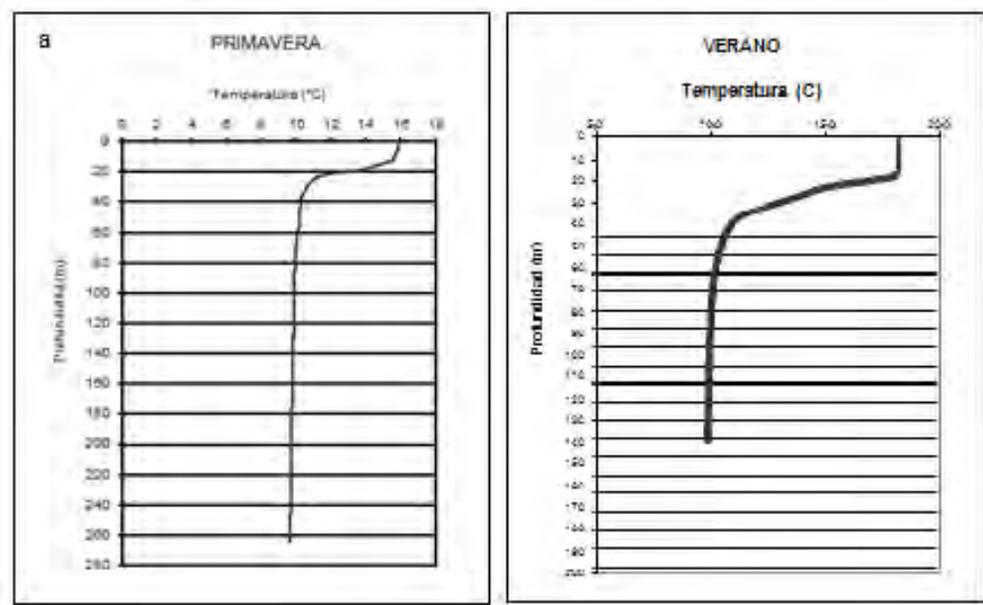


Figura 14a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Rupanco. a) Comienzo de estratificación en primavera y b) Estratificación en verano.

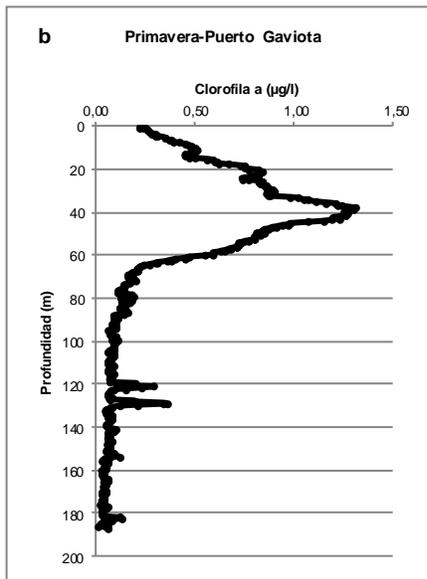
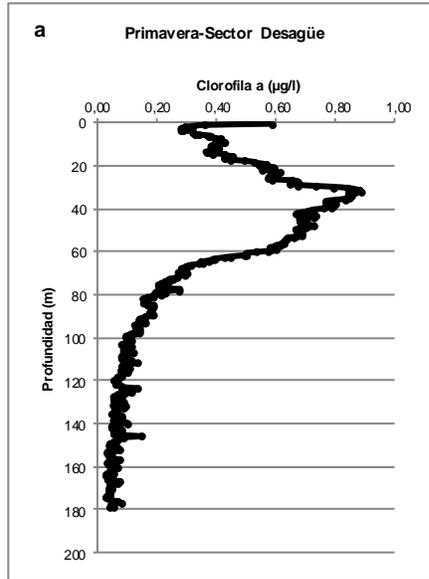


Figura 14b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Rupanco. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

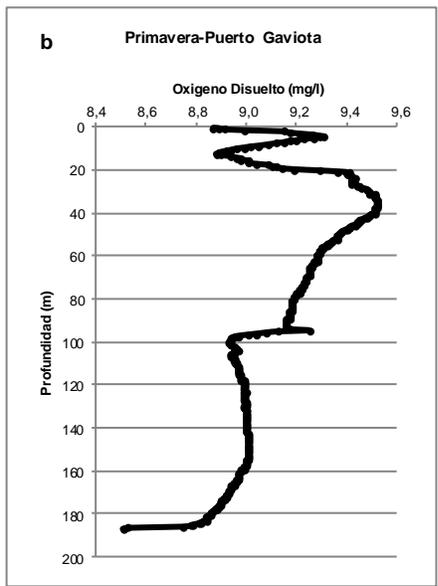
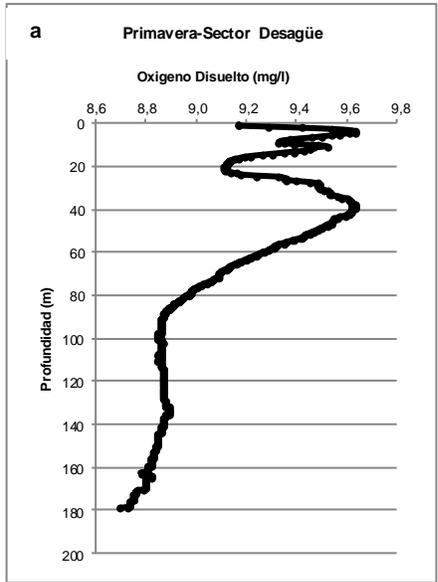


Figura 14c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Rupanco. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.15 Laguna Grande de San Pedro

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2014 en la laguna Grande de San Pedro mostró que este sistema presenta una estratificación que surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 15a**). No hubo información de perfiles verticales de temperatura para la laguna Grande de San Pedro entre los años 2000 y 2008 por lo que el patrón hidrodinámico fue inferido en función de los valores de oxígeno disuelto y temperatura obtenidos de la base de datos. El análisis fue complementado con los registros obtenidos entre 2009 y 2014. Para la laguna Grande de San Pedro se dedujo la ocurrencia de una estratificación en el año, la cual surgiría durante el verano (**Tabla 3**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae antes que termine el verano. La estratificación que surge en el verano genera un Metalimnion entre 6 y 9 m (**Figura 15a**). La temperatura promedio del Epilimnion en primavera es 17,9 °C y en verano es 24,0 °C. La columna de agua está mezclada en otoño y se mantiene así en invierno. En base a estos resultados es posible indicar que la laguna Grande de San Pedro muestra un comportamiento similar a los lagos Araucanos como un lago monomíctico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las tres estaciones de muestreo de la DGA: Centro, Desagüe y Sur. En las **Figuras 15b** y **15c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

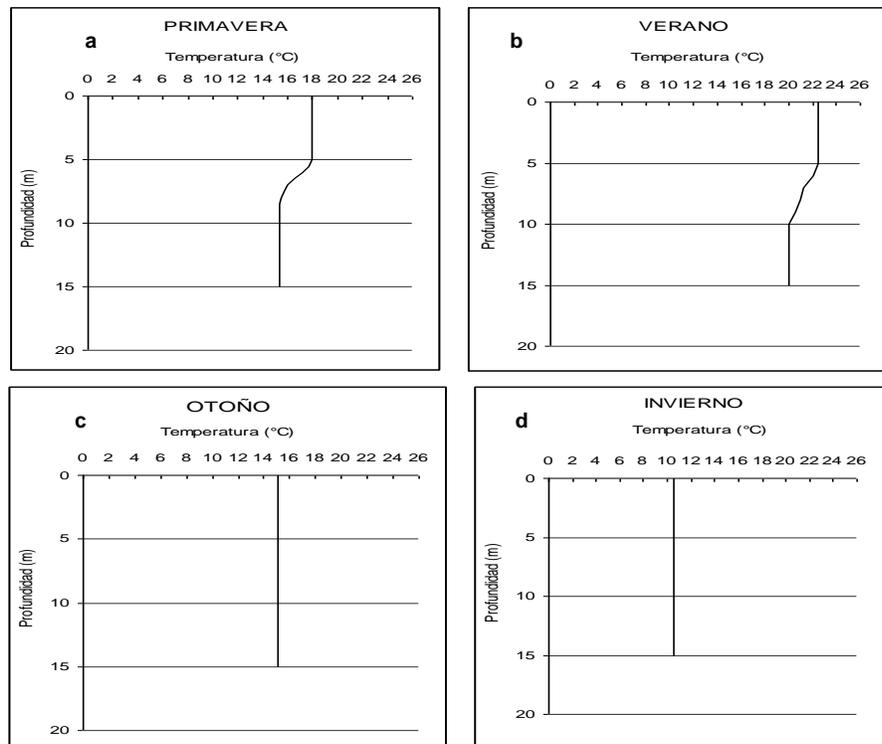


Figura 15a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Grande de San Pedro. a) Inicios de la estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

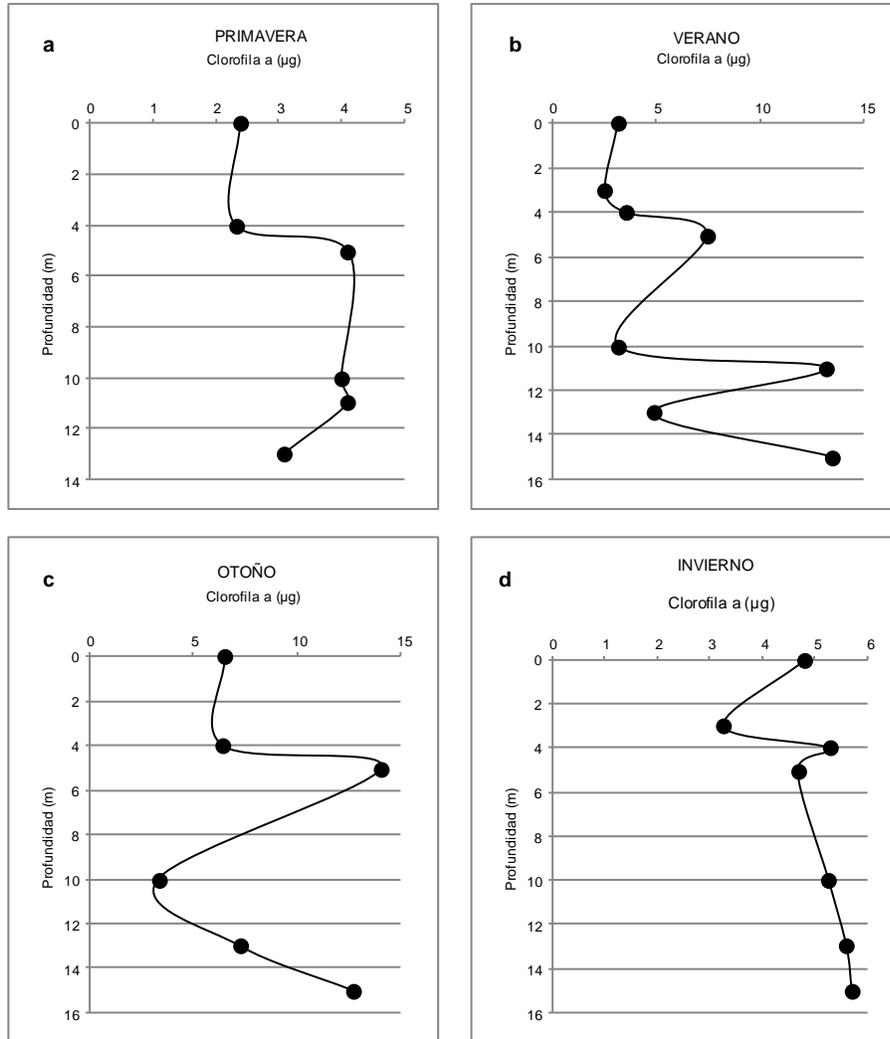


Figura 15b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Grande de San Pedro. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

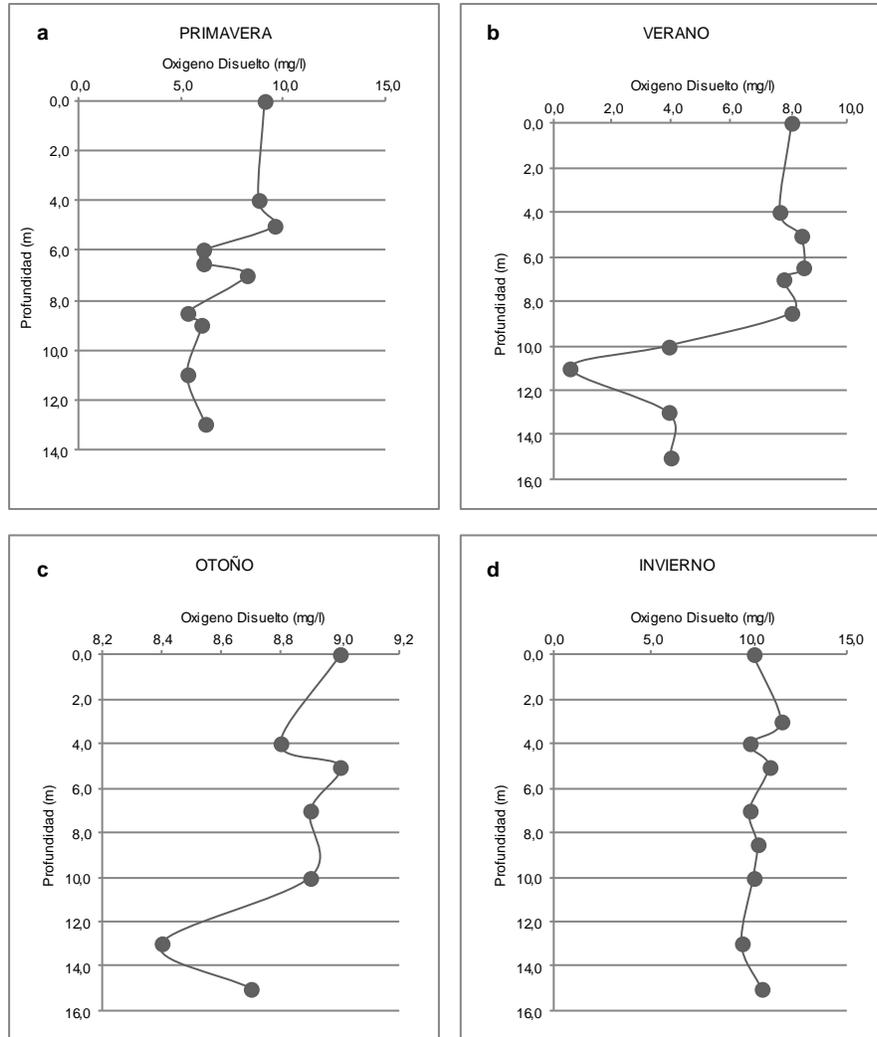


Figura 15c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Grande de San Pedro. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.16 Lago Todos Los Santos

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2002 y 2014 en el lago Todos Los Santos mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual comienza y se desarrolla durante el verano (**Tabla 3, Figura 16a**). La estratificación decae en otoño y durante invierno y primavera la columna de agua está mezclada (**Figura 16a**). El Metalimnion que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 15 m, Metalimnion que surge entre 15 y 35 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 35 m (**Figura 16a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 18,5 °C y del Hipolimnion es 8,4 °C. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Todos Los Santos es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las tres estaciones de muestreo de la DGA: Islas Margarita, Petrohue y Peulla (**Tabla 3**). En las **Figuras 16b** y **16c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

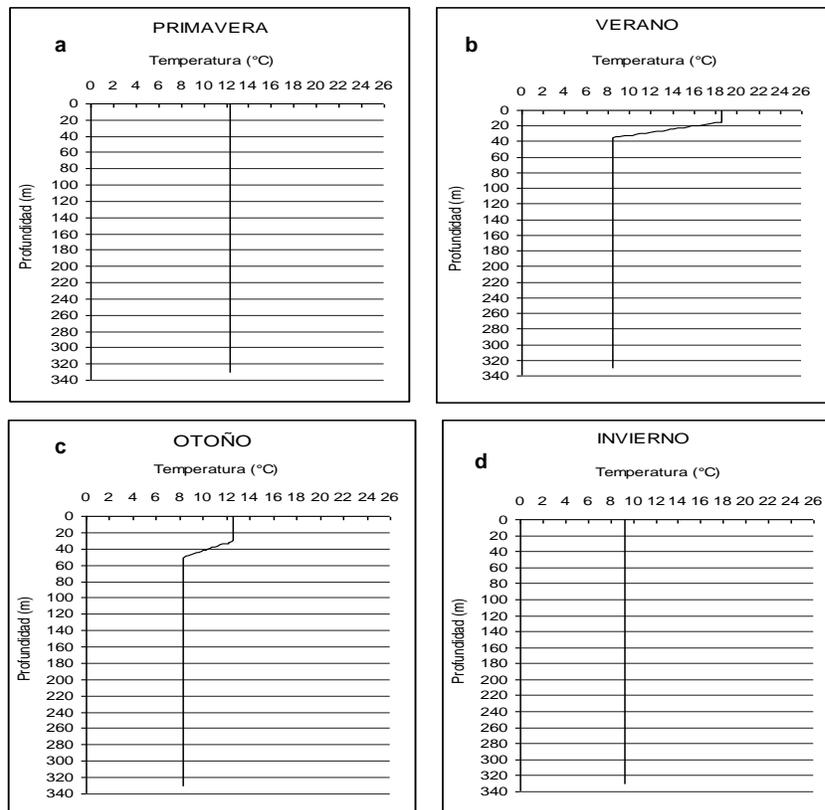


Figura 16a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Todos los Santos. a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

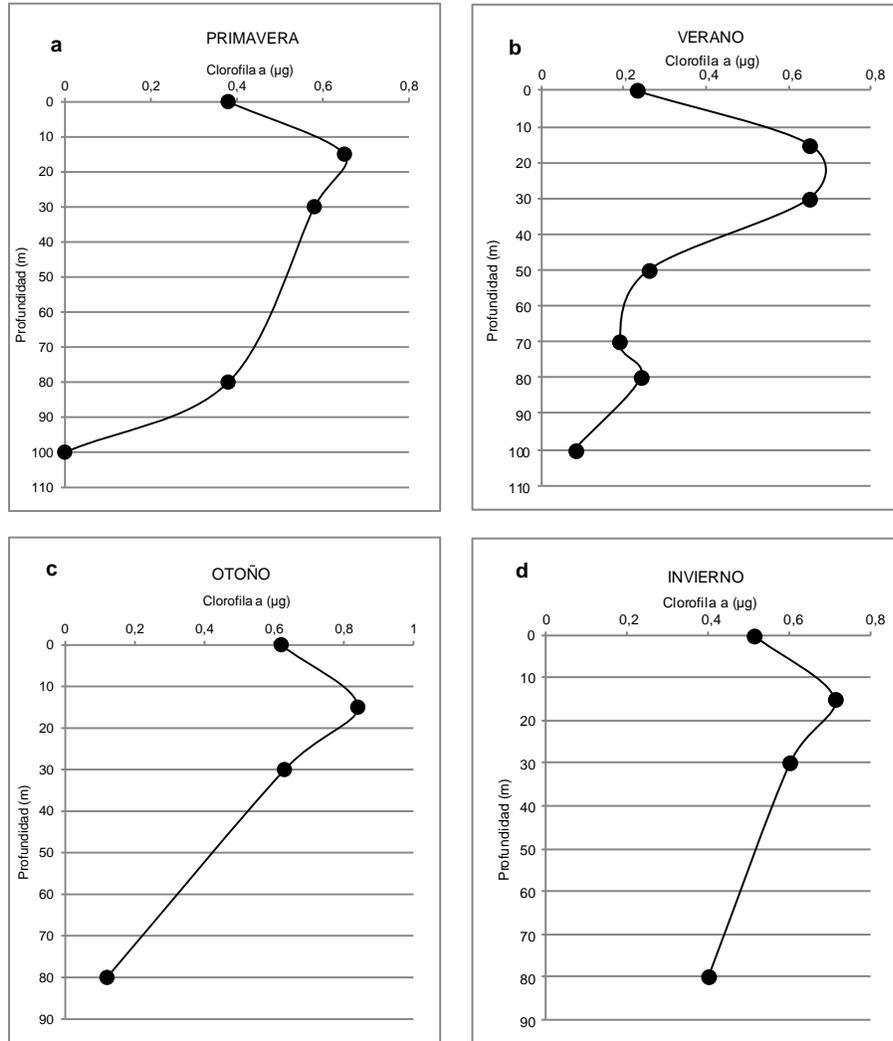


Figura 16b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Todos Los Santos. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

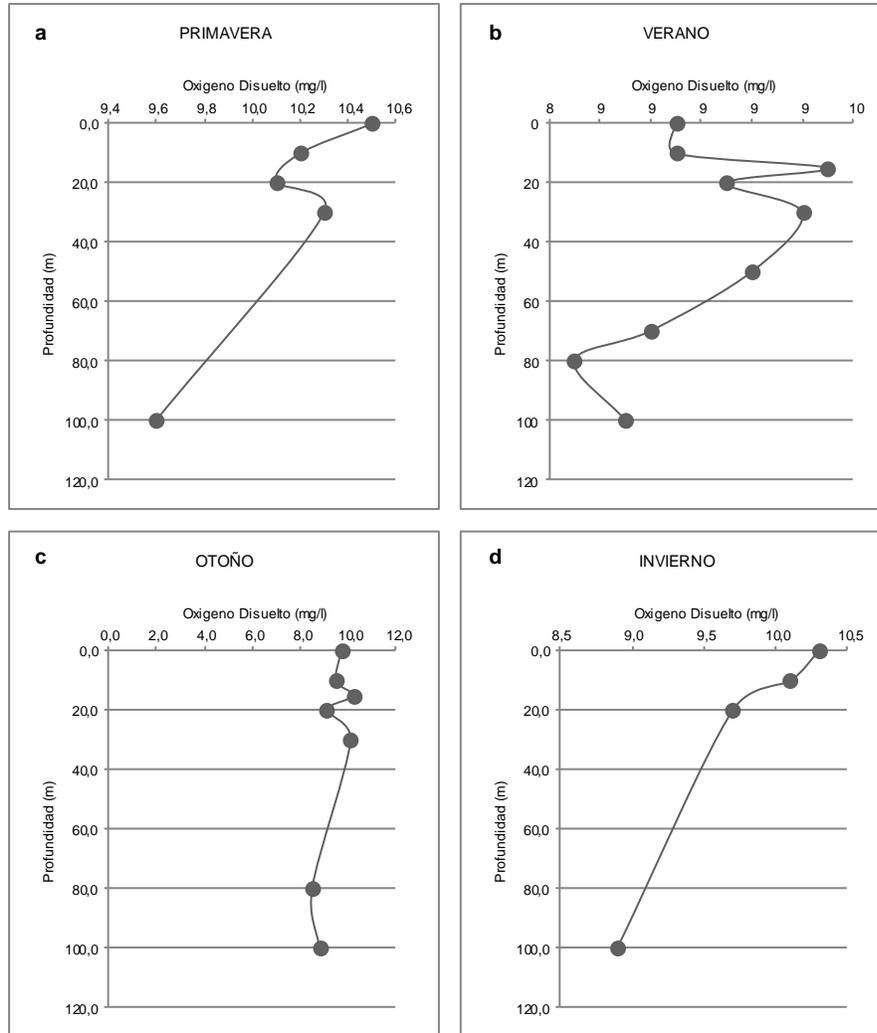


Figura 16c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Todos Los Santos. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.17 Laguna Torca

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos en el 2013 en la laguna Torca mostró que este sistema presenta una estratificación que surge durante el invierno (**Tabla 3, Figura 17a**). La estratificación comienza es superficial (**Figura 17a**) y el Hipolimnion se genera a partir de 1 m de profundidad. No existen datos que permitan completar el patrón hidrodinámico anual. Este patrón hidrodinámico deberá ser confirmado con más datos y con registros obtenidos durante otoño e invierno. En las **Figuras 17b** y **17c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

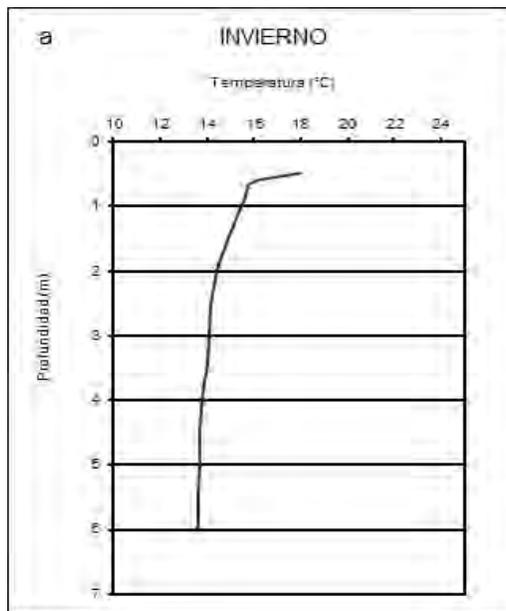


Figura 17a. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Torca. a) Estratificación en invierno.

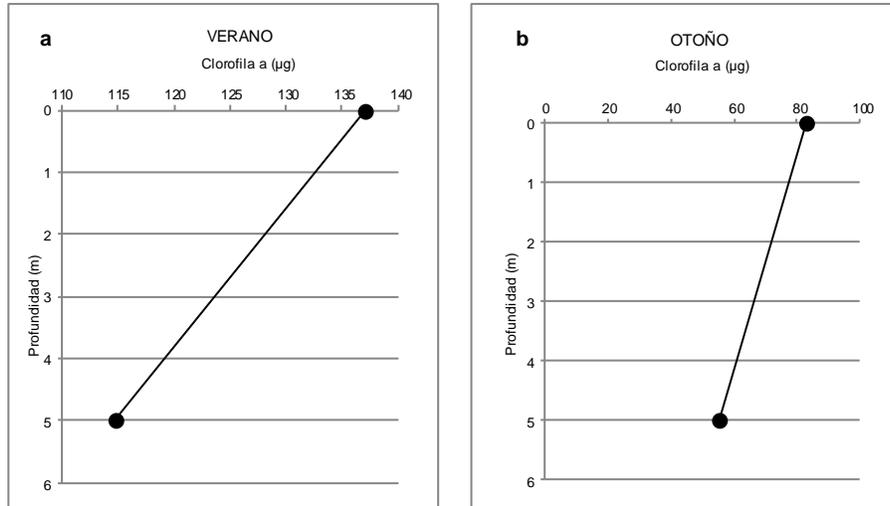


Figura 17b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en la laguna Torca. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

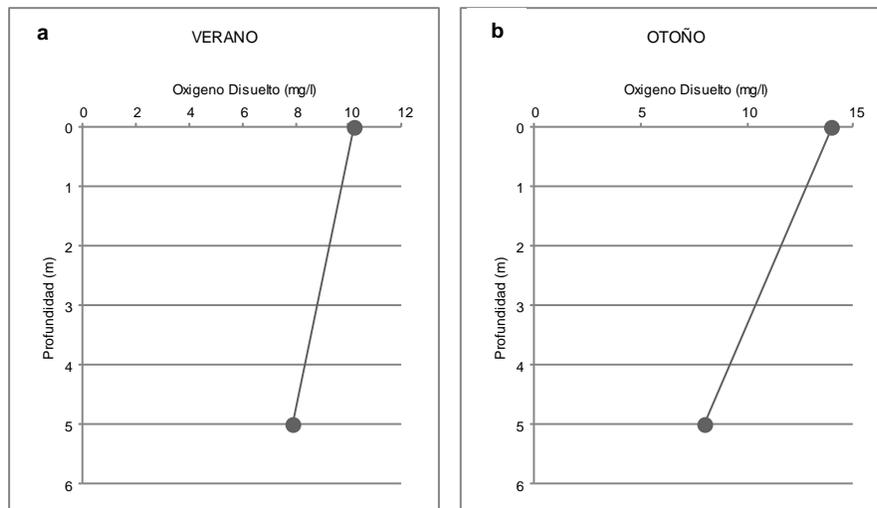


Figura 17c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en la laguna Torca. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.18 Lago Vichuquen

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos el 2013 en el lago Vichuquen mostró que este sistema presenta una estratificación que surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 18a**). La estratificación que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 10 m, Metalimnion que se genera entre 10 y 12 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 12 m (**Figura 18a**). El lago Vichuquen está mezclado en invierno. En base a estos resultados es indicativo que el lago Vichuquen es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico deberá ser confirmado con más datos y con registros obtenidos durante primavera y otoño. En las **Figuras 18b** y **18c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

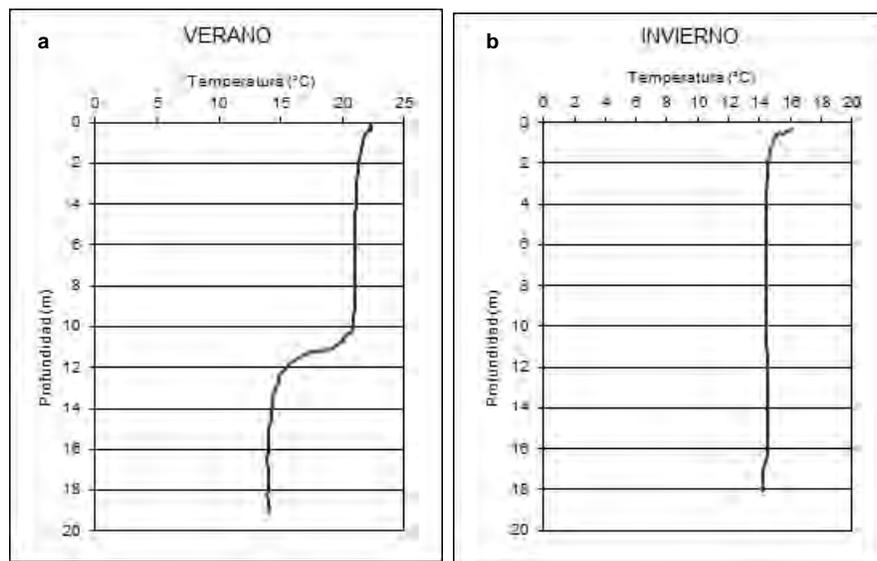


Figura 18a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Vichuquen. a) Estratificación en verano, b) Mezcla en invierno.

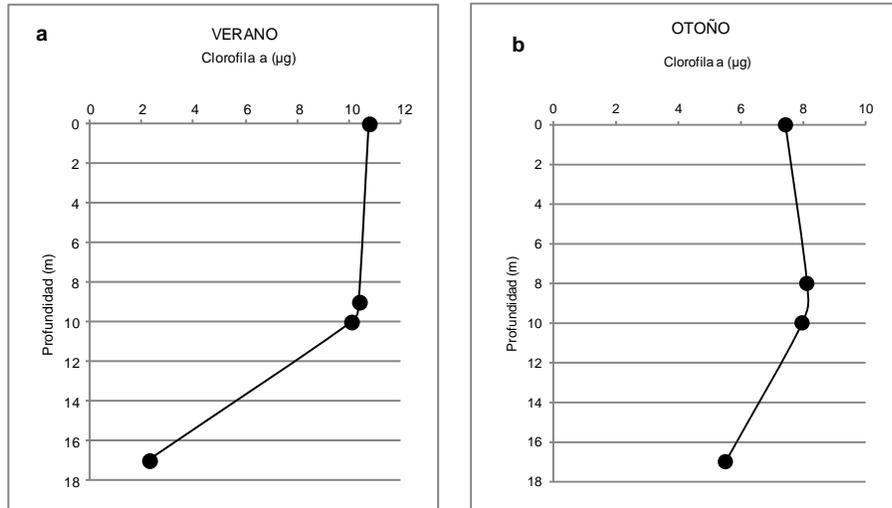


Figura 18b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Vichuquen. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

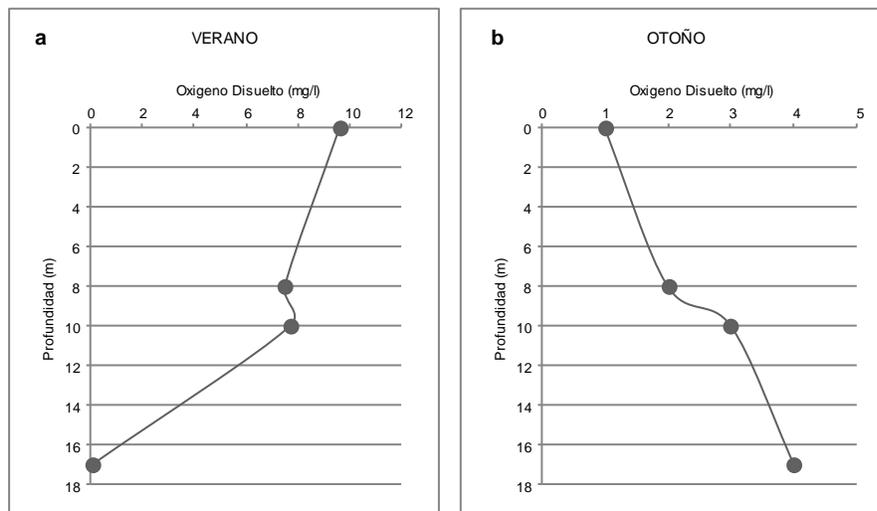


Figura 18c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Vichuquen. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.1.19 Lago Villarrica

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2014 en el lago Villarrica mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 3, Figura 19a**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y declina en otoño. El Metalimnion que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 15 m, Metalimnion que surge entre 15 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 19a**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 18,5 °C y del Hipolimnion es 9,9 °C. La columna de agua se mantiene mezclada en invierno. En base a estos resultados se puede indicar que el lago Villarrica es un lago monomítico temperado con estratificación de verano. Este patrón hidrodinámico fue observado en las cuatro estaciones de muestreo: Molco, Pucón, Villarrica y La Poza (**Tabla 3**). En las **Figuras 19b y 19c** se presentan perfiles verticales de la distribución de la concentración de Clorofila a y de oxígeno disuelto en la columna de agua para diferentes periodos estacionales.

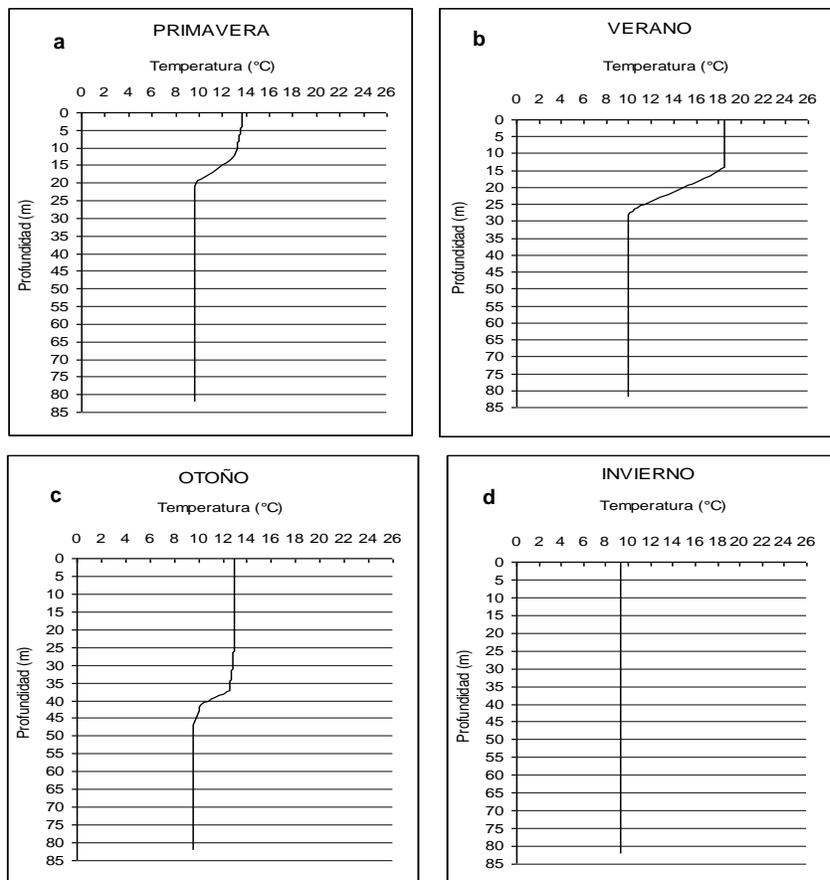


Figura 19a. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Villarrica. a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

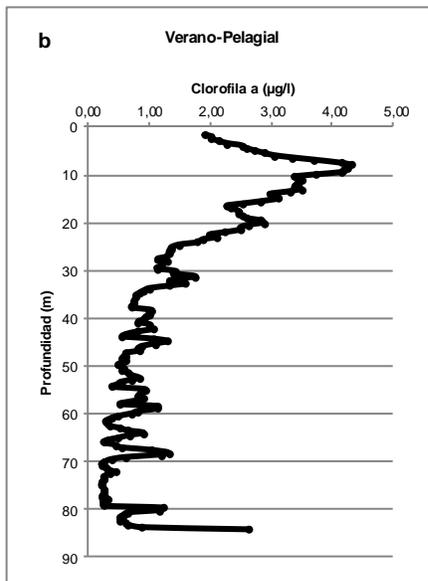
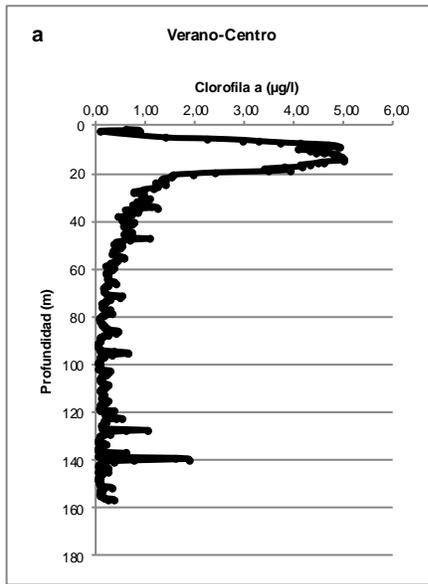


Figura 19b. Variación estacional de la concentración de Clorofila a en el lago Villarrica. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

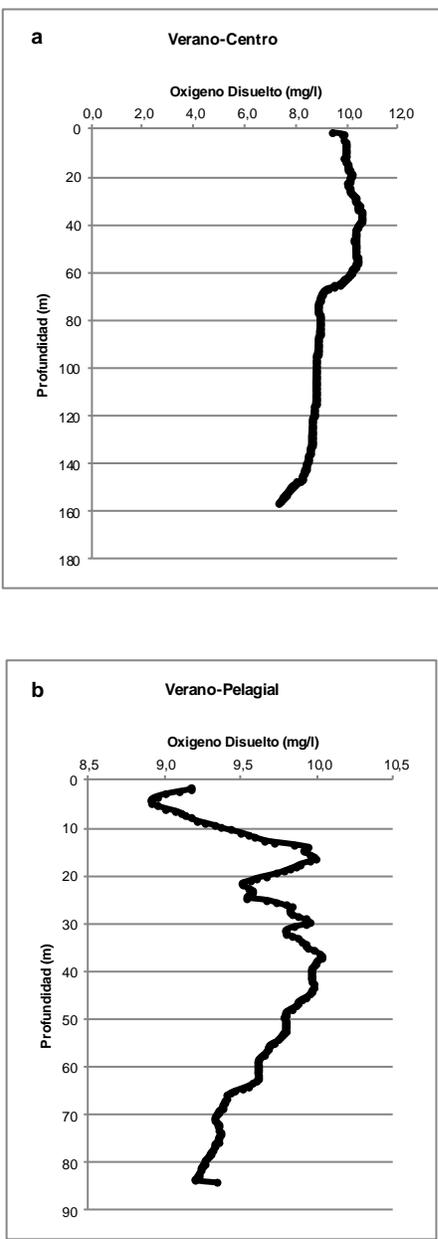


Figura 19c. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto en el lago Villarrica. Los valores representan el promedio de valores medidos entre estaciones de monitoreo para cada periodo estacional.

7.2 Disponibilidad sub-superficial de irradianza: Zona Eufótica (Z_{EUF})

El factor irradianza sub-superficial en la columna de agua afecta la producción biológica de los ensamblajes autótrofos, principalmente de aquellos suspendidos en la columna de agua de los sistemas lénticos (fitoplancton). La calidad del agua en los sistemas acuáticos afecta la disponibilidad de irradianza y por lo tanto surgen diferencias significativas en el ambiente lumínico

para el plancton. Esto genera diferencias en la producción biológica de los sistemas y en su condición trófica. Debido a lo anterior, se analizó la disponibilidad sub-superficial de irradianza en los lagos de la Red de Control de Lagos y los resultados se presentan en la **Tabla 4**.

La profundidad de la zona Eufótica (Z_{EUF}) fue altamente variable entre los lagos de la Red de Control de Lagos (**Tabla 4**). Se distinguen dos agrupaciones de lagos en función del tamaño de la Z_{EUF} : Sistemas con baja Z_{EUF} y sistemas con alta Z_{EUF} , los que se distinguen con colores en la **Tabla 4**. Los sistemas con baja Z_{EUF} fueron: laguna Aculeo, lago Lanalhue, Lago LLeulleu, laguna Grande de San Pedro, Lago Vichuquen y la laguna Torca. Estos sistemas presentaron valores de Z_{EUF} que fueron menores que 12 m. El resto de los sistemas presentó valores comparativamente altos de Z_{EUF} que variaron entre 20,4 (lago Villarrica, estaciones Molco y Pucón) y 56,1 m (lago Llanquihue).

Tabla 4. Ambiente lumínico sub-superficial de los lagos y de la Red de Control de Lagos de la DGA evaluado a través de la profundidad de la Zona Eufótica (Z_{EUF}). V = verano, P = primavera, O = otoño, I = invierno, Z_{EUF} = Zona Eufótica. Los superíndices indican la referencia de donde se extrajo el dato de la profundidad máxima.

1 = Vila et al. 1986, Montecino (1991), Cabrera & Montecino (1987). 2 = Campos (1984), Campos *et al.* 1987, 3 = Campos *et al.* 1980, Campos (1984). 4 = Villalobos *et al.* 2003. 5 = Parra *et al.* 2003, Valdovinos & Figueroa (2000), 6 = Campos *et al.* 1988, Soto (2002), 7 = Barra *et al.* (2001), 8 = Wöelfl (2009), 9 = Minuta DCPRH 18/2014, 10 = Campos (1984), Campos *et al.* 1981, 11 = Minuta DCPRH 36/12, 12 = Campos *et al.* 1982; Wöelfl (2009), 13 = Campos (1984), Wöelfl *et al.* 2003; Campos *et al.* 1978, Campos *et al.* 1987, Campos (1992), 14 = Parra *et al.* 2003, Valdovinos & Figueroa (2000), 15 = Campos *et al.* 1990, Montecino (1991), 16 = Minuta DCPRH 1/2014, 17 = Campos *et al.* 1983, Campos (1984).

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Zona Eufótica (Z_{EUF} , m)	Z_{EUF}/Z_{MAX} (%)
Laguna Aculeo ($Z_{MAX} = 7,0$ m) ¹	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	3,0 (0,81 - 9,9)	43
	Puntilla León			
	Casa de Bomba			
Lago Caburgua ($Z_{MAX} = 325$ m) ²	Centro Norte	Estratificación (V)	39,3 (31,5 - 49,5)	5
		Mezcla (O-I-P)	40,5 (18,0 - 72,0)	
	Desagüe	Estratificación (P-V)	39,3 (22,5 - 63,0)	
		Mezcla (O-I)	39,9 (19,5 - 57,0)	
Lago Calafquen ($Z_{MAX} = 212$ m) ³	Centro	Estratificación (V)	35,4 (24,0 - 51,0)	7
		Mezcla (O-I-P)	37,2 (22,5 - 49,5)	
	Coñaripe Lican-Ray	Estratificación (P-V)	36,9 (24,0 - 51,0)	
		Mezcla (O-I)	32,4 (13,5 - 52,5)	
Lago Chapo ($Z_{MAX} = 298$ m) ⁴	Canutillar	Estratificación (P-V)	37,5 (16,5 - 58,2)	6
		Mezcla (O-I)	33,6 (21,3 - 45,0)	
	Centro Chamiza	Estratificación (V)	41,4 (27,0 - 60,6)	
		Mezcla (O-I-P)	32,4 (16,5 - 51,0)	
Lago Colico	Centro	Estratificación (V-O)	49,5 (43,5-54)	-
	Bahía Trafampulli			
	Puerto Colico			

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Zona Eufótica (Z _{EUF} , m)	Z _{EUF} /Z _{MAX} (%)
Lago Lanalhue (Z _{MAX} = 25 m) ⁵	Puerto Paleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto Manzano	Estratificación (P-V)	8,7 (1,5 - 16,5)	12
		Mezcla (O-I)	7,2 (1,2 - 15,0)	
Lago Llanquihue Z _{MAX} = 317 m) ⁶	Ensenada Puerto Varas	Estratificación (V)	56,1 (39,0 - 90,0)	8
		Mezcla (O-I-P)	49,8 (28,5 - 90,0)	
	Puerto Octay Frutillar	Mezcla (P-V-O-I)	45,0 (28,5 - 69,6)	
Lago LLeulleu (Z _{MAX} = 46,5 m) ⁷	Centro	Mezcla (I)	9,6(9,2-10)	21
	Sur			
Lago Maihue (Z _{MAX} = 207 m) ⁸	Centro	Estratificación (V)	35,7 (16,5 - 58,5)	5
	Los Llolles	Mezcla (O-I-P)	25,5 (10,5 - 45,0)	
Lago Neltume (Z _{MAX} = 86 m) ⁹	Centro	Estratificación (P-V)	23,4 (21-7)	27
	Neltume	Mezcla (O)	22,5 (22,5 - 22,5)	
Lago Panguipulli (Z _{MAX} = 268 m) ¹⁰	Centro Choshuenco	Estratificación (V)	36,0 (25,5 - 54,0)	7
		Mezcla (O-I-P)	32,7 (18,0 - 50,1)	
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	28,8 (18,0 - 45,0)	
		Mezcla (V-O-I)	25,8 (9,0 - 54,0)	
Lago Puyehue (Z _{MAX} = 123 m) ¹¹	Entre Lagos	Estratificación (O-V-P)	22,2 (10,5-35,4)	18
	Caulle			
	Centro			
Lago Ranco (Z _{MAX} = 199 m) ¹²	Futrano Riñinahue	Estratificación (V)	47,4 (25,5 - 69,0)	8
		Mezcla (O-I-P)	41,1 (16,5 - 61,5)	
	Puerto Nuevo	-	-	
Lago Riñihue (Z _{MAX} = 323 m) ¹³	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	36,3 (21,0 - 63,0)	3
	Bahía Riñihue			
	Enco	Estratificación (V)	32,1 (21,0 - 49,5)	
		Mezcla (O-I-P)	34,8 (21,0 - 53,1)	
Lago Rupanco (Z _{MAX} = 274 m) ¹¹	Puerto Gaviota	Estratificación (P)	38,4 (28,5 - 45)	14
	Sector Cascada			
	Desagüe			
Laguna Grande de San Pedro (Z _{MAX} = 13,5 m) ¹⁴	Centro	Estratificación (V)	9,0 (6,0 - 12,0)	22
	Desagüe Sur	Mezcla (O-I-P)	11,1 (4,5 - 29,4)	
Lago Todos Los Santos (Z _{MAX} = 337 m) ¹⁵	Islas Margaritas Petrohue Peulla	Estratificación (V)	24,9 (12,0 - 40,5)	6
		Mezcla (O-I-P)	31,5 (7,5 - 64,5)	
Lago Vichuquen (Z _{MAX} = 30 m) ¹⁶	Bahía Vichuquen	Estratificación (I)	-	18
		Mezcla (V)	5,7 (5,7 - 5,7)	
	Centro	Estratificación (V-I)	5,1 (5,1 - 5,1)	
	Zmáx	Estratificación (V)	5,1 (5,1 - 5,1)	
		Mezcla (I)	-	

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Zona Eufótica (Z_{EUF} , m)	Z_{EUF}/Z_{MAX} (%)
Laguna Torca	Centro	Estratificación (V-I)	1,5 (1,5 - 1,5)	-
Lago Villarrica ($Z_{MAX} = 165$ m) ¹⁷	Molco Pucón Villarrica La Poza	Estratificación (V)	20,4 (6,0 - 34,5)	9
		Mezcla (O-I-P)	25,5 (8,4 - 52,8)	

Baja Z_{EUF} (< 12 m)	Alta Z_{EUF} (\geq 12 m)
-------------------------	-------------------------------

La razón Z_{EUF}/Z_{MAX} varió entre 3 y 43 % (**Tabla 4**). Los sistemas con una baja razón fueron principalmente los lagos Araucanos, desde el Caburgua y hasta el Chapo, entre los cuales se midió un rango de valores de porcentaje de columna irradiada que varió entre un 3 y 9 %. A pesar que la disponibilidad de luz es mayor en estos lagos Araucanos, la mayor profundidad genera valores pequeños de la razón Z_{EUF}/Z_{MAX} , lo cual revela que existe una comparativamente menor porción de la columna de agua en los lagos Araucanos que está irradiada en relación a los lagos de las zonas centro-sur y central. Una menor proporción de la columna de agua irradiada conlleva a presentar una menor potencialidad de síntesis de materia orgánica de origen fotosintético en los lagos Araucanos respecto de lagos de las zonas centro-sur y central, lo cual es consistente con la menor condición trófica de estos sistemas.

7.3 Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N/P) y su relación con la condición hidrodinámica de la columna de agua de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

El análisis de la concentración de Nitrógeno y Fósforo en los sistemas acuáticos de la Red de Control de Lagos mostró dos agrupaciones de sistemas en función del nutriente que estaría limitando la producción biológica (**Tabla 5**). Una primera agrupación estaría compuesta por los sistemas acuáticos: laguna Aculeo, lago Colico, lago Lanalhue y lago LLeulleu, los cuales presentaron limitación de la producción por Fósforo independientemente de la condición hidrodinámica de la columna de agua (**Tabla 5**). La segunda agrupación estaría compuesta por los lagos que presentaron limitación de la producción biológica por Fósforo durante el periodo de mezcla y por Nitrógeno durante el periodo de estratificación, los cuales fueron principalmente los lagos Araucanos, con excepción de los lagos Caburgua, Puyehue y Rupancho, que presentaron limitación solamente por Nitrógeno (**Tabla 5**).

Tabla 5. Valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} (Razón de Redfield) en diferentes condiciones hidrodinámicas en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. V = verano, P = primavera, O = otoño, I = invierno. N_{NIT} = Nitrógeno inorgánico total (NO_2+NO_3), P_{PIT} = Fósforo inorgánico (P- PO_4).

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	N_{NIT}/P_{PIT}
Laguna Aculeo	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	P (200 de 232 casos)
	Puntilla León		
	Casa de Bomba		
Lago Caburgua	Centro	Estratificación (V)	N (59 de 100 casos)
	Norte	Mezcla (O-I-P)	N (119 de 175 casos)
	Desagüe	Estratificación (P-V)	N (60 de 60 casos)
		Mezcla (O-I)	N (42 de 59 casos)
Lago Calafquen	Centro	Estratificación (V)	N (6 de 9 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N-P (12 de 27 casos)
	Coñaripe Lican-Ray	Estratificación (P-V)	N (27 de 45 casos)
		Mezcla (O-I)	P (17 de 24 casos)
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	N (7 de 12 casos)
		Mezcla (O-I)	P (24 de 40 casos)
	Centro Chamiza	Estratificación (V)	N (21 de 32 casos)
		Mezcla (O-I-P)	P (48 de 76 casos)
Lago Colico	Centro	Estratificación (V-O)	P (34 de 36 casos)
	Bahía Trafampulli		
	Puerto Colico		
Lago Lanalhue	Puerto Paleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto Manzano Centro	Estratificación (P-V)	N-P (108 de 194 casos)
		Mezcla (O-I)	P (111 de 186 casos)
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	Estratificación (V)	N (75 de 108 casos)
		Mezcla (O-I-P)	P (108 de 202 casos)
	Puerto Octay Frutillar	Mezcla (P-V-O-I)	N-P (154 de 293 casos)
Lago LLeulleu	Centro	Mezcla (I)	P (6 de 6 casos)
	Sur		
Lago Maihue	Centro Los Llollles $Z_{m\acute{a}x}$	Estratificación (V)	N (18 de 31 casos)
		Mezcla (O-I-P)	P (32 de 51 casos)
Lago Neltume	Centro	Estratificación (P-V)	N-P (8 de 15 casos)
	Neltume	Mezcla (O)	N (4 de 5 casos)
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	Estratificación (V)	N (27 de 28 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N-P (57 de 113 casos)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	N (9 de 15 casos)
		Mezcla (V-O-I)	N-P (20 de 40 casos)
Lago Puyehue	Entre Lagos Caulle Centro	Estratificación (O-V-P)	N (21 de 27 casos)
Lago Ranco	Futrón Riñinahue Puerto Nuevo	Estratificación (V)	N (57 de 83 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N-P (118 de 222 casos)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	P (109 de 207 casos)
	Bahía Riñihue		
	Enco	Estratificación (V)	N (18 de 31 casos)

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	N _{NIT} /P _{PIT}
	Centro	Mezcla (O-I-P)	P (66 de 101 casos)
Lago Rupanco	Puerto Gaviota	Estratificación (P)	N (14 de 17 casos)
	Sector Cascada		
	Desagüe		
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Estratificación (V)	N (57 de 93 casos)
	Desagüe Sur	Mezcla (O-I-P)	P (134 de 203 casos)
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas	Estratificación (V)	N (34 de 53 casos)
	Centro	Mezcla (O-I-P)	N-P (66 de 163 casos)
	Petrohue Peulla		
Laguna Torca	Centro	Estratificación (V-I)	N (2 de 2 casos)
Lago Vichuquen	Bahía Vichuquen	Estratificación (I) Mezcla (V)	- N (2 de 2 casos)
	Centro	Estratificación (V-I)	N (3 de 3 casos)
	Z _{máx}	Estratificación (V) Mezcla (I)	N (2 de 2 casos) -
Lago Villarrica	Molco Pucón	Estratificación (V)	N (85 de 115 casos)
	Villarrica Centro La Poza	Mezcla (O-I-P)	N-P (147 de 287 casos)

Limitación por Nitrógeno (N)

Limitación por Fósforo (P)

7.4 Variación estacional de la limitación por nutrientes.

La variación estacional de la limitación por nutrientes medida a través de la razón N_{NIT}/P_{PIT} en los sistemas acuáticos de la Red de Control de Lagos se presenta en la **Tabla 6**. Los lagos Aculeo, Colico, LLeulleu fueron Limitados por Fósforo en todos los periodos estacionales analizados (celdas coloreadas de amarillo en la **Tabla 6**). Por el contrario, los lagos Araucanos y el lago Vichuquen presentaron una alta frecuencia de eventos de limitación por Nitrógeno, principalmente durante los periodos de primavera y verano (celdas coloreadas con celeste en la **Tabla 6**). Una condición altamente frecuente entre los lagos Araucanos fue detectar durante invierno una limitación por Fósforo de la producción biológica (**Tabla 6**).

Cabe mencionar que la disminución de la concentración de Nitrógeno respecto del Fósforo durante el periodo estival usualmente está asociada al hecho que en primavera y verano ocurre frecuentemente una estratificación en los lagos y principalmente en los lagos Araucanos, tal como se indicó más arriba. En este periodo de mayor temperatura se genera una columna de agua estratificada y la ocurrencia de tres estratos hidrodinámicamente aislados: Epilimnion, Metalimnion e Hipolimnion. Cada estrato presenta condiciones diferentes de temperatura, irradianza, calidad del

agua, estabilidad física y de biota acuática. Entre estos tres estratos, el más importante en términos de la proliferación algal es el Metalimnion, el cual se ubica sub-superficialmente lo cual genera un ambiente lumínico favorable para la mayoría de las especies del ensamble fitoplanctónico. La mayor estabilidad física de este estrato promueve la disponibilidad de nutrientes y por ello el desarrollo de microalgas planctónicas. También, existe proliferación de microalgas tolerantes a mayores niveles de radiación solar en el estrato superficial (Epilimnion). Consecuentemente y debido a la mayor abundancia de microalgas que se observa en primavera y verano en las capas superiores de los lagos, es razonable esperar un mayor consumo de nutrientes particularmente de Nitrógeno, cuya disponibilidad es menor en relación al Fósforo en cuencas con alta escorrentía superficial.

Tabla 6. Valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} (Razón de Redfield) medidos en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA entre periodos estacionales. P = Fósforo, N = Nitrógeno.

Sistema	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna Aculeo	P (57 de 60 casos)	P (45 de 57 casos)	P (47 de 53 casos)	P (52 de 62 casos)
Lago Caburgua	N (78 de 84 casos)	N (59 de 86 casos)	N (73 de 108 casos)	N (43 de 89 casos) P (46 de 89 casos)
Lago Calafquen	N (13 de 19 casos)	N (47 de 59 casos)	N (24 de 42 casos)	N (24 de 43 casos)
Lago Chapo	P (32 de 45 casos)	N (12 de 25 casos) P (13 de 25 casos)	N (25 de 46 casos)	P (35 de 58 casos)
Lago Colico	-	-	P (16 de 18 casos)	P (18 de 18 casos)
Lago Lanalhue	P (71 de 103 casos)	P (59 de 87 casos)	N (57 de 106 casos)	N (43 de 83 casos) P (40 de 83 casos)
Lago Llanquihue	P (76 de 134 casos)	N (65 de 129 casos) P (64 de 129 casos)	N (139 de 216 casos)	P (70 de 127 casos)
Lago LLeulleu	P (6 de 6 casos)	-	-	-
Lago Maihue	P (49 de 55 casos)	N (38 de 55 casos)	N (39 de 62 casos)	P (37 de 68 casos)
Lago Neltume	-	N (5 de 10 casos) P (5 de 10 casos)	N (3 de 5 casos) P (2 de 5 casos)	N (4 de 5 casos)
Lago Panguipulli	P (43 de 52 casos)	N (29 de 53 casos)	N (45 de 46 casos)	N (32 de 51 casos)
Lago Puyehue	-	N (14 de 18 casos)	N (8 de 17 casos) P (9 de 17 casos)	N (7 de 9 casos)
Lago Ranco	P (49 de 72 casos)	N (54 de 70 casos)	N (57 de 83 casos)	P (53 de 80 casos)
Lago Riñihue	P (63 de 75 casos)	N (55 de 99 casos)	N (49 de 79 casos)	P (51 de 88 casos)

Sistema	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Lago Rupanco	-	N (14 de 17 casos)	N (17 de 17 casos)	-
Laguna Grande de San Pedro	P (57 de 80 casos)	P (47 de 63 casos)	N (46 de 82 casos)	N (29 de 59 casos) P (30 de 59 casos)
Lago Todos Los Santos	P (23 de 40 casos)	N (46 de 56 casos)	N (35 de 53 casos)	N (34 de 71 casos) P (37 de 71 casos)
Laguna Torca	-	.-	N (2 de 2 casos)	P (2 de 2 casos)
Lago Vichuquen	-	.-	N (7 de 7 casos)	N (7 de 7 casos)
Lago Villarrica	N (40 de 79 casos) P (39 de 79 casos)	P (75 de 132 casos)	N (85 de 115 casos)	N (49 de 75 casos)

Limitación por Nitrógeno (N)	Limitación por Fósforo (P)	Limitación por Nitrógeno y Fósforo (N-P)
------------------------------	----------------------------	--

7.5 Análisis de la concentración del nutriente limitante (NL)

7.5.1 Lagos Limitados por Fósforo

La **Tabla 7** presenta la concentración del nutriente limitante para cada lago en cada condición hidrodinámica. Los lagos de la Red de Control de Lagos cuya producción biológica estuvo limitada por Fósforo fueron la laguna Aculeo, el lago Colico, lago Lanalhue y la laguna LLeulleu (**Tabla 7**). El análisis comparativo entre los lagos limitados por Fósforo mostró que hubo diferencias de la concentración promedio de Fósforo inorgánico (P_{PII}) entre ellos. La laguna Aculeo presentó la mayor concentración promedio de Fósforo inorgánico y fue de 7,0 $\mu\text{g/l}$, la cual varió entre 3,0 y 85 $\mu\text{g/L}$ (**Tabla 7**). Los lagos Colico, Lanalhue y LLeulleu presentaron valores de concentración de fósforo inorgánico similares de alrededor de 3,0 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**).

En relación a la concentración de Fósforo total (P_{PTOT}) se puede indicar que la laguna Aculeo mostró la mayor concentración promedio de Fósforo total que alcanzó a 120 $\mu\text{g/l}$, con un rango de variación entre 28 y 442 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). Esta concentración sería representativa de todo el ciclo anual ya que para este sistema se determinó una condición permanente de mezcla de la columna de agua. Las concentraciones promedio de P_{PTOT} más bajas entre los sistemas limitados por Fósforo fueron encontradas en los lagos Colico y LLeulleu, en donde se registraron valores promedio de aproximadamente 3,0 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). El lago Colico mostró una concentración promedio baja de P_{PTOT} (3,0 $\mu\text{g/l}$, 3,0 – 5,0 $\mu\text{g/l}$), la cual estuvo asociada principalmente al periodo de mezcla (otoño) (**Tabla 7**). El lago LLeulleu mostró una concentración promedio de P_{PTOT} de 3,0 $\mu\text{g/l}$, (3,0 – 3,0 $\mu\text{g/l}$) (**Tabla 7**).

Tabla 7. Valores de concentración de la fracción inorgánica y fracción orgánica del Nutriente limitante (NL) en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. El color de la celda indica si se presenta la concentración de Fósforo (amarillo) o la concentración de Nitrógeno (celeste). N_{NIT} = Nitrógeno inorgánico total (NO_2+NO_3 , $\mu g/l$), P_{PIT} = Fósforo inorgánico ($P-PO_4$, $\mu g/l$), N_{NOT} = Nitrógeno orgánico total ($\mu g/l$) y P_{POT} = Fósforo orgánico total ($\mu g/l$).

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente Limitante (NL)	Concentración de Fracción Inorgánica ($N_{NIT} - P_{PIT}$)	Concentración de Fracción Orgánica ($N_{NOT} - P_{POT}$)
Laguna Aculeo	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	P	7,0 (3,0 - 85)	120 (10 - 442)
	Puntilla León				
	Casa de Bomba				
Lago Caburgua	Centro Norte	Estratificación (V)	N	70 (3,0 - 610)	166 (11 - 3.030)
		Mezcla (O-I-P)		33 (3,0-197)	55 (13-307)
	Desagüe	Estratificación (P-V)		42 (3,0 - 201)	70 (13-267)
		Mezcla (O-I)		23 (3,0 - 96)	38 (13 - 126)
Lago Calafquen	Centro	Estratificación (V)	N	785 (8,0-1.506)	1.019 (40-1.854)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	6 (3,0-21)	10 (3-27)
	Coñaripe Lican-Ray	Estratificación (P-V)	N	365 (3,0-2.406)	435 (13-2.646)
		Mezcla (O-I)	P	7 (3,0-50)	11 (3-36)
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	N	22 (3,0-81)	32 (13-91)
		Mezcla (O-I)	P	4,0 (3,26)	12 (3,0-51)
	Centro Chamiza	Estratificación (V)	N	32 (124-3)	44 (134-13)
		Mezcla (O-I-P)	P	4,5 (3,0-36)	10,1 (3,0-48)
Lago Colico	Centro	Estratificación (V-O)	P	3,0 (3,0-5,0)	3,0 (3,0 - 5,0)
	Bahía Trafampulli				
	Puerto Colico				
Lago Lanalhue	Puerto Paleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto anzano Centro	Estratificación (P-V)	N-P	3,4 (3,0-20)	21 (3,0-200)
		Mezcla (O-I)	P	3,5 (3,0-30)	19 (3,0-95)
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	Estratificación (V)	N	37 (3,0 - 276)	54 (13-286)
		Mezcla (O-I-P)	P	3,6 (3,0 - 23)	18 (1 - 200)
	Puerto Octay Frutillar	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	38 (3,0 - 359)	59 (13 - 369)
Lago LLeulleu	Centro	Mezcla (I)	P	3,0 (3,0 - 3,0)	3,0 (3,0 - 3,0)
	Sur				
Lago Maihue	Centro Los Llolles $Z_{m\acute{a}x}$	Estratificación (V)	N	33 (0,3 - 159)	55 (2,7 - 259)
		Mezcla (O-I-P)	P	5 (0,2 - 29)	9 (3,1 - 34)
Lago	Centro	Estratificación (P-V)	N-P	51 (4,0-159)	70 (6,0-199)

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente Limitante (NL)	Concentración de Fracción Inorgánica (N _{NIT} - P _{PIT})	Concentración de Fracción Orgánica (N _{NOT} - P _{POT})
Neltume	Neltume	Mezcla (O)	N	32 (4,0-99)	62 (34-130)
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	Estratificación (V)	N	10 (3,0-24)	31 (15-48)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	4,2 (3,0-18)	8,8 (1,0-30)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	N	54 (3,0-201)	91 (9,0-224)
		Mezcla (V-O-I)	N-P	4,3 (3,0-23)	8,9 (1,0-22)
Lago Puyehue	Entre Lagos Cauille Centro	Estratificación (O-V-P)	N	51 (7,5-133)	105 (34-200)
Lago Ranco	Futróno Riñinahue Puerto Nuevo	Estratificación (V)	N	26 (1-106)	45 (126-11)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	5,0 (27-3,0)	9,0 (27-4,0)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	4,4 (3,0-36)	8,1 (3,0-25)
	Bahía Riñihue				
	Enco Centro	Estratificación (V)	N	31 (3,0-135)	50 (14-145)
		Mezcla (O-I-P)	P	4,9 (3,0-46)	7,3 (3,0-18)
Lago Rupanco	Puerto Gaviota	Estratificación (P)	N	14 (4,0-34)	37 (25-68)
	Sector Cascada				
	Desagüe				
Laguna Grande de San Pedro	Centro Desagüe Sur	Estratificación (V)	N	48 (4,0-406)	100 (4,0-846)
		Mezcla (O-I-P)	P	5,0 (3,0-91)	31 (3,0-200)
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas Centro Petrohue Peulla	Estratificación (V)	N	32 (3,0 - 139)	44 (13 - 149)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	4 (3,0 - 39)	7 (3 - 23)
Laguna Torca	Centro	Estratificación (V-I)	N	64 (61-66)	144 (141-146)
Lago Vichuquen	Bahía Vichuquen	Estratificación (I)	-	-	-
	Centro	Estratificación (V-I)	N	32 (25-41)	362 (51-971)
		Z _{máx}		Estratificación (V)	28 (20-36)
Lago Villarrica	Molco Pucón Villarrica Centro	Estratificación (V)	N	61 (3,0-810)	178 (13-3.000)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	11 (3,0-104)	25 (2,0-200)

Limitación por Nitrógeno (N)

Limitación por Fósforo (P)

El análisis temporal de la concentración de Fósforo a una escala anual mostró que la concentración promedio de Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) de estos lagos limitados por Fósforo fue baja en todos los periodos estacionales. Frecuentemente, la concentración de **P_{PIT}** en estos sistemas varió entre 3 y 13 µg/l (**Tabla 8**). Usualmente, la mayor concentración de **P_{PIT}** fue detectada en los periodos de otoño e invierno (**Tabla 8**), ello probablemente asociado a la condición de mezcla que presentan

estos sistemas en estos periodos. En los periodos de primavera y verano frecuentemente hubo menores concentraciones de P_{PIT} (Tabla 8).

Se observó un patrón estacional significativo de variación de la concentración de Fósforo total (P_{PTOT}) en los 5 sistemas limitados por Fósforo. Durante el periodo de verano se detectó una disminución de la concentración de P_{PTOT} respecto de los otros periodos estacionales, lo cual fue particularmente evidente en la laguna de Aculeo (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de la concentración del nutriente limitante Nitrógeno (N_{NIT} , N_{TOT} , $\mu\text{g/l}$) y/o Fósforo (P_{PIT} , P_{PTOT} , $\mu\text{g/l}$) medido en los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA a través de periodos estacionales.

Sistema	Fracción Nutriente	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna Aculeo	Inorgánica	5,5 (3,0 - 32)	3,3 (3,0 - 19)	7,9 (3,0 - 83)	13 (3,0 - 85)
	Orgánica	130 (47-442)	106 (10-350)	97 (43-188)	149 (28-427)
Lago Caburgua	Inorgánica	31 (3,0-148)	46 (3,0-197)	61 (3,0-610)	N_{NIT} [20 (3,0-96)] P_{PIT} [3,5 (3,0-16)]
	Orgánica	44 (14-168)	79 (13-307)	136 (11-3.030)	N_{TOT} [38 (113-126)] P_{PTOT} [6,8 (3,0-12)]
Lago Calafquen	Inorgánica	22 (18-26)	47 (3,0-201)	1.048 (8,0-2.406)	188 (8,0-336)
	Orgánica	32 (28-36)	73 (13-221)	1.249 (38-2.646)	206 (18-377)
Lago Chapo	Inorgánica	5,6 (3,0-36)	N_{NIT} [42 (3,0-95)] P_{PIT} [3,9 (3,0-16)]	28 (3,0-124)	3,7 (3,0-16)
	Orgánica	16 (3,2-51)	N_{TOT} [55 (13-115)] P_{PTOT} [6,9 (3,0-16)]	40 (13-134)	6,5 (3,0-14)
Lago Colico	Inorgánica	-	-	3,6 (3,0-5,0)	3,0 (3,0-3,0)
	Orgánica	-	-	3,6 (3,0-4,9)	3,0 (3,0-3,0)
Lago Lanalhue	Inorgánica	3,8 (3,0-30)	3,1 (3,0-13)	40 (3,0-506)	N_{NIT} [39 (1,0-176)] P_{PIT} [3,3 (3,0-20)]
	Orgánica	18 (3,0-37)	46 (3,0-200)	80 (16-866)	N_{TOT} [68 (11-220)] P_{PTOT} [20 (3,0-95)]
Lago Llanquihue	Inorgánica	4,2 (3,0-23)	N_{NIT} [51 (3,0-201)] P_{PIT} [3,2 (3,0-10)]	38 (3,0-276)	3,1 (3,0-6,0)
	Orgánica	88,8 (3,0-50)	N_{TOT} [72 (13-211)] P_{PTOT} [28 (1,0-200)]	54 (13-286)	9,9 (1,0-42)
Lago LLeulleu	Inorgánica	3,0 (3,0-3,0)	-	-	-
	Orgánica	3,0 (3,0-3,0)	-	-	-
Lago Maihue	Inorgánica	3,2 (2,0-6,0)	26 (0,7-103)	33 (0,3-159)	5,3 (3,8-17)
	Orgánica	10 (4,5-26)	41 (2,2-124)	55 (2,7-259)	6,5 (3,8-29)

Sistema	Fracción Nutriente	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Lago Neltume	Inorgánica	-	N _{NIT} [34 (4,0-87)] P _{PIT} [2,9 (2,0-6,0)]	N _{NIT} [86 (31-159)] P _{PIT} [11 (8,0-14)]	32 (4,0-99)
	Orgánica	-	N _{TOT} [41 (6,0-89)] P _{PTOT} [6,3 (3,0-9,9)]	N _{TOT} [126 (61-199)] P _{PTOT} [11 (7,6-14)]	62 (34-130)
Lago Panguipulli	Inorgánica	3,6 (3,0-9,0)	53 (3,0-201)	70 (3,0-1.006)	41 (3,0-237)
	Orgánica	10 (4,5-21)	94 (9,0-258)	118 (13-1.156)	55 (13-247)
Lago Puyehue	Inorgánica	-	37 (7,5-73)	N _{NIT} [71 (16-133)] P _{PIT} [12 (5,0-21)]	42 (11-128)
	Orgánica	-	103 (34-184)	N _{TOT} [101 (36-173)] P _{PTOT} [12 (5,1-21)]	119 (82-200)
Lago Ranco	Inorgánica	4,5 (3,0-27)	17 (1,7-71)	26 (1,0-106)	5,0 (3,0-19)
	Orgánica	11 (5,4-26)	38 (12-124)	45 (11-126)	7,3 (4,0-27)
Lago Riñihue	Inorgánica	5,6 (3,0-39)	12 (85-3,0)	32 (3,0-139)	3,8 (3,0-16)
	Orgánica	7,3 (3,0-23)	41 (13-113)	44 (13-149)	6,6 (3,0-14)
Lago Rupanco	Inorgánica	-	14 (4,0-34)	36 (16-87)	-
	Orgánica	-	37 (25-68)	56 (36-107)	-
Laguna Grande de San Pedro	Inorgánica	7,1 (3,0-91)	4,0 (3,0-20)	48 (4,0-406)	N _{NIT} [46 (3,0-375)] P _{PIT} [3,6 (3,0-16)]
	Orgánica	19 (3,0-70)	56 (6,6-200)	100 (4,0-846)	N _{TOT} [82 (13-385)] P _{PTOT} [20 (13-53)]
Lago Todos Los Santos	Inorgánica	5,6 (3,0-39)	12 (3,0-85)	32 (3,0-139)	N _{NIT} [47 (3,0-289)] P _{PIT} [3,8 (3,0-16)]
	Orgánica	7,2 (3,0-23)	41 (13-113)	44 (13-149)	N _{TOT} [62 (13-299)] P _{PTOT} [6,6 (3,0-14)]
Laguna Torca	Inorgánica	-	-	64 (61-66)	33 (12-53)
	Orgánica	-	-	144 (141-146)	54 (53-56)
Lago Vichuquen	Inorgánica	-	-	41 (20-117)	205 (125-743)
	Orgánica	-	-	207 (51-971)	404 (226-1.407)
Lago Villarrica	Inorgánica	N _{NIT} [64 (4,3-188)] P _{PIT} [14 (3,0-104)]	10 (3,0-70)	61 (3,0-810)	46 (3,0-222)
	Orgánica	N _{TOT} [85 (14-283)] P _{PTOT} [16 (4,7-66)]	34 (3,0-200)	178 (13-3.000)	78 (13-261)

Limitación por Nitrógeno (N)	Limitación por Fósforo (P)	Limitación por Nitrógeno y Fósforo (N-P)
------------------------------	----------------------------	--

7.5.2 Sistemas acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno

Los sistemas acuáticos cuya producción biológica estuvo limitada por Fósforo y Nitrógeno fueron los lagos: Calafquen, Chapo, Llanquihue, Maihue, Panguipulli, Ranco, Riñihue, Grande de San Pedro, Todos Los Santos y Villarrica (**Tabla 7**). En estos lagos se observó que la disponibilidad de Nitrógeno y Fósforo es limitante para la producción biológica dependiendo de la condición hidrodinámica (**Tabla 7**). Usualmente se observó que durante la estratificación de verano se generó limitación por Nitrógeno y que durante la mezcla que usualmente ocurre en el resto del año se generó limitación por Fósforo (**Tabla 7**). En este grupo de lagos se incluyó a la mayoría de los lagos Araucanos y a la laguna Grande de San Pedro (**Tabla 7**).

- Periodo de mezcla y limitación por Fósforo

La concentración promedio de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) entre la mayoría de los lagos Araucanos y la laguna Grande de San Pedro que presentaron limitación por Fósforo durante el periodo de mezcla varió entre 3,6 y 11 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). Los lagos Araucanos que presentaron los menores valores de concentración de P_{PIT} fueron los lagos Llanquihue, Panguipulli, Riñihue y Todos Los Santos. La concentración de P_{PIT} medida en estos cuatro lagos varió entre 3,0 y 4,9 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). Los lagos Araucanos que presentaron los mayores valores de concentración de P_{PIT} fueron los lagos Villarrica y Calafquen. Las concentraciones máximas de P_{PIT} medidas en estos dos lagos varió entre 21 y 50 $\mu\text{g/l}$ en el lago Calafquen y fue de 104 $\mu\text{g/l}$ en el lago Villarrica (**Tabla 7**).

- Periodo de estratificación y limitación por Nitrógeno

La concentración promedio de Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) en los lagos Limitados por fosforo (mezcla) y Nitrógeno (estratificación) varió entre 1,0 y 2.406 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). Los valores mínimos de N_{NIT} variaron entre 1 y 3 $\mu\text{g/l}$ y los valores máximos variaron entre 1.506 y 2.406 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). La concentración de N_{NIT} fue variable y dependió de la condición hidrodinámica que mostraba la columna de agua (**Tabla 7**).

Los lagos Araucanos limitados por Fósforo y Nitrógeno mostraron valores bajos de concentración de Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) durante un ciclo anual (**Tabla 8**). La concentración promedio de N_{NIT} obtenida entre periodos estacionales en estos lagos varió entre 12 y 70 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 8**). Hubo un patrón de variación de la concentración de N_{NIT} asociado a la condición estacional de los lagos. Las menores concentraciones promedio de N_{NIT} fueron frecuentemente encontradas en primavera y fueron mayores en verano. Los rangos de concentración de N_{NIT} medidos en primavera variaron entre 12 y 41 $\mu\text{g/l}$ y el rango de concentración de N_{NIT} en verano varió entre 26 y 70 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 8**).

Los lagos limitados por Fósforo y Nitrógeno que alcanzaron mayores valores de Nitrógeno total (N_{NTOT}) fueron los lagos Calafquen, Vichuquen y Villarrica (**Tabla 7**). En estos lagos, los mayores valores de N_{NTOT} variaron entre 971 y 3.000 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). Los valores de menor concentración promedio de N_{NTOT} en estos lagos varió entre 13 y 60 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 7**). El análisis temporal a una escala anual de la concentración de Nitrógeno total (N_{NTOT}) mostró que la concentración promedio de N_{NTOT} fue significativamente variable entre periodos estacionales en la mayoría de los lagos (**Tabla 8**). Los lagos usualmente presentaron mayores valores de concentración de N_{NTOT} en verano y frecuentemente menor concentración en invierno (**Tabla 8**). Este patrón fue evidente en el lago Calafquen (**Tabla 8**).

7.6 Determinación de la condición trófica de los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA.

La determinación de la condición trófica de los cuerpos de agua de la Red de Control de lagos de la DGA fue realizado sobre la base de la concentración del pigmento Clorofila *a*, ya que este parámetro es un indicador de biomasa y por ello un indicador del estado actual de trofía siguiendo los criterios y valores definidos en la clasificación de Smith et al., 1999. Sin embargo, el análisis de la condición trófica también fue apoyado por el análisis de la concentración de Fósforo total y Nitrógeno total, los que indican una potencialidad que tendría el sistema acuático para modificar su actual condición trófica en función de la concentración de estos nutrientes.

El análisis de la concentración de Clorofila *a* en los cuerpos de agua de la Red de Control de lagos de la DGA mostró que los sistemas acuáticos presentaron significativas diferencias en la condición trófica y a continuación se indican los resultados.

- Sistemas Hipereutróficos

La condición más alta de trofía encontrada entre los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA se detectó en la laguna Aculeo y en la laguna Torca, los cuales mostraron una condición de Hipereutrofía (**Tabla 9**). La laguna Aculeo presentó un valor promedio de concentración de Clorofila *a* de 32 $\mu\text{g/l}$ (0,1-147 $\mu\text{g/l}$) y la laguna Torca un valor promedio de Clorofila *a* de 126 $\mu\text{g/l}$ (115-137 $\mu\text{g/l}$) (**Tabla 9**). La condición de mezcla permanente en la columna de agua probablemente conlleve a observar esta condición durante todo el año en la laguna Aculeo. Para el caso de la laguna Torca no se disponen de datos de temperatura en la columna de agua en la mayor parte del ciclo anual.

El análisis de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para la laguna Aculeo mostró una alta coherencia entre los valores de Fósforo total y los valores de Clorofila *a*. En la **Tabla 10** se muestran los resultados de Fósforo total para la laguna Aculeo, los que indican que este sistema al

ser limitado por Fósforo y estar sometido a una alta concentración de este nutriente presente una condición de Hipereutrofia. De mantenerse los altos de fósforo, este sistema acuático mantendrá en su actual nivel trófico. Por otro lado, la laguna Torca es limitada por Nitrógeno y sin embargo los niveles de concentración de este nutriente son bajos (Oligotrofia, **Tabla 10**). Estos niveles de concentración de Nitrógeno no están explicando el actual nivel trófico de la laguna Torca por lo que probablemente existan otros factores explicativos de los altos niveles de biomasa en la laguna Torca (por ejemplo, irradiación).

Tabla 9. Determinación de la condición trófica en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA en función de la concentración de Clorofila *a*.

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)
Laguna Aculeo	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	32 (0,1 - 147)
	Puntilla León		
	Casa de Bomba		
Lago Caburgua	Centro Norte	Estratificación (V)	0,95 (0,1 - 5,1)
		Mezcla (O-I-P)	1,20 (0,1 - 4,5)
	Desagüe	Estratificación (P-V)	0,99 (0,2 - 2,4)
		Mezcla (O-I)	1,34 (0,1 - 3,7)
Lago Calafquen	Centro	Estratificación (V)	0,42 (0,2 - 0,8)
		Mezcla (O-I-P)	1,0 (0,2 - 3,1)
	Coñaripe Lican-Ray	Estratificación (P-V)	0,55 (0,1 - 3,1)
		Mezcla (O-I)	1,20 (0,14 - 3,8)
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	2,97 (0,5 - 8,2)
		Mezcla (O-I)	2,20 (0,4 - 4,3)
	Centro Chamiza	Estratificación (V)	3,04 (0,12 - 35,1)
		Mezcla(O-I-P)	2,12 (0,40 - 5,20)
Lago Colico	Centro	Estratificación (V-O)	0,36 (0,03 - 0,80)
	Bahía Trafampulli		
	Puerto Colico		
Lago Lanalhue	Puerto Peleco Frente a Hostería Playa Blanca	Estratificación(P-V)	5,66 (0,2 - 30)
		Mezcla (O-I)	9,4 (0,6 - 42)
	Puerto Manzano Centro		
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	Estratificación (V)	0,53 (0,10 - 2,53)
		Mezcla (O-I-P)	0,86 (0 - 2,70)
	Puerto Octay Frutillar	Mezcla (P-V-O-I)	0,82 (0,1 - 3,3)
Lago LLeulleu	Centro	Mezcla (I)	1,15 (0,7 - 1,4)
	Sur		
Lago Maihue	Centro Los Lloles	Estratificación (V)	0,56 (0,08 - 3,1)
	Zmáx	Mezcla (O-I-P)	0,94 (0,09 - 8,6)

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Clorofila a (µg/l)
Lago Neltume	Centro	Estratificación (P-V)	0,88 (0,22 - 1,713)
	Neltume	Mezcla (O)	0,99 (0,3 - 2,2)
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	Estratificación (V)	0,82 (0,2 - 3,3)
		Mezcla (O-I-P)	1,6 (0,14 - 8,1)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	1,45 (0,6 - 2,9)
		Mezcla (V-O-I)	2,52 (0,4 - 13,4)
Lago Puyehue	Entre Lagos	Estratificación (O-V-P)	1,35 (0,08 - 3,84)
	Caulle		
	Centro		
Lago Ranco	Futrón	Estratificación (V)	0,32 (0,1 - 1,38)
	Riñinahue Puerto Nuevo	Mezcla (O-I-P)	1,17 (0,1 - 5,1)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	1,49 (0,1 - 7,2)
	Bahía Riñihue		
	Enco	Estratificación (V)	0,38 (0,1 - 1,2)
	Centro	Mezcla (O-I-P)	1,37 (0,1 - 5,1)
Lago Rupanco	Puerto Gaviota	Estratificación (P)	0,75 (0,3 - 1,5)
	Sector Cascada		
	Desagüe		
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Estratificación (V)	5,48 (0,5 - 29)
	Desagüe Sur	Mezcla(O-I-P)	5,20 (0,6 - 14,5)
Lago Todos Los Santos	Isla Margarita	Estratificación (V)	0,47 (0,08 - 2,10)
	Centro Petrohue Peulla	Mezcla (O-I-P)	0,58 (0,1 - 1,40)
Laguna Torca	Centro	Estratificación (V-I)	126 (115 - 137)
Lago Vichuquen	Bahía Vichuquen	Estratificación (I)	-
		Mezcla (V)	11,0 (10,0 - 11,0)
	Centro	Estratificación (V- I)	8,24 (2,3 - 12,0)
	Zmáx	Estratificación (V) Mezcla (I)	9,57 (8,1 - 11,0)
Lago Villarrica	Molco Pucón Villarrica	Estratificación (V)	1,28 (0,05 - 8,7)
		Centro La Poza	Mezcla (O-I-P)

Condición trófica	Fósforo total (µg/l)	Nitrógeno total (µg/l)	Clorofila a (µg/l)
Oligotrofia	< 10	< 350	< 3,5
Mesotrofia	10-30	350 - 650	3,5 - 9
Eutrofia	30 -100	650 - 1.200	9-25
Hipereutrofia	> 100	> 1.200	> 25

- Sistemas Eutróficos

La condición de Eutrofia fue encontrada en el lago Lanalhue durante el periodo de mezcla de la columna de agua (otoño-invierno) y en el lago Vichuquen durante los periodos de mezcla (verano, estación Bahía Vichuquen) y de estratificación en verano (**Tabla 9**). El lago Lanalhue presentó un valor promedio de concentración de Clorofila *a* de 9,4 µg/l (0,6-42 µg/l) y el lago Vichuquen un valor promedio de 11 µg/l (10-11 µg/l, en Bahía Vichuquen) y de 9,57 µg/l (8,1-11,0 µg/l, en Z_{máx}) (**Tabla 9**). La condición de mezcla generalmente detectada en estos lagos en la columna de agua probablemente conlleva a observar esta condición de Eutrofia.

El análisis de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para el lago Lanalhue mostró que el lago Lanalhue al ser limitado por Fósforo y estar sometido a un valor de mediana concentración de Fósforo (19 – 21 µg/l, **Tabla 10**) disminuya su condición de trofia y evolucione hacia niveles mesotróficos.

Por otro lado, el lago Vichuquen tiene niveles de producción biológica (Clorofila *a*) que lo tipifican como un sistema acuático Meso-eutrófico (**Tabla 9**). Por otra parte, debido a que la producción biológica del lago Vichuquen está limitada por Nitrógeno y a que los niveles de Nitrógeno total en el lago Vichuquen alcanzan niveles oligo-mesotróficos (**Tabla 10**), es predecible que haya una disminución del nivel trófico en el lago Vichuquen.

- Sistemas Mesotróficos

La condición de Mesotrofia fue encontrada en el lago Lanalhue durante el periodo de estratificación de la columna de agua (primavera-verano) y en la Laguna Grande de San Pedro durante los periodos de mezcla y estratificación de la columna de agua (**Tabla 9**). El lago Lanalhue presentó un valor promedio de concentración de Clorofila *a* durante la estratificación de 5,66 µg/l (0,2-30 µg/l) y la laguna Grande de San Pedro un valor promedio de 5,48 µg/l (0,5-29 µg/l) durante el periodo de estratificación y de 5,20 µg/l (0,6-14,5 µg/l) durante el periodo de mezcla (**Tabla 9**).

El análisis de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para el lago Lanalhue mostró que este sistema al ser limitado por Fósforo y estar sometido a concentraciones Mesotróficas de Fósforo (19 – 21 µg/l, **Tabla 10**) mantenga la condición de trofia durante la estratificación durante primavera y verano.

Por otro lado, la laguna Grande de San Pedro tiene niveles de producción biológica (Clorofila *a*) que lo tipificaron como un sistema acuático Mesotrófico (**Tabla 9**). Sin embargo, debido a que la producción biológica de la laguna Grande de San Pedro está limitada por Nitrógeno durante la

estratificación de verano y a que los niveles de Nitrógeno total en este periodo son bajos y alcanzan niveles oligotróficos (**Tabla 10**), es predecible que haya una disminución del nivel trófico durante el verano en la laguna Grande de San Pedro. Sin embargo, durante el periodo de mezcla (Otoño-invierno-primavera) de la laguna Grande de San Pedro, este sistema está limitado por Fosforo y como durante este periodo la concentración de fósforo es alta y alcanza niveles eutróficos (**Tabla 10**), es predecible que en este periodo de mezcla aumente el nivel de trofia.

- Sistemas Oligotróficos

La condición de Oligotrofia fue encontrada en la mayoría de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. Estos lagos fueron: Caburgua, Calafquen, Chapo, Colico, Llanquihue, LLeulleu, Maihue, Neltume, Panguipulli, Puyehue, Ranco, Riñihue, Rupanco, Todos Los Santos, y Villarrica (**Tabla 9**). Los valores de concentración de Clorofila **a** se indican en la **Tabla 9**, en la cual se observa que el rango total de valores promedio de Clorofila **a** varió entre 0,32 $\mu\text{g/l}$ y 3,04 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 9**). Todos los lagos oligotróficos presentaron concentraciones promedio de Clorofila **a** bajas (oligotróficas), lo que fue independiente de la condición hidrodinámica de la columna de agua (**Tabla 9**).

Los lagos oligotróficos más arriba mencionados presentaron una condición de limitación de su producción biológica variable, lo cual fue dependiente de la condición hidrodinámica y del periodo estacional. Durante el periodo de estratificación en verano fue frecuente detectar limitación por Nitrógeno entre estos Lagos (**Tabla 5**). La concentración de nitrógeno total en la mayoría de los lagos Araucanos durante el verano varió desde 8,1 hasta 178 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 10**), lo cual revela que la concentración actual del nutriente limitante permitiría mantener los actuales niveles de oligotrofia en estos lagos en el periodo de verano. Por otra parte, la mayoría de los lagos Araucanos oligotróficos presentaron limitación por Fósforo durante el periodo de mezcla que usualmente se detectó en otoño, invierno y primavera (**Tabla 5**). En estos periodos, los niveles de concentración promedio de Fósforo en estos lagos varió entre 7,0 y 25,0 $\mu\text{g/l}$ (**Tabla 10**). Este resultado indica que los lagos Araucanos Maihue, Panguipulli, Ranco, Riñihue, y Todos los Santos que presentan concentraciones del nutriente limitante Fósforo total menores a 10 $\mu\text{g/l}$ durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) mantendrán su actual nivel de Oligotrofia durante este periodo. Sin embargo, los lagos Araucanos Chapo, Llanquihue y Villarrica tienen el potencial de aumentar su actual nivel de Oligotrofia durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) hacia niveles mesotróficos.

Se excluyó del análisis el lago Calafquen, el cual muestra actualmente niveles muy altos de Nitrógeno en verano y de Fósforo en el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera), lo cual indica que la condición de Oligotrofia descrita para este sistema durante todo un ciclo anual podría aumentar hacia niveles de Hipereutrofia en verano y de Mesotrofia en invierno.

Tabla 10. Valores de concentración del nutriente limitante (Nitrógeno o Fósforo) y su asociación con la condición trófica bajo diferentes condiciones hidrodinámicas en los sistemas acuáticos de la Red de Control de Lagos de la DGA. N_{NOT} = Nitrógeno orgánico total ($\mu\text{g/l}$) y P_{POT} = Fósforo orgánico total ($\mu\text{g/l}$).

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Nutriente Limitante	$N_{NOT} - P_{POT}$
Laguna Aculeo	Desagüe Puntilla León Casa de Bomba	Mezcla (V-O-I-P)	P	120 (10 - 442)
Lago Caburgua	Centro Norte	Estratificación (V)	N	166 (11 - 3.030)
		Mezcla (O-I-P)		55 (13 - 307)
	Desagüe	Estratificación (P-V)		70 (13 - 267)
		Mezcla (O-I)		38 (13 - 126)
Lago Calafquen	Centro	Estratificación (V)	N	1.019 (40 - 1.854)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	10 (3,0 - 27)
	Coñaripe Lican-Ray	Estratificación (P-V)	N	435 (13 - 2.646)
		Mezcla (O-I)	P	11 (3,0 - 36)
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	N	32 (13 - 91)
		Mezcla (O-I)	P	12 (3,0 - 51)
	Centro Chamiza	Estratificación (V)	N	44 (134 - 13)
		Mezcla (O-I-P)	P	10,1 (3,0 - 48)
Lago Colico	Centro Bahía Trafampulli Puerto Colico	Estratificación (V-O)	P	3,0 (3,0 - 5,0)
Lago Lanalhue	Puerto Peleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto Manzano Centro	Estratificación (P-V)	N-P P	21 (3,0 - 200)
		Mezcla (O-I)		19 (3,0 - 95)
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	Estratificación (V)	N	54 (13 - 286)
		Mezcla (O-I-P)	P	18 (1,0 - 200)
	Puerto Octay Frutillar	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	59 (13 - 369)
Lago LLeulleu	Centro	Mezcla (I)	P	3,0 (3,0 - 3,0)
	Sur			
Lago Maihue	Centro Los Llolles $Z_{\text{máx}}$	Estratificación (V)	N	55 (2,7 - 259)
		Mezcla (O-I-P)	P	9 (3,1 - 34)
Lago Neltume	Centro	Estratificación (P-V)	N-P	70 (6,0 - 199)
	Neltume	Mezcla (O)	N	62 (34 - 130)
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	Estratificación (V)	N	31 (15 - 48)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	8,8 (1,0 - 30)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	N	91 (9,0-224)
		Mezcla (V-O-I)	N-P	8,9 (1,0 - 22)
Lago Puyehue	Entre Lagos Caulle Centro	Estratificación (O-V-P)	N	105 (34 - 200)

Sistema	Estación	Condición Hidrodinámica	Nutriente Limitante	N _{NOT} - P _{POT}
Lago Ranco	Futrano Riñinahue Puerto Nuevo	Estratificación (V)	N	45 (126 - 11)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	9,0 (27 - 4,0)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	8,1 (3,0 - 25)
	Bahía Riñihue			
	Enco Centro	Estratificación (V)	N	50 (14 - 145)
		Mezcla (O-I-P)	P	7,3 (3,0 - 18)
Lago Rupanco	Puerto Gaviota	Estratificación (P)	N	37 (25 - 68)
	Sector Cascada			
	Desagüe			
Laguna Grande de San Pedro	Centro Desagüe Sur	Estratificación (V)	N	100 (4,0 - 846)
		Mezcla (O-I-P)	P	31 (3,0 - 200)
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas Centro Petrohue Peulla	Estratificación (V)	N	44 (13 - 149)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	7 (3 - 23)
Laguna Torca	Centro	Estratificación (V-I)	N	144 (141 - 146)
Lago Vichuquen	Bahía Vichuquen	Estratificación (I)	-	-
	Centro	Estratificación (V-I)	N	362 (51 - 971)
	Z _{máx}	Estratificación (V)		63 (60 - 66)
Lago Villarrica	Molco Pucón Villarrica Centro La Poza	Estratificación (V)	N	178 (13 - 3.000)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	25 (2,0 - 200)

Condición trófica	Fósforo total (µg/l)	Nitrógeno total (µg/l)	Clorofila a (µg/l)
Oligotrofia	< 10	< 350	< 3,5
Mesotrofia	10-30	350 - 650	3,5 - 9
Eutrofia	30 -100	650 - 1.200	9-25
Hipereutrofia	> 100	> 1.200	> 25

- Variación temporal de la condición trófica de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA a través de un ciclo anual.

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en los lagos de la Red de Control de lagos de la DGA siguió la tendencia determinada en función de la condición hidrodinámica (**Tabla 11**). La mayoría de los lagos de la Red de Control de lagos presentó una condición de Oligotrofia a través de todo el ciclo anual, lo cual fue evidente entre los lagos Araucanos del estudio (**Tabla 11**). Los lagos que presentaron variación de la condición trófica entre diferentes periodos estacionales fueron: Laguna

Aculeo, Lago Lanalhue, Laguna Grande de San Pedro, Laguna Torca y lago Vichuquen (**Tabla 11**), cuyo comportamiento se describe a continuación.

La laguna Aculeo presentó una condición de Hipereutrofia la mayor parte del ciclo anual, desde verano hasta invierno y en primavera bajó el nivel eutrófico siendo igualmente alto (Eutrofia, **Tabla 11**). El lago Lanalhue presentó una condición de Eutrofia durante otoño e invierno la que luego disminuyó a niveles mesotróficos durante primavera y verano (**Tabla 11**). La laguna Grande de San Pedro presentó una condición permanente de Mesotrofia a través del ciclo anual independientemente del periodo estacional (**Tabla 11**). La laguna Torca presentó niveles hipereutróficos durante verano y otoño y se desconoce la condición trófica durante invierno y primavera (**Tabla 11**). El lago Vichuquen presentó una condición de Eutrofia en verano y de Mesotrofia en otoño (**Tabla 11**).

Tabla 11. Variación estacional de la concentración de Clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) y de la condición trófica de los lagos limitados por Fósforo y Nitrógeno.

Sistema	Nutriente Limitante	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna Aculeo	P	29,0 (1,6-109)	19,0 (0,1-64)	41,0 (6,3-147)	39,9 (7,0-131)
Lago Caburgua	N	1,21 (0,1-4,0)	0,91 (0,1-2,3)	0,94 (0,1-5,1)	1,52 (0,1-4,5)
Lago Calafquen	N	1,76 (0,4-3,8)	0,63 (0,2-3,1)	0,46 (0,1-1,0)	0,66 (0,14-1,14)
Lago Chapo	N-P	1,37 (0,4-4,0)	2,71 (0,46-5,1)	3,10 (0,12-35)	2,58 (0,7-5,2)
Lago Colico	P	-	-	0,43 (0,13 -0,8)	0,30 (0,03 -0,7)
Lago Lanalhue	P	9,16 (0,6-20)	5,44 (0,4-16)	5,81 (0,2-30)	9,63 (4,1-43)
Lago Llanquihue	N-P	1,61 (0,3-3,34)	0,45 (0,1-1,7)	0,52 (0,1-2,5)	0,75 (0,2-1,5)
Lago LLeulleu	P	1,15 (0,68-1,14)	-	-	-
Lago Maihue	N-P	0,86 (0,1-4,0)	1,03 (0,09-2,9)	0,56 (0,08-3,1)	0,94 (0,1-8,6)
Lago Neltume	N-P	-	0,82 (0,3-1,43)	0,87(0,2-1,7)	0,99 (0,3-2,2)
Lago Panguipulli	N-P	2,29 (0,6-4,3)	1,08 (0,2-3,2)	0,80 (0,2-3,3)	2,1 (0,14-13,4)
Lago Puyehue	N	-	1,81 (0,3-3,8)	0,50 (0,08-1,3)	1,13 (0,08-1,9)
Lago Ranco	N-P	2,00 (0,5-5,1)	0,51 (0,2-1,4)	0,32 (0,1-1,4)	0,83 (0,1-2,1)

Sistema	Nutriente Limitante	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Lago Riñihue	N-P	3,15 (0,7-7,2)	1,24 (0,10-3,4)	0,42 (0,1-1,2)	0,74 (0,1-2,1)
Lago Rupanco	N	-	0,81 (0,39-1,5)	0,56 (0,3-0,95)	1,27 (1,1-1,5)
Laguna Grande de San Pedro	N-P	5,14 (2,5-11,0)	3,56 (0,6-11,0)	5,48 (0,5-29)	6,86 (2,5-15)
Lago Todos los Santos	N-P	0,59 (0,1-1,2)	0,52 (0,1-1,1)	0,47 (0,08-2,1)	0,64 (0,1-1,4)
Laguna Torca	N	-	-	126 (115-137)	69 (55-83)
Lago Vichuquen	N	-	-	9,57 (8,1 -11,0)	7,30 (6,8-7,8)
Lago Villarrica	N-P	2,73 (0,3-12)	1,81 (0,2-7,5)	1,28 (0,05-8,7)	2,75 (0,10-11,0)

Condición trófica	Fósforo total (µg/l)	Nitrógeno total (µg/l)	Clorofila a (µg/l)
Oligotrofia	< 10	< 350	< 3,5
Mesotrofia	10-30	350 - 650	3,5 - 9
Eutrofia	30 -100	650 - 1.200	9-25
Hipereutrofia	> 100	> 1.200	> 25

7.7 Variación temporal a largo plazo (2000-2014) de la condición trófica de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

La determinación de la condición trófica fue complementada mediante un análisis hecho a una escala de tiempo mayor que la estacional, ello con el objetivo de evaluar patrones a más largo plazo. El análisis a una escala inter-anual se basó en cada uno de los valores de concentración de biomasa (Clorofila *a*) y del nutriente limitante correspondiente de cada lago medidos entre el 2000 y 2014. Se analizaron los registros de la concentración de Clorofila *a*, de Nitrógeno inorgánico total (N-NO₃ + N-NO₂; **N_{NIT}**), Fósforo inorgánico total (P-PO₄; **P_{PIT}**), Nitrógeno total (**N_{NTOT}**) y Fósforo total (**P_{PTOT}**). Este análisis que consideró los datos no promediados permitirá observar con qué frecuencia cada medición representa un valor determinado de trofia. Con ello se determinará el patrón de evolución de la condición trófica de cada lago de la Red de Control de Lagos de la DGA con alto nivel de confianza. Cada dato en las figuras representa un valor medido en una profundidad y en un periodo de muestreo. A continuación se presenta este análisis para cada lago.

7.7.1 Laguna Aculeo

El análisis a largo plazo (2000 - 2011) de la concentración de Clorofila **a** en la laguna Aculeo muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición Hipereutrofia y frecuentemente condiciones de Eutrofia, lo cual se ha mantenido en el tiempo y se ha observado en todo el periodo de estudio (**Figura 20a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PIIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo inorgánico han sido frecuentemente bajos (3 µg/l), valor que representa el límite de detección analítica (**Figura 20b**). Por el contrario, la concentración de **P_{PTOT}** en el tiempo indica muy frecuentemente niveles de Hipereutrofia entre el 2000 y el 2011 (**Figura 20c**). Estos resultados indican que la laguna Aculeo ha presentado en forma permanente niveles de alta biomasa y que el Fósforo se encuentra incorporado en los organismos como la fracción orgánica y particulada del sistema. Por lo tanto y debido a que no hay nutrientes disponibles, la producción biológica no aumentará y la condición trófica se mantendrá en los niveles actuales de Hipereutrofia. Cabe mencionar que en este escenario de Hipereutrofia, es probable que la irradianza sub-acuática esté también limitando la síntesis de biomasa en la laguna Aculeo.

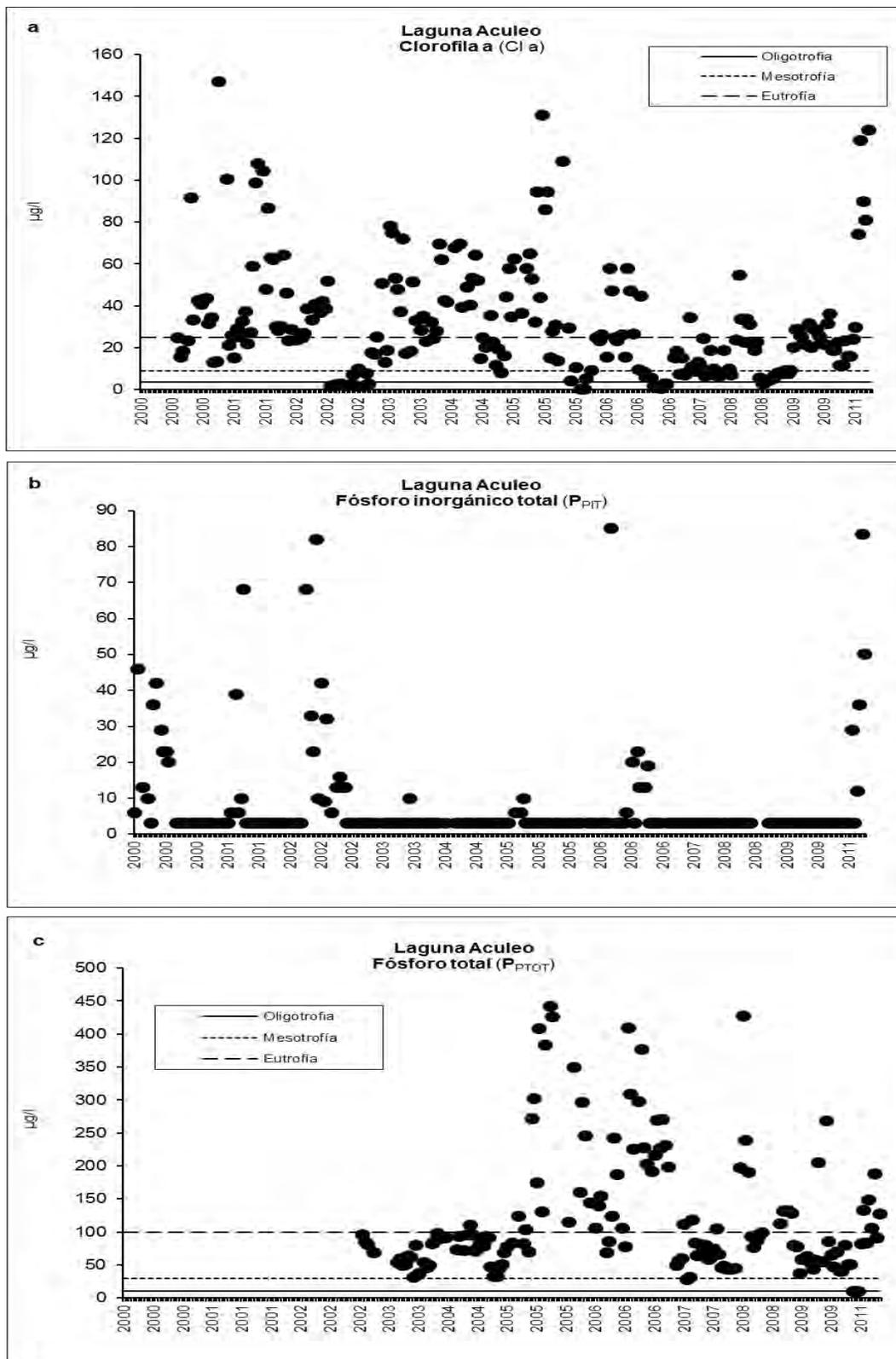


Figura 20. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Aculeo. a) Clorofila **a**, b) Nutriente limitante: Fósforo inorgánico total y c) Fósforo total.

7.7.2 Lago Caburgua

El análisis a largo plazo (2003 - 2013) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Caburgua muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia entre el 2003 y el 2013 y que eventualmente ha presentado niveles Oligo-mesotróficos (**Figura 21a**). El análisis temporal de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción indica que la concentración de **N_{NIT}** ha mostrado aumentos periódicos. El análisis a largo plazo revela que estos periodos de mayor concentración de nitrógeno inorgánicos se han repetido incluso en el último periodo de estudio (2010-2011, **Figura 21b**). La concentración de **N_{NTOT}** ha seguido una tendencia temporal similar a la tendencia de la Biomasa (Clorofila **a**) y similarmente ha indicado niveles de Oligotrofia a través de los años, lo cual se ha mantenido hasta el 2013 y en el 2013 se observan aumentos significativos de la concentración de **N_{NTOT}** (**Figura 21c**).

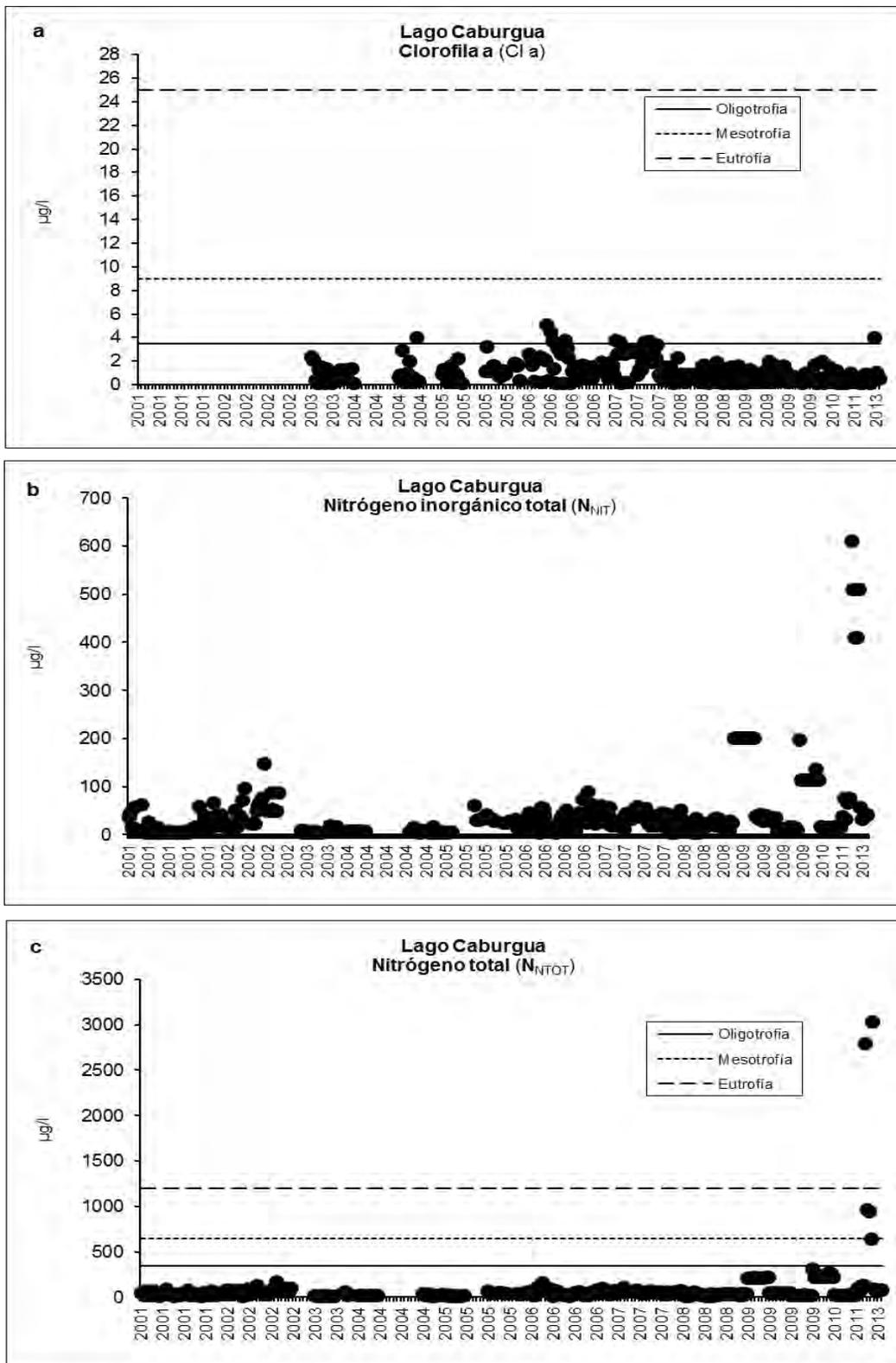


Figura 21. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Caburgua. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.3 Lago Calafquen

El análisis a largo plazo (2003 - 2012) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Calafquen muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia (**Figura 22c**). El análisis temporal de la concentración de **N_{NIT}** como nutriente limitante durante el periodo de estratificación (verano) muestra que la concentración de **N_{NIT}** aumentó en el 2012 en relación a los valores medidos entre el 2002 y el 2011 (**Figura 22a**). Excluyendo el año 2012, las concentraciones máximas de **N_{NIT}** que se han alcanzado en todo el periodo de estudio están cerca de 100 µg/l, valores que podrían generar solamente niveles de Oligotrofia. La concentración de **N_{NTOT}** ha mostrado frecuentemente niveles medio-altos a partir del 2008, valores que lo tipifican como sistema Mesotrófico (**Figura 22b**). El análisis de Fósforo como nutriente limitante durante el periodo de mezcla en el lago Caburgua indica que la concentración de **P_{PIT}** ha disminuido desde el 2005 hasta el 2014 hasta valores bajos que son o están muy cerca del límite de detección analítica (3 µg/l, **Figura 22d**). Consecuentemente, la concentración actual de **P_{PIT}** en el lago Calafquen puede generar condiciones de Oligotrofia durante el periodo de mezcla de la columna de agua (Otoño-Invierno). La concentración de **P_{PTOT}** se ha mantenido dentro de los rangos de Oligotrofia (2003 - 2012) con escasos episodios de aumentos de esta fracción de fósforo en el largo plazo (**Figura 22e**).

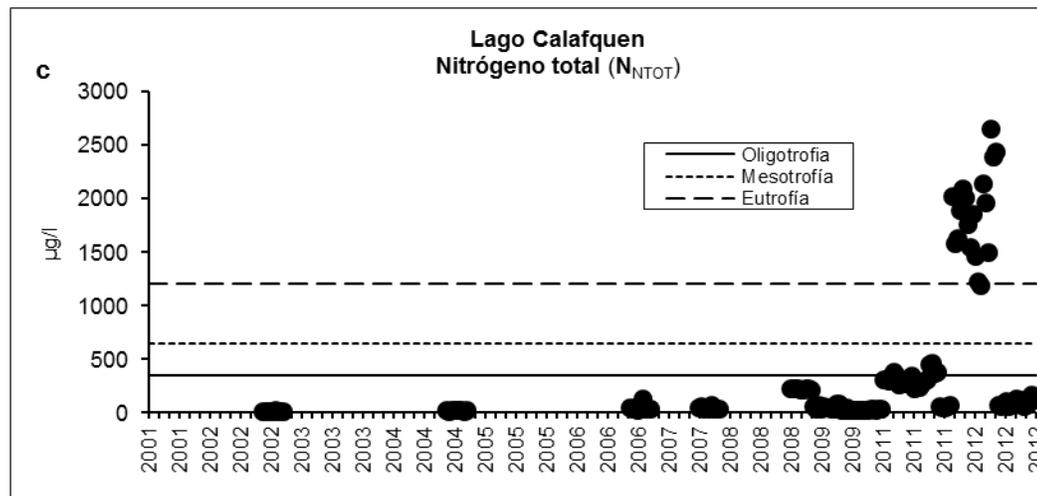
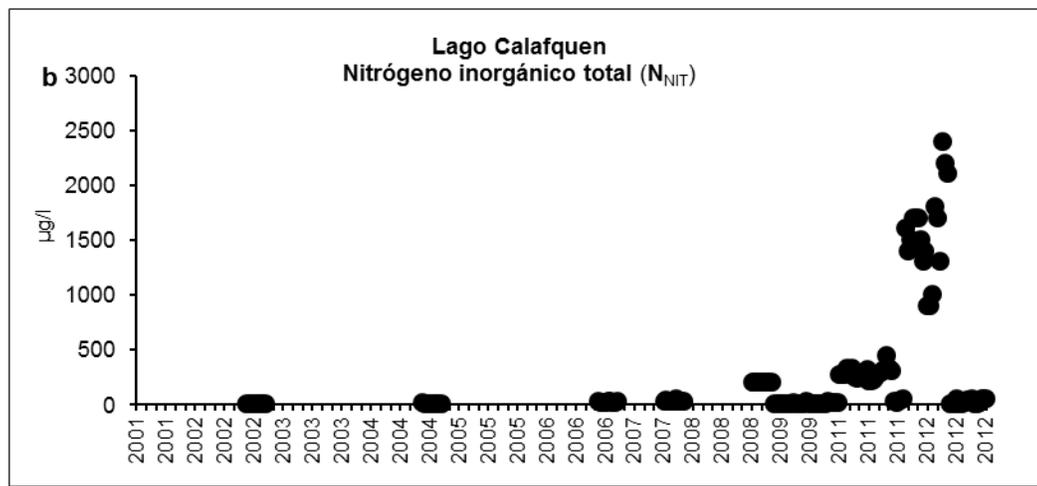
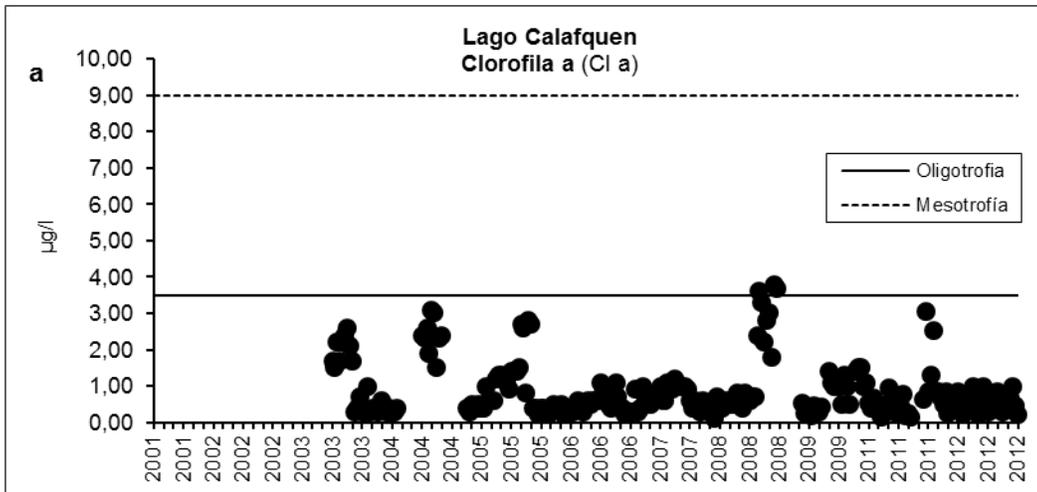


Figura 22. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Calafquen. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total en el periodo de estratificación y c) Nitrógeno total.

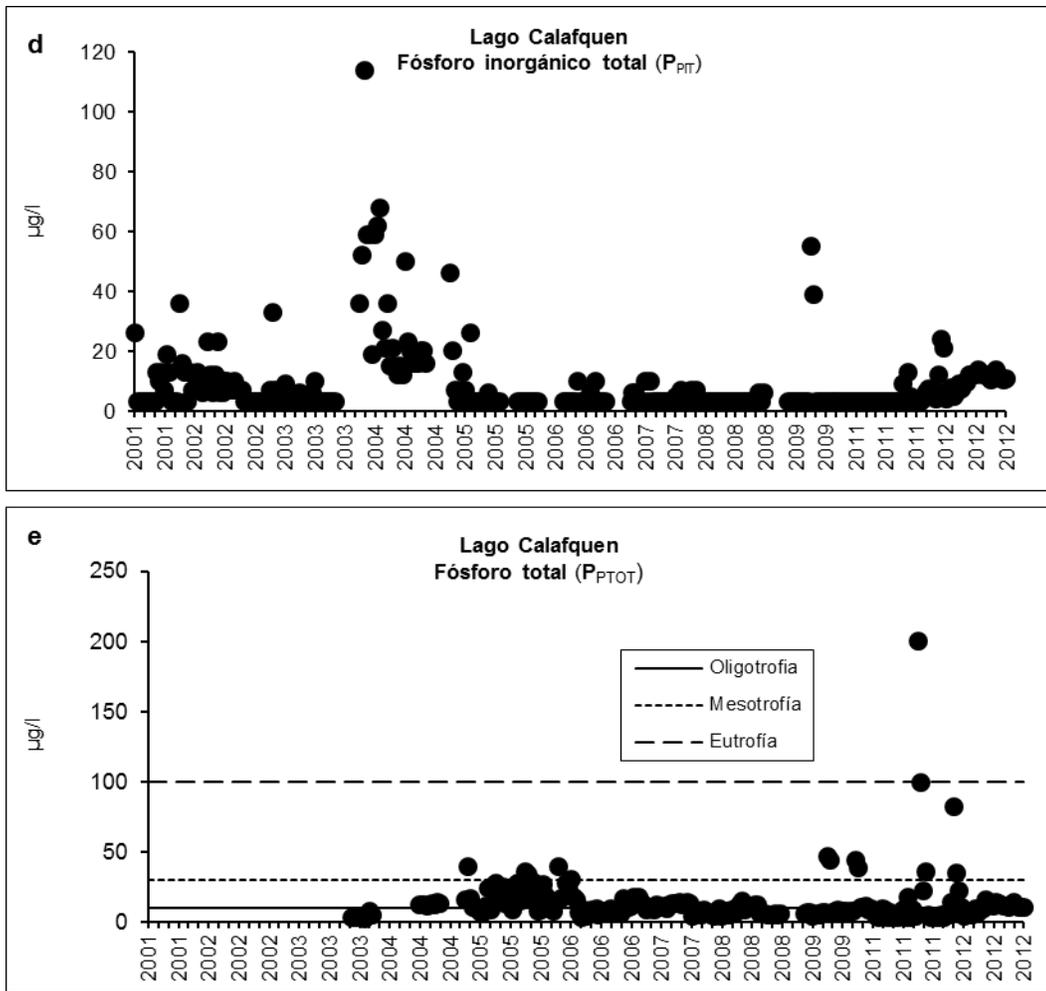


Figura 22. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Calafquen. d) Nutriente limitante en el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.4 Lago Chapo

El análisis a largo plazo (2005 - 2011) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Chapo indica que este sistema ha mostrado una condición permanente de Oligo-Mesotrofia, la que se mantenido hasta el año 2011 (**Figura 23a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante durante el periodo de estratificación de la columna de agua (verano) muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2000 y hasta el 2011 han sido frecuentemente menores a 100 µg/l, valores que sólo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 23b**). Consecuentemente es poco probable que ocurra un aumento de la trofia en el tiempo durante el periodo de estratificación en el lago Chapo. La concentración de **N_{NTOT}** también ha indicado niveles oligotróficos (**Figura 23c**). El análisis temporal de la concentración del Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) como el nutriente limitante durante el periodo de mezcla de la columna de agua (otoño-invierno-primavera) muestra muy frecuentemente concentraciones bajas de este nutriente hasta el 2011 ya que los valores han sido cercanos al límite de detección analítica (3,0 µg/l) aunque se observan aumentos al final del 2011 (**Figura 23d**). A pesar de las bajas concentraciones de **P_{PIT}**, la concentración de **P_{PTOT}** indica que históricamente se ha observado alguna potencialidad de observar una condición de Oligo-mesotrofia durante el periodo de mezcla (**Figura 23e**).

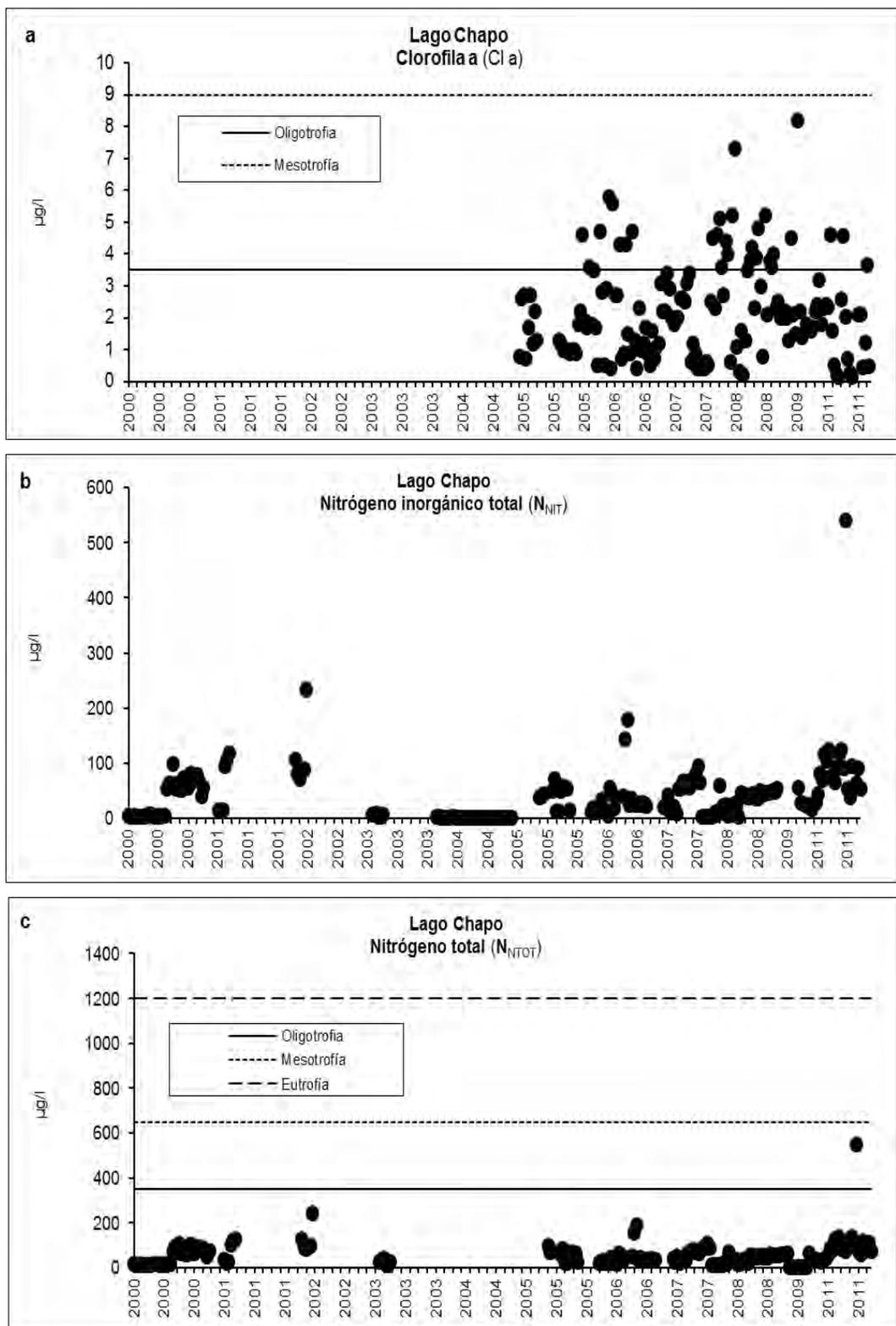


Figura 23. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Chapo. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante en periodo de estratificación: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

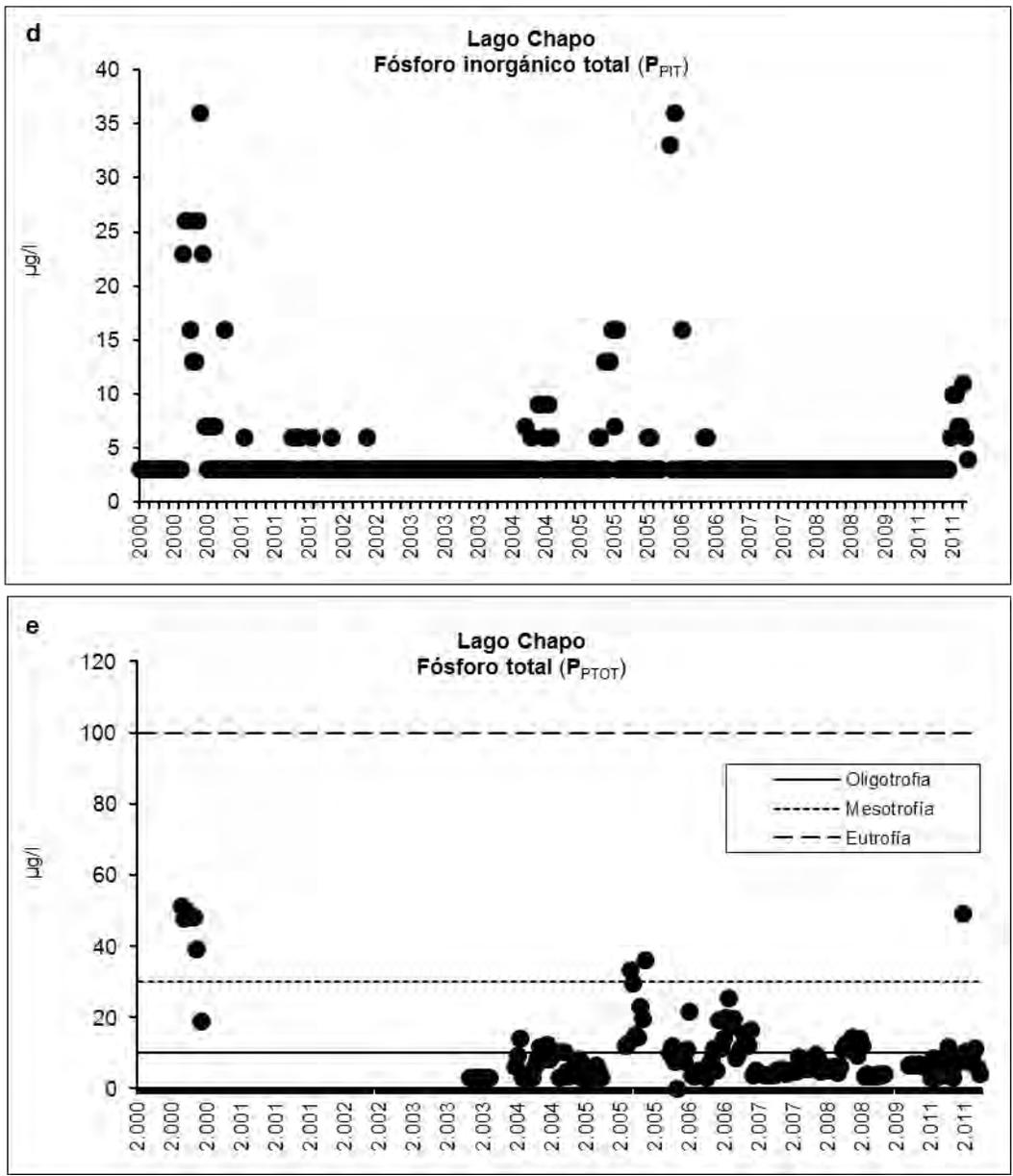


Figura 23. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Chapo. d) Nutriente limitante en periodo de mezcla (otoño-invierno): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.5 Lago Colico

El análisis temporal de la concentración de Clorofila **a** en el lago Colico hecho en base a los resultados del 2013 muestra que este sistema presenta una condición de Oligotrofia (**Figura 24a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PII}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo inorgánico han sido frecuentemente bajos (3 µg/l), valor que representa el límite de detección analítica (**Figura 24b**). De igual modo, la concentración de **P_{PTOT}** indica también niveles de Oligotrofia en el año 2013 (**Figura 24c**), confirmando con ello los niveles de trofia descritos mediante la Clorofila **a**. Estos resultados indican que el lago Colico presenta bajos niveles de biomasa y de nutrientes y por lo tanto su condición trófica se mantendría en los niveles actuales de Oligotrofia. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más de un año de datos.

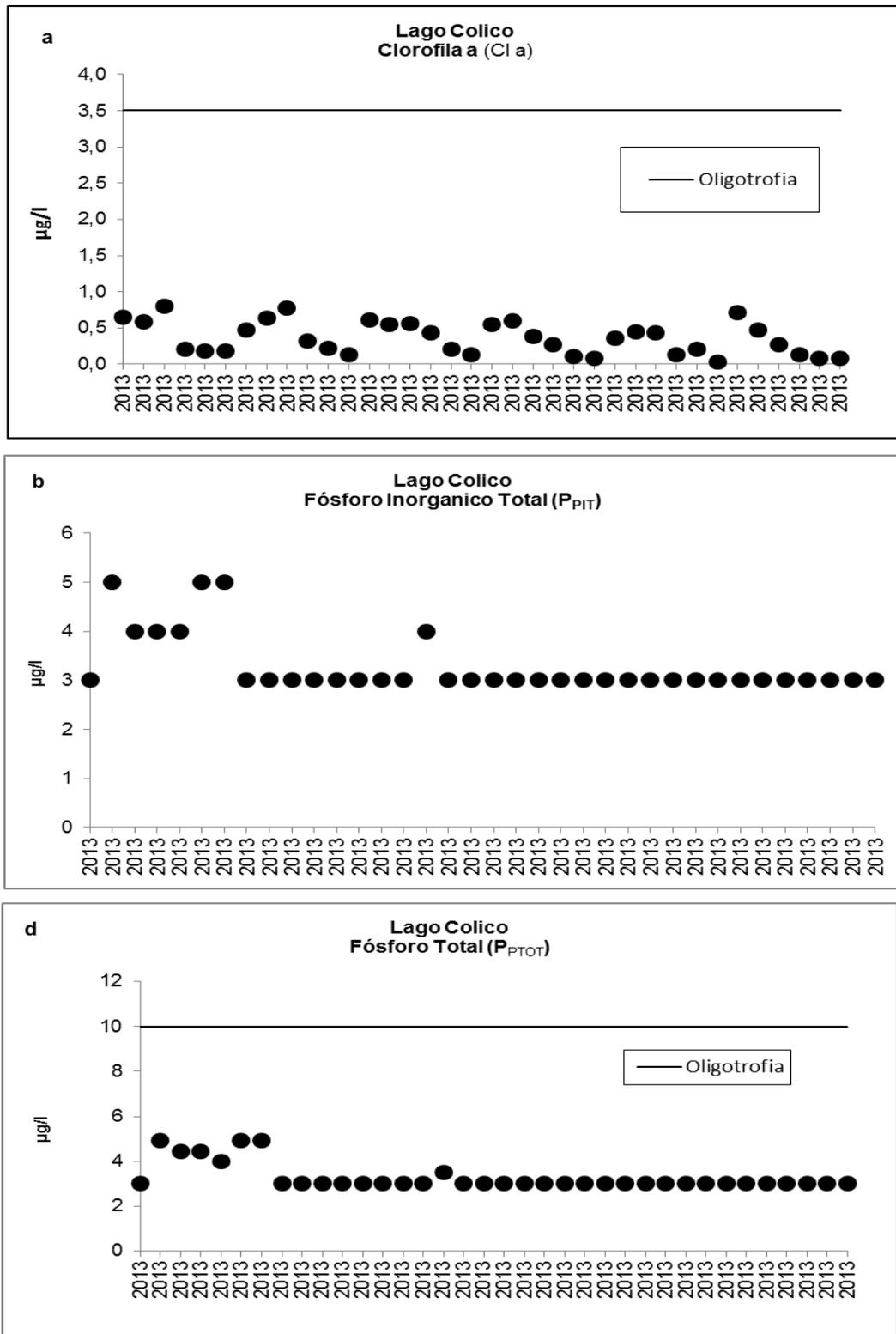


Figura 24. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Colico. A) Clorofila **a** d) Nutriente limitante: Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total. Cada punto representa un valor de cada profundidad y periodo de muestreo.

7.7.6 Lago Lanalhue

El análisis a largo plazo (2003 - 2012) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Lanalhue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Mesotrofía, la que se ha mantenido hasta el 2012 con algunos episodios de Eutrofia (**Figura 25a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica durante todo el ciclo anual indica que los valores de Fósforo han sido bajos y frecuentemente han alcanzado un valor de 3,0 µg/l, lo que representa el límite de detección analítica (**Figura 25b**). Por el contrario, la concentración de **P_{PTOT}** en el tiempo indica niveles meso-eutróficos entre el 2000 y el 2012 (**Figura 25c**). Estos resultados indican que el lago Lanalhue ha presentado en forma permanente una abundante biomasa y que el Fósforo se encuentra incorporado en la fracción orgánica y particulada del sistema (organismos planctónicos). Por lo tanto y debido a que no habría nutrientes disponibles, la producción biológica (biomasa) no aumentaría y la condición trófica del lago Lanalhue se mantendría en los niveles actuales de Mesotrofía.

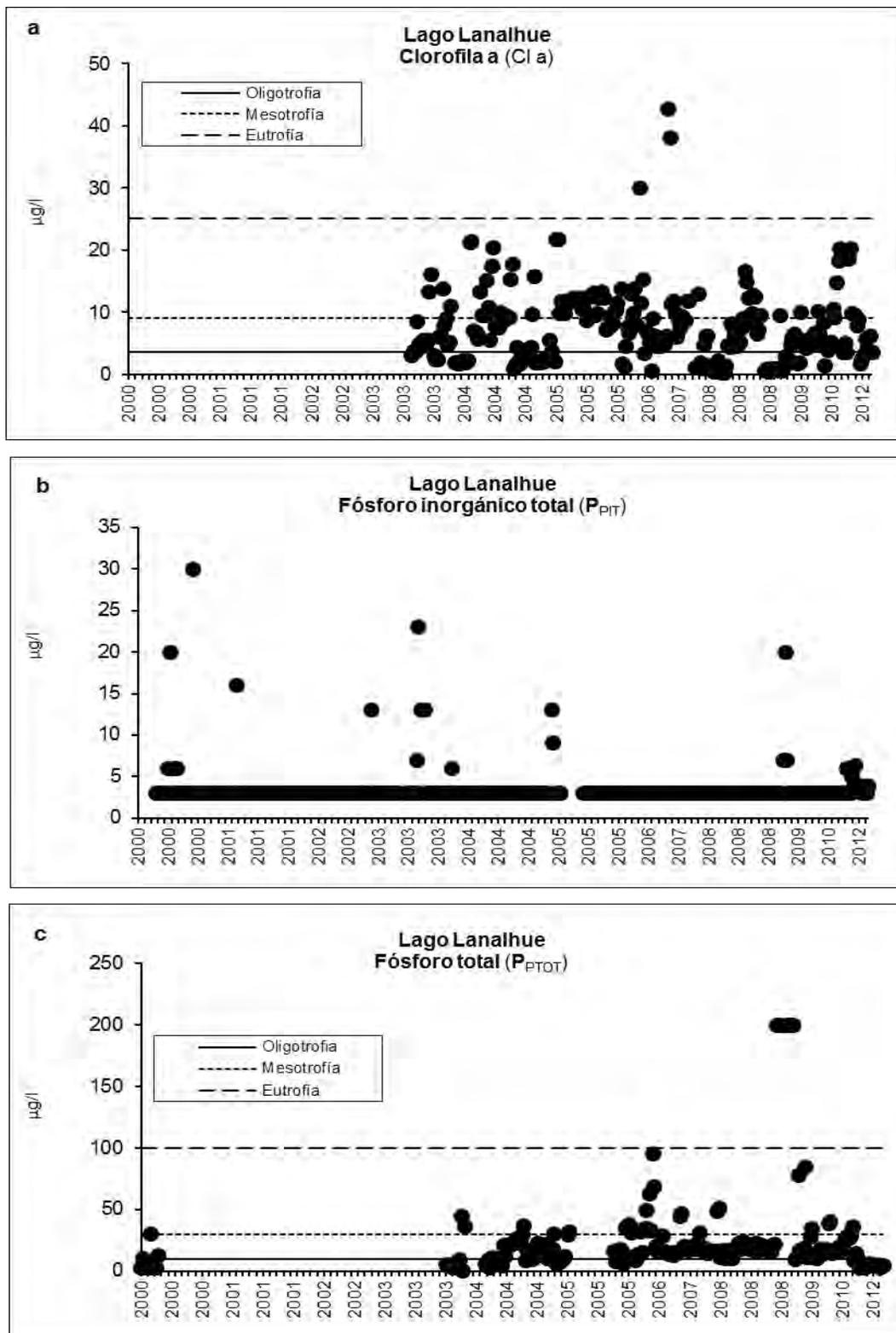


Figura 25. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Lanalhue. A) Clorofila a d) Nutriente limitante en periodo de mezcla: Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.7 Lago Llanquihue

El análisis a largo plazo (2000 - 2014) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Llanquihue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofía e incluso niveles menores que Oligotrofía, los cuales se han mantenido hasta el 2014 (**Figura 26a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno (**N_{NIT}**) como nutriente limitante durante el periodo de estratificación (estaciones Ensenada y Puerto Varas) muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2000 y hasta el 2014 no exceden la concentración de 100 µg/l con excepción de algunos valores que fueron cercanos a 200 y 300 µg/l (**Figura 26b**). En forma consecuente, los valores de **N_{NIT}** detectados más frecuentemente a través del tiempo explicarían los niveles de Oligotrofía en el lago Llanquihue durante el periodo de estratificación (verano) (**Figura 26b**). La concentración de **N_{NTOT}** es consistente con los patrones de variación antes mencionados ya que también indica niveles de Oligotrofía entre el 2000 y 2014 (**Figura 26c**). El análisis temporal de la concentración del Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) como nutriente limitante durante el periodo de mezcla (estaciones Ensenada y Puerto Varas) muestra que las concentraciones máximas de **P_{PIT}** desde el 2000 y hasta el 2014 frecuentemente no exceden la concentración de 10,0 µg/l con excepción de algunos valores que fueron cercanos a 20,0 y 30,0 µg/l (**Figura 26c**). La concentración de Fósforo en el tiempo (**P_{PIT}**) ha mostrado frecuentemente valores muy bajos y cercanos al límite de detección analítica (3 µg/l) (**Figura 26d**). Los valores bajos de concentración de **P_{PTOT}** son consistentes con el nivel de Oligotrofía durante el periodo de mezcla en el lago Llanquihue (**Figura 26e**).

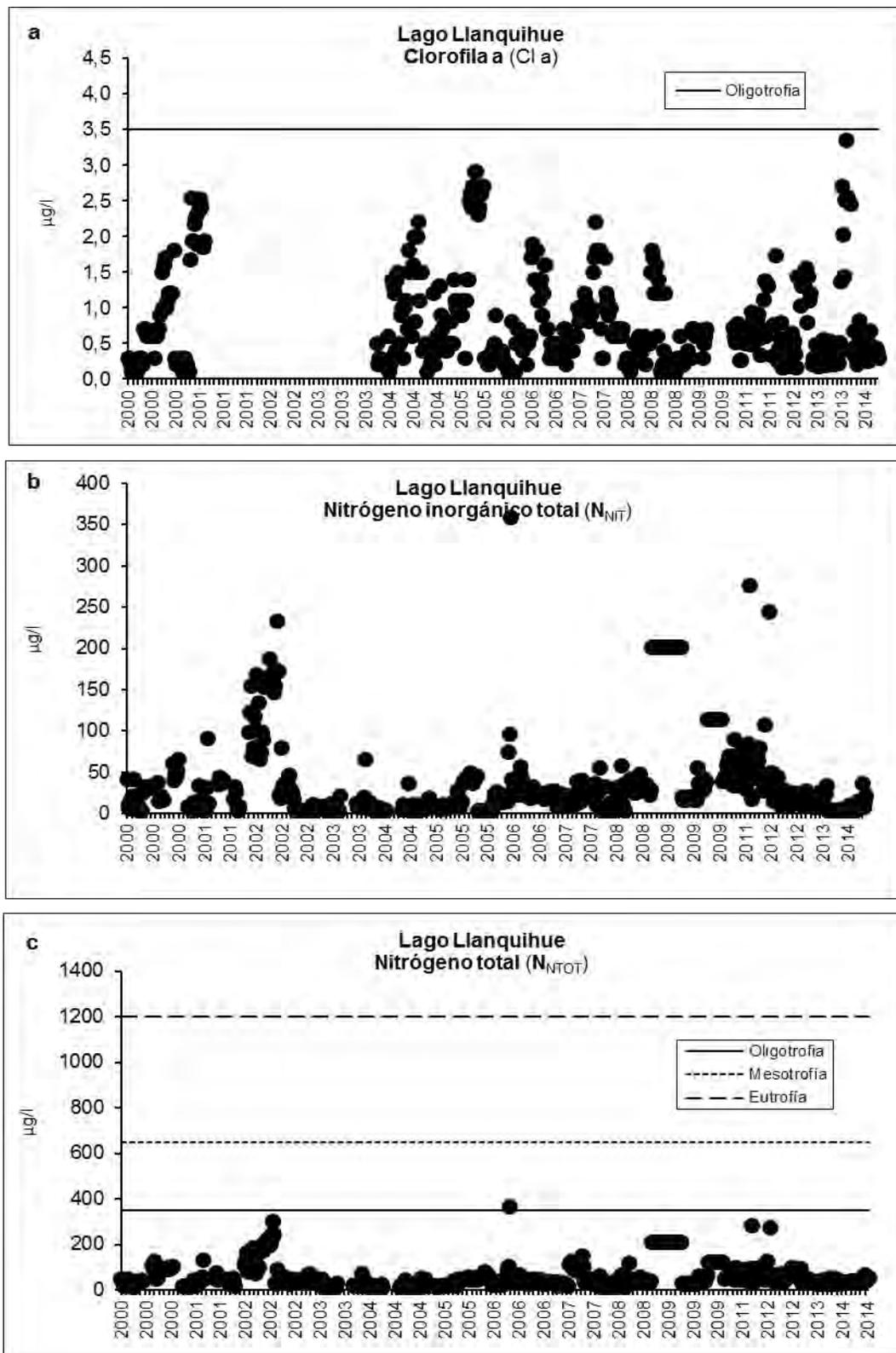


Figura 26. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Llanquihue. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante en el periodo de estratificación: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

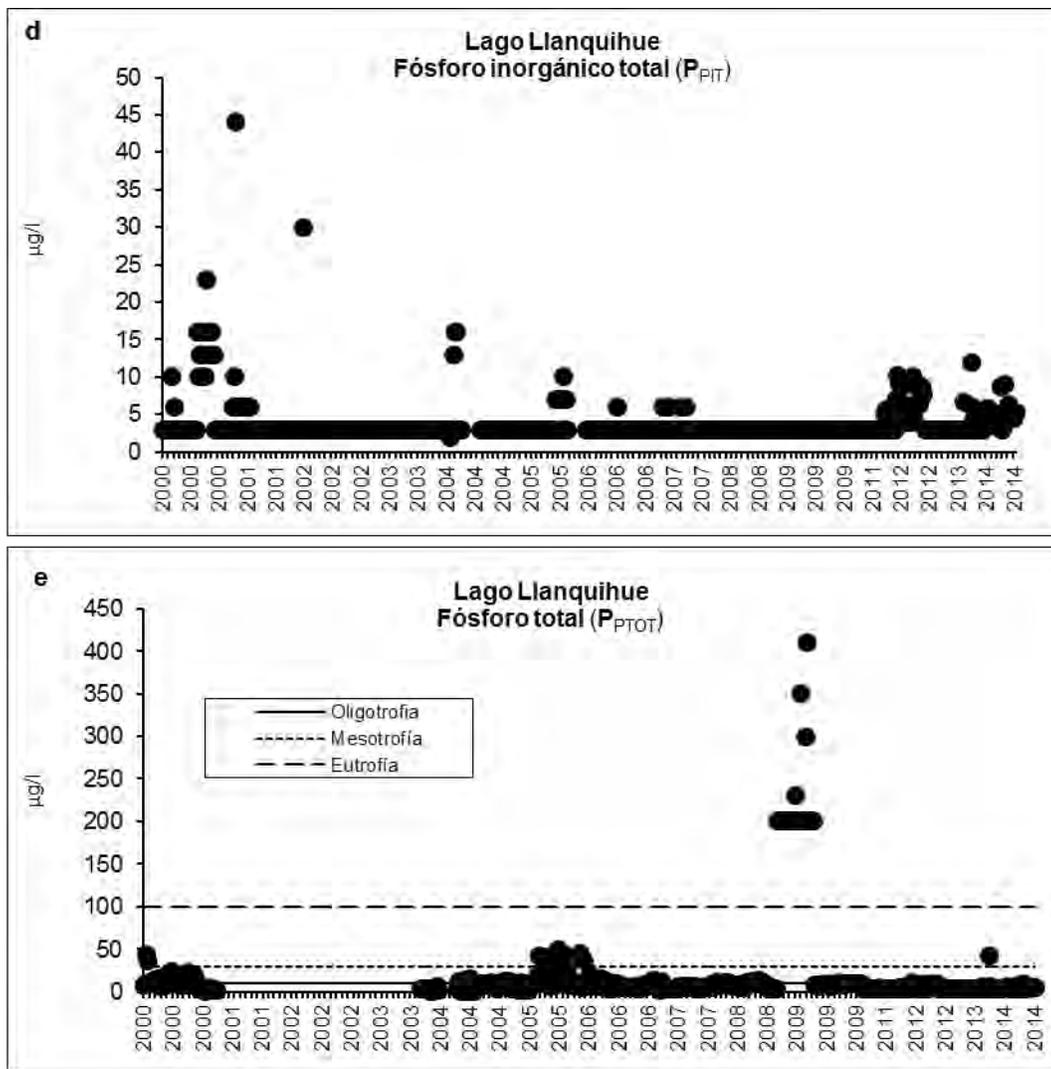


Figura 26. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Llanquihue. d) Nutriente limitante en el periodo de mezcla: Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.8 Lago LLeulleu

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en el lago LLeulleu hecho en base a los resultados de invierno de 2011 muestra que este sistema presenta una condición Oligotrofia a través de todo el ciclo anual (**Figura 27a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PIIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo inorgánico han sido frecuentemente bajos (3 µg/l), valor que representa el límite de detección analítica (**Figura 27b**). De igual modo, la concentración de **P_{PTOT}** también indica niveles de Oligotrofia en el invierno del año 2011 (**Figura 27c**), confirmando con ello los bajos niveles de trofia descritos mediante la Clorofila **a**. Estos resultados indican que el lago LLeulleu presentaría niveles bajos de biomasa y de nutrientes y por lo tanto, la producción biológica no aumentaría y su condición trófica se mantendría en los niveles actuales de Oligotrofia. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más de un periodo estacional y con más de un año de datos.

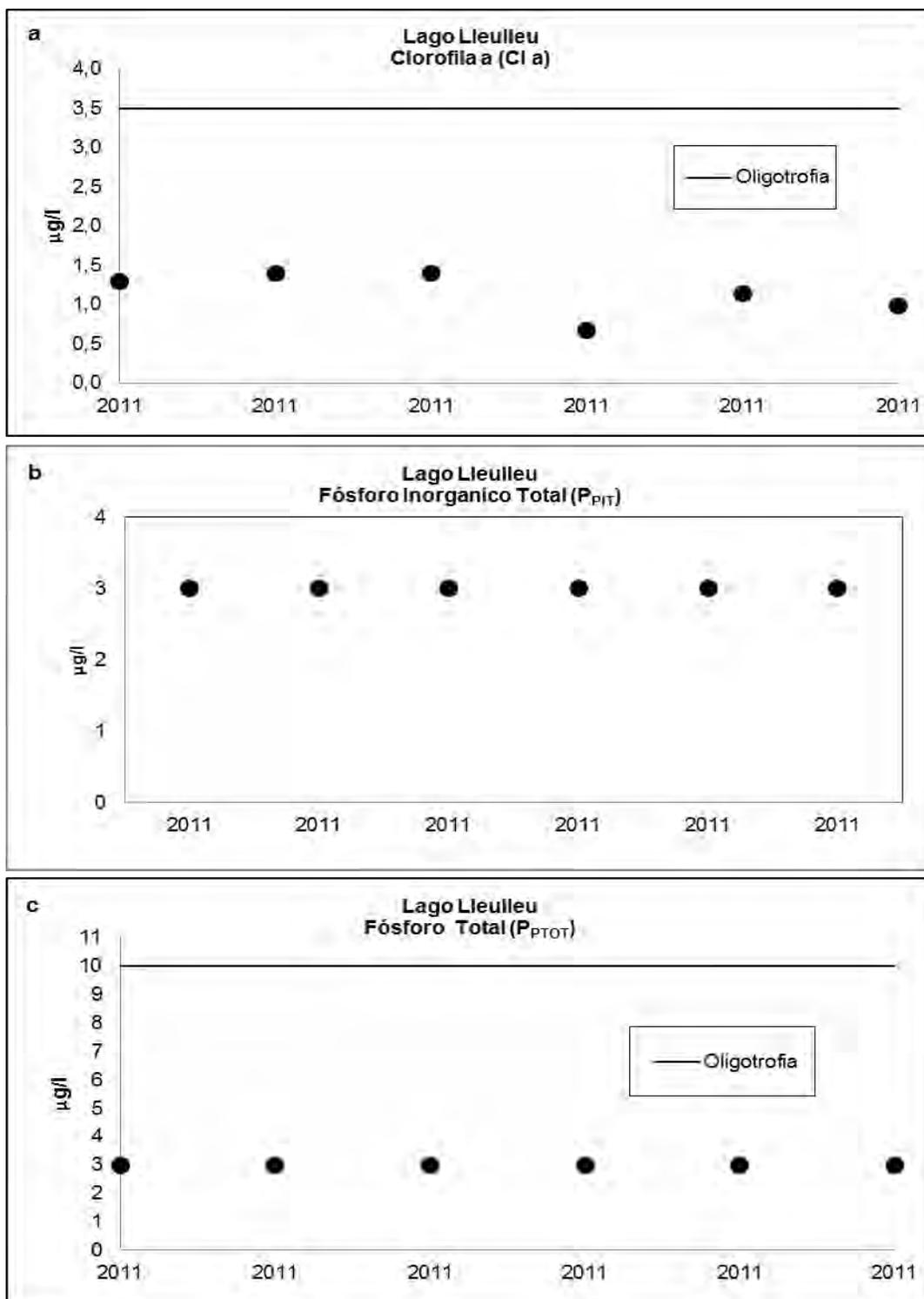


Figura 27. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Lleulleu. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

7.7.9 Lago Maihue

El análisis a largo plazo (2003 - 2014) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Maihue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia, la cual se ha mantenido hasta el 2014 (**Figura 28a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno (Nitrógeno inorgánico, **N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2003 y hasta el 2014 han sido menores que 150 µg/l, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia (**Figura 28b**). Similarmente, la concentración de **N_{NTOT}** también ha indicado frecuentemente niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia entre el 2001 y el 2014 (**Figura 28c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (Fósforo inorgánico, **P_{PIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de mezcla en el lago Maihue ha mostrado que los valores de concentración de **P_{PIT}** han sido frecuentemente cercanos al límite de detección analítica (3,0 µg/l), con excepción de algunos casos puntuales de mayor concentración (**Figura 28d**). Sin embargo, el análisis de la concentración de **P_{PTOT}** en el tiempo revela valores de Fósforo total que indica niveles mayores de trofia que tipificarían al lago Maihue como un sistema oligo-mesotrófico durante los periodos de mezcla (otoño-invierno-primavera) (**Figura 28e**).

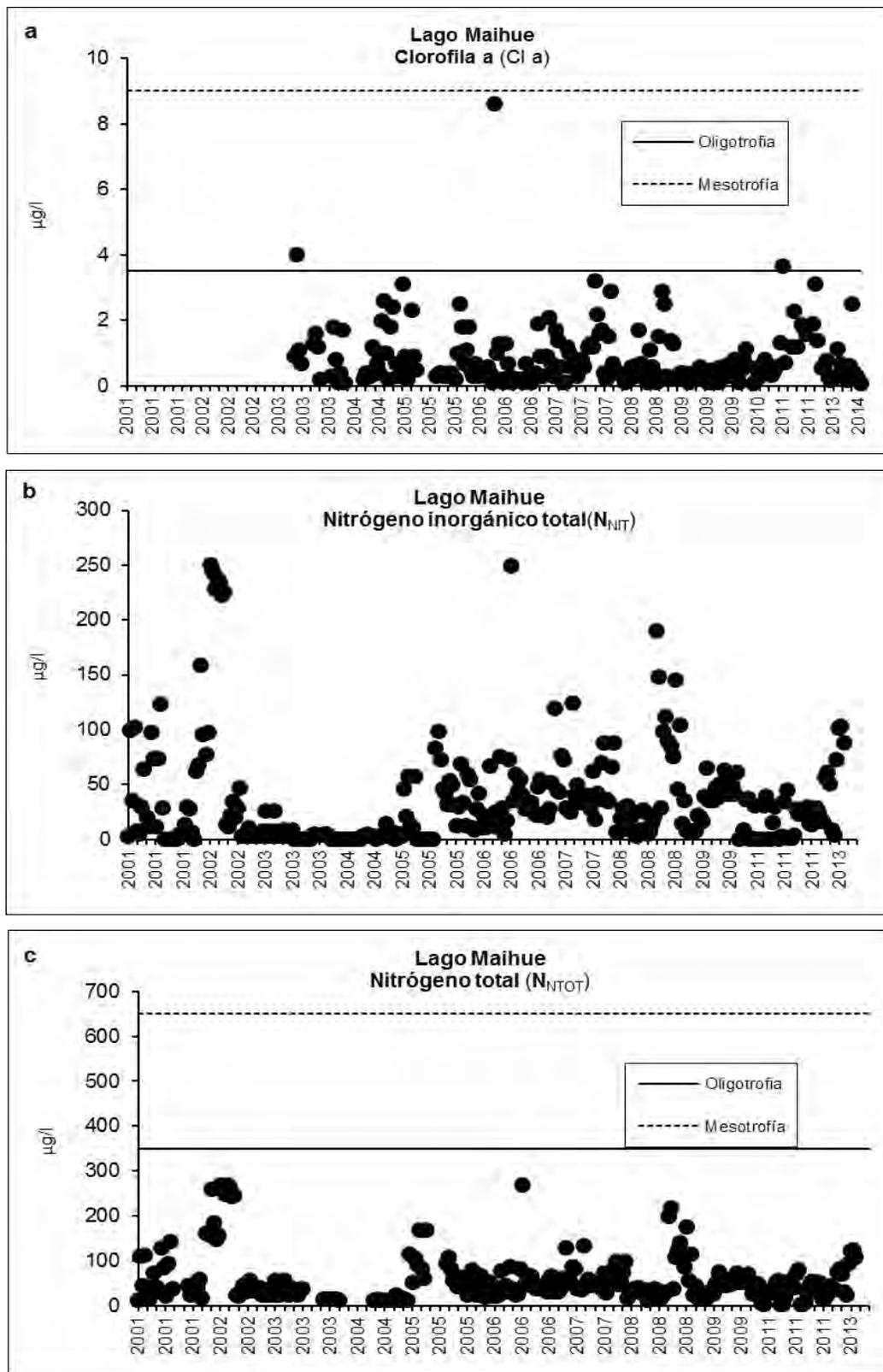


Figura 28. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Maihue. a) Clorofila **a**, b) Nutriente limitante durante el periodo de estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

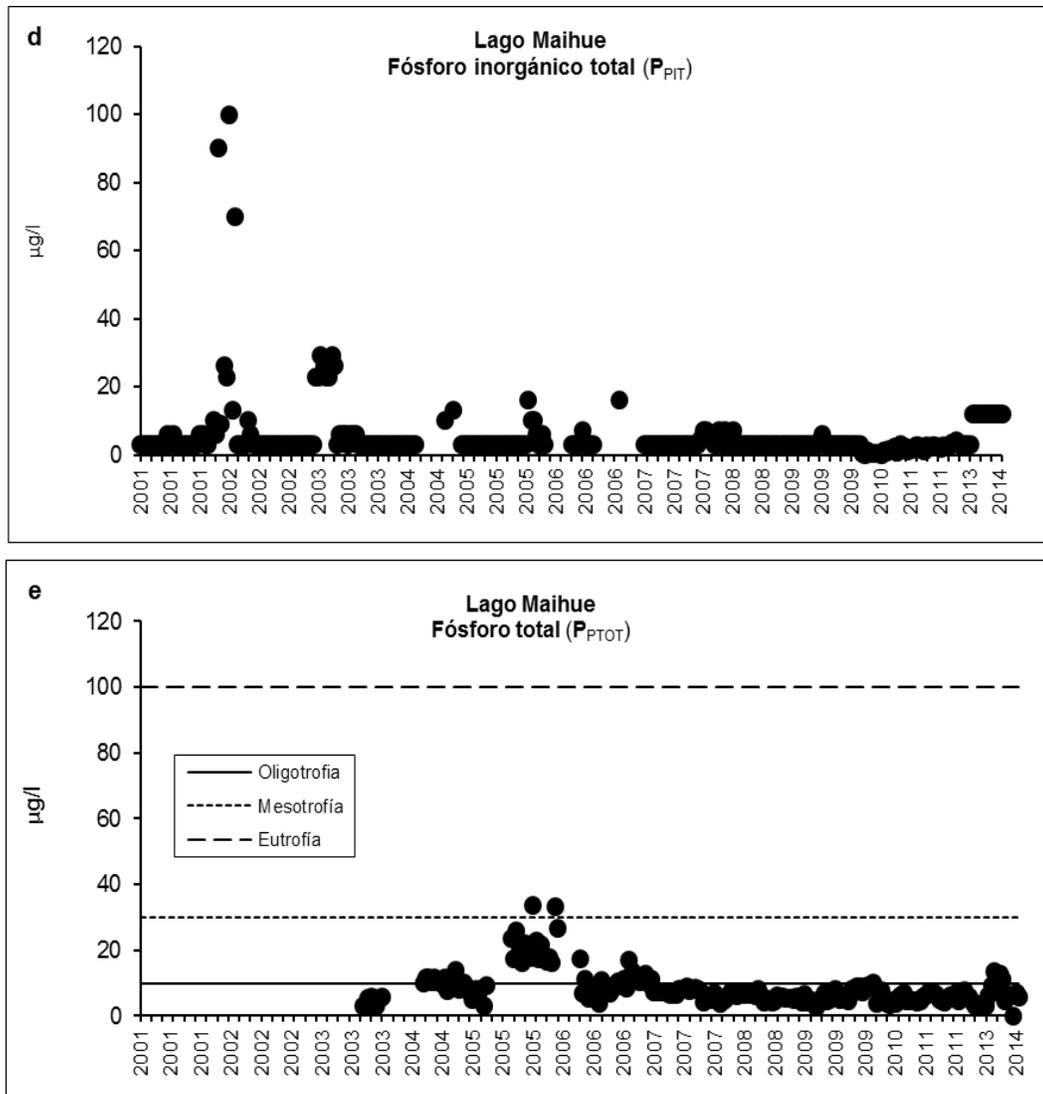


Figura 28. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Maihue. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.10 Lago Neltume

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en el lago Neltume hecho en base a los resultados de del 2012 y 2013 muestra que este sistema presenta una condición Oligotrofia (**Figura 29b**). El análisis de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NTT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Nitrógeno inorgánico han sido bajos (< 150 µg/l), valor que indica una baja potencialidad de aumentar el nivel trófico (**Figura 29a**). De igual modo, la concentración de **N_{NTOT}** también indica niveles de Oligotrofia e incluso Ultraoligotrofia entre 2012 y 2013 (**Figura 29c**), confirmando con ello que los bajos niveles de trofia descritos mediante la Clorofila **a**. Estos resultados indican que el lago Neltume presentaría niveles bajos de biomasa y de nutrientes y por lo tanto, la producción biológica no aumentaría y su condición trófica se mantendría en los niveles actuales de Oligotrofia o Ultraoligotrofia. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más de un periodo estacional y con más años de datos.

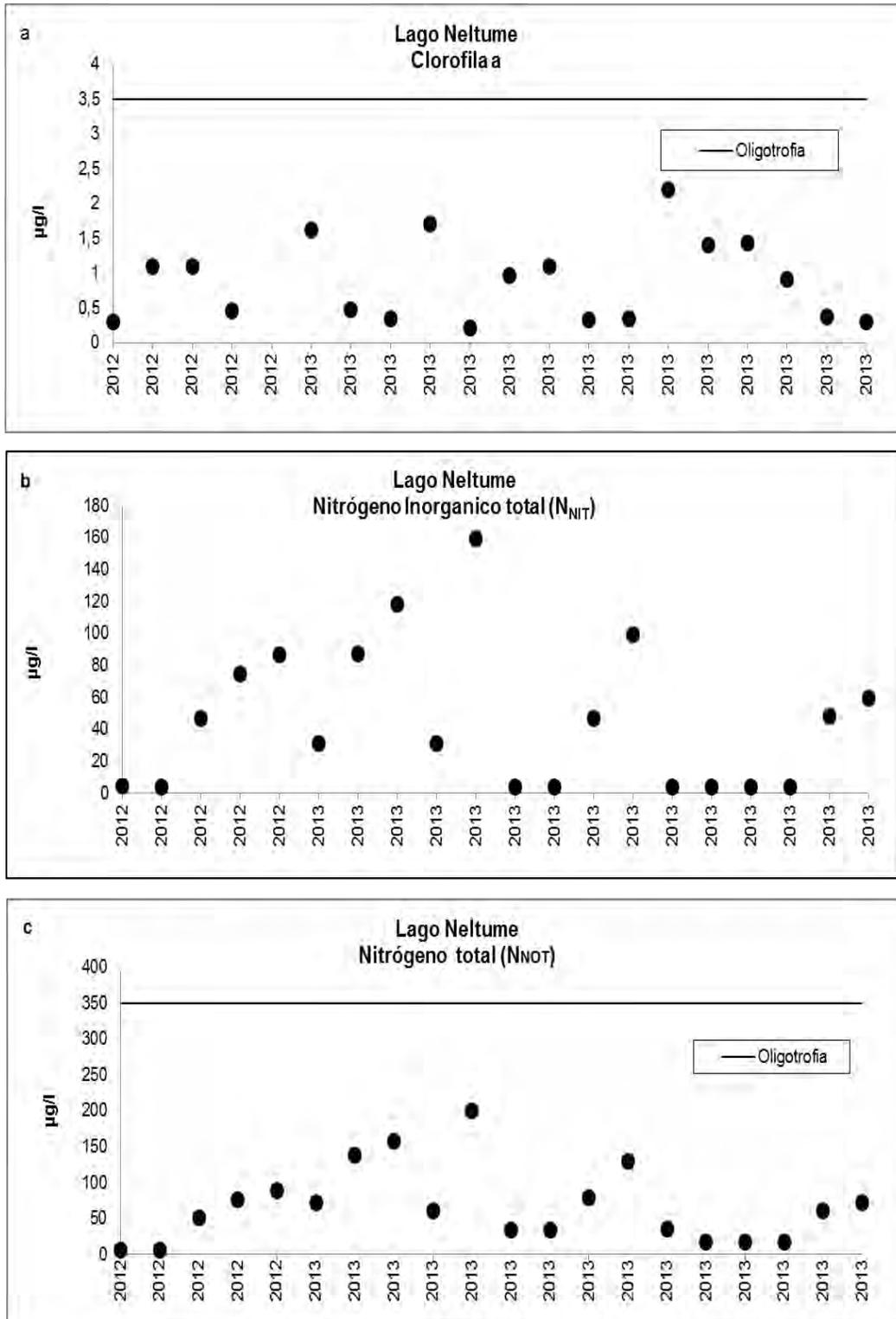


Figura 29. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Neltume. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.11 Lago Panguipulli

El análisis a largo plazo (2004 - 2013) de la concentración de Clorofila *a* en el lago Panguipulli muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia entre el 2004 y el 2013 pero con varios episodios de Mesotrofia en el tiempo (**Figura 30a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) durante el periodo de estratificación muestra una alta variación de la concentración de **N_{NIT}** desde el 2000 hasta el 2012 (**Figura 30b**). Sin embargo, las concentraciones máximas de **N_{NIT}** que se han alcanzado en todo el periodo de estudio han sido menores que 200 µg/l, valores que pueden generar solamente una condición de Oligotrofia. Los valores de concentración de **N_{NTOT}** han sido menores que los valores de **N_{NIT}**, los que indican niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia entre el 2000 y el 2013 (**Figura 30c**). El análisis de Fósforo como nutriente limitante de la producción biológica en el periodo de mezcla (otoño-invierno) muestra que la concentración de **P_{PIT}** ha variado históricamente (2001-2013) y que los valores más frecuentes son muy bajos (3 µg/l, **Figura 30d**) y solamente pueden generar condiciones de Oligotrofia. Sin embargo, cabe mencionar el aumento del fósforo inorgánico a partir del 2012 (**Figura 30d**). La concentración de **P_{PTOT}** ha sido variable y entre los años 2004 y 2006 se detectaron niveles mesotróficos mientras que entre los años 2007 y 2012 se detectaron niveles oligotróficos. Actualmente y a partir del 2012 se detecta un aumento de la concentración de Fósforo total (**Figura 30e**).

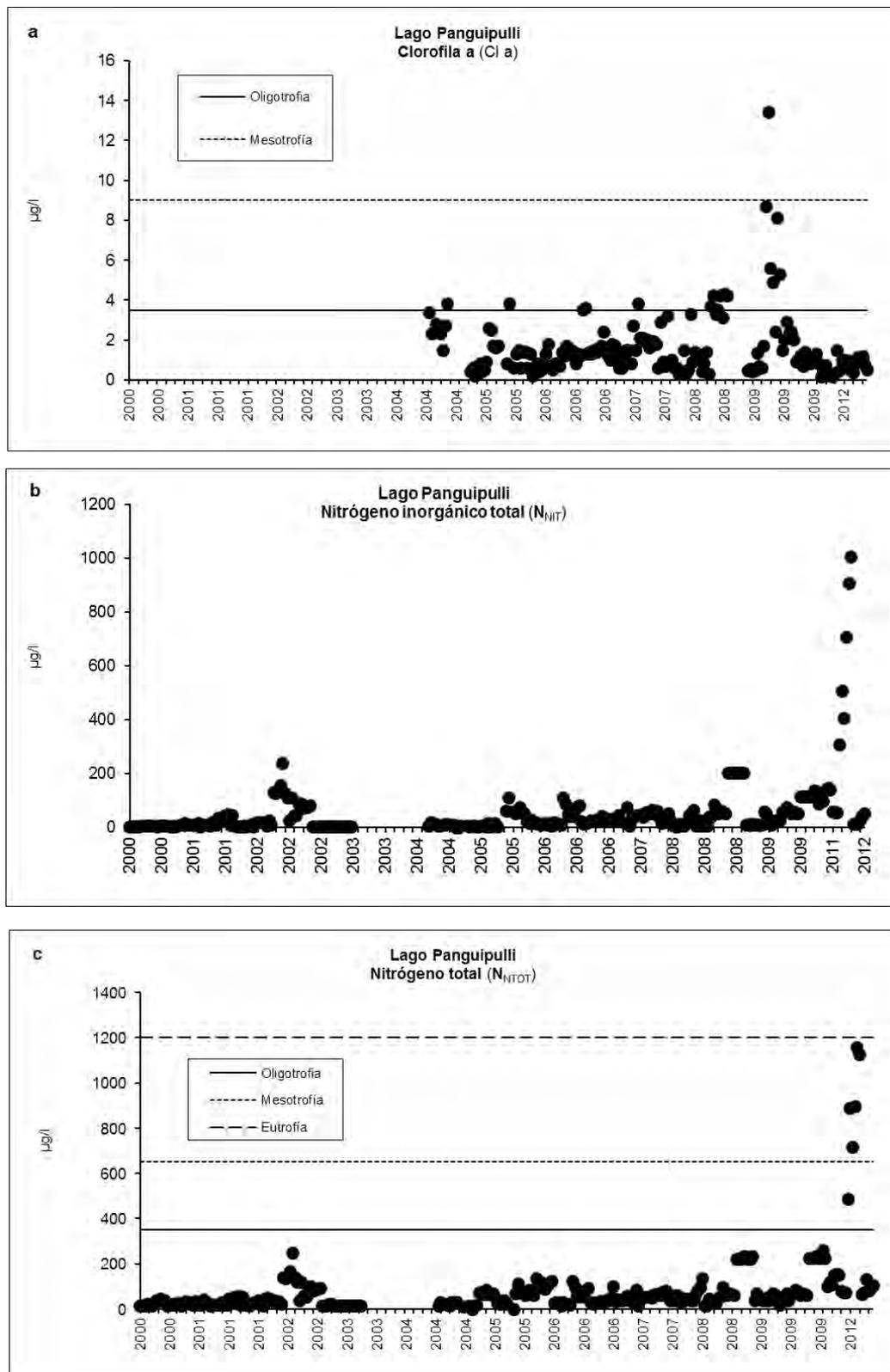


Figura 30. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Panguipulli. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante durante el periodo de estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

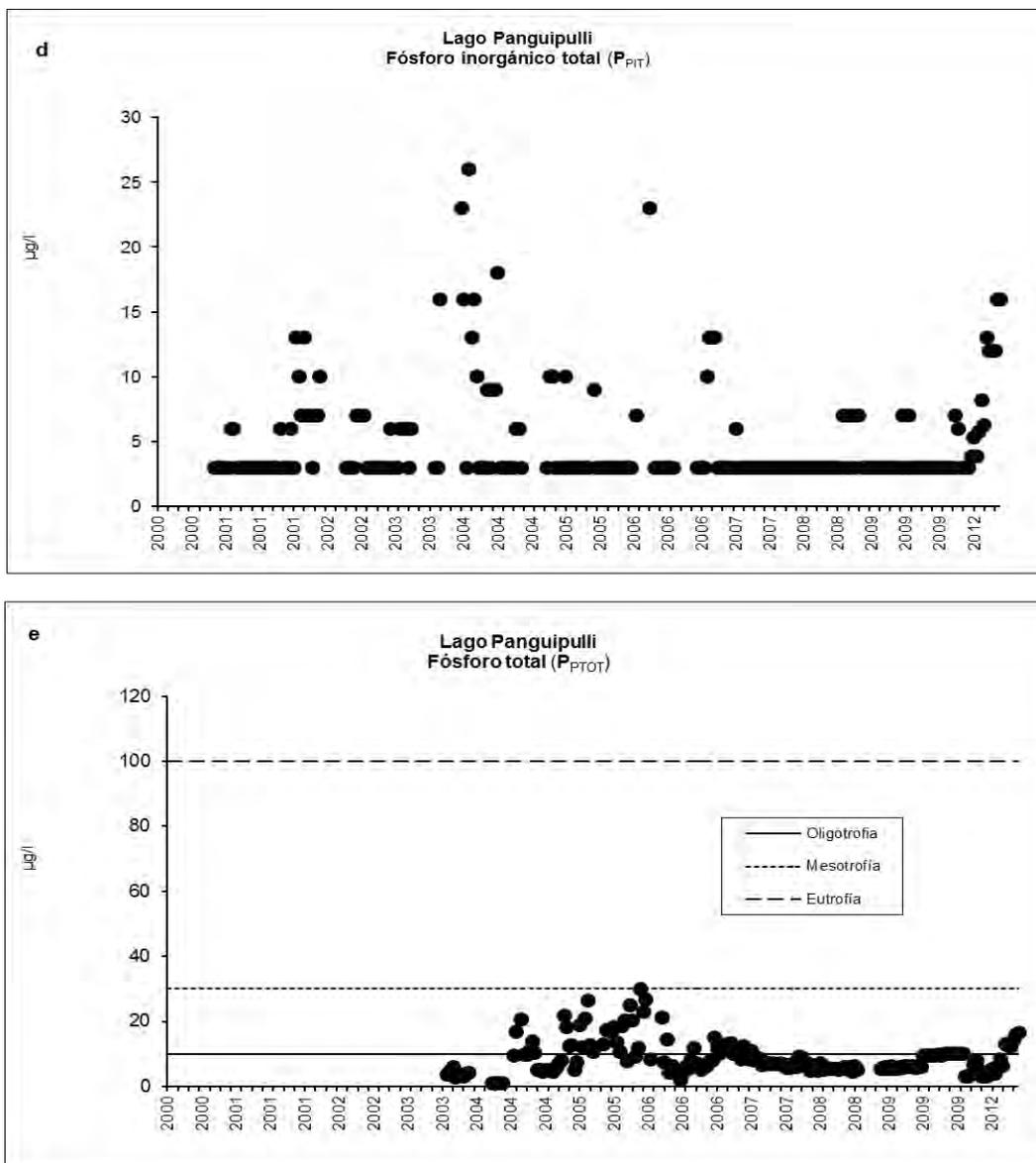


Figura 30. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Panguipulli. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.12 Lago Puyehue

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en el lago Puyehue hecho en base a los resultados del año 2013 muestra que este sistema presenta una condición Oligotrofia (**Figura 31a**). El análisis de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Nitrógeno inorgánico han sido bajos (< 150 µg/l), valor que indica una baja potencialidad de aumentar el nivel trófico (**Figura 31b**). De igual modo, la concentración de **N_{NTOT}** también indica niveles de Oligotrofia e incluso Ultraoligotrofia en el año 2013 (**Figura 31c**), confirmando con ello los bajos niveles de trofia descritos mediante Clorofila **a**. Estos resultados indican que el lago Puyehue presentaría niveles bajos de biomasa y de nutrientes y por lo tanto, la producción biológica no aumentaría y su condición trófica se mantendría en los niveles actuales de Oligotrofia o Ultraoligotrofia. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más años de datos.

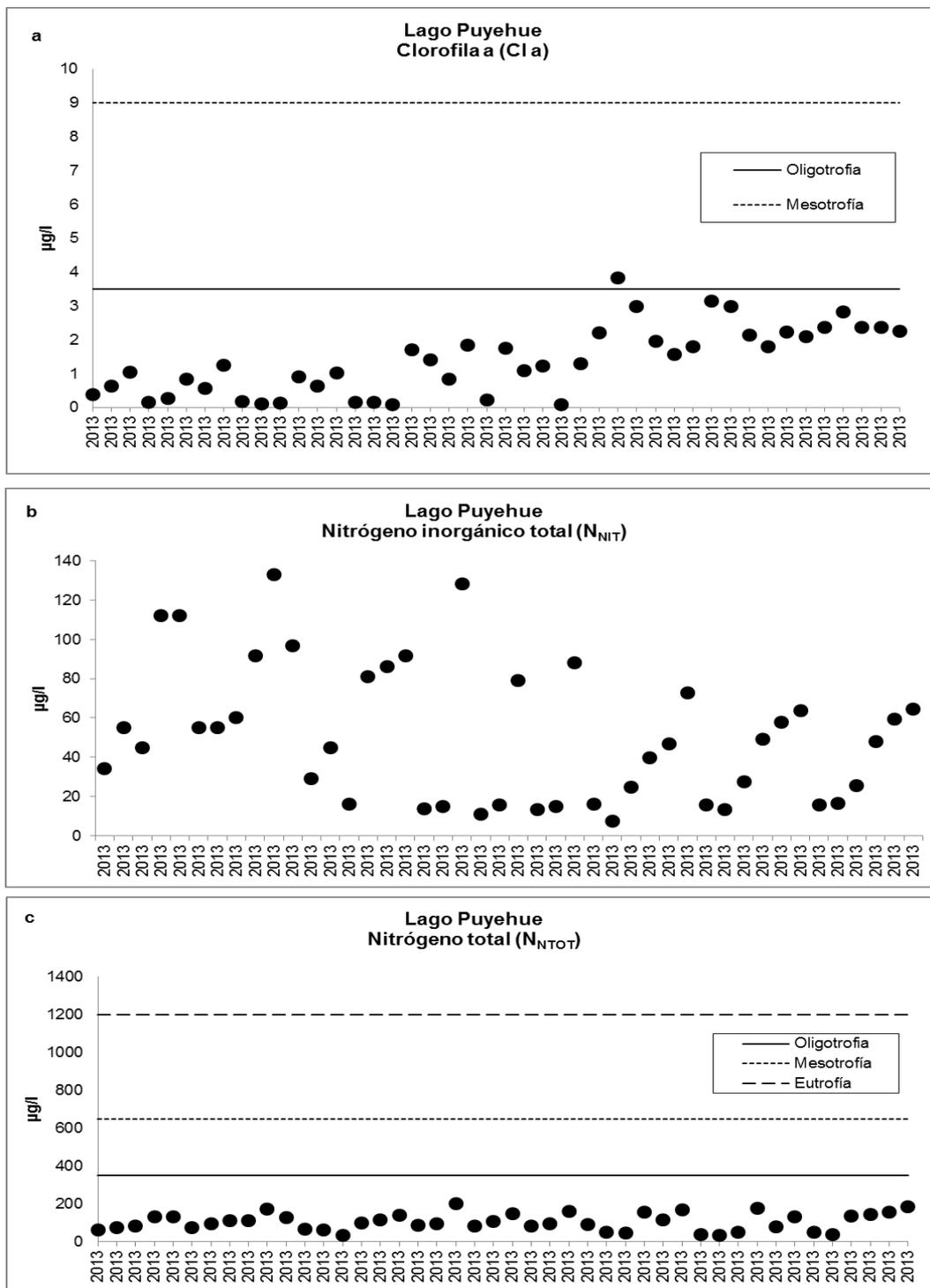


Figura 31. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Puyehue. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.13 Lago Ranco

El análisis a largo plazo (2003 - 2014) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Ranco muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia con algunos episodios de mayor trofia, condición que se ha mantenido hasta el 2014 (**Figura 32a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno inorgánico como el nutriente limitante durante el periodo de estratificación (verano) muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2001 y hasta el 2014 han sido menores que 100 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 32b**). El patrón de variación de la concentración de **N_{NTOT}** también ha indicado niveles de Oligotrofia en el tiempo e incluso niveles menores que Oligotrofia (**Figura 32c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (**P_{PIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica en el lago Ranco durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) ha mostrado que la concentración de **P_{PIT}** ha sido frecuentemente cercana al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$) aunque se observan varios eventos de mayor concentración que podrían generar condiciones de Mesotrofia durante el periodo de mezcla (**Figura 32d**). La concentración de **P_{PTOT}** ha indicado que históricamente ha habido niveles de Fósforo que tipificarían al lago Ranco como un sistema frecuentemente Oligotrófico, sin embargo, han existido varios de valores mesotróficos (**Figura 32e**).

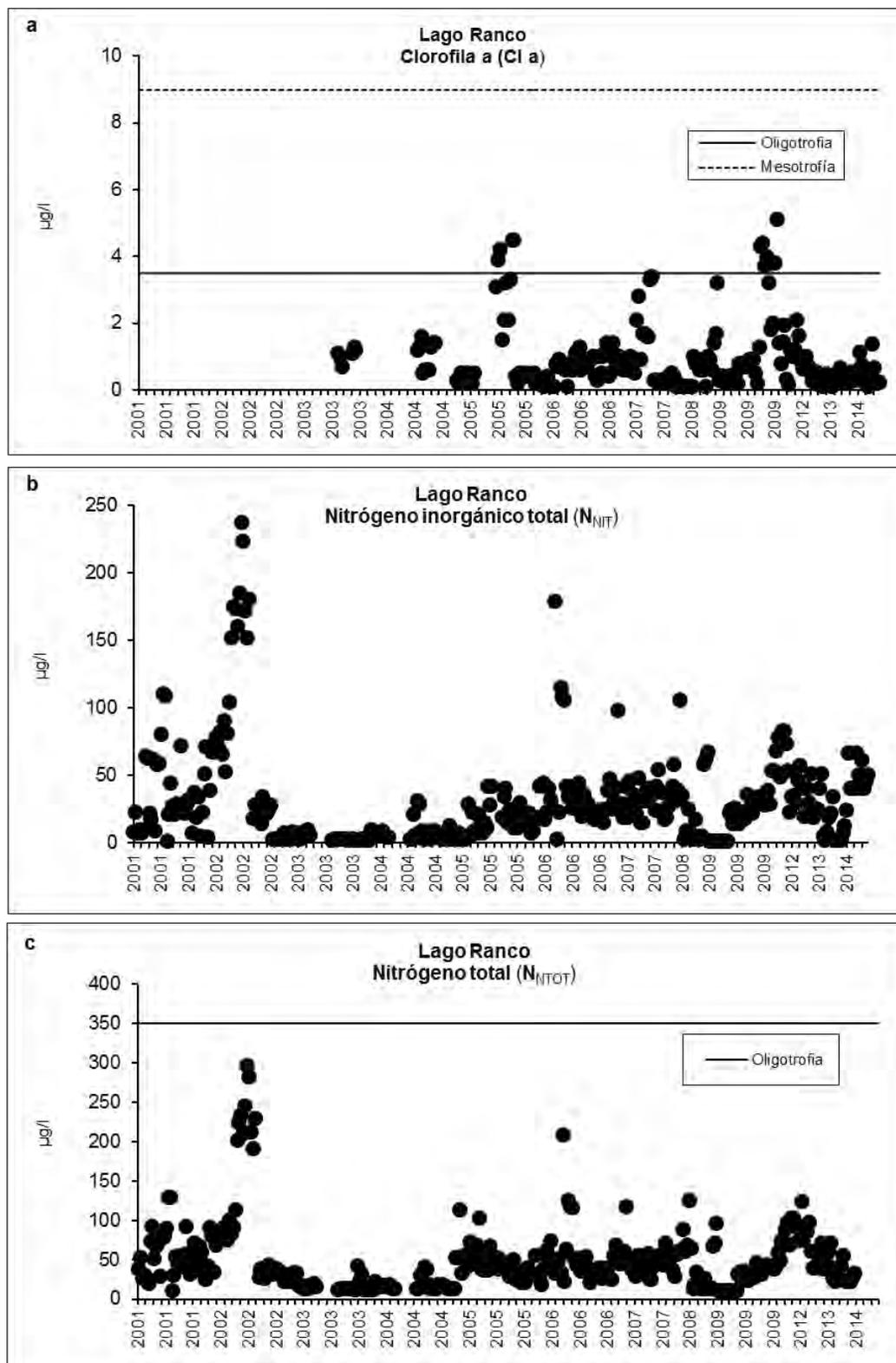


Figura 32. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Ranco. a) Clorofila **a**, b) Nutriente limitante en el periodo de estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

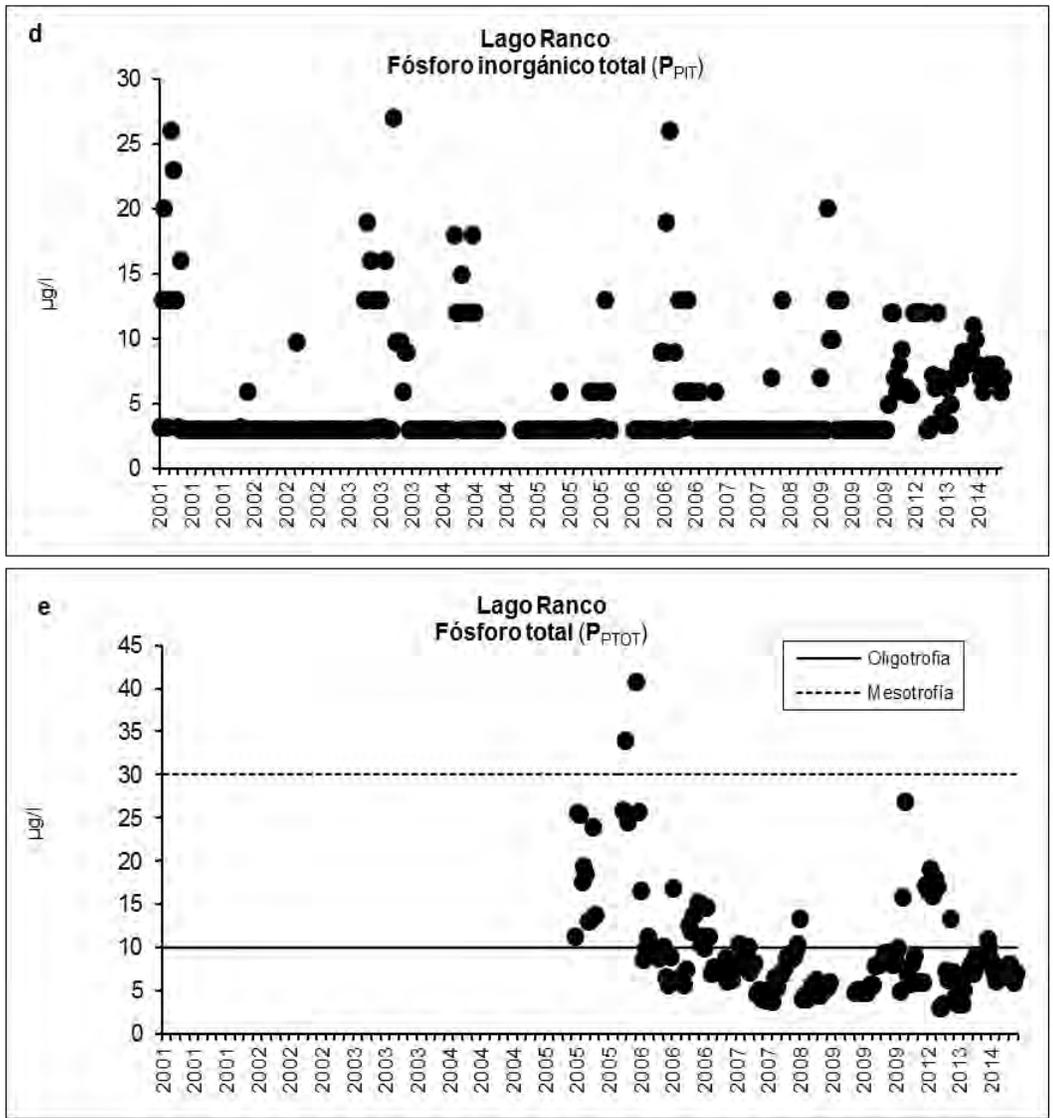


Figura 32. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Ranco. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.14 Lago Riñihue

El análisis a largo plazo (2004 - 2013) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Riñihue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia entre el 2004 y el 2013 aunque se observan episodios de aumentos de la condición trófica hasta niveles mesotróficos (**Figura 33a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante durante el periodo de estratificación (Nitrógeno, **N_{NIT}**) muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2004 y hasta el 2013 han sido frecuentemente menores a 100 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 33b**). Cabe destacar que han habido valores puntuales de **N_{NIT}** de 200 o 300 $\mu\text{g/l}$ (**Figura 33b**). Sin embargo, el análisis de la concentración de **N_{NTOT}** confirma el nivel de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia a través del periodo de estudio en el lago Riñihue (**Figura 33c**). El análisis de Fósforo como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) muestra que la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) en el tiempo ha sido baja y los valores han sido cercanos al límite de detección analítica (3,0 $\mu\text{g/l}$, **Figura 33d**). El análisis de la concentración de **P_{PTOT}** ha indicado que frecuentemente han habido niveles de Fósforo que tipificarían al lago Riñihue como un sistema Oligotrófico con escasos episodios de mayor concentración de Fósforo total (**Figura 33e**).

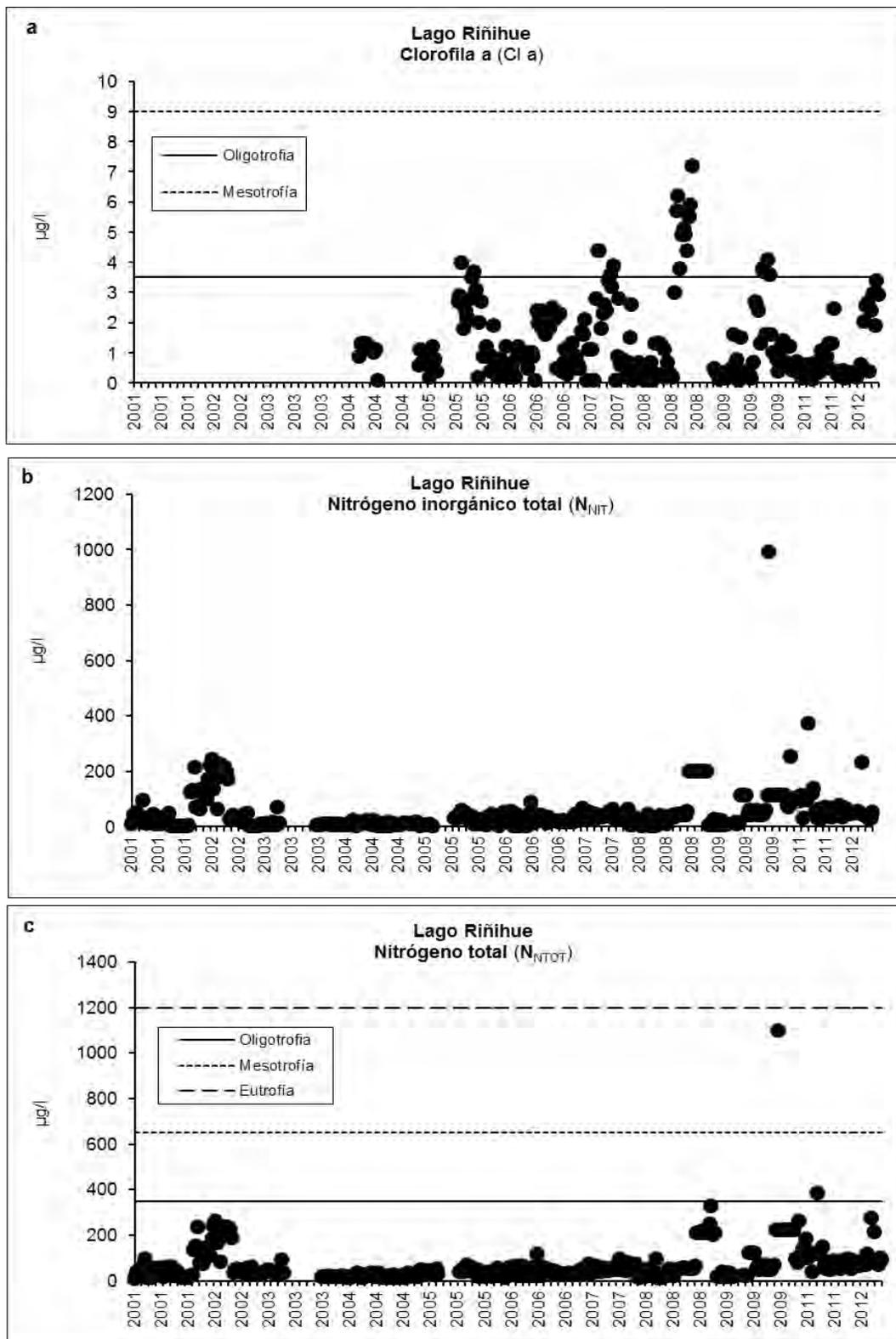


Figura 33. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Riñihue. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante durante la estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

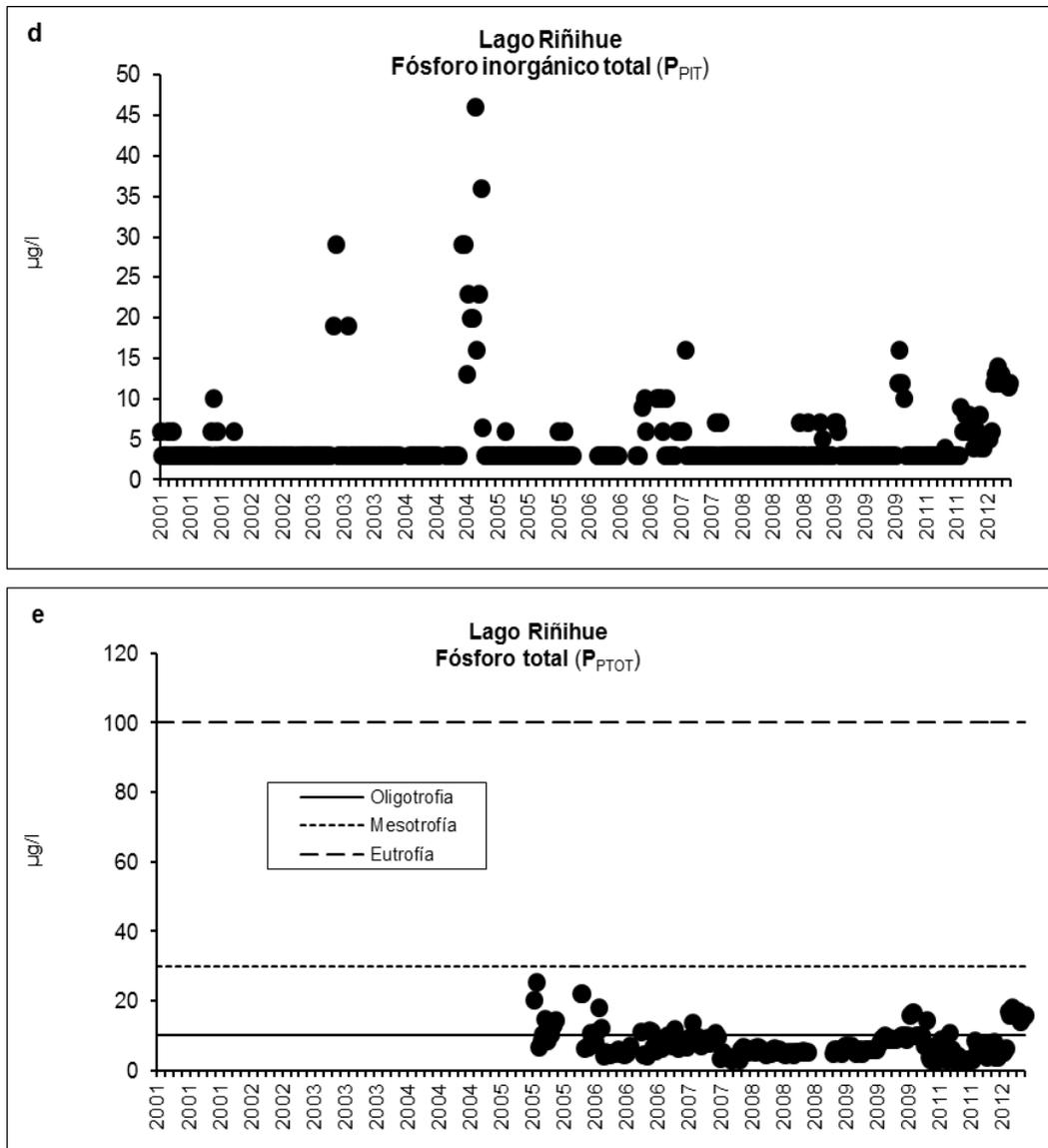


Figura 33. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Riñihue. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.15 Lago Rupanco

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en el lago Rupanco hecho en base a los resultados de los años 2012 y 2013 muestra que este sistema presenta una condición Oligotrofia o incluso Ultraoligotrofia (**Figura 34a**). El análisis de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Nitrógeno inorgánico **N_{NIT}** han sido bajos (< 90 µg/l), valor que indica una baja potencialidad de aumentar el nivel trófico (**Figura 34b**). De igual modo, la concentración de **N_{NTOT}** también indica niveles de Oligotrofia e incluso Ultraoligotrofia entre los años 2012 y 2013 (**Figura 34c**) confirmando con ello que los niveles bajos de trofia descritos mediante Clorofila **a**. Estos resultados indican que el lago Rupanco presentaría niveles bajos de biomasa y de nutrientes y por lo tanto, la producción biológica no aumentaría y su condición trófica se mantendría en los niveles actuales de Oligotrofia o Ultraoligotrofia. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más años de datos.

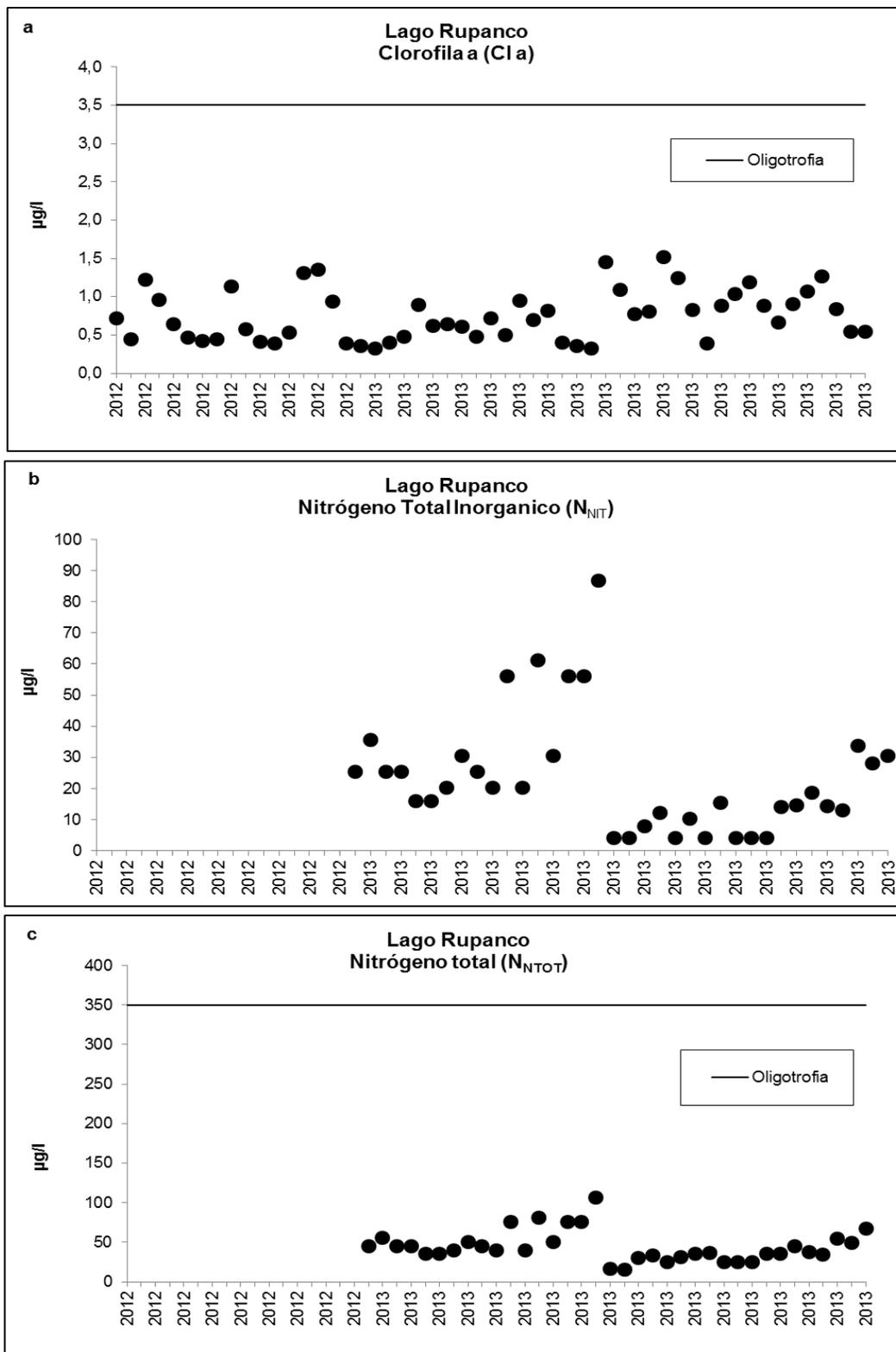


Figura 34. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Rupanco. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.16 Laguna Grande de San Pedro

El análisis a largo plazo (2003 - 2012) de la concentración de Clorofila *a* en la laguna Grande de San Pedro muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligo-mesotrofía, la que se ha mantenido hasta el 2013 (**Figura 35a**). El análisis temporal de la concentración de nitrógeno inorgánico **N_{NIT}** como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de estratificación (verano) en la laguna Grande de San Pedro indica que frecuentemente los niveles de esta esta fracción de nitrógeno han sido menores a 150 µg/l, lo cual conllevaría a disminuir la producción biológica en este periodo del año (**Figura 35b**). El análisis de **N_{NOT}** confirma los bajos valores de Nitrógeno e indica un menor nivel trófico que los niveles mesotróficos descritos por la concentración de Clorofila *a* (**Figura 35c**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (**P_{PIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) en la laguna Grande de San Pedro indica que los valores de Fósforo inorgánico han sido bajos y frecuentemente se han observado valores de 3,0 µg/l, valor que representa el valor límite de detección analítica (**Figura 35d**). Por el contrario, la concentración de **P_{PTOT}** en el tiempo indica niveles meso-eutróficos entre el 2003 y parte del 2006 y niveles mesotróficos desde el 2006 hasta el 2012 (**Figura 35e**). Estos resultados indican que la laguna Grande de San Pedro ha presentado en forma permanente una abundante biomasa que ha consumido el Fósforo inorgánico y que el Fósforo se encuentra incorporado en los organismos como la fracción orgánica y particulada del sistema. Por lo tanto y debido a que no hay nutrientes disponibles, la producción biológica no aumentaría y la condición trófica se mantendrá en los niveles actuales de Oligo-mesotrofía.

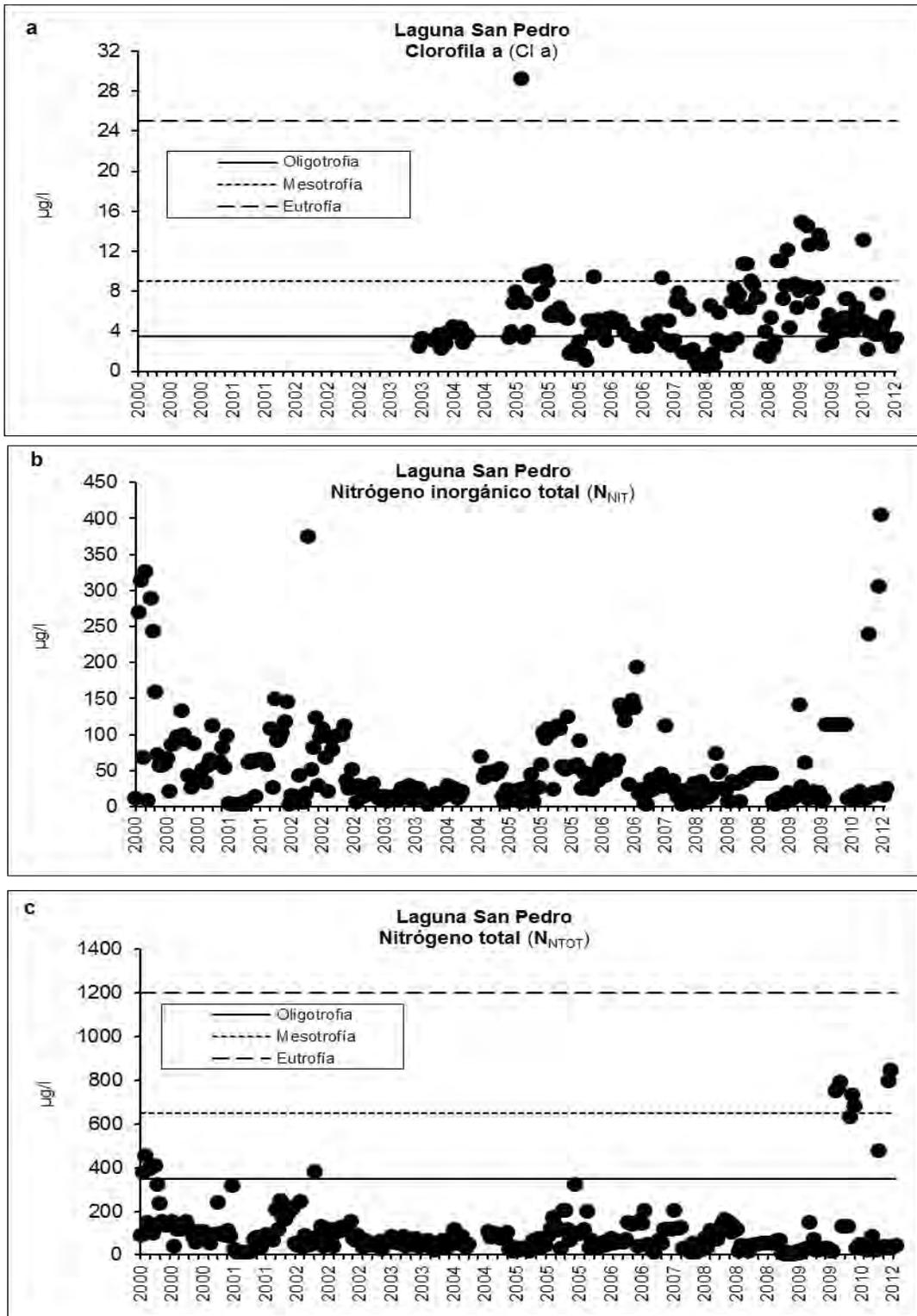


Figura 35. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Grande de San Pedro. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante durante estratificación: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

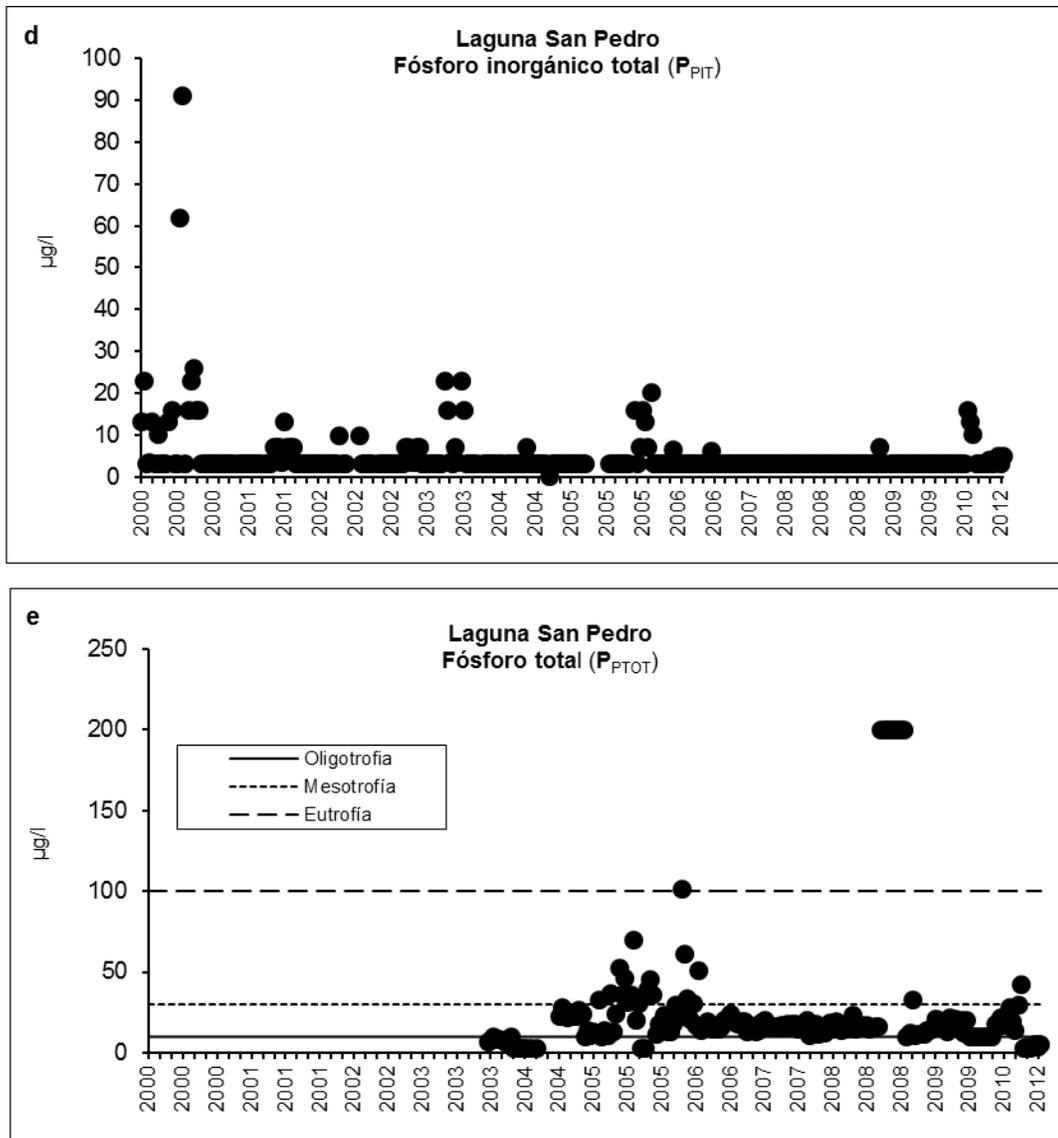


Figura 35. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Grande de San Pedro. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla: Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.17 Lago Todos Los Santos

El análisis a largo plazo (2003 - 2012) de la concentración de Clorofila **a** en el lago Todos Los Santos muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia, los cuales se han mantenido hasta el 2012 (**Figura 36a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como un nutriente limitante durante el periodo de estratificación muestra que las concentraciones máximas de **N_{NIT}** desde el 2003 y hasta el 2012 han sido frecuentemente menores que 1,5 µg/l, valores que solo podrían producir niveles de Ultraoligotrofia en este sistema (**Figura 36b**). La concentración de **N_{NTOT}** también ha indicado niveles de Oligotrofia (**Figura 36c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (**P_{PIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de mezcla en el lago Todos Los Santos (otoño-invierno-primavera) ha mostrado que la concentración de **P_{PIT}** ha sido frecuentemente muy baja y cercana al límite de detección analítica (3,0 µg/l) desde el 2002 y hasta el 2012 (**Figura 36d**). La concentración de **P_{PTOT}** en el lago Todos Los Santos indica que tendría una condición oligotrófica aunque con varios episodios de valores mesotróficos (**Figura 36e**).

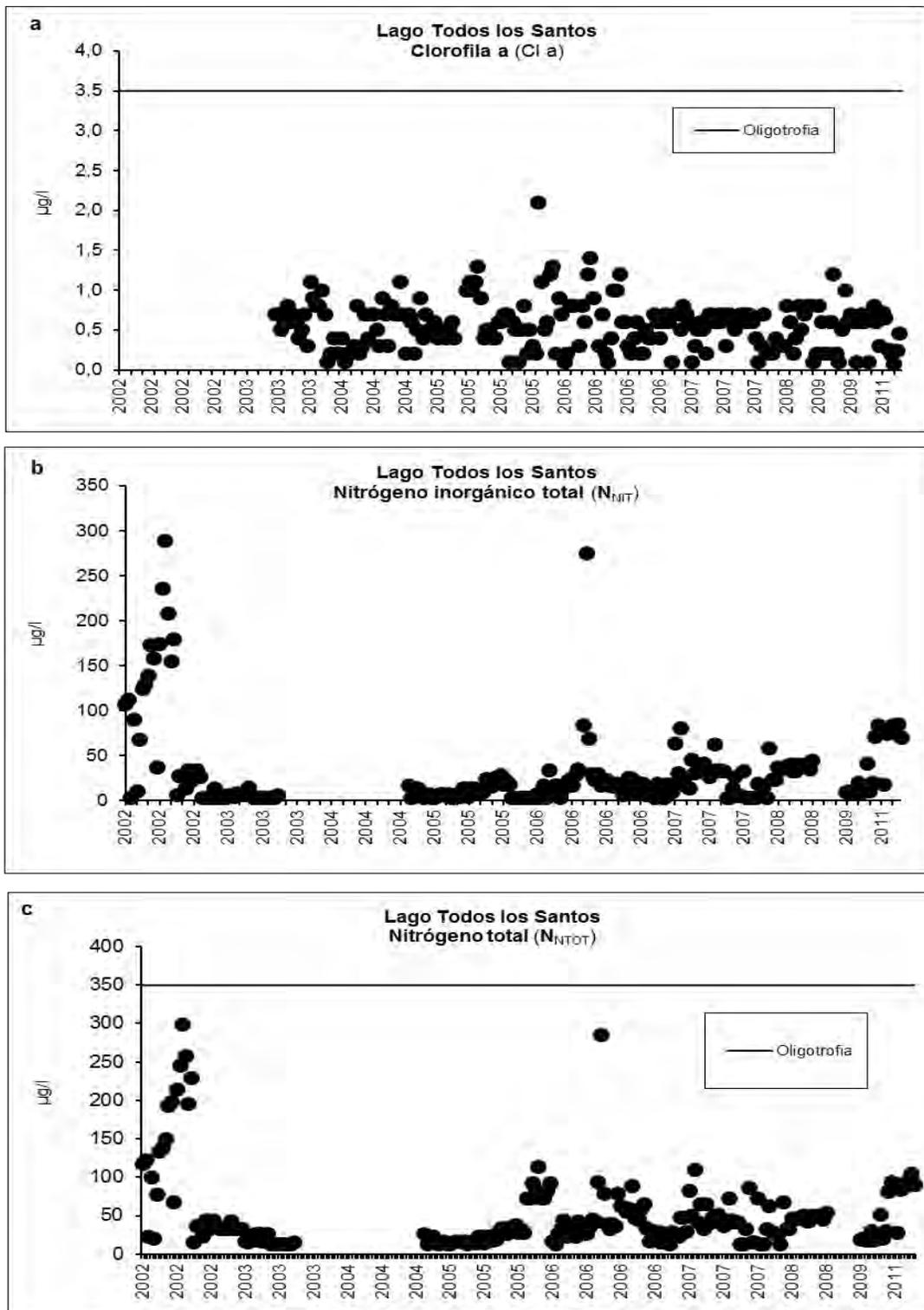


Figura 36. Análisis temporal interanual de la condición trófica del Todos los Santos. a) Clorofila **a**, b) Nutriente limitante durante estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

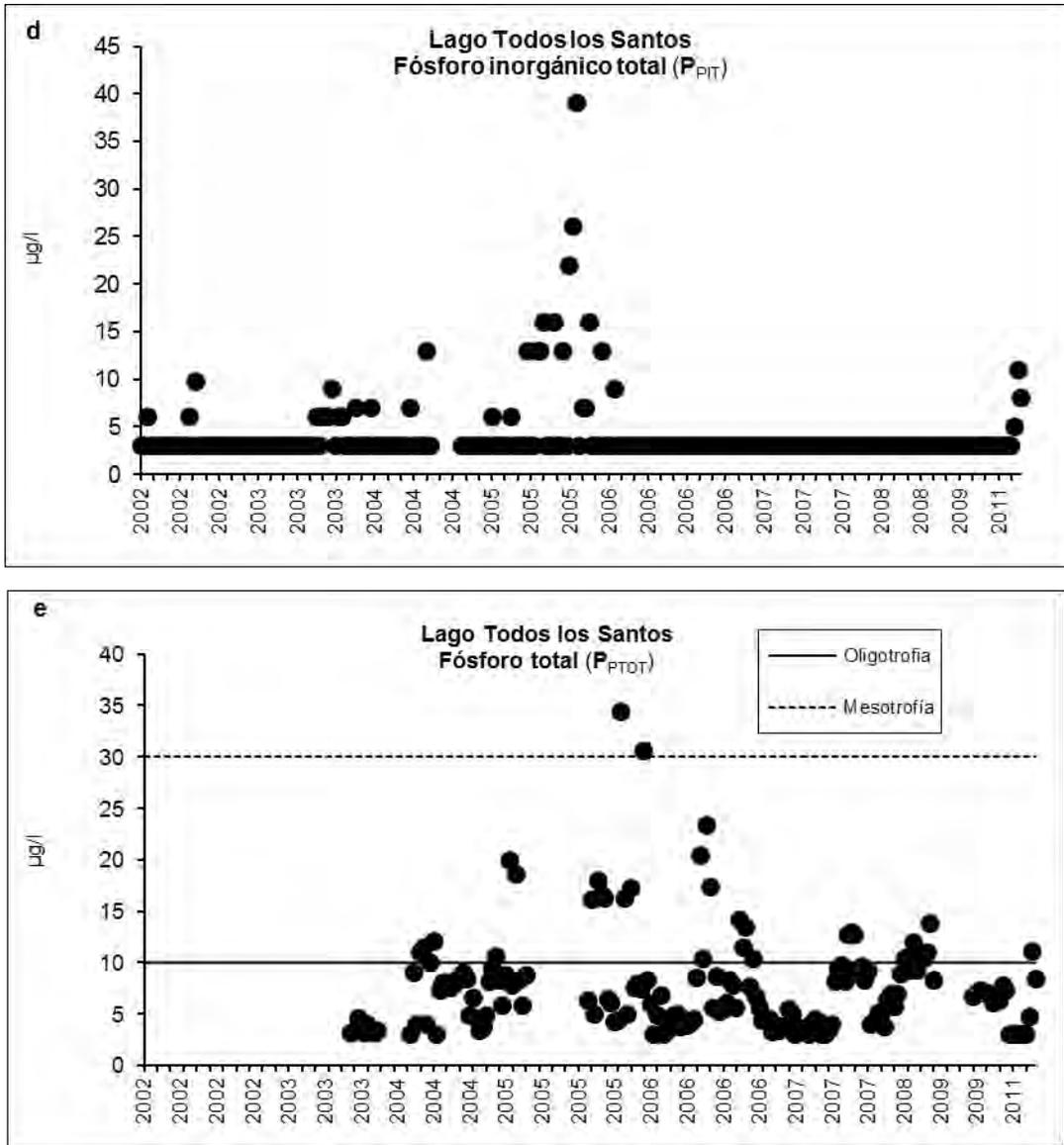


Figura 36. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica de lago Todos los Santos. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

7.7.18 Laguna Torca

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en la laguna Torca hecho en base a los resultados del año 2013 (otoño y verano) muestra que este sistema presenta una condición de Hipereutrofía (**Figura 37a**). El análisis de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Nitrógeno inorgánico han sido medios (<500 µg/l), valor que indica la capacidad de disminuir el nivel trófico a niveles mesotróficos (**Figura 37b**). De igual modo, la concentración de **N_{NTO}** también indica niveles de Mesotrofia en el sistema (**Figura 37c**). Estos resultados indican que la laguna Torca presentaría niveles muy altos de biomasa, sin embargo niveles medios de nutrientes. Cabe mencionar que este escenario de Hipereutrofía debe ser verificado con un mayor cantidad de registros.

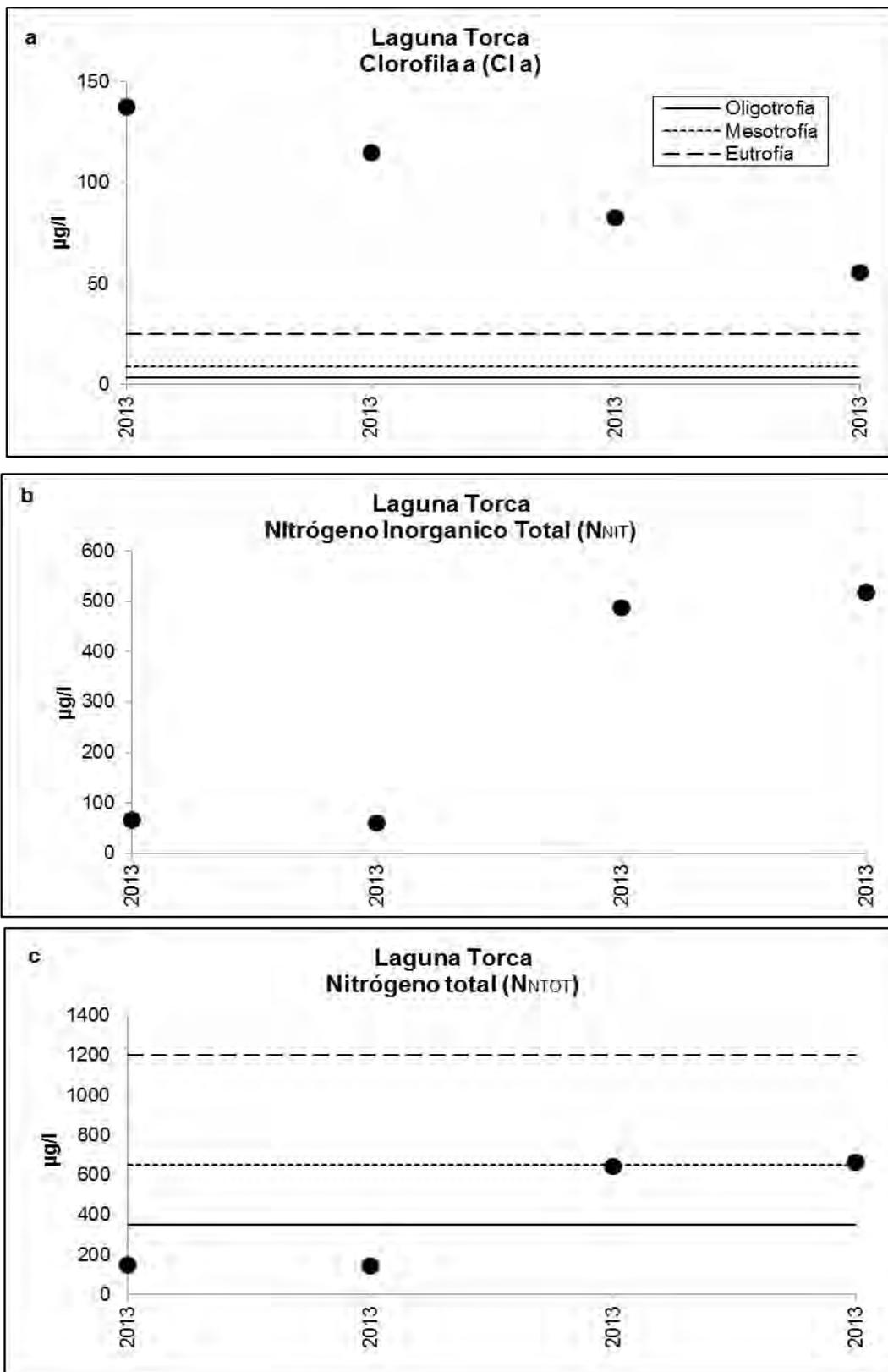


Figura 37. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Torca. a) Clorofila **a**, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.19 Lago Vichuquen

El análisis de la concentración de Clorofila **a** en el lago Vichuquen hecho en base a los resultados del año 2013 muestra que este sistema presentó una condición Mesotrofia durante el 2013 (**Figura 38a**). El análisis de la concentración de Nitrógeno inorgánico (**N_{NIT}**) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Nitrógeno inorgánico han sido bajos (< 130 µg/l), valor que indica una baja potencialidad de aumentar el nivel trófico, el cual puede incluso puede ser disminuido (**Figura 38b**). De igual modo, la concentración de **N_{NTOT}** también indica niveles de Oligotrofia (**Figura 38c**) confirmando que los niveles de trofia descritos mediante la Clorofila **a** pudieran disminuir. Estos resultados indican que el lago Vichuquen presentaría niveles medios de biomasa pero bajos niveles de concentración de nutrientes por lo que su producción biológica no aumentaría pudiendo incluso disminuir si estos niveles se mantienen en el tiempo. Cabe mencionar que este escenario de Oligotrofia debe ser verificado con más años de datos.

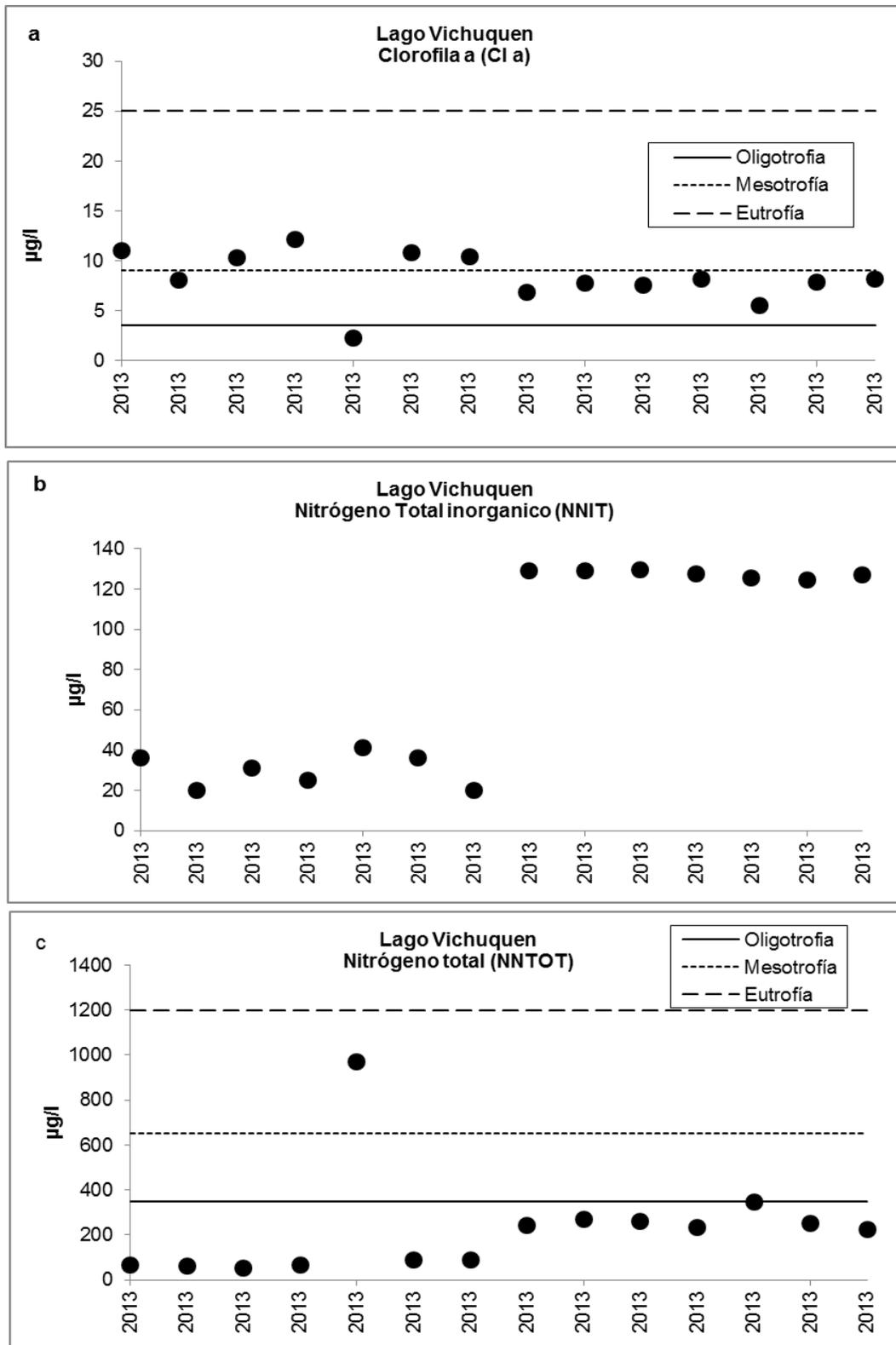


Figura 38. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Vichuquen. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante: Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

7.7.20 Lago Villarrica

El análisis a largo plazo (2000 - 2013) de la concentración de Clorofila *a* en el lago Villarrica muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligo-mesotrofia (**Figura 39a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante durante el periodo de estratificación (Nitrógeno) muestra que la concentración de **N_{NIT}** ha variado en el tiempo y que han sido frecuentes los valores menores a 200 µg/l (**Figura 39b**). La concentración de **N_{NTOT}** confirma los niveles de Oligotrofia en el lago Villarrica durante la estratificación en verano, lo cual se ha mantenido desde el 2002 y hasta el 2013 con algún episodio de mayor trofia en el año 2012 (**Figura 39c**). Por el contrario, el análisis de Fósforo como nutriente limitante de la producción biológica durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera) muestra que los valores de **P_{PIT}** han sido altos y frecuentemente mayores que 50 µg/l (**Figura 39d**), los cuales podrían explicar la ocurrencia de los niveles de Mesotrofia e incluso Eutrofia en este lago. La concentración de **P_{PTOT}** también ha sido alta y frecuentemente ha indicado condiciones de Mesotrofia y eventualmente condiciones de Eutrofia (**Figura 39e**).

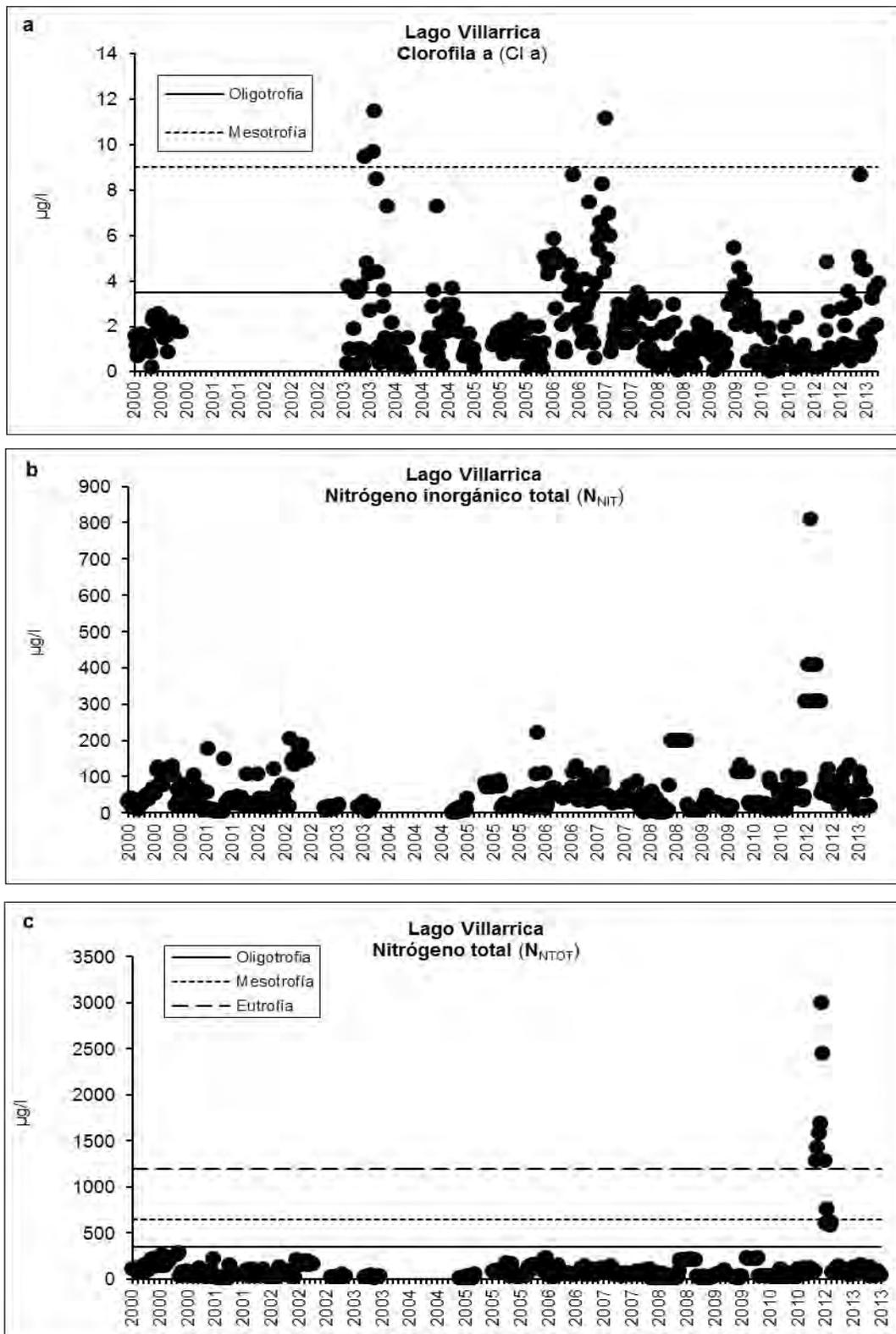


Figura 39. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Villarrica. a) Clorofila *a*, b) Nutriente limitante durante el periodo de estratificación (verano): Nitrógeno inorgánico total y c) Nitrógeno total.

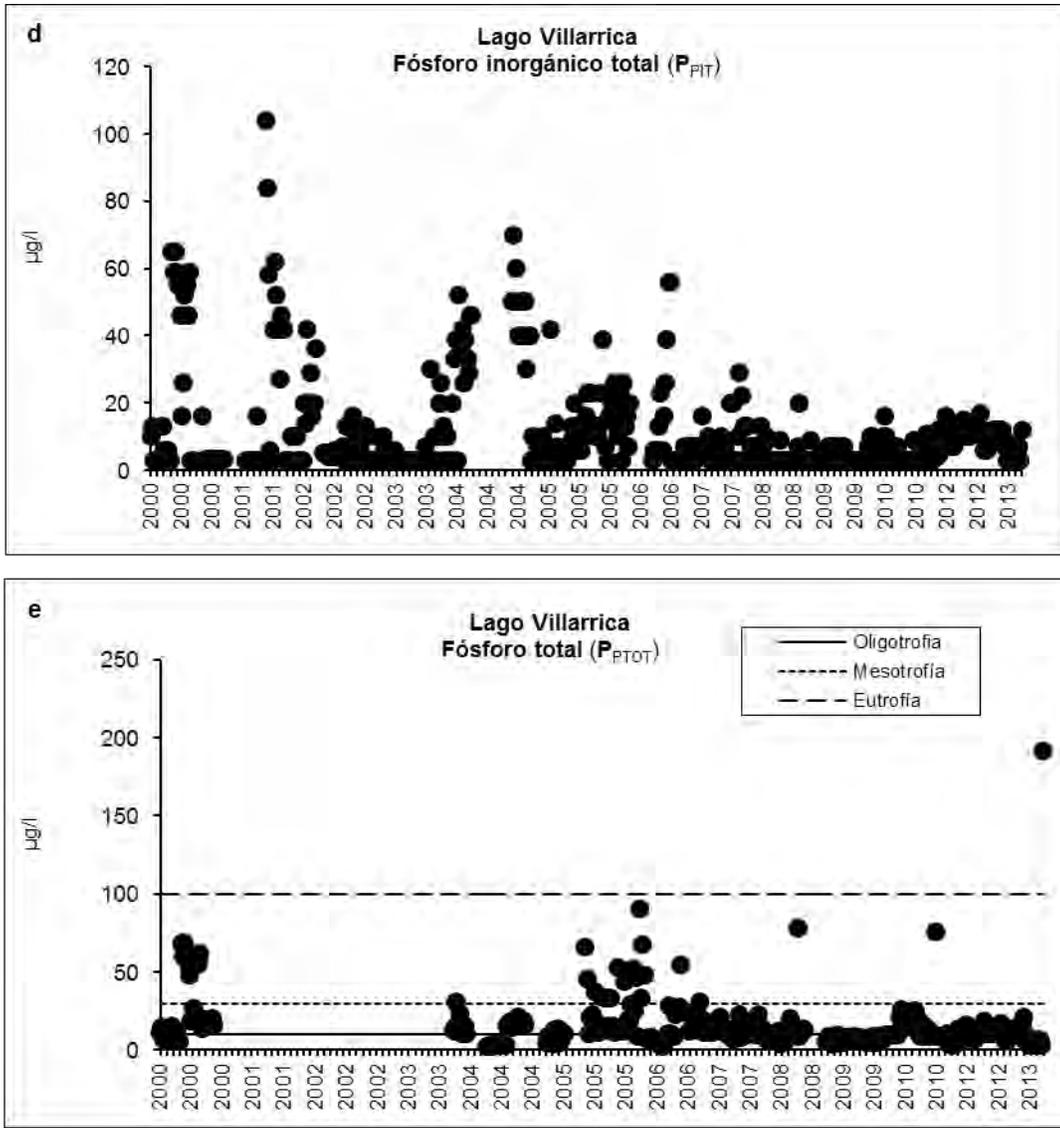


Figura 39. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica de lago Villarrica. d) Nutriente limitante durante el periodo de mezcla (otoño-invierno-primavera): Fósforo inorgánico total y e) Fósforo total.

8 CONCLUSIONES

A continuación se realiza una discusión de los resultados obtenidos para cada lago de la Red de Control de Lagos de la DGA.

8.1 Laguna Aculeo

La laguna Aculeo mostró una condición de Hipereutrofia en el 48% de los casos estudiados sin embargo hubo un 30% de los casos en que la laguna Aculeo presentó condiciones de Eutrofia. Cabe mencionar que este sistema presentó eventualmente condiciones de Mesotrofia (13%) y Oligotrofia (8%). El alto nivel de trofia predominante se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio, lo cual hace de este sistema uno de los lagos con mayor nivel trófico de la Red de Lagos de la DGA. Esta permanentemente alta condición trófica es consistente con diversos aspectos de hidrodinámica y calidad de agua de la laguna Aculeo. La laguna Aculeo presenta una gran parte de la columna de agua altamente irradiada (43%), con niveles de radiación solar que favorecen la síntesis de materia orgánica a través del proceso fotosintético (niveles > 1% de la irradianza superficial). De igual modo, la columna de agua se encuentra hidrodinámicamente mezclada a través de todo el año y en conjunto con la baja profundidad de la cubeta (7 m) (Vila *et al.*, 1986; Montecino, 1991) generan condiciones de resuspensión de nutrientes, principalmente de nutrientes fosforados desde el fondo, los cuales a través de la mezcla profunda ingresan al sistema nuevamente pudiendo ser incorporados a la fracción orgánica particulada (biomasa). La limitación por Fósforo que presentan la laguna Aculeo durante todo el año y los altos niveles de concentración de este nutriente explican la condición de Hipereutrofia que muestra todo el año, condición que debiera mantenerse si se mantienen los actuales niveles de Fósforo.

8.2 Lago Caburgua

El lago Caburgua mostró una condición de Oligotrofia en el 96 % de los casos estudiados y raras veces presentó menor trofia (Mesotrófico en el 4% del total de casos). Este bajo nivel de trofia se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Caburgua presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (5 %) para que se favorezcan los procesos de síntesis de materia orgánica (niveles > 1% de la irradianza superficial). La columna de agua del lago Caburgua se encuentra hidrodinámicamente mezclada en el eje vertical gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos, 1984; Campos *et al.*, 1987). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) de mayor temperatura conlleva

al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno en el estrato intermedio estratificado, lo cual produce que la formas reducidas de nutrientes nitrogenados hasta el N_2 (g), siendo este último liberado posteriormente a la atmósfera como gas. Este proceso produce una desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno hacia la atmosfera generándose con ello la limitación de este nutriente durante el verano para los ensambles biológicos. Posterior al rompimiento de la estratificación, se genera paulatinamente la mezcla de la columna de agua y al aumento de oxígeno desde capas más profundas y frías surgiendo nuevamente formas oxidadas de Nitrógeno tales como NO_2 y NO_3 y tornándose el sistema limitado por Fósforo. Cabe destacar que descargas superficiales de Fósforo por vertidos domiciliarios y por vertidos industriales afectarían al sistema principalmente durante el periodo de otoño-invierno y primavera cuando el sistema se torna limitado por este nutriente. Por el contrario, el control de la condición trófica en verano debe estar enfocado a las descargas de Nitrógenos provenientes por ejemplo de la actividad agrícola. Por lo tanto, el lago Caburgua al estar sometido a altos niveles de Fósforo es posible que aumente su condición eutrófica y se hagan más frecuentes las mediciones de Mesotrofia escasamente observadas en la actualidad.

8.3 Lago Calafquen

El lago Calafquen mostró una condición de Oligotrofia en el 99% de los casos estudiados y raras veces (1%) presentó niveles de Mesotrofia. Este bajo nivel de trofia se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y de calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Calafquen como todos los lagos Araucanos presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (7%) para que se favorezcan los procesos de síntesis de materia orgánica (niveles > 1% de la irradianza superficial). Por otra parte, la columna de agua del lago Calafquen se encuentra hidrodinámicamente mezclada en el eje vertical gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos *et al.*, 1980, Campos *et al.*, 1984). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) de mayor temperatura conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno en la columna de agua, lo cual produce formas reducidas de nutrientes nitrogenados hasta N_2 (g), el cual es liberado a la atmósfera como gas. Este proceso produce una desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno hacia la atmosfera generándose con ello la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría una paulatina mezcla de la columna de agua y un aumento del oxígeno desde capas más profundas y frías surgiendo nuevamente formas oxidadas de Nitrógeno tales como NO_2 y NO_3 y tornándose el sistema limitado por Fósforo. Cabe mencionar que la limitación por Nitrógeno es frecuente y que la concentración de Nitrógeno inorgánico durante el periodo de verano es significativamente mayor (1.048 $\mu\text{g/l}$) que en el resto del año, lo cual podría

producir episodios de eutrofia en verano. Por el contrario, la concentración de Fósforo es baja en invierno y consecuentemente no es conducente a generar aumentos de condición trófica. El control de la trofía debe manejarse a través de la disminución de descargas superficiales de vertidos domiciliarios y vertidos industriales provenientes por ejemplo de la actividad agrícola.

8.4 Lago Chapo

El lago Chapo mostró una condición de Oligotrofia en el 79% de los casos estudiados sin embargo hubo una frecuencia no despreciables de casos en los que el lago Chapo presentó niveles mesotróficos (21%). Los bajos niveles de trofía predominantes se presentaron a través de todo un ciclo anual promedio y se han mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico en el lago Chapo es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos. Así por ejemplo, el lago Chapo como todos los lagos Araucanos presenta una porción baja de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (6%) para que se favorezcan los procesos de síntesis de materia orgánica (niveles > 1% de la irradianza superficial). Así mismo, la columna de agua del lago Chapo se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Villalobos *et al.*, 2003). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago Chapo conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produce formas reducidas de nutrientes nitrogenados hasta N_2 (g), el que es liberado posteriormente a la atmósfera como gas. Este proceso produce una desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno hacia la atmósfera generándose con ello la limitación de este nutriente durante el verano para los ensamblajes biológicos. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría una paulatina mezcla de la columna de agua y el aumento de oxígeno desde capas más profundas y frías surgiendo nuevamente formas oxidadas de Nitrógeno tales como NO_2 y NO_3 y tornándose el sistema limitado por Fósforo. Por lo tanto, el control de la condición trófica en el lago Chapo debe implementarse a través de la disminución de las descargas de Nitrógeno provenientes por ejemplo de la actividad agrícola durante el periodo de verano cuando existe limitación por Nitrógeno. Sin embargo, se debe mencionar que los valores de concentración de Nitrógeno medidos durante el verano en el lago Chapo variaron entre 22,0 y 32,0 $\mu\text{g/l}$, lo cual no conllevaría a aumentos de la condición trófica. De igual modo, los valores de Fósforo medidos en el periodo invernal oscilan entre 4,0 y 4,5 $\mu\text{g/l}$, niveles que tampoco generarían aumentos de condición trófica. Cabe mencionar que los valores actuales e históricos de concentración de nutrientes en el lago Chapo permitirían mantener la condición de Oligotrofia observada a largo plazo en el lago Chapo.

8.5 Lago Colico

El lago Colico mostró una condición de Ultra-oligotrofia en el 100% de los casos estudiados y nunca hubo condiciones de mayor trofia. Este bajo nivel de trofia se mantuvo a través de los periodos estacionales de verano 2013 y otoño 2013 (no existen datos para invierno y primavera). El lago Colico presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada para que se favorezcan los procesos de síntesis de materia orgánica (niveles > 1% de la irradianza superficial), lo cual es consistente con los resultados de Oligotrofia. Por otro lado, el bajo nivel trófico es consistente con la condición hidrodinámica de la columna de agua del lago Colico en la cual de agua se detecta estratificación en verano la que se prolonga hasta otoño. El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival tardío (verano-otoño) genera un aislamiento hidrodinámico y una eventual disminución de la concentración oxígeno que conllevaría a generar una limitación por Nitrógeno en verano y otoño. Sin embargo, el análisis reveló limitación de Fósforo en este periodo. El valor promedio de concentración de Fósforo medido en el lago Colico durante los periodos de verano y otoño alcanza a 3,0 µg/l, valor que permitirá mantener los niveles oligotróficos del lago. Según estos escasos resultados, el control de la condición trófica en verano en el lago Colico debiera estar enfocado a las descargas de Fósforo provenientes por ejemplo de la actividad agrícola y vertidos domiciliarios. Cabe indicar que estos resultados deberán ser revisados cuando se cuente con un mayor periodo de registro de datos.

8.6 Lago Lanalhue

El lago Lanalhue mostró una condición variable de trofia a través del tiempo en el largo plazo, ya que del total de casos estudiados, en un 38% de los casos hubo condición de Mesotrofia y en un 34% de los casos hubo condiciones de Eutrofia, lo cual llevó a tipificarlo como un sistema con condiciones Meso-Eutróficas. Cabe mencionar que un 26% de los casos, el lago Lanalhue fue Oligotrófico, lo cual confirma la condición variable de la trofia. Esta condición trófica es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Lanalhue presenta una porción no despreciable de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (12%) para que se favorezcan los procesos de síntesis de materia orgánica, lo cual es consistente con resultados obtenidos en estudio independientes (Valdovinos & Figueroa, 2000; Parra *et al.*, 2003). La columna de agua del lago Lanalhue se encuentra mezclada en otoño e invierno y estratificada durante primavera y verano. El proceso de estratificación térmica comienza temprano en primavera y se prolonga en verano debido a la mayor temperatura que se produce en este periodo. El aislamiento hidrodinámico producido en el periodo estival conllevaría a una eventual disminución de la concentración oxígeno y la generación de formas reducidas de nutrientes nitrogenados hasta N_2 (g) el que es liberado a la atmósfera como gas durante el verano generando una disminución de nitrógeno y la limitación de este nutriente para los ensamblajes biológicos del sistema. Posterior al rompimiento de la estratificación, se genera la mezcla de la

columna de agua y al aumento de oxígeno desde capas más profundas y frías surgiendo nuevamente formas oxidadas de Nitrógeno tales como NO_2 y NO_3 y tornándose el sistema limitado por Fósforo siendo esto consistente con la limitación por Fósforo que se observa en el lago Lanalhue en otoño, invierno y comienzos de primavera. Por lo tanto, el control de Fósforo por descargas superficiales de vertidos domiciliarios sería relevante durante invierno y comienzos de primavera mientras que el control de Nitrógeno producto de la actividad agrícola debiera hacerse en verano. Cabe mencionar que la concentración de Nitrógeno inorgánica durante el periodo de verano varía entre 3,0 y 506 $\mu\text{g/l}$ en el lago Lanalhue, lo cual podría mantener niveles de Mesotrofia en primavera y verano y así mismo, los valores de Fósforo varían entre 3 y 30 mg/l en el lago Lanalhue, los cuales también conllevan a generar niveles mesotróficos en otoño e invierno.

8.7 Lago Llanquihue

El lago Llanquihue mostró una condición de Oligotrofia prácticamente en el 100% de los casos estudiados. Este bajo nivel de trofia se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Llanquihue como todos los lagos Araucanos presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (8%). Por otra parte, la columna de agua se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos et al. 1988; Soto, 2002). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno en la columna de agua del lago Llanquihue, lo cual produce la desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno hacia la atmosfera generándose con ello la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo. Se debe indicar que la concentración de Nitrógeno inorgánica durante el periodo de verano varía entre 3 y 276 $\mu\text{g/l}$ en el lago Llanquihue, lo cual permite mantener niveles oligotróficos en este periodo a diferencia de la concentración de Fósforo que varía entre 3,0 y 23,0 $\mu\text{g/l}$ entre otoño, invierno y primavera, lo cual podría generar un aumento de la trofia hacia niveles mesotróficos en estos periodos. Por lo tanto, cualquier variación por aumento de trofia en verano debe ser manejado a través de la disminución de los vertidos domésticos e industriales de Nitrógeno mientras que en otoño tardío, invierno y primavera temprana se deben controlar los vertidos de Fósforo como aquellos provenientes de la actividad agrícola.

8.8 Lago LLeulleu

El lago LLeulleu mostró una condición de Oligotrofia en el 100% de los casos estudiados sin embargo, a la fecha solamente existen 6 casos de estudio y todos medidos en el periodo de invierno. Sin embargo, existe un estudio independiente realizado por Barra *et al.* 2001 que permite complementar resultados. Cabe mencionar que este nivel bajo de trofia no es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua del lago LLeulleu como por ejemplo, la existencia de una porción no despreciable de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (21%), lo cual debiera favorecer los procesos de síntesis de materia orgánica. El lago LLeulleu tiene una profundidad máxima de 46,5 m y una columna de agua que se encuentra mezclada al menos en invierno, lo cual permitiría la resuspensión de nutrientes fosforados desde el fondo de la cubeta y su eventual incorporación al componente particulado orgánicos del sistema (biomasa) con el consecuente aumento de nivel trófico. Sin embargo, los valores de concentración del nutriente limitante que es Fósforo fueron de 3,0 $\mu\text{g/l}$, lo cual permite indicar que se mantendrían niveles de Oligotrofia en este sistema si la concentración de Fósforo al menos en invierno no aumenta. Por lo tanto, el control de Fósforo por descargas superficiales de vertidos domiciliarios sería relevante de implementar durante invierno y comienzos de primavera más que en otra época del año.

8.9 Lago Maihue

El lago Maihue mostró una condición de Oligotrofia en el 99% de los casos estudiados. Los bajos niveles de trofia se mantuvieron a través de todo un ciclo anual promedio y se han mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico en el lago Maihue es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos de este sistema. Así por ejemplo, el lago Maihue como todos los lagos Araucanos presenta una porción baja de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (5%), por lo cual la síntesis de materia orgánica es menor. Por otro lado, la columna de agua del lago Maihue se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Wöelfl 2009). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno en la columna de agua, lo cual produce formas reducidas de nutrientes nitrogenados hasta N_2 (g) la que es liberada posteriormente a la atmósfera como gas. Este proceso produciría la desertificación del lago Maihue por el abandono de N_2 (g) hacia la atmosfera generándose con ello la limitación de este nutriente para los ensamblajes biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría paulatinamente la mezcla de la columna de agua y el aumento de oxígeno desde capas más profundas y frías surgiendo nuevamente formas oxidadas de Nitrógeno tales como NO_2 y NO_3 y tornándose el sistema limitado por Fósforo. Los niveles de Nitrógeno medidos en el lago Maihue conllevan a

mantener niveles de Oligotrofia durante el periodo de verano, sin embargo, los valores de concentración de Fósforo medidos en los periodos de otoño, invierno y primavera (0,2 – 29 µg/l) podrían generar un aumento de la condición trófica hacia niveles mesotróficos. Por lo tanto es recomendable realizar control de descargas de Fósforo como por ejemplo, vertidos domiciliarios e industriales principalmente en periodo invernal, cuando el Fósforo limita el proceso de producción biológica.

8.10 Lago Neltume

El lago Neltume mostró una condición de Oligotrofia en el 100% de los casos estudiados durante los años 2012 y 2013. Los bajos niveles de trofia se presentan a través de todo un ciclo anual promedio y se han mantenido entre los años 2012 y 2013. Sin embargo, esta condición de bajo nivel trófico en el lago Neltume no es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos del sistema tales como la mayor porción de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (27%) en comparación con la proporción de la columna que se encuentra iluminada en otros lagos Araucanos en los cuales varía entre 5 y 7%. La menor profundidad máxima del lago Neltume (86 m, Minuta DCPRH 18/2014) genera esta diferencia respecto de los lagos Araucanos restantes. La columna de agua del lago Neltume se encuentra hidrodinámicamente mezclada en otoño y estratificada durante primavera y verano. El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (primavera-verano) en el lago Neltume conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produce Nitrógeno que finalmente se reduce a N_2 (g) el que es liberado a la atmósfera. Este proceso produciría la desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno y con ello la limitación de este nutriente durante el verano. Durante los periodos de primavera y verano se determinó limitación de Nitrógeno y Fósforo, consecuentemente y para realizar manejo de condición trófica, durante estos periodos se deben implementar medidas de control de Fósforo y Nitrógeno por descargas superficiales de vertidos domiciliarios y vertidos industriales. Cabe mencionar que si bien, las concentraciones de Nitrógeno son bajas en el lago Neltume y conllevarían a mantener la baja condición trófica observada entre los años 2012 y 2013, los niveles de Fósforo son suficientemente altos (8,0–14,0 µg/l) para eventualmente generar episodios de mayor producción biológica y alcanzar una condición de Mesotrofia. Estos registros deben complementarse con datos a más largo plazo.

8.11 Lago Panguipulli

El lago Panguipulli mostró una condición de Oligotrofia en el 91% de los casos estudiados siendo el 8% restante de los casos de estudio un sistema Mesotrófico. Este bajo nivel de trofia predominante se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Panguipulli como todos los lagos Araucanos presenta

una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (7%), por lo cual es menor la síntesis de materia orgánica en la columna de agua. Por otra parte la columna de agua del lago Panguipulli se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos *et al.*, 1981; Campos, 1984). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produciría la desertificación del sistema por el abandono de Nitrógeno como N_2 (g) hacia la atmósfera, generándose con ello la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo. Los valores de concentración de Nitrógeno en verano varían entre 3,0 y 24 $\mu\text{g/l}$ en el lago Panguipulli, valores que conllevan a mantener la condición oligotrófica medida en verano. Sin embargo, los valores de concentración de Fósforo medidos en los periodos de otoño, invierno y primavera varían entre 3,0 y 18 $\mu\text{g/l}$, los cuales pueden generar un aumento de la condición trófica en el lago Panguipulli hasta niveles mesotróficos. Consecuentemente y en relación al manejo de la condición trófica en este lago, se debe indicar que un aumento de trofia en verano puede ser minimizado a través de disminuir los vertidos domésticos e industriales que transportan formas nitrogenadas, sin embargo el principal nutriente a manejar es el Fósforo durante otoño y primavera, particularmente a través del control de vertidos domiciliarios e industriales.

8.12 Lago Puyehue

El lago Puyehue mostró una condición de Oligotrofia en el 100% de los casos estudiados durante el año 2013. Los bajos niveles de trofia se presentaron a través de todo un ciclo anual. La condición de Oligotrofia observada en el lago Puyehue es parcialmente consistente con la no menor porción de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (18%), ya que es mayor que la porción de la columna irradiada de la mayoría de la lagos Araucanos cuya zona irradiada varía entre 5 y 7%. La menor profundidad máxima del lago Puyehue (123 m, Minuta DCPRH 36/12) generaría esta diferencia. En base a los datos obtenidos solamente en el 2013 se puede indicar que la columna de agua del lago Puyehue se encuentra estratificada gran parte del año en primavera, verano y otoño. El proceso de estratificación térmica prolongado que muestra el lago Puyehue conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo que produce formas reducidas Nitrógeno hasta N_2 (g) que es liberado a la atmósfera. Este proceso produciría la disminución de Nitrógeno y con ello la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos, lo cual fue determinado durante los periodos de primavera, verano y otoño en el lago Puyehue. Cabe mencionar que las concentraciones de Nitrógeno fueron bajas en el lago Puyehue durante el 2013 (7,5-133 $\mu\text{g/l}$), las cuales conllevarían a mantener niveles oligotróficos en este sistema. Por el contrario, los niveles de Fósforo fueron suficientemente altos (5,0 – 21,0 $\mu\text{g/l}$) como para generar episodios de mayor producción biológica y alcanzar una condición de Mesotrofia si es

que este nutriente se torna limitante en algún periodo del año. Consecuentemente y para realizar manejo de la condición trófica en el lago Puyehue, se deben implementar medidas de control de Nitrógeno por descargas superficiales de vertidos domiciliarios y vertidos industriales durante los periodos primavera, verano y otoño, sin embargo también se deben mantener descargas bajas de Fósforo. Estos registros deben complementarse con datos a más largo plazo.

8.13 Lago Ranco

El lago Ranco mostró una condición de Oligotrofia en el 95% de los casos estudiados siendo el 5% restante correspondiente a casos de Mesotrofia. Este bajo nivel de trofia predominante se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Ranco como todos los lagos Araucanos presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (8%), lo cual no favorece la síntesis de materia orgánica en la columna de agua. Por otra parte, la columna de agua del lago Ranco se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos *et al*, 1982; Wöelfl, 2009). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago Ranco conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produce la desertificación del sistema por el abandono de N_2 (g) hacia la atmosfera generándose con ello la limitación de Nitrógeno para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo. La concentración de Nitrógeno fue baja en el lago Ranco durante verano (1,0 - 106 $\mu\text{g/l}$), las cuales conllevan a mantener los niveles oligotróficos actualmente descritos, sin embargo, los niveles de Fósforo son suficientemente altos (3,0 - 27,0 $\mu\text{g/l}$) como para generar episodios de mayor producción biológica y alcanzar una condición de Mesotrofia, lo cual ha ocurrido con alguna frecuencia en el lago Ranco. Por lo tanto, las medidas de manejo de la condición trófica en el lago Ranco deben ser implementadas mediante el control de las descargas de Fósforo que provienen de vertidos domésticos principalmente en otoño, invierno y primavera, periodos en que el Fósforo limita la producción biológica en el lago Ranco.

8.14 Lago Riñihue

El lago Riñihue mostró una condición de Oligotrofia en el 92% de los casos estudiados siendo el 8% restante correspondiente a casos de Mesotrofia. Este bajo nivel de trofia predominante se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Riñihue como todos los lagos Araucanos presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (3 %), lo cual no favorece la síntesis

de materia orgánica. Por otra parte, la columna de agua del lago Riñihue se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos, 1984; Campos *et al.*, 1978; Campos *et al.*, 1987; Campos, 1992; Wöelfl *et al.*, 2003). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago Riñihue conllevaría al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno y a la limitación de Nitrógeno para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo en el lago Riñihue durante los periodos de otoño, invierno y primavera. Las concentraciones de Nitrógeno fueron bajas en el lago Riñihue durante verano (3,0-135 µg/l), las cuales conllevarían a mantener los niveles oligotróficos actualmente descritos. Sin embargo, los niveles de Fósforo son suficientemente altos (3,0-46,0 µg/l) para generar episodios de mayor producción biológica y alcanzar hasta una condición de Eutrofía, niveles que no han sido detectados sin embargo se han detectado frecuentes eventos de Mesotrofía. Por lo tanto, la implementación de medidas de manejo de la condición trófica en el lago Riñihue deben realizarse mediante el control de las descargas de Fósforo que provienen de vertidos domésticos e industriales, lo cual debe hacerse principalmente en otoño, invierno y primavera, periodos en los que el Fósforo limita la producción biológica.

8.15 Lago Rupanco

El lago Rupanco mostró una condición de Oligotrofia en el 100% de los casos estudiados durante los años 2012 y 2013. Los bajos niveles de trofia se presentan a través de todo un ciclo anual promedio y se han mantenido entre los años 2012 y 2013. Esta condición de bajo nivel trófico en el lago Rupanco es medianamente consistente con el tamaño de la porción de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada, la cual alcanza a un 14% siendo mayor que la mayoría de los lagos Araucanos (5-7%). La columna de agua del lago Rupanco se encuentra hidrodinámicamente estratificada en primavera y no hay datos para los restantes periodos estacionales. El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (primavera) en el lago Rupanco conllevaría a la disminución de la concentración oxígeno y de formas nitrogenadas de nutrientes. Consecuentemente, durante primavera se produciría la limitación de Nitrógeno. La concentración de Nitrógeno es baja en el lago Rupanco (4,0 – 34,0 µg/l) durante primavera, lo cual conllevaría a mantener niveles de Oligotrofia. Si bien estos registros deben complementarse con datos a más largo plazo, es posible indicar que para realizar manejo de condición trófica en el lago Rupanco se deben implementar medidas de control de Nitrógeno por descargas superficiales de vertidos domiciliarios y vertidos industriales al menos durante primavera.

8.16 Laguna Grande de San Pedro

La laguna Grande de San Pedro mostró una condición variable de trofia a través del tiempo y en largo plazo, ya que en un 54% del total de casos, la condición de la laguna ha sido tipificada como Mesotrófica, sin embargo, en un 34% de los casos ha presentado condiciones de Oligotrofia y en un 11% de los casos en un nivel de Eutrofia, todo lo cual ha llevado a definirlo como un sistema Meso-Eutrófico. Este nivel medio-alto de trofia se ha mantenido a largo plazo. Esta condición es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, la laguna Grande de San Pedro presenta una porción mayor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (22 %), lo cual favorece los procesos de síntesis de materia orgánica y lo cual es consistente con resultados obtenidos en estudio independientes (Valdovinos & Figueroa, 2000; Parra *et al.*, 2003). Por otra parte, la columna de agua de la laguna Grande de San Pedro se encuentra mezclada en otoño, invierno y primavera y estratificada durante verano. El proceso de estratificación térmica comienza temprano en primavera y se prolonga en verano debido a la mayor temperatura que se produce en este periodo. El aislamiento hidrodinámico producido en el periodo estival en la laguna Grande de San Pedro conllevaría a una eventual disminución de la concentración oxígeno y a la generación de formas reducidas de nutrientes nitrogenados que eventualmente pueden abandonar el sistema a la forma de gas. Con ello se genera la disminución de Nitrógeno en el sistema y la consecuente limitación de este nutriente para los ensamblajes biológicos durante verano. Las concentraciones de Nitrógeno medidas en la laguna Grande San Pedro durante el verano varían entre 4,0 – 406 µg/l, niveles de Nitrógeno que conllevarían a mantener la condición de Mesotrofia en este sistema. Por el contrario, los valores de concentración de Fosforo medidos durante el periodo de invierno (otoño, invierno y primavera) fueron altos (3,0 – 91 µg/l) y conllevarían a generar un aumento del nivel trófico hasta niveles eutróficos. Consecuentemente, para realizar un manejo de la condición trófica en la laguna Grande de San Pedro se deben implementar medidas de control principalmente de Fósforo por descargas superficiales por vertidos domiciliarios y vertidos industriales durante los periodos de invierno y primavera.

8.17 Lago Todos Los Santos

El lago Todos Los Santos mostró una condición de Oligotrofia prácticamente en el 100% de los casos estudiados. Este bajo nivel de trofia se mantuvo a través de todo un ciclo anual promedio y se ha mantenido a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. Así por ejemplo, el lago Todos Los Santos como todos los lagos Araucanos presenta una porción menor de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (6%), lo cual genera baja síntesis de materia orgánica en la columna de agua. La columna de agua del lago Todos los Santos se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados

que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos *et al.*, 1990; Montecino, 1991). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración de oxígeno, lo cual produce la disminución de Nitrógeno y con ello la limitación de este nutriente para los ensamblajes biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo. La concentración de Nitrógeno medida en el lago Todos Los Santos durante el verano varía entre 3,0 – 139 $\mu\text{g/l}$, niveles de Nitrógeno que conllevarían a mantener la condición de Oligotrofia medida en este sistema. Por el contrario, los valores de concentración de Fosforo medidos durante el periodo de invierno son altos (3 – 39 $\mu\text{g/l}$), los cuales generarían un aumento del nivel trófico hasta niveles mesotróficos y eventualmente eutróficos. Debido a lo anterior, es posible indicar que cualquier aumento de trofia en verano debe ser manejado a través de la disminución de los vertidos domésticos e industriales que contengan Nitrógeno como por ejemplo descargas producto de la actividad agrícola mientras que el control de la condición en otoño tardío, invierno y primavera temprana debería hacerse minimizando las descargas de Fósforo, periodos en los cuales este nutriente limita la producción biológica.

8.18 Laguna Torca

La laguna Torca mostró una condición de Hipereutrofia en el 100% de los casos estudiados. Este alto nivel de trofia fue detectado solamente en dos muestreos realizados en verano y otoño (no existen datos para invierno y primavera). Este sistema en conjunto con la laguna de Aculeo son los sistemas acuáticos con mayor nivel trófico de la Red de Lagos de la DGA. La laguna Torca presenta estratificación en Verano e Invierno periodos en que la concentración de Nitrógeno sería limitante para la producción biológica. Los niveles de concentración de Nitrógeno varían entre 61 y 66 $\mu\text{g/l}$ en verano e invierno, los cuales no generan altos niveles tróficos. Sin embargo, se debe indicar que se midieron altos niveles de Fósforo en la laguna Torca, los cuales variaron entre 12 y 53 $\mu\text{g/l}$ y que éstos pueden aumentar los niveles tróficos a niveles de Eutrofia. En consecuencia, es altamente probable que el nutriente limitante en la laguna Torca sea Fósforo y no Nitrógeno, lo cual deberá ser verificado con mayor número de datos.

8.19 Lago Vichuquen

El lago Vichuquen mostró una condición Mesotrófica en el 57% de los casos estudiados y en un 36% de los casos este sistema fue Eutrófico. Este alto nivel de trofia fue detectado solamente en dos muestreos realizados en verano y otoño (no existen datos para invierno y primavera). El lago Vichuquen presentó estratificación en verano e invierno, periodos en que la concentración de Nitrógeno sería limitante para la producción biológica. Sin embargo, los niveles de concentración de Nitrógeno variaron entre 25 y 41 $\mu\text{g/l}$, valores que no generarían altos niveles tróficos. Sin

embargo, en el lago Vichuquen se midieron altos niveles de Fósforo, los cuales variaron entre 8 y 12 $\mu\text{g/l}$, valores que pueden aumentar los niveles tróficos a niveles de Mesotrofia. En consecuencia, es altamente probable que el nutriente limitante en el lago Vichuquen sea Fósforo y no Nitrógeno, lo cual deberá ser verificado con mayor número de datos.

8.20 Lago Villarrica

El lago Villarrica mostró una condición de Oligotrofia en el 86% de los casos estudiados y en un 13% de los casos fue Mesotrófico. Cabe mencionar que el lago Villarrica eventualmente ha mostrados eventos de Eutrofia aunque en muy baja frecuencia (1% de los casos). Este bajo nivel de trofia predominante se ha mantenido a través de todo un ciclo anual promedio pero ha sido variable a largo plazo. Esta condición de bajo nivel trófico es consistente con diversos aspectos hidrodinámicos y calidad de agua de este sistema. El lago Villarrica como todos los lagos Araucanos presenta una porción baja de la columna de agua que se encuentra suficientemente irradiada (9%), lo cual conlleva a una baja tasa de síntesis de materia orgánica en la columna de agua. La columna de agua se encuentra hidrodinámicamente mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos *et al.*, 1983; Campos, 1984). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago Villarrica conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produce la desertificación del sistema por el abandono de N_2 (g) hacia la atmosfera, generándose con ello la disminución de Nitrógeno y la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos durante verano. Posterior al rompimiento de la estratificación, se generaría un sistema limitado por Fósforo. El análisis de la concentración de nutrientes limitantes muestra que la concentración de Nitrógeno inorgánica medida durante el periodo de verano varía entre 3 y 810 $\mu\text{g/l}$ en el lago Villarrica, lo cual podría aumentar los actuales niveles oligotróficos hasta niveles eutróficos en verano. De igual modo, la concentración de Fósforo medida en otoño, invierno y primavera varía entre 3 y 104 mg/l , lo cual también podría conducir a un aumento del nivel trófico durante este periodo en el lago Villarrica. Por lo tanto y a pesar de los bajos niveles de condición trófica en el lago Villarrica, existe una gran potencialidad en este sistema para aumentar su nivel trófico en cualquier época del año. Por lo tanto, el manejo de la condición trófica en el lago Villarrica debe implicar una disminución de vertidos domésticos e industriales de Nitrógeno en verano y de Fósforo en invierno.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. ALLAN, D. Stream Ecology: structure and function of running water. Chapman and Hall. New York, U.S.A. 1995. 387 p.
2. BARBE, J.; LAVERGNE, E.; ROFES, G.; LASCOMBE, M.; RIVAS, BORNARD, CH.; DE BENEDITTIS, J. **Diagnose rapide des plans d'eau, Informations techniques du CEMAGREF.** 1990. 79: p. 1-8.
3. BRZEZINSKI, Ma. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. **En: Journal of Phycology.** 1985. 21: p.347-357.
4. CABRERA, S & MONTECINO, V. Productividad primaria en ecosistemas límnicos. **En: Arch. Biol. Med. Exp.** 1987. 20: p.105-116.
5. CAMPOS, H.; ARENAS, J.; WÖELFL, S. & AGÜERO, G. Physical and chemical limnology of lake Riñihue. **En: Arch. Hydrobiol.** Valdivia, Chile. 1978. 84 (4): p.405-429.
6. CAMPOS, H.; ARENAS, J.; WÖELFL, S. & AGÜERO, G. Limnologische Untersuchungen an den Seen Pellaifa und Calafquén in Chile. **En: Beiträge Zur Hidrologie.** 1980. 7: p.99-137.
7. CAMPOS, H.; ARENAS, J.; WOELFL, S. & AGÜERO, G. Morphometrical, Physical and chemical limnology of Lake Panguipulli. **En: Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie.** Valdivia, Chile. 10: p.603-625.
8. CAMPOS, H.; ARENAS, J.; WOELFL, S.; ROMÁN, C. & AGÜERO, G. Limnological study of lake Ranco: morphometry, physics, chemistry and plankton. **En: Arch. Hydrobiol.** Chile, 1982. 94 (2): p.137-171.
9. CAMPOS, H.; WOELFL, S.; ROMÁN, C.; ZÚÑIGA, L. & AGÜERO, G. Limnological studies in lake Villarrica: morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. **En: Arch. Hydrobiol.** 1983. 65 (4): p.371-406.
10. CAMPOS, H. Limnological study of Araucanian lakes. **En: Verh. Internat. Verein. Limnol.** Chile, 1984. 22: p.1319-1327.
11. CAMPOS, H; WOELFL, S; AGÜERO, G; PARRA, O & ZÚÑIGA, L. Limnology of lake Riñihue. **En: Limnologica.** Chile, 1987. 18 (2): p.339-357.

12. CAMPOS, H.; WOELFL, S.; PARRA, O.; DOMINGUEZ, P. & AGÜERO, G. Estudios limnológicos en el lago Caburgua. **En: Gayana Botánica.** Chile, 1987. 44 (1-4): p.61-84.
13. CAMPOS, H.; WOELFL, S.; AGÜERO, G.; PARRA, O. & ZÚÑIGA, L. Limnological studies of Lake Llanquihue: morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. **En: Archives für Hydrobiologie.** Chile, 1988. 81: p.36-67.
14. CAMPOS, H.; WOELFL, S.; AGÜERO, G.; PARRA, O. & ZÚÑIGA, L. Limnological study of lake Todos Los Santos (Morphometry, physics, chemistry, plankton, and primary productivity). **En: Arch. Hydrobiol.** Chile, 1990. 117(4): p.453-484.
15. CAMPOS, H.; WOELFL, S.; AGÜERO, G.; PARRA, O. & ZÚÑIGA, L. Limnology of lake Ranco. **En: Limnológica.** Chile, 1992. 22: p.337-353.
16. DMA, Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua. Protocolos de muestreo y análisis para Fitoplancton. Confederación Hidrográfica del Ebro con asistencia técnica de URS. Octubre, 2005. 36 p.
17. MONTECINO, V. Primary productivity in South American temperate lakes and reservoirs. **En: Revista Chilena de Historia Natural.** 1991. 64: p.555 – 567.
18. MONTECINO, V. & CABRERA, S. Limnological pilot project for the characterization of temperate lakes in Central Chile. **En: Verh. Internat. Verein. Limnol.** 1984. 22: p.1332-1334.
19. PARRA, O.; VALDOVINOS, C.; URRUTIA, R.; CISTERNAS, M.; HABIT, E. & MARDONES, M. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. **En: Limnetica.** 2003. 22: p.51-83.
20. PHILIPPE, M.; VEY, V. & BARBE, J. Actualisation de la methode de diagnose rapide des plans d'eau. Analyse critique des indexes de qualite des lac et propositions d'indexes de fonctionnement de l'ecosysteme lacustre. Cemagref, Lyon 2003. 160 p.
21. REDFIELD, A. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume. (Ed. R.J. Daniel). **En: University Press of Liverpool.** 1934. p.177-192.

22. SMITH, V.H.; TILMAN, G.D. & NEKOLA, J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **En: Environmental pollution.** 1999. 100: p.179-196.
23. SOTO, D. Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. **En: Revista Chilena de Historia Natural.** 2002. 75: p.377-393.
24. VALDOVINOS, C. & FIGUEROA, R. Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. **En: Hydrobiology.** 2000. 429: p.151-156.
25. VALDOVINOS, C. & PEDREROS, P. Geographic variations in shell growth rates of the mussel *Diplodon chilensis* from temperate lakes of Chile: implications for biodiversity conservation. **En: Limnologica.** 2007. 37: p.63-75.
26. VILA, I.; MONTECINO, V.; MÜHLHAUSER, H. & CABRERA, S. Diagnóstico y evaluación del potencial biológico de lagos naturales y artificiales de Chile Central. **En: Ambiente y Desarrollo.** 1986. 2 (1): p.127-137.
27. VILA, I.; CONTRERAS, M. & PIZARRO, J. Eutrophication and phytoplankton selective response in a temperate reservoir. **En: Verh. Internat. Verein. Limnol.** 1997. 26: p.798-802.
28. VILA, I.; CONTRERAS, M.; MONTECINO, V.; PIZARRO, J. & ADAMS, A. Rapel: A 30 years temperate reservoir. Eutrophication or contamination? **En: Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.** 2000. 55: p.31-44.
29. VILLALOBOS, L.; WOELFL, S.; PARRA, O. & CAMPOS, H. Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: II. Biological properties. **En: Hydrobiologia.** 2003. 510: p.225 - 237.
30. WÖELFL, S.; VILLALOBOS, L. & PARRA, O. Trophic parameters and method validation in lake Riñihue (North Patagonia; Chile) from 1978 through 1997. **En: Revista Chilena de Historia Natural.** 2003. 76: p.459-474.
31. WETZEL, R. Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Ed. Academic Press, San Diego. 2001. XVI, 1006 p.
32. WÖELFL, S. Monitoreo complementario de los lagos Ranco y Maihue, Región de los Ríos. 2009. **En: Informe técnico. MOP-DGA.** 173 p.

ANEXOS

Comunidades Fitoplanctónicas

ANEXO 1

**Análisis de composición taxonómica del ensamble de microalgas planctónicas
para los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.**

1 Análisis de composición taxonómica del ensamble de microalgas planctónicas para los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

La información disponible de fitoplancton fue ordenada con los datos cuantitativos entregados por la DGA correspondientes a informes de Plancton Andino y del Centro de Ciencias Ambientales EULA. La información comprendió datos provenientes del periodo 2011 y 2013. La información fue agrupada para cada lago con la cual se efectuó el análisis de los parámetros comunitarios Riqueza, Abundancia, Diversidad, Dominancia y Equidad. Se utilizó el programa estadístico PAST versión 2.17C. El análisis para cada lago se realizó con las diferentes profundidades muestreadas. En el caso de tener más de un muestreo para las diferentes profundidades estas se promediaron para obtener un valor único y así poder realizar los análisis estadísticos.

Se realizaron análisis de composición taxonómica entre lagos mediante un análisis de conglomerado Bray-Curtis. En cada lago de la se determinó niveles de similitud de composición de microalgas del fitoplancton entre profundidades de muestreo.

Se realizó un análisis en cada lago para detectar similitud de abundancia total de microalgas del plancton entre diferentes estratos del lago. Los resultados fueron analizados en función de la ubicación de la Zona Eufótica y del Estrato Metalimnion. En la mayoría de los casos fue seleccionada **la estación denominada 'Centro' que fue considerada ser el sector más representativo de la columna de agua del sistema acuático en la cual puede ocurrir estratificación.** Estos análisis se realizaron mediante una matriz de similitud de Bray-Curtis. En este caso no se realizó Bootstrapping ya que los datos a comparar eran mínimos por lo que las probabilidades de que se entregara el mismo clado era del 100% haciendo innecesario este análisis.

A continuación se describe el análisis de similitud realizado para cada lago.

1 Laguna de Aculeo

El análisis comparativo de los valores de abundancia total de microalgas del fitoplancton medidos entre profundidades de muestreo en la laguna de Aculeo indica la existencia de dos agrupaciones significativas con un nivel de disimilitud del 80 % (**Figura 1**). La primera agrupación incluyó el valor de abundancia medido en superficie (0 m) (**Figura 1**) el cual fue 17×10^6 cel/L (**Tabla 1**). La segunda agrupación incluyó los valores de abundancia medidos entre 1 y 2 m de profundidad, los cuales variaron entre $9 - 10 \times 10^6$ cel/L (**Tabla 1**).

El análisis de los parámetros comunitarios reveló una estructura comunitaria similar entre los ensambles descritos para cada profundidad de muestreo, ya que los niveles de Riqueza específica y Diversidad biológica fueron similares a lo largo de la columna de agua (**Tabla 1**).

El análisis de los parámetros comunitarios reveló una estructura comunitaria similar entre los ensamblajes de microalgas planctónicas descritos para cada profundidad de muestreo, ya que los niveles de Riqueza específica, Diversidad biológica, Dominancia y Equidad fueron similares (**Tabla 1**).

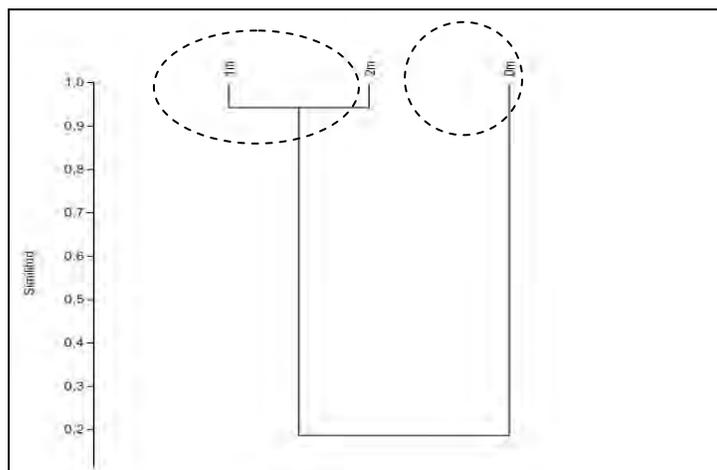


Figura 1. Análisis de Conglomerados (Bray-Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en la Laguna de Aculeo a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Frente a Puntilla de León'.

Tabla 1. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del ensamble de fitoplancton de la laguna de Aculeo en la estación de monitoreo 'Frente a Puntilla de León'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
MEZCLA	0	17.541.623	22	1,338	0,526	0,433
	1	9.999.590	25	1,399	0,515	0,4345
	2	10.476.188	23	1,540	0,641	0,4911

Z_{EUF} =
3m

2 Lago Caburgua

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre profundidades de muestreo en el lago Caburgua indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 2**). La primera agrupación incluyó el valor de abundancia medido a mayor profundidad (100 m) (**Figura 2**) cuyo valor fue 15×10^3 cel/L (**Tabla 2**). La

segunda agrupación incluyó los valores de abundancia medidos entre 0 y 70 m, los cuales variaron entre $23 - 25 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 2**).

El análisis de parámetros comunitarios reveló una estructura comunitaria similar entre los ensambles descritos en cada profundidad de muestreo, ya que los niveles de Riqueza específica y Diversidad biológica fueron similares (**Tabla 2**). Cabe destacar que se observa una mayor Abundancia y Riqueza de taxa en el estrato asociado al Metalimnion del lago Caburgua (**Tabla 2**).

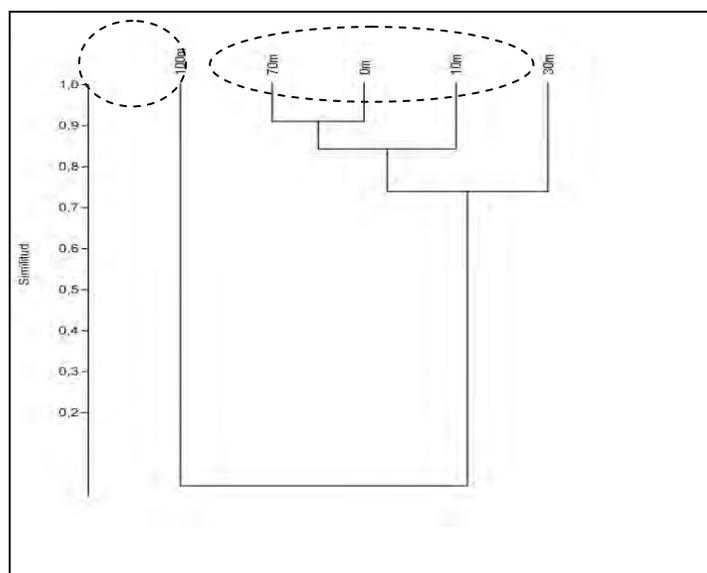


Figura 2. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Caburgua a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 2. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Caburgua en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	24.290	9	1,508	0,671	0,683
	10	23.196	9	1,544	0,673	0,702
Metalimnion	30	26.785	10	1,533	0,689	0,669
Hipolimnion	70	25.200	9	1,955	0,843	0,890
	100	15.400	8	1,646	0,774	0,792

$Z_{EUF} = 39,8m$

3 Lago Calafquen

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre profundidades de muestreo en el lago Calafquen indica la existencia de tres agrupaciones con un nivel de disimilitud del 60 % (**Figura 3**). La primera agrupación se detectó en superficie (0-10 m, **Figura 3**) en donde los valores variaron entre $19 - 24 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 3**). La segunda agrupación se detectó a profundidades intermedias ubicadas entre 30 y 70 m (**Figura 3**) entre las cuales se midieron valores entre $13 - 15 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 3**). La tercera agrupación se detectó a profundidad de 100 m y fue $4,7 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 3**). Este análisis revela que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas a lo largo de la columna de agua fue disminuyendo a mayor profundidad (**Tabla 3**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica, Diversidad biológica, Dominancia y Equidad reveló diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que los estratos irradiados y ubicados en la zona Eufótica (Profundidades menores que 35,5 m, **Tabla 3**) presentaron mayores valores de Abundancia total, Riqueza taxonómica, Diversidad, Dominancia y Equidad que en los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 3**). Cabe destacar que no se observan mayores valores de Abundancia, Riqueza y de Diversidad de taxa en el estrato asociado al Metalimnion del lago Calafquen (**Tabla 3**).

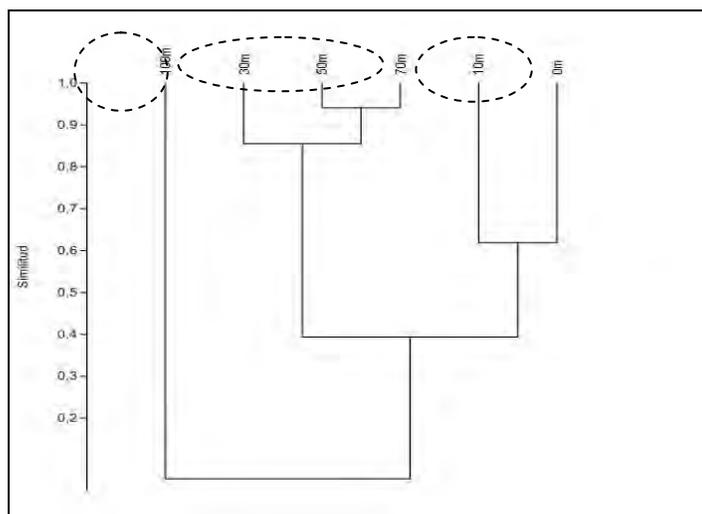


Figura 3. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Calafquen a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 3. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Calafquen en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	19.554	13	1,566	0,704	0,610
	10	24.606	13	1,653	0,726	0,648
Metalimnion	30	15.324	12	1,569	0,653	0,641
Hipolimnion	50	13.014	9	0,980	0,436	0,461
	70	13.800	6	0,884	0,415	0,493
	100	4.740	5	1,000	0,500	0,622

Z_{EUF} = 35,5m

4 Lago Chapo

No se efectuó el análisis de Conglomerado (Bray Curtis) con los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Chapo debido a la falta de datos. Sin embargo, se realizó un análisis de la estructura comunitaria en los estratos del lago mediante la comparación de parámetros comunitarios.

En función de los valores de Abundancia total, Diversidad, Dominancia y Equidad se observan diferencias del ensamble de microalgas planctónicas ubicadas de superficie (0 m) y el ensamble de profundidad (30 m) (**Tabla 4**). En superficie se observó mayor abundancia total de microalgas que en profundidad pero menores valores de Diversidad, Dominancia y Equidad (**Tabla 4**). Cabe mencionar que la Riqueza total de taxa de microalgas planctónicas fue igual en ambos estratos acuáticos (**Tabla 4**).

Tabla 4. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Chapo en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	502.068	7	0,288	0,136	0,148
Metalimnion	12 - 25	-	-	-	-	-
Hipolimnion	30	164.854	7	0,823	0,524	0,423

Z_{EUF} = 36,2m

5 Lago Colico

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Colico indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 4**). La primera agrupación se detectó en superficie (0-10 m, **Figura 4**), en donde los valores de abundancia total fueron mayores que en profundidad y variaron entre $15 - 16 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 5**). La segunda agrupación se detectó a profundidades mayores y ubicadas entre 30 y 100 m (**Figura 4**) entre las cuales se midieron valores que variaron entre $8 - 9 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 5**). El análisis de estos resultados indica que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas a lo largo de la columna de agua disminuye a mayor profundidad (**Tabla 5**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica, Diversidad biológica, Dominancia y Equidad reveló diferencias entre los estratos de mayor profundidad (80 y 100 m) en los cuales se observó menor Riqueza de taxa, menor Diversidad y Dominancia que los estratos acuáticos superiores (0 - 50 m) (**Tabla 5**). Cabe destacar que se observó una mayor Abundancia de microalgas, Riqueza de taxa y Diversidad biológica de taxa en el estrato asociado al Metalimnion del lago Colico (**Tabla 5**).

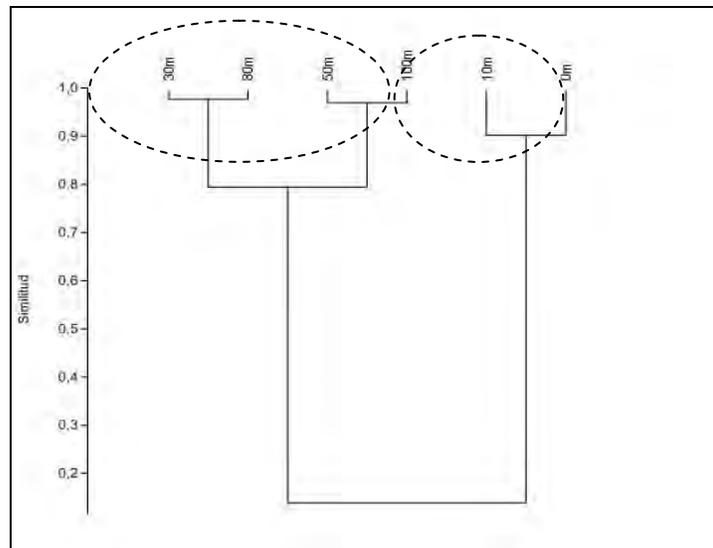


Figura 4. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Colico a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 5. Parámetros comunitarios del ensamble de fitoplancton del lago Colico en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	15.431	9	1,725	0,786	0,809
Metalimnion	10	16.169	10	1,754	0,777	0,780
	30	9.888	10	2,035	0,849	0,896
Hipolimnion	50	8.131	8	1,927	0,838	0,930
	80	9.744	7	1,397	0,673	0,758
	100	8.331	6	1,320	0,659	0,803

$Z_{EUF} = 49,5m$

6 Lago Lanalhue

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Lanalhue indicó la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 5**). La primera agrupación se detectó en superficie (0-5 m, **Figura 5**), en donde los valores de abundancia total fueron mayores que en profundidad y variaron entre $1,5 - 1,6 \times 10^5$ cel/L (**Tabla 6**). La segunda agrupación se detectó a una profundidad mayor ubicada a 10 m (**Figura 5**) en la cual se midió un valor de abundancia de $8,3 \times 10^4$ cel/L (**Tabla 6**). Estos resultados indican que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas a lo largo de la columna de agua disminuye a mayor profundidad (**Tabla 6**). El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica, Diversidad biológica, Dominancia y Equidad revela la ausencia de diferencias entre los estratos de profundidad del lago Lanalhue (**Tabla 6**).

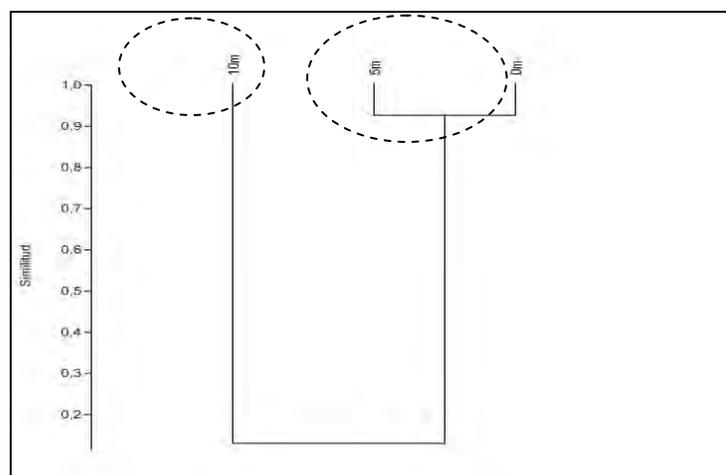


Figura 5. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Lanalhue a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 6. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Lanalhue en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	115.778	23	2,068	0,759	0,660
	5	118.776	20	1,782	0,694	0,592
	10	83.591	20	2,023	0,783	0,683

Z_{EUF} = 7,9m

7 Lago Llanquihue

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Llanquihue indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 6**). La primera agrupación se detectó sub-superficialmente (15 m) (**Figura 6**) en donde se midió un valor de 245×10^3 cel/L (**Tabla 7**). La segunda agrupación se detectó superficialmente (0 m) y a profundidades intermedias y en mayor profundidad 30 - 100 m, **Figura 6**) en las cuales se midieron valores que variaron entre 5 - 134×10^3 cel/L (**Tabla 7**). Estos resultados indican que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas es mayor en estratos sub-superficiales (15-50 m) que en estratos superficiales y a mayor profundidad en la columna de agua (**Tabla 7**), lo cual sugiere que el ambiente lumínico de los estratos intermedios del lago Llanquihue es más favorable para el desarrollo del ensamble fitoplanctónico.

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través del parámetro Riqueza específica revela diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que los estratos irradiados y ubicados en la zona Eufótica (Profundidades menores que 50,3 m, **Tabla 7**) presentaron mayores valores de riqueza taxonómica que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 7**). Cabe mencionar que los parámetros Diversidad biológica, Dominancia y Equidad no presentaron diferencias a lo largo de la columna de agua. Cabe destacar que no se observó una mayor Abundancia en el estrato asociado al Metalimnion del lago Llanquihue pero si una mayor Riqueza de taxa (**Tabla 7**).

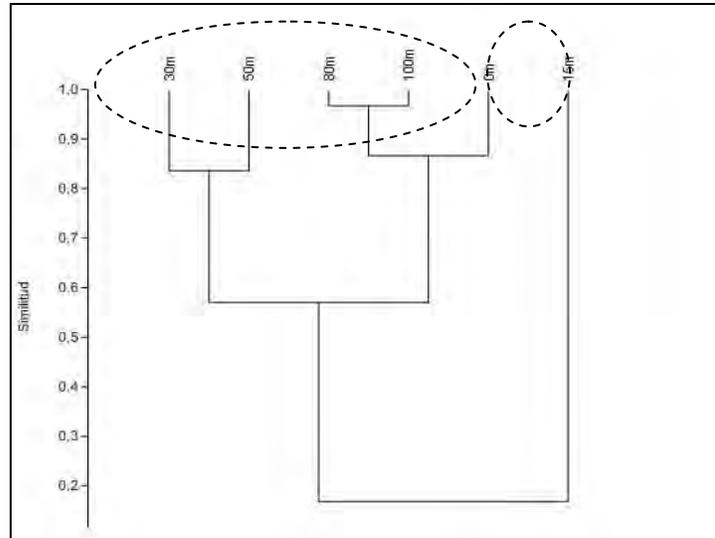


Figura 6. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Llanquihue a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Zmáx'.

Tabla 7. Parámetros comunitarios del ensamble de fitoplancton del lago Llanquihue en la estación 'Zmáx'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	38.842	8	0,817	0,384	0,407
	15	245.284	12	0,857	0,511	0,345
Metalimnion	30	97.598	10	0,785	0,378	0,348
	50	134.034	16	1,143	0,566	0,412
Hipolimnion	80	5.785	9	1,638	0,719	0,746
	100	12.620	6	0,713	0,315	0,379

Z_{EUF} = 50,3m

8 Lago LLeulleu

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago LLeulleu indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 7**). La primera agrupación se detectó en superficie (0 m, **Figura 7**), en donde el mayor valor fue 10×10^3 cel/L (**Tabla 8**) y la segunda agrupación se detectó a profundidades mayores ubicadas entre 15 y 30 m (**Figura 7**) entre las cuales se midieron valores de abundancia que variaron entre $3 - 6 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 8**). Los resultados muestran que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas es mayor en el estrato superficial que en

profundidad (**Tabla 8**), lo cual también estaría asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica (**Tabla 8**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través del parámetro Riqueza específica revela diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 9,6 m, **Tabla 8**) presentó mayores valores de riqueza taxonómica que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 8**). Cabe mencionar que los parámetros Diversidad biológica, Dominancia y Equidad no presentaron diferencias a lo largo de la columna de agua (**Tabla 8**).

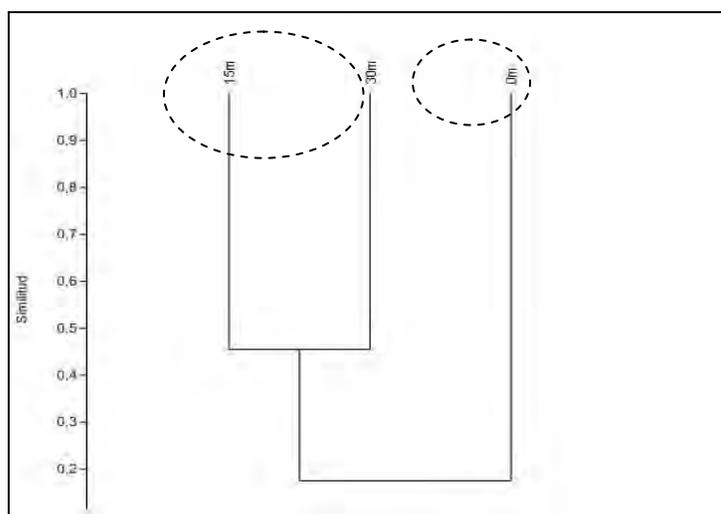


Figura 7. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago LLeulleu a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 8. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago LLeulleu en la estación 'Centro'.

Estrato Hidrodinámico	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
No Determinado	0	10.528	23	2,077	0,7935	0,6623
	15	3.080	12	1,907	0,7934	0,7675
	30	6.776	15	2,026	0,8198	0,7482

$Z_{EUF} = 9,6 \text{ m}$

9 Lago Maihue

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Maihue indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 80 % (**Figura 8**). La primera agrupación se detectó en superficie (0-15 m, **Figura 8**) en donde se midió el mayor valor de abundancia que varió entre $12 - 13 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 9**) y la segunda agrupación se detectó a profundidades mayores ubicadas entre 30 y 100 m (**Figura 8**) entre las cuales se midieron valores que variaron entre $1 - 7 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 9**). El valor de abundancia total de microalgas planctónicas fue mayor en el estrato superficial que en profundidad (**Tabla 9**), lo cual también estaría asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica (**Tabla 9**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través del parámetro Riqueza específica revela diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 30,6 m, **Tabla 9**) presentó mayores valores de Riqueza taxonómica que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 9**). Cabe mencionar que los parámetros Diversidad biológica, Dominancia y Equidad no presentaron diferencias a lo largo de la columna de agua (**Tabla 9**). Cabe destacar que no se observó una mayor Abundancia y Riqueza de taxa en el estrato asociado al Metalimnion del lago Maihue pero si una mayor Diversidad de taxa (**Tabla 9**).

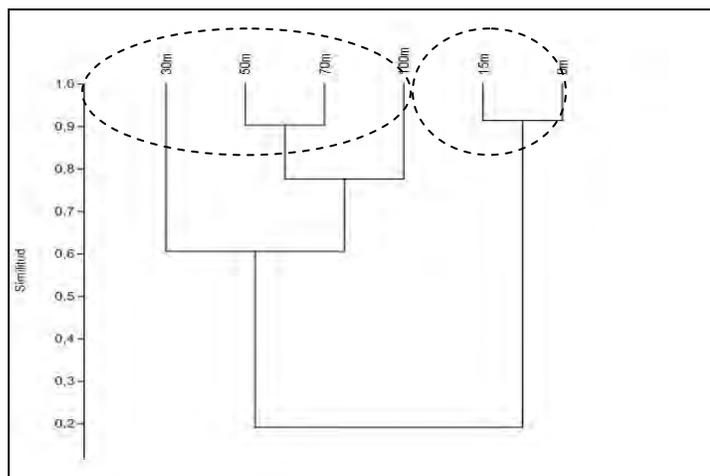


Figura 8. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Maihue a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Zmáx'.

Tabla 9. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del Fitoplancton del lago Maihue en la estación 'Zmáx'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	12.750	7	0,743	0,314	0,382
	15	13.750	7	1,206	0,564	0,620
Metalimnion	30	7.438	6	1,410	0,705	0,787
Hipolimnion	50	4.375	5	1,243	0,656	0,773
	70	3.250	4	1,313	0,714	0,947
	100	1.250	4	1,033	0,565	0,745

Z_{EUF}=
30,6m

10 Lago Neltume

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Neltume indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 9**). La primera agrupación se detectó en un estrato intermedio ubicado a 50 m (**Figura 9**) en donde se midió el mayor valor de abundancia que alcanzó a 137×10^3 cel/L (**Tabla 10**) y la segunda agrupación estaría conformada por el resto de los estratos de la columna de agua cuyos valores de abundancia variaron entre 18 y 68 m $\times 10^3$ cel/L (**Tabla 10**). El valor de abundancia total de microalgas planctónicas no estaría asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica (**Tabla 10**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través del parámetro Riqueza específica revela diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 22,9 m, **Tabla 10**) presentó mayores valores de riqueza taxonómica que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 10**). Cabe mencionar que los parámetros Diversidad biológica, Dominancia y Equidad no presentan diferencias (**Tabla 10**), lo cual indica una estructura comunitaria similar a lo largo de la columna de agua.

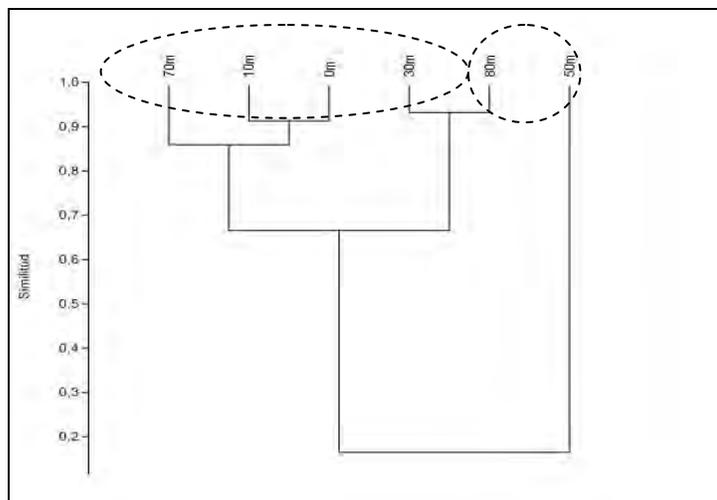


Figura 9. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Neltume a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 10. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Neltume en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámico	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
No Determinado	0	68.174	12	1,720	0,747	0,702
	10	59.185	15	1,895	0,772	0,713
	30	25.098	10	1,799	0,798	0,781
	50	137.505	10	1,470	0,655	0,645
	70	48.594	12	1,457	0,634	0,587
	80	18.245	10	1,862	0,811	0,809

Z_{EUF} = 22,9m

11 Lago Panguipulli

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Panguipulli indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 65 % (**Figura 10**). La primera agrupación se detectó en el estrato intermedio-profundo ubicado entre 30 - 100 m (**Figura 10**) cuyos valores de abundancia variaron entre 200 - 380 × 10³ cel/L (**Tabla 11**) y la segunda agrupación estaría conformada por valores de abundancia más altos y medidos en el estrato superficial (0 - 10 m) y a 70 m (**Figura 10**) cuyos niveles de abundancia oscilaron alrededor de 500 × 10³ cel/L (**Tabla 11**). Cabe mencionar que el

valor de abundancia total de microalgas planctónicas no está asociado con la ubicación de la zona Eufótica (**Tabla 11**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica y Diversidad, Dominancia y Equidad revelan diferencias asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, ya que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 30,8 m, **Tabla 11**) presentó mayores valores de Riqueza taxonómica, Diversidad, Dominancia y Equidad que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 11**). Cabe destacar que no se observó una mayor Abundancia o Riqueza de taxa en el estrato asociado al Metalimnion del lago Panguipulli (**Tabla 11**).

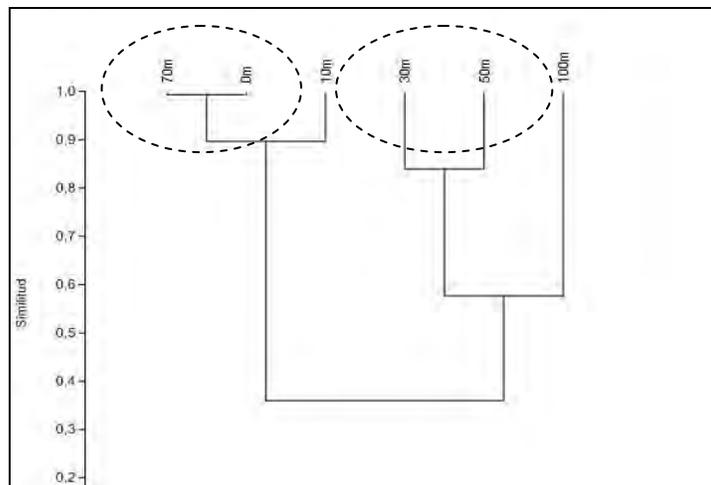


Figura 10. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Panguipulli a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 11. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Panguipulli en la estación 'Centro'.

Estrato Hidrodinámico	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	542.559	16	0,919	0,376	0,347
	10	507.578	17	1,094	0,417	0,373
Metalimnion	30	334.884	14	0,838	0,367	0,328
Hipolimnion	50	388.522	15	0,796	0,328	0,288
	70	541.260	10	0,079	0,021	0,034
	100	218.940	7	0,059	0,016	0,030

Z_{EUF} = 30,8 m

12 Lago Puyehue

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Puyehue indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 85 % (**Figura 11**). La primera agrupación se detectó en un estrato intermedio ubicado a 30 m (**Figura 11**) en donde se midió el mayor valor de abundancia el cual alcanzó a 38×10^3 cel/L (**Tabla 12**) y la segunda agrupación estaría conformada por los valores de abundancia medidos en el resto de los estratos de la columna de agua, los cuales variaron entre 7 y 20×10^3 cel/L (**Tabla 12**). El valor de abundancia total de microalgas planctónicas estaría parcialmente asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica ya que se observa un patrón de distribución de valores de abundancia que muestra menores valores a profundidades mayores (80 y 100 m, **Tabla 12**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica y Diversidad de taxa revela diferencias marginales asociadas al patrón de distribución de la radiación solar subacuática, el cual indica que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 22,2 m, **Tabla 12**) presentó menores valores de Riqueza taxonómica y de Diversidad de taxa que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 12**). Cabe mencionar que los parámetros Dominancia y Equidad no presentaron diferencias a lo largo de la columna de agua (**Tabla 12**). Cabe destacar que se observan altos valores de Abundancia y Riqueza de taxa planctónicos en el estrato asociado al Metalimnion del lago Puyehue (**Tabla 12**).

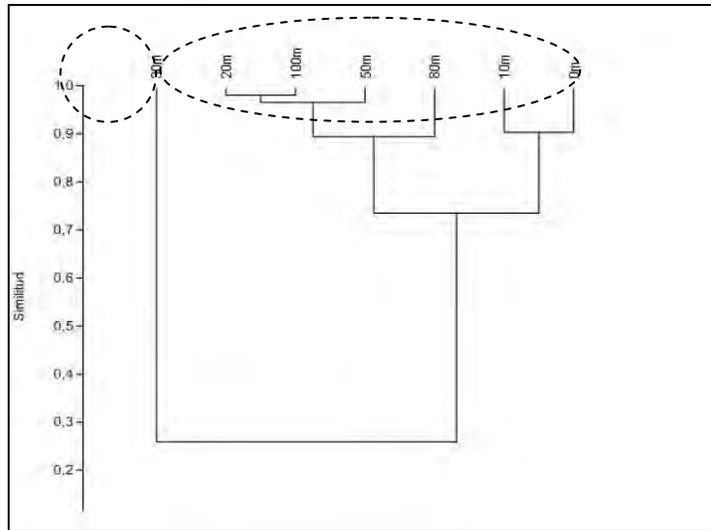


Figura 11. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Puyehue a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 12. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Puyehue en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	17.800	6	0,924	0,457	0,516
	10	20.915	7	1,187	0,547	0,615
Metalimnion	20	11.303	9	1,584	0,714	0,721
	30	38.448	10	1,336	0,621	0,580
Hipolimnion	50	12.060	8	1,563	0,737	0,778
	80	7.966	8	1,576	0,737	0,797
	100	10.814	7	1,634	0,769	0,875

Z_{EUF} = 22,2m

13 Lago Ranco

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Ranco indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 12**). La primera agrupación incluyó los valores de abundancia medidos en las profundidades ubicadas a 15 m, 50 m y 80 m (**Figura 12**), cuyos valores variaron entre $0,5 - 1,6 \times 10^6$ cel/L (**Tabla 13**). La segunda agrupación estaría conformada por los valores de abundancia medidos en el resto de los estratos de la columna de agua, en los cuales los niveles

de abundancia variaron entre $6 - 13 \times 10^6$ cel/L (**Tabla 13**). El valor de abundancia total de microalgas planctónicas no está asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica (**Tabla 13**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza específica, Diversidad de taxa y Dominancia revela una estructura del ensamble fitoplanctónico en la columna de agua que indica que el estrato irradiado y ubicado en la zona Eufótica (Profundidades menores que 44,5 m, **Tabla 13**) presentó mayores valores de Riqueza taxonómica, Diversidad de taxa y de Dominancia que los estratos acuáticos ubicados a profundidades mayores que la zona Eufótica (**Tabla 13**). Cabe destacar que no se observaron particularmente altos los valores de Abundancia y Riqueza en el estrato asociado al Metalimnion del lago Ranco (**Tabla 13**).

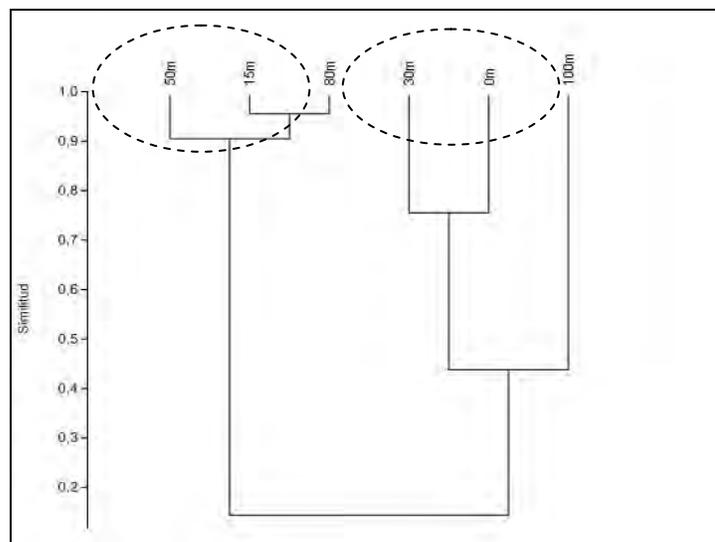


Figura 12. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Ranco a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Riñinahue'.

Tabla 13. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Ranco en la estación 'Riñinahue'.

Condición Hidrodinámico	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	9.144.831	10	0,800	0,350	0,329
	15	1.664.063	5	1,279	0,696	0,907
Metalimnion	30	6.728.000	9	1,261	0,602	0,574
Hipolimnion	50	588.439	9	0,772	0,392	0,511
	80	1.288.000	6	1,111	0,577	0,647
	100	13.584.000	4	0,226	0,089	0,163

Z_{EUF}=
44,5m

14 Lago Riñihue

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Riñihue indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 90 % (**Figura 13**). La primera agrupación incluyó al valor alto de abundancia total medido en la profundidad de 30 m (**Figura 13**) que fue 226×10^3 cel/L (**Tabla 14**) mientras que la segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en el resto de los estratos de la columna de agua, cuyos niveles de abundancia variaron entre $2 - 114 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 14**). Cabe mencionar que el valor de abundancia total de microalgas planctónicas no está asociado a la ubicación de las microalgas planctónicas en la zona Eufótica (**Tabla 14**). Sin embargo, se indica que el mayor valor de abundancia fue medido a 30 m lo cual es coincidente con el estrato asociado al Metalimnion del lago Riñihue (**Tabla 14**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través del parámetro Riqueza de taxa revela una estructura del ensamble fitoplanctónico en la columna de agua asociada a la zona Eufótica (Profundidades menores que 34,4 m, **Tabla 14**), ya que se detectaron mayores valores de Riqueza en el estrato iluminado (< 34,4 m) que los valores de Riqueza medidos en los estratos ubicados a mayor profundidad que la zona Eufótica (**Tabla 14**). Cabe mencionar que en función de los parámetros Diversidad, Dominancia y Equidad no se observó una estructura del ensamble fitoplanctónico en la columna de agua.

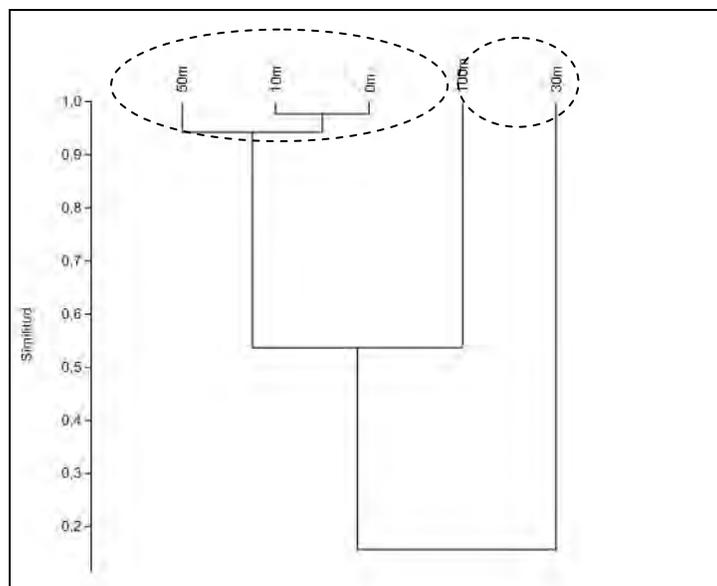


Figura 13. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Riñihue a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 14. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Riñihue en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	16.709	10	1,259	0,582	0,550
	10	12.099	14	1,695	0,733	0,642
Metalimnion	30	226.479	11	0,882	0,383	0,362
Hipolimnion	50	2.016	10	1,662	0,732	0,722
	100	114.500	9	0,875	0,416	0,398

$Z_{EUF} = 34,4m$

15 Lago Rupanco

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Rupanco indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 85 % (**Figura 14**). La primera agrupación incluyó los mayores valores de abundancia total que fueron medidos en superficie (0-10 m, **Figura 14**), los que variaron entre $84 - 89 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 15**) mientras que la segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en los estratos ubicados entre 30 y 100 m (**Figura 14**) cuyos valores variaron entre $6 - 45 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 15**). Cabe mencionar que los valores de abundancia total de microalgas

planctónicas estuvieron asociados con la ubicación de la zona Eufótica ya que los mayores valores se midieron entre 0 – 50 m y fueron disminuyendo a mayor profundidad (**Tabla 15**). Sin embargo, cabe destacar que los mayores valores de abundancia de microalgas planctónicas no fueron coincidentes con el estrato Metalimnion del lago Rupanco (**Tabla 15**).

El análisis de la estructura comunitaria descrita a través de los parámetros Riqueza de taxa, Diversidad, Dominancia y Equidad revelan una estructura del ensamble fitoplanctónico en la columna de agua que presenta mayores valores de Riqueza, menores valores de Diversidad, menor Dominancia y menor Equidad en los estratos superiores y ubicados en la zona Eufótica (Profundidades menores que 38,4 m, **Tabla 15**) que en los estratos ubicados a mayor profundidad que la zona Eufótica (**Tabla 15**).

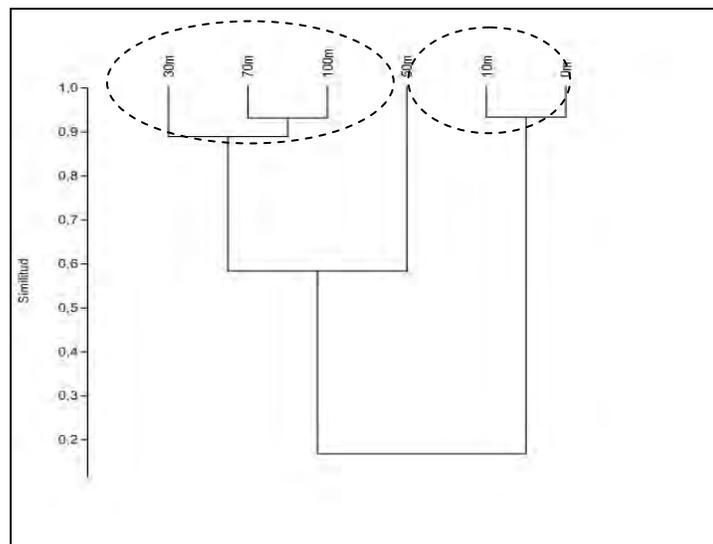


Figura 14. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Rupanco a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Desagüe'.

Tabla 15. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del lago Rupanco en la estación 'Desagüe'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	84.105	10	0,738	0,369	0,330
	10	89.712	11	0,666	0,321	0,274
Metalimnion	30	18.423	7	0,662	0,272	0,340
Hipolimnion	50	45.657	11	1,116	0,556	0,539
	70	12.193	7	1,014	0,502	0,587
	100	6.408	5	0,823	0,416	0,598

Z_{EUF}=
38,4m

16 Laguna Grande de San Pedro

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en la laguna Grande de San Pedro indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 85 % (**Figura 15**). La primera agrupación incluyó el mayor valor de abundancia total que fue medido sub-superficialmente (3 m, **Figura 15**) y que fue 79×10^3 cel/L (**Tabla 16**) mientras que la segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en los estratos ubicados en superficie (0 m) y entre 5 y 10 m (**Figura 15**) cuyos valores variaron entre $42 - 69 \times 10^3$ cel/L (**Tabla 16**). Los valores de abundancia total de microalgas planctónicas no presentaron algún patrón de distribución en la columna de agua y tampoco disminuyeron a mayor profundidad (**Tabla 16**).

El análisis de los parámetros Riqueza de taxa, Diversidad, Dominancia y Equidad revela la ausencia de alguna estructura vertical del ensamble fitoplanctónico en la columna de agua de la laguna Grande de San Pedro (**Tabla 16**).

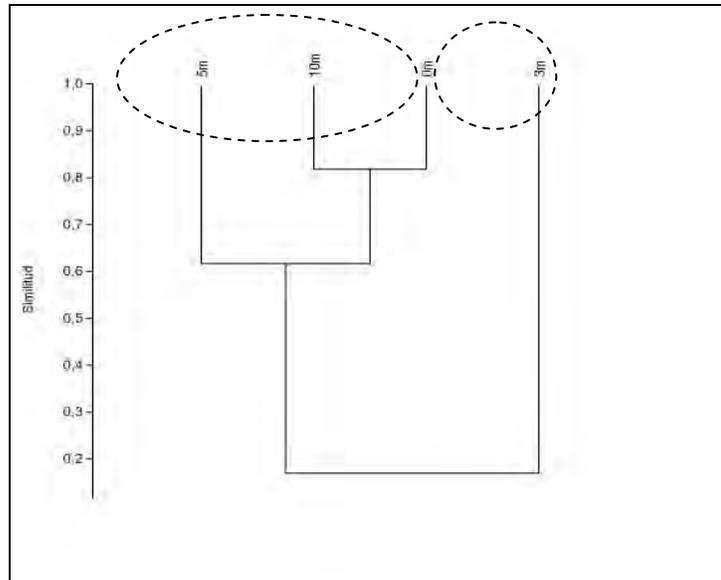


Figura 15. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) de la abundancia de microalgas del fitoplancton en la laguna Grande de San Pedro a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 16. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton de la laguna Grande de San Pedro en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámico	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Metalimnion	0	63.253	23	2,271	0,824	0,722
	3	42.534	25	2,152	0,786	0,669
	5	79.105	22	2,037	0,791	0,666
	10	69.264	20	2,008	0,816	0,670

Z_{EUF} =
10,1m

17 Lago Todos los Santos

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Todos los Santos indica la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 80 % (**Figura 16**). La primera agrupación incluyó el mayor valor de abundancia total medido sub-superficialmente (30 m, **Figura 16**) que fue 15×10^3 cel/L (**Tabla 17**) mientras que la segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en los estratos ubicados en superficie (0 m) y en profundidad (100 m, **Figura 16**), los que variaron entre 0,7 – 4,6 $\times 10^3$ cel/L (**Tabla 17**). Cabe mencionar que el mayor de abundancia total de microalgas

planctónicas medido a 30 m es coincidente con el estrato asociado al Metalimnion del lago Todos los Santos (**Tabla 17**).

El análisis de los parámetros Riqueza de taxa, Diversidad, Dominancia y Equidad reveló mayores valores de Diversidad y Dominancia en el estrato ubicado en superficie (0 m) que a mayor profundidad (30-100 m) (**Tabla 17**).

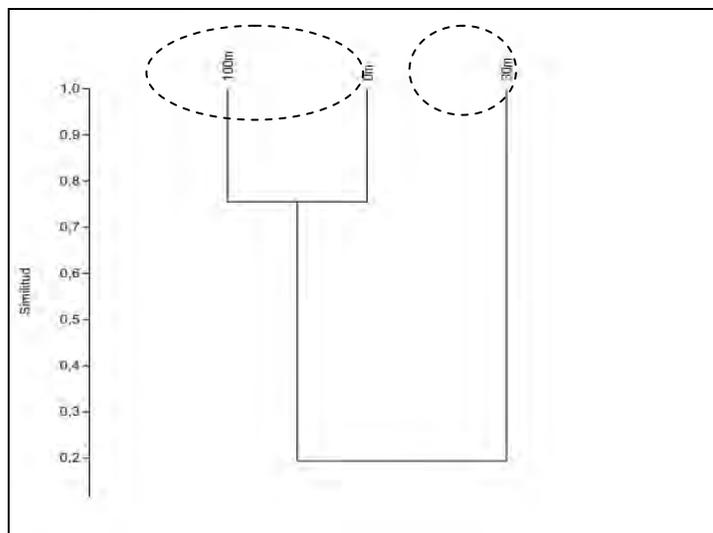


Figura 16. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Todos los Santos a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 17. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del Lago Todos los Santos en la estación 'Centro'.

Condición hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	4.648	11	2,105	0,856	0,877
Metalimnion	30	15.736	26	1,982	0,745	0,608
Hipolimnion	100	714	6	1,650	0,782	0,921

Z_{EUF} = 28,8m

18 Laguna Torca

Para el caso de la Laguna Torca no se efectuó el análisis de Conglomerado (Bray Curtis) debido a la ausencia de datos y solamente se calcularon los parámetros comunitarios.

El análisis de los parámetros comunitarios mostró diferencias entre las profundidades de muestreo en la laguna Torca (**Tabla 18**). Los valores de Abundancia total y de Diversidad de taxa fueron mayores en el estrato ubicado sobre la zona Eufótica (profundidades mayores a 1,5 m, **Tabla 18**) que los valores medidos a profundidad mayor (5 m, **Tabla 18**). Superficialmente se midió un valor de $2,3 \times 10^6$ cel/L mientras que en los estratos ubicados bajo la zona Eufótica se midió un valor de $0,4 \times 10^6$ cel/L (**Tabla 18**). Por el contrario, los valores de Dominancia y Equidad fueron menores en superficie que en profundidad (**Tabla 18**). El valor de Riqueza total de taxa fue independiente de la profundidad (**Tabla 18**).

Tabla 18. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton de la laguna Torca.

Condición hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Hipolimnion	0	2.353.938	9	0,539	0,231	0,245
	5	418.375	9	1,447	0,727	0,659

Z_{EUF} = 1,5m

19 Lago Vichuquen

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Vichuquen indicó la existencia de dos agrupaciones con un nivel de disimilitud del 80 % (**Figura 17**). La primera agrupación incluyó el mayor valor de abundancia total medido superficialmente (0 m, **Figura 17**) que fue $3,5 \times 10^5$ cel/L (**Tabla 19**) mientras que la segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en los estratos ubicados sub-superficialmente (10 m y 17 m, **Figura 17**) cuyos valores variaron entre $1,4 - 1,7 \times 10^5$ cel/L (**Tabla 19**). Cabe mencionar que el mayor valor de abundancia total de microalgas planctónicas fue coincidente con el estrato más irradiado y ubicado en la zona Eufótica (**Tabla 19**).

El análisis de los parámetros Riqueza de taxa y Diversidad revela que existe mayor riqueza y diversidad de taxa microalgales en superficie que a mayor profundidad (**Tabla 19**). El valor de los

parámetros Dominancia y Equidad fue independiente de la profundidad del lago Vichuquen (**Tabla 19**).

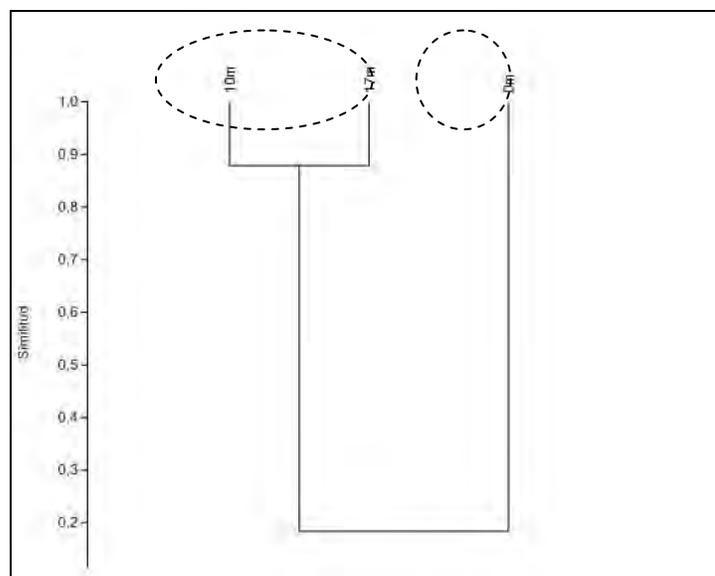


Figura 17. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Vichuquen a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 19. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del Lago Vichuquen en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Especifica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	347.094	10	1,252	0,642	0,562
Metalimnion	10	176.469	7	1,211	0,642	0,650
Hipolimnion	17	149.531	7	1,070	0,546	0,550

$Z_{EUF} = 5,3m$

20 Lago Villarrica

El análisis comparativo de los valores de abundancia de microalgas del fitoplancton medidos entre las profundidades de muestreo en el lago Villarrica indicó la existencia de tres agrupaciones con un nivel de disimilitud del 65 % (**Figura 18**). La primera agrupación incluyó el mayor valor de

abundancia total el cual fue medido superficialmente (0 m, **Figura 18**) y que fue 10×10^5 cel/L (**Tabla 20**). La segunda agrupación incluyó los valores de abundancia total medidos en los estratos ubicados en profundidad (90 - 97 m, **Figura 18**) cuyos valores variaron entre $0,06 - 1,4 \times 10^5$ cel/L (**Tabla 20**). La tercera agrupación incluyó los valores de abundancia medidos en estratos intermedios (10 - 70 m) y en máxima profundidad (100 m) cuyos valores variaron entre $4,7 - 5,7 \times 10^5$ cel/L (**Tabla 20**). Los resultados revelan que los mayores niveles de abundancia se detectaron en superficie, lo cual fue disminuyendo en profundidad en donde se encontraron los menores valores de abundancia de microalgas planctónicas (**Tabla 20**).

El análisis del parámetro Riqueza de taxa reveló una mayor riqueza en los estratos superficiales (0 - 10 m) respecto del resto de los estratos de la columna de agua (> 70 m, **Tabla 20**). Por el contrario, los parámetros Diversidad, Dominancia y Equidad no presentaron diferencias en la columna de agua (**Tabla 20**).

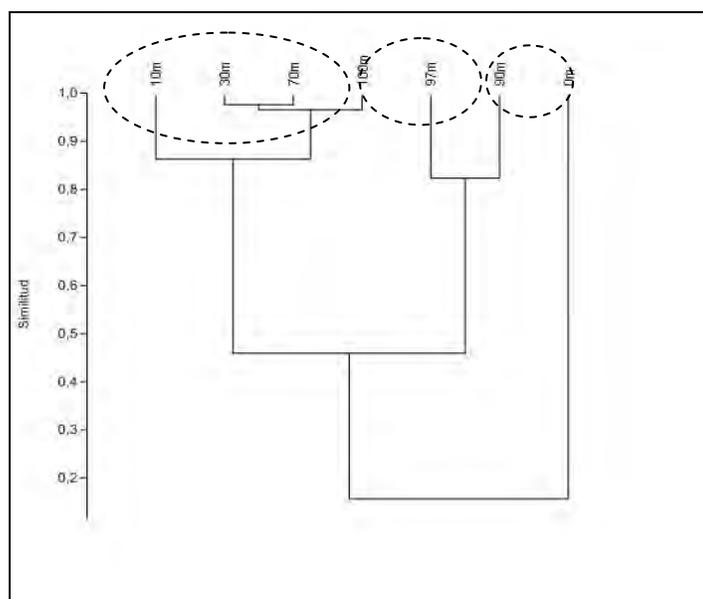


Figura 18. Análisis de Conglomerado (Bray Curtis) para la abundancia de microalgas del fitoplancton en el lago Villarrica a diferentes profundidades en la estación de monitoreo 'Centro'.

Tabla 20. Parámetros comunitarios del ensamble de microalgas del fitoplancton del Lago Villarrica en la estación 'Centro'.

Condición Hidrodinámica	Profundidad (m)	Abundancia Total (Cel/L)	Riqueza Específica (N° Taxa)	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (D)	Equidad de Pielou (J)
Epilimnion	0	1.020.488	14	1,080	0,432	0,431
	10	576.280	15	0,674	0,267	0,259
Metalimnion	30	487.281	13	0,972	0,401	0,391
Hipolimnion	70	472.516	9	0,676	0,278	0,284
	97	6.105	8	1,503	0,724	0,723
	90	141.900	6	0,116	0,042	0,065
	100	456.100	7	0,057	0,016	0,029

Z_{EUF} = 22,9m

ANEXO 2

COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE MICROALGAS PLANCTÓNICAS ENTRE LOS LAGOS DE LA RED DE CONTROL DE LAGOS DE LA DGA.

2 COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE MICROALGAS PLANCTÓNICAS ENTRE LOS LAGOS DE LA RED DE CONTROL DE LAGOS DE LA DGA.

2.1 METODOLOGIA

Se ordenó la información disponible para fitoplancton con los datos cuantitativos entregados por la DGA correspondientes a informes de la consultora Plancton Andino y del Centro de Ciencias Ambientales EULA en los periodos comprendidos entre el año 2011 y al año 2013. Se agrupó la información para cada lago generando una base de datos y una vez ordenada la información se procedió a calcular los parámetros comunitarios (Riqueza, Abundancia total, Diversidad, Dominancia y Equidad) utilizando el programa PAST versión 2.17C. Estos análisis se realizaron sin considerar las profundidades muestreadas y se unificaron los datos de todas las estaciones de muestreo sumando las abundancias de cada taxa con la finalidad de obtener un valor único para cada lago y así poder realizar los análisis estadísticos y el cálculo de los parámetros comunitarios.

Se efectuaron análisis de Conglomerados con el programa PAST versión 2.17C para agrupar los lagos de la Red de Control de Lagos por similitud de composición taxonómica. El análisis de la composición taxonómica se hizo en base a una matriz de presencia-ausencia, la cual se deduce de la **Tabla 1** que presenta la densidad de cada taxa de microalga planctónica de cada lago de la Red de Control de Lagos de la DGA. Para tener un valor estimativo de las abundancias de cada lago se unificaron las estaciones de muestreo haciendo una sumatoria de las abundancias de cada estación. Los conglomerados se realizaron mediante una matriz de similitud de Bray-Curtis utilizando la técnica del Bootstrap de 1000 para darle robustez al análisis. En cada nodo de un conglomerado se presenta el valor del Bootstrap, el cual indica el porcentaje de repeticiones aleatorias con las cuales se admite la agrupación (que contiene el mismo conjunto de taxones), Bootstrap es la técnica que indica la probabilidad de que en un re-muestreo, el clado original se repita indicando la consistencia del resultado y dándonos una estimación del error estadístico.

El Análisis de Cluster se realizó usando una matriz de semejanza basada en el índice de similitud de Bray-Curtis y el cual entrega como resultado los dendrogramas presentados en la **Figura 19** y **Figura 20**.

2.2 RESULTADOS

2.2.1 Análisis de agrupamiento en función de la composición taxonómica de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

El análisis de similitud de composición taxonómica generó 5 clados principales (**Figura 19**). El primer Clado estuvo compuesto por los lagos que presentaron el mayor nivel de Riqueza taxonómica entre los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA: lagos Calafquen, Riñihue, Panguipulli, Ranco,

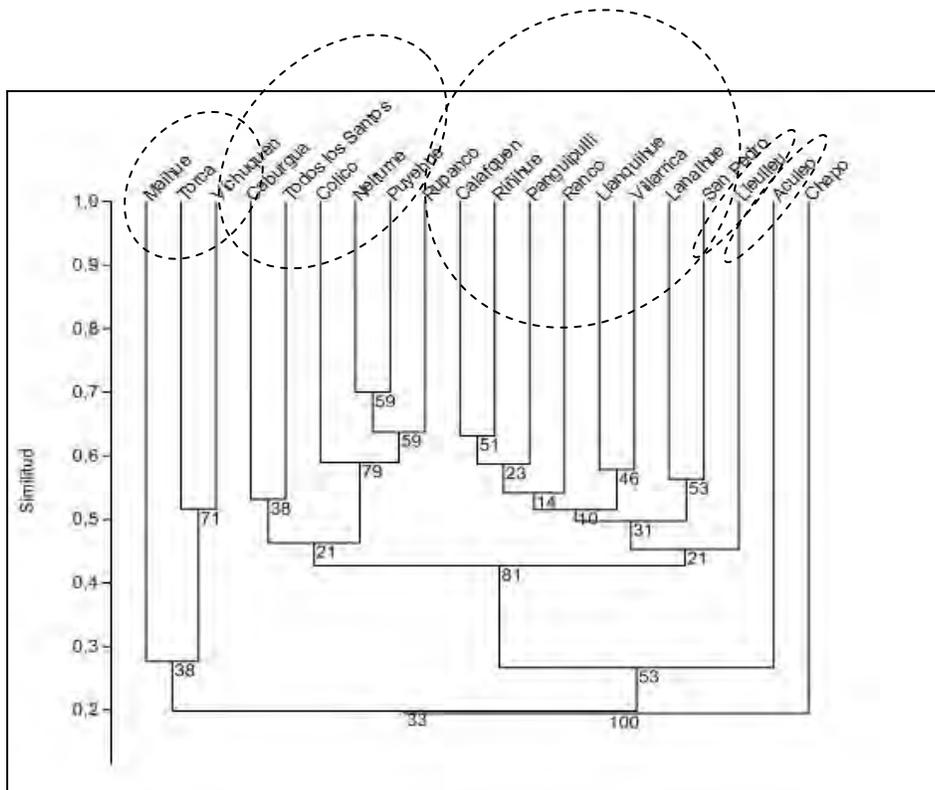


Figura 19. Análisis de similitud de lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA en función de la composición taxonómica del ensamble de microalgas planctónicas.

Llanquihue, Villarrica, Lanahue y LLeulleu y la laguna Grande de San Pedro, los que presentaron un rango de riqueza de taxa de microalgas planctónicas que varió entre 46 y 118 taxa (**Figura 19**, **Tabla 21**). Hubo 53 taxa que fueron detectados solamente en los lagos del Clado 1 y 29 taxa que fueron detectados muy frecuentemente en los lagos del Clado 1 pero aparecen también en lagos incluidos en otros conglomerados (**Tabla 21**). Estos resultados revelan alta singularidad taxonómica entre estos sistemas acuáticos de la Red de Control de Lagos de la DGA. Cabe

mencionar que existe una comparativamente mayor singularidad de taxa fitoplanctónicas en el lago Villarrica que en el resto de lagos que conformaron el Clado 1.

Un segundo Clado estuvo compuesto por los sistemas que presentaron el menor nivel de Riqueza taxonómica: lagos Maihue y Vichuquen y laguna Torca, los que presentaron un rango de valores de Riqueza taxonómica que varió entre 8 y 22 taxa (**Figura 19, Tabla 21**). Hubo solamente 1 taxa que fue detectado en los sistemas acuáticos del Clado 2: *Spirulina* spp., el cual fue encontrado en la laguna Torca y en el lago Vichuquen (**Tabla 20**). Este resultado revela que el ensamble fitoplanctónico de los lagos del Clado 2 presentan baja riqueza taxonómica y que los taxa no son propios de estos lago sino que ocurren en la mayoría de los lagos de la otorgándoles baja singularidad taxonómica al ensamble de microalgas del fitoplancton de estos lagos.

Un tercer Clado estuvo compuesto por los sistemas que presentaron un nivel intermedio de Riqueza taxonómica: los lagos Caburgua, Todos Los Santos, Colico, Neltume, Puyehue y Rupanco, los que presentan un rango de valores de Riqueza taxonómica que varió entre 30 y 49 taxa (**Figura 19, Tabla 21**). Hubo solamente 1 taxa que fue detectado en los lagos que conforman el Clado 3: *Staurodesmus dickei*, el cual fue encontrado en el lago Todos Los Santos (**Tabla 21**). También hubo 1 taxa detectado muy frecuentemente en los sistemas del Clado 3: *Dictyosphaerium* spp., el cual fue encontrado en los lagos Caburgua, Puyehue y Rupanco, pero también en la laguna Grande de San Pedro que está incluida en otro conglomerado (**Tabla 21**). Este resultado revela que el ensamble fitoplanctónico de los lagos del Clado 3 presentan niveles intermedios de riqueza taxonómica pero que prácticamente todos los taxa son detectado en el resto de sistemas de la Red de Control de Lagos de la DGA, condición que les otorga una baja singularidad taxonómica al ensamble de microalgas del fitoplancton de estos lagos del Clado 3.

Un cuarto y quinto Clado está conformado por el Lago Chapo (12 taxa) y la laguna Aculeo (42 taxa) respectivamente, los que difieren en su composición taxonómica de los lagos agrupados en los clados anteriores (Clados 1 – 3) (**Figura 19**). Para el caso de la laguna de Aculeo, los taxa *Aff. Worinichinia* spp., *Acutodesmus* spp. *Pseudopediastrum* spp. *Staurastrum aff orbiculare* y *Lyngbya limnetica* sólo están presentes en este cuerpo lacustre, lo cual genera que su composición taxonómica difiera de la composición del resto de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA. Cabe destacar que *Lyngbya limnetica* es una especie formadora de floraciones algales nocivas (FAN). Para el caso del lago Chapo, la existencia una baja Riqueza de taxa y la presencia del taxa *Cosmarium contractum* hace que este lago se segregue significativamente del resto de lagos y lagunas de la (**Figura 19**).

2.2.2 Análisis en función de la densidad de microalgas planctónicas en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

En cuanto a la abundancia de microalgas del fitoplancton, no se observaron diferencias significativas de densidad de microalgas entre los diferentes lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA (**Figura 20**). Los lagos que presentaron mayor semejanza en función de la abundancia de fitoplancton fueron el conglomerado que incluye la laguna Torca y el lago Vichuquen y el conglomerado que incluye a los lagos Llanquihue y Rupanco que presentan también una mayor similitud entre ellos. El lago Villarrica presentó la mayor abundancia y difirió significativamente del resto lagos y consecuentemente en el dendrograma no se encuentra agrupado con ningún otro cuerpo lacustre.

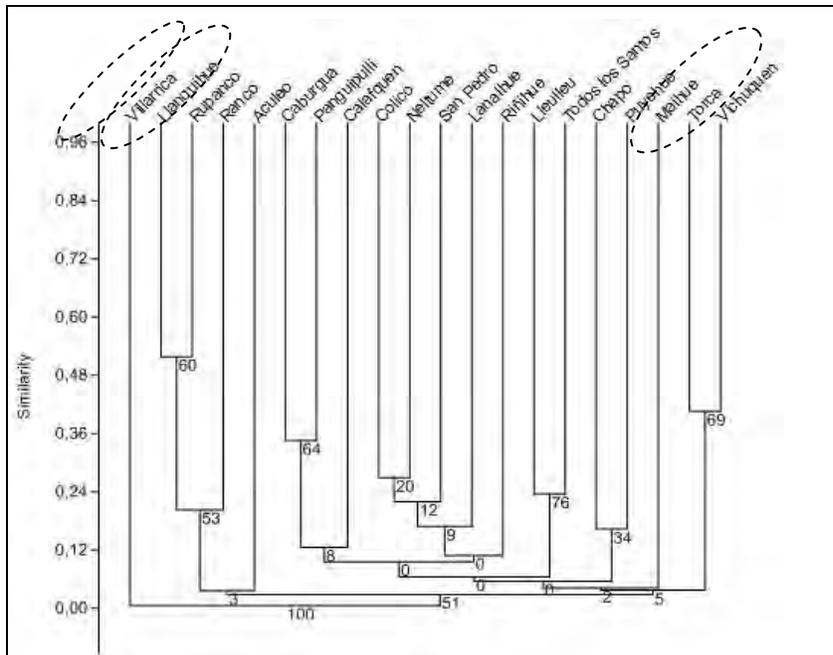


Figura 20. Análisis de similitud de la abundancia de fitoplancton (Cel/L) de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA.

Tabla 21. Abundancia de microalgas del fitoplancton de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA entre el año 2011 y 2013.

AC=Laguna de Aculeo, CA=Lago Caburgua, CF=Lago Calafquen, CH=Lago Chapo, CO= Lago Colico, LA= Lago Lanalhue, LLA= Lago Llanquihue, LLE= Lago LLeulleu, MA= Lago Maihue, NE= Lago Neltume, PA= Lago Panguipulli, PU= Lago Puyehue, RA= Lago Ranco, RI= Lago Riñihue, RU= Lago Rupanco, SP= Laguna Grande de San Pedro, TLS= Lago Todos los Santos, TO= Laguna Torca, VCH= Lago Vichuquen y VI= Lago Villarrica.

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Anabaena spiroides</i> (Fil/L)	1,1x10 ⁵		999		1,3x10 ³	6,7x10 ⁴			688		5,5x10 ³	4,9x10 ³	153	222		4,5x10 ⁴	56	3,9x10 ⁴		1,7x10 ⁴
<i>Anabaena aff planctonica</i> (Fil/L)	5,0x10 ⁴					5,7x10 ³														
<i>Anabaena constricta</i> (Fil/L)						1,2x10 ⁵														
<i>Anabaena</i> sp. (Cel/L)	2,3x10 ⁵	4,5x10 ⁵			1,3x10 ⁵	3,4x10 ³	1,9x10 ³		3,2x10 ³			1,6x10 ⁴	3,6x10 ³			3,8x10 ³		2,2x10 ⁵	3,3x10 ⁵	571
<i>Coelosphaerium</i> spp. (Cel/L)					1,1x10 ³															
<i>Chroococcus</i> sp. (Cel/L)								56												
<i>Gomposphaeria lacustris</i> (Col/L)						1,5x10 ³	52	112			334					3,7x10 ³	56			389
<i>Gomposphaeria</i> spp. (Cel/L)							2,3x10 ³													
<i>Lyngbya limnetica</i> (Fil/L)	1,7x10 ⁷																			
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Col/L)						5,0x10 ³										3,7x10 ⁴				
<i>Microcystis elachista</i> (Col/L)						1,7x10 ³		56			222			2,3x10 ³		1,4x10 ³				111
<i>Microcystis incerta</i> (Col/L)	1,7x10 ⁴															666				
<i>Microcystis</i> spp. (Cenobio) (Cel/L)	1,3x10 ³				317		63							63	89	8,4x10 ³			2,1x10 ³	42
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Col/L)						3,3x10 ³														
<i>Oscillatoria</i> sp. (Fil/L)						333														3,2x10 ³
<i>Spirulina</i> spp. (Cel/L)																		775	1,3x10 ⁴	
<i>Aff. Worinichinia</i> spp. (Cenobio) (Cel/L)	4,9x10 ⁵																			
<i>Aff. Aphanocapsa</i> spp. (Cel/L)														125						
<i>Achnanthes exigua</i> (Cel/L)																				445
<i>Achnanthes aff inflata</i> (Cel/L)						4,0x10 ³														
<i>Achnanthes</i> sp. (Cel/L)		167	222																	2,5x10 ³

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI	
<i>Asterionella formosa</i> (Cel/L)			8,7x10 ³			958	2,9x10 ³			5,3x10 ³	1,4x10 ⁴	1,6x10 ⁴	1,6x10 ⁶	6,3x10 ³	1,8x10 ⁴		84			1,2x10 ⁴	
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Cel/L)	5,0x10 ⁴													222							
<i>Aulacoseira distans</i> (Cel/L)	2,8x10 ⁴	51	1,2x10 ⁵			2,5x10 ⁴	1,9x10 ³	134			3,6x10 ³	4,0x10 ³	4,0x10 ³	4,9x10 ⁴	712	5,4 x10 ⁴	388			3,9x10 ³	
<i>Aulacoseira granulata</i> (Cel/L)	1,8x10 ⁶	1,2x10 ³	174		3,7x10 ⁴	4,8x10 ⁴	7,6x10 ⁴	1,2x10 ⁴	9	6,3x10 ⁴	491	2,6x10 ³	1,6x10 ⁶	1,1x10 ⁶	6,5x10 ³	9,4x10 ⁴	448		313	2,4x10 ⁴	
<i>Aulacoseira granulata v angustissima</i> (Cel/L)	4,7x10 ⁴					666	4,9x10 ⁴													5,9x10 ⁴	
<i>Aulacoseira itálica</i> (Cel/L)			222				333	112												666	
<i>Aulacoseira</i> sp. (Cel/L)						1,4x10 ⁵															
<i>Caloneis</i> sp. (Cel/L)																				111	
<i>Cocconeis placentula</i> (Cel/L)											111										
<i>Cocconeis</i> spp. (Cel/L)										178	3		6,4x10 ³							563	3
<i>Cyclotella aff planctónica</i> (Cel/L)			89								444										
<i>Cyclotella meneghiniana</i> (Cel/L)			5,8x10 ³			666	4,4x10 ³	3,4x10 ³			3,7x10 ³		83	947		1,6 x10 ³				152	
<i>Cyclotella</i> spp. (Cel/L)			3,7x10 ³		438		645					267	9,5x10 ⁵	313	5,5x10 ⁴	1,3x10 ³		1,7x10 ³	4,4x10 ³	188	
<i>Cymbella affinis</i> (Cel/L)		278					222	56									112				
<i>Cymbella lanceolata</i> (Cel/L)		167	111																	152	
<i>Cymbella minuta</i> (Cel/L)		334				333	111									278				155	
<i>Cymbella</i> spp. (Cel/L)			42		7		2			2,5x10 ³		486		174	89					1,3x10 ³	46
<i>Diatoma</i> sp. (Cel/L)		5,4x10 ³	3,3x10 ³	278	1,3x10 ³	778	2,6x10 ³	28	125	4,7x10 ³	527	2,5x10 ³	2,9x10 ⁴	819	267	178	364			2,7x10 ³	
<i>Diatoma vulgare</i> (Cel/L)			18		2								5			556				758	
<i>Diatoma aff hiemale</i> (Cel/L)			167				222								623						
<i>Epithemia adnata</i> (Cel/L)																333				556	
<i>Epithemia sorex</i> (Cel/L)																				153	
<i>Epithemia</i> spp. (Cel/L)																333				1	
<i>Epithemia zebra</i> (Cel/L)			222											222							
<i>Fragilaria construens</i> (Cel/L)		1,2x10 ³												222						334	

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Fragilaria crotonensis</i> (Cel/L)	8,3x10 ³	612	5,4x10 ⁵		26	2,6 x10 ⁴	1,2x10 ³	2,3x10 ³			4,5x10 ⁴	6,9x10 ³	1,5x10 ⁶	1,8x10 ⁴	1,5x10 ⁴	358	1,8x10 ³			5,8x10 ⁷
<i>Fragilaria</i> spp. (Cel/L)		1,3x10 ³	1,2x10 ³	1,4x10 ⁶	18	3,7x10 ³	5,3x10 ⁴	168		1,4x10 ³	833	1,5x10 ⁵	2,9 x10 ⁴	9,4x10 ³	7,4x10 ³	1,2x10 ³			188	9,6x10 ³
<i>Fragilaria ulna</i> (Cel/L)			318			666	444							222		1,7x10 ³				6,1x10 ³
<i>Fragilaria ulna v. acus</i> (Cel/L)		222					222													
<i>Fragilaria ulna v. oxyrhynchus</i> (Cel/L)		334	167				111													
<i>Frustulia</i> spp. (Cel/L)								56												6
<i>Gomphoneis minuta</i> (Cel/L)		137	222														56			556
<i>Gomphoneis</i> spp. (Cel/L)																				32
<i>Gomphonema acuminatum</i> (Cel/L)													63							
<i>Gomphonema angustatum</i> (Cel/L)		668																		167
<i>Gomphonema dichotomum</i> (Cel/L)			222			1,7x10 ³					111			111						111
<i>Gomphonema aff. Herculeanum</i> (Cel/L)																				167
<i>Gomphonema truncatum</i> (Cel/L)		51				333								111						1
<i>Gomphonema</i> spp. (Cel/L)		167	6			666	1,3x10 ³			2,8x10 ³		2,2x10 ³	16	63	623	278	56		375	54
<i>Gyrosigma</i> sp. (Cel/L)							89	56								278				51
<i>Hannaea arcus</i> (Cel/L)		167	18		1	333		56		1,2x10 ³				125		734				848
<i>Hannaea arcus v linearis</i> (Cel/L)							167													
<i>Hannaea</i> spp. (Cel/L)							89													
<i>Hantzschia</i> spp. (Cel/L)																				784
<i>Melosira hustedti</i> (Cel/L)			288		2		111			534			3,3x10 ⁴	1,4x10 ⁴						1,8x10 ³
<i>Melosira varians</i> (Cel/L)			111			2,2x10 ⁴	267			1,4x10 ³					81					2,7x10 ³
<i>Navicula</i> spp. (Cel/L)		668	933		3	2,3x10 ³	1,8x10 ³	56		3,9x10 ³	132	1,9x10 ⁴		2,3x10 ³	89	89			125	4,5x10 ³
<i>Navicula dicephala</i> (Cel/L)		1,2x10 ³	813			2,0x10 ³				1,9x10 ³		81	1,7x10 ⁴				112			3,9x10 ³
<i>Navicula cryptocephala</i> (Cel/L)							333													
<i>Navicula distans</i> (Cel/L)																				222

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Navicula viridula</i> (Cel/L)			222			2,0x10 ³	333				111					889				723
<i>Nitzschia acicularis</i> (Cel/L)		334				9,5x10 ⁴	411	84			18			111			798			2,4x10 ³
<i>Nitzschia acicularioides</i> (Cel/L)		167																		
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> (Cel/L)			111					112												1,4x10 ³
<i>Nitzschia palea</i> (Cel/L)								112									56			334
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Cel/L)								89							89					
<i>Nitzschia</i> sp. (Cel/L)			2,4x10 ³		35	666	3,8x10 ³						15	4,5x10 ³	3,5x10 ³				2,3 x10 ³	444
<i>Nitzschia aff dissipata</i> (Cel/L)														222						111
Otras diatomeas céntricas (Cel/L)			1,4x10 ³			999	555	168						666		278				3,6x10 ³
Otras diatomeas pennadas (Cel/L)		1,3x10 ⁴	1,7x10 ⁴		4,2x10 ⁴	1,2x10 ³	3,7x10 ⁴	448		2,1x10 ³	4,2x10 ³	8,7x10 ³	1,8x10 ⁶	1,9x10 ³	4,7x10 ³	6,6x10 ³	56		1,1x10 ³	5,1x10 ³
<i>Pinnularia</i> spp. (Cel/L)								89	112	445		1,6x10 ⁴								47
<i>Rhizosolenia eriensis</i> (Cel/L)		1,0x10 ⁴	372		53	3,3x10 ³			1,7x10 ³	1,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴	2,1x10 ³	5,5x10 ⁶	1,2x10 ⁴	45		98			594
<i>Rhizosolenia longiseta</i> (Cel/L)		1	444			2,1x10 ³				178	12						168			6,3x10 ³
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Cel/L)			222																	139
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Cel/L)								56												222
<i>Roicosphenia</i> spp. (Cel/L)										243										2
<i>Rhopalodia gibba</i> (Cel/L)																333				167
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (Cel/L)						333														8,9x10 ³
<i>Surirella pseudolinearis</i> (Cel/L)								112												
<i>Surirella linearis</i> (Cel/L)														111						278
<i>Surirella</i> sp. (Cel/L)			12											111	486					
<i>Synedra rumpens</i> (Cel/L)		51					111													334
<i>Synedra</i> spp. (Cel/L)			18					89				623	16	125						142
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Cel/L)			246	2,1x10 ⁵			4,7x10 ³				7,8x10 ³	899		1,3x10 ⁵						2,1x10 ³
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Cel/L)			48		6,1x10 ³	3,3x10 ⁴		56		7,4x10 ³										
<i>Tabellaria</i> spp.								623												

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
(Cel/L)																				
<i>Trachelomonas</i> spp. (Cel/L)										89		89	1,6x10 ³		89					2
<i>Dinobryon cylindricum</i> (Cel/L)		171	2,5x10 ⁴		88	1,2x10 ⁴	2,6x10 ⁶	112	2,3x10 ⁴	2,2x10 ⁴	999	1,3x10 ³	3,2x10 ⁶	3,3x10 ³	1,2x10 ⁶		18			6,5x10 ³
<i>Dinobryon divergens</i> (Cel/L)		1,7x10 ³	6,8x10 ³			6,8 x10 ⁴	111	28			777		397	888			112			7,6x10 ⁴
<i>Dinobryon aff sertularia</i> (Cel/L)																				111
<i>Dinobryon</i> sp. (Cel/L)							2,7x10 ⁴													
<i>Mallomonas elongata</i> (Cel/L)						333														
<i>Mallomonas</i> spp. (Cel/L)		3			1	333	623			267	56	81			162	7,7x10 ³	112			2,8x10 ³
<i>Cryptomonas erosa</i> (Cel/L)			15	2,9x10 ³		6,4x10 ³	111	272			1,9x10 ³		583	722		3,1x10 ³	88			4,8x10 ³
<i>Cryptomonas ovata</i> (Cel/L)		211	72		1	743	167	336		7,7x10 ³	231	712	167	222	3,1x10 ³	496	112			5,4x10 ³
<i>Cryptomonas</i> sp. (Cel/L)				2,9x10 ³	63		89											313	625	6,1x10 ⁴
<i>Rhodomonas lacustris</i> (Cel/L)		333	333	139		113	5,3x10 ⁴	164			3,2x10 ³		167	1,0x10 ⁴		3,7x10 ³	784			2,6x10 ³
<i>Rhodomonas minuta</i> (Cel/L)		333	612								1,9x10 ³					556				2, x10 ³
<i>Rhodomonas</i> spp. (Cel/L)						979	712								1,5x10 ³	3,3x10 ³				2
<i>Ceratium hirundinella</i> (Cel/L)	1,3x10 ⁵	11	617		4,2x10 ³	7,0x10 ³	6,8x10 ³			8,1x10 ⁴	63	731	1,2x10 ⁵	1,5x10 ³	89	4,8x10 ³				1,2x10 ³
<i>Gymnodinium</i> spp. (Cel/L)			111		2		267				223		96	119						391
<i>Peridinium cinctum</i> (Cel/L)		236			15	1,5x10 ⁴				178	48	445			89					188
<i>Peridinium inconspicuum</i> (Cel/L)		7,8x10 ³	2,0x10 ³	417	15	445	8,0x10 ³				1,5x10 ⁴		1,6x10 ³	1,3x10 ³	89	1,1x10 ³			1,4x10 ⁴	1,2x10 ⁵
<i>Peridinium</i> sp. (Cel/L)	4,6x10 ⁴				5														2,2x10 ⁴	
<i>Peridinium cf. Quadridens</i> (Cel/L)	2,5x10 ⁴																		4,6x10 ³	
<i>Peridinium willei</i> (Cel/L)		2	98		213		89	56		534		356		125	89	834	112			2,3x10 ³
<i>Peridinium wolzii</i> (Cel/L)																				454
<i>Tribonema elongatum</i> (Fil/L)			111				2,4x10 ⁴													333
<i>Acutodesmus</i> spp. (Cel/L)	3,3x10 ⁴																			
<i>Amphidinium sphenoides</i> (Cel/L)													15							

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Cel/L)			167			1,7x10 ³		56			56		12			278				3,3x10 ³
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Cel/L)						1,6x10 ⁴						178	334	222						
<i>Ankistrodesmus</i> sp. (Cel/L)	11																			
<i>Aff Ankyra judai</i> (Cel/L)																				222
<i>Botryococcus braunii</i> (Cel/L)	1,6x10 ⁵		222			666	89	392			291		5,0x10 ⁵	333	81	21				88
<i>Chlorella</i> spp. (Cel/L)													7,1x10 ³							
<i>Closterium acutum</i> (Cel/L)	3,4x10 ⁴		1	417	938	7,4x10 ⁴	311			445		267	83	111	1,4x10 ³	2,0x10 ³		6,9x10 ⁴	151	
<i>Closterium acutum v. variable</i> (Cel/L)			334			3,3x10 ³														
<i>Closterium aciculare</i> (Cel/L)	1,7x10 ⁴		12				723						3,2x10 ⁵					1,8x10 ⁴	7,2x10 ⁵	
<i>Closterium</i> sp. (Cel/L)								56												125
<i>Coelastrum cambricum</i> (Cel/L)													83							
<i>Coelastrum microporum</i> (Cel/L)							2,6x10 ³							444	712					1,3x10 ³
<i>Coelastrum</i> spp. (Cel/L)	1,7x10 ⁴					356	4,4x10 ³								4,2x10 ³	712				
<i>Cosmarium depressum</i> (Cel/L)											12				534					621
<i>Cosmarium contractum</i> (Cel/L)				1,9x10 ³																
<i>Cosmarium</i> sp. (Cel/L)		51					58			445					4,4x10 ³				75	582
<i>Crucigeniella apiculata</i> (Cel/L)			111	417		666		56					334				126			
<i>Crucigeniella cuadrata</i> (Cel/L)													5							
<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Cel/L)			444			666		112			222		835	4,1x10 ⁴						2,9x10 ⁴
<i>Crucigeniella</i> sp. (Cel/L)													25							
<i>Desmodesmus</i> spp. (Cel/L)	1,8x10 ⁶						45		2,8x10 ³				2,9x10 ³							
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> (Cel/L)	4,0x10 ⁴	668	111			2,3x10 ³		112			444		1,6x10 ³	2,2x10 ³		252	112			9,1x10 ³
<i>Dictyosphaerium erhenbergianum</i> (Cel/L)			222			1,3x10 ³														334
<i>Dictyosphaerium</i> spp. (Cel/L)		34										3,2x10 ⁴			2,0x10 ⁴	1,0x10 ⁴				
<i>Dimorphococcus lunatus</i> (Cel/L)						1,7x10 ³										139				

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> (Cel/L)	1,7x10 ⁴	6,3x10 ³	1,1x10 ⁴		1,2x10 ⁴	1,9x10 ⁴	7,9x10 ³	112		162	5,4x10 ³	267	668	68	1,7x10 ³	277	54			8,8x10 ³
<i>Eudorina cylindrica</i> (Cel/L)													167							
<i>Eudorina elegans</i> (Cel/L)			891				145	112					668	111	6,5x10 ³					1,8x10 ³
<i>Eudorina</i> spp. (Cel/L)							6,9x10 ³								3,1x10 ³					
<i>Geminella</i> sp. (Cel/L)			111			1,7x10 ³														
<i>Golenkinia radiata</i> (Cel/L)	52779						81									278				
<i>Gonatozygon</i> sp. (Cel/L)		334																		
<i>Monactinus simplex</i> (Cel/L)							75													
<i>Monoraphidium contortum</i> (Cel/L)						2,4x10 ⁴	2,8x10 ³	56					1,2x10 ³				18			
<i>Monoraphidium minutum</i> (Cel/L)						1,7x10 ³	745	56								278				
<i>Monoraphidium saxatile</i> (Cel/L)						1,7x10 ³	1,2x10 ³	112			56			111						
<i>Monoraphidium simplex</i> (Cel/L)													2,0x10 ⁴							
<i>Monoraphidium</i> sp. (Cel/L)		13			21		63				6		4,9x10 ³			5,4x10 ³				54
<i>Mougeotia</i> spp. (Cel/L)								56												911
<i>Nephrocytium limneticum</i> (Cel/L)					4			112												
<i>Oocystis elliptica</i> (Cel/L)														333						888
<i>Oocystis lacustris</i> (Cel/L)	1,0x10 ⁵		222			511	1,4x10 ³				333			222						1,2x10 ⁴
<i>Oocystis natans</i> (Cel/L)							222							999						1,3x10 ³
<i>Oocystis</i> spp. (Cel/L)	5,9 x10 ⁴	4	12		13		139	112	75		36		5,9x10 ⁵		4,3x10 ³	3,1x10 ³		1,9x10 ³	225	224
<i>Otras volvocales</i> (Cel/L)								112												
<i>Otras chlorococcales</i> (Cel/L)														333						167
<i>Paulschulzia pseudovolvox</i> (Cel/L)													125							3,9x10 ³
<i>Pectinodesmus</i> spp. (Cel/L)	2,1x10 ³												2,6x10 ³							
<i>Pediastrum clathratum</i> (Cel/L)	3,0x10 ⁵																			167
<i>Pediastrum dúplex</i> (Cel/L)																556				

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Pediastrum simplex</i> (Cel/L)	3,3x10 ⁴						279							111						
<i>Pediastrum tetras</i> (Cel/L)	1,2x10 ⁵					1,5x10 ⁴										1,8x10 ³				
<i>Pseudopediastrum</i> spp. (Cel/L)	8,5x10 ⁵																			
<i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> (Cel/L)																				1,7x10 ⁴
<i>Quadrigula closterioides</i> (Cel/L)							2,8x10 ³	112												167
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Cel/L)							3,6x10 ³						42							3,7x10 ³
<i>Scenedesmus acutus</i> (Cel/L)			351											111						8
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Cel/L)		51				333					111			5,2x10 ³						
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Cel/L)	1,7x10 ⁴					1,5x10 ⁴								777		556				
<i>Scenedesmus aff denticulatus</i> (Cel/L)						1,7x10 ³														
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Cel/L)	4,5x10 ⁵					2,9x10 ³	1,4x10 ³							999		172				789
<i>Scenedesmus spinosus</i> (Cel/L)	2,7x10 ⁵					8,7x10 ⁴	167													
<i>Scenedesmus aff dimorphus</i> (Cel/L)		51																		167
<i>Scenedesmus</i> spp. (Cel/L)						8,9 x10 ³	25									356		2,7x10 ⁵	1,7x10 ⁵	
<i>Selenastrum gracile</i> (Cel/L)																278	336			
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> (Cel/L)	3,3x10 ⁴	45	3,4x10 ⁴	556	2,9x10 ⁴	9,8x10 ⁴	2,1x10 ⁴	784		2,2x10 ⁴	534	8,5x10 ³	1,2x10 ⁵	1,9x10 ³	3,5x10 ⁵	22	56			4,1x10 ⁴
<i>Spaherosma aubertianum</i> (Cel/L)							222													222
<i>Spirogyra</i> sp. (Cel/L)																				111
<i>Spondylosium planum</i> (Cel/L)																278				
<i>Spondylosium</i> spp. (Cel/L)		1																		
<i>Staurodesmus cuspidatus</i> (Cel/L)					239											556				18
<i>Staurastrum chaetoceras</i> (Cel/L)						6,7x10 ³														
<i>Staurastrum gracile</i> (Cel/L)			222			4,0x10 ³	111													
<i>Staurastrum leptocladum</i> (Cel/L)	8,2x10 ⁵						1,6x10 ³													723
<i>Staurodesmus lobatus</i> (Cel/L)											56			111						

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Staurastrum planctonicum</i> (Cel/L)							389													333
<i>Staurastrum tetracerum</i> (Cel/L)	1,7x10 ⁴						111							111						
<i>Staurastrum aff orbiculare</i> (Cel/L)	1,2x10 ⁵																			
<i>Staurastrum rotula</i> (Cel/L)																278				
<i>Staurastrum aff rotula v smithii</i> (Cel/L)						333														
<i>Staurastrum sebaldii v brasiliense</i> (Cel/L)																278				
<i>Staurastrum tohopekaligense</i> (Cel/L)						2,7x10 ³										611				
<i>Staurastrum sp.</i> (Cel/L)	9,4x10 ³	167				1,7x10 ⁴	1,6x10 ⁴						625	125						
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Cel/L)		167				361														
<i>Staurodesmus dickei</i> (Cel/L)																	112			
<i>Staurodesmus mamillatus</i> (Cel/L)						999														
<i>Staurodesmus triangularis</i> (Cel/L)				417		333		112												
<i>Staurodesmus spp.</i> (Cel/L)					1,4x10 ⁴															3
<i>Teilingia granulata</i> (Cel/L)													83							
<i>Tetraedron minimum</i> (Cel/L)	1,7x10 ⁴		111																	
<i>Tetraedron trigonum</i> (Cel/L)	5,3x10 ⁴					5,8x10 ³							63							
<i>Willea irregularis</i> (Cel/L)											333			444						2,6x10 ³
<i>Zygnema spp.</i> (Cel/L)								56		2,5x10 ⁴										11
Abundancia total (Cel/L)	2,6x10⁷	5,7x10⁴	7,9x10⁵	1,6x10⁶	2,8x10⁵	1,1x10⁶	3,0x10⁶	3,9x10⁴	3,2x10⁴	2,7x10⁵	1,3x10⁵	3,x10⁵	1,8x10⁷	1,5x10⁶	1,7x10⁶	3,2x10⁵	6,8x10³	6,3x10⁵	1,4x10⁶	5,9x10⁷
Riqueza (N° Taxa)	42	49	68	12	36	82	86	49	8	30	46	30	57	65	39	60	30	9	22	118
Shannon (H')	1,518	2,543	1,285	0,440	1,712	3,170	0,850	2,353	0,947	2,205	2,385	1,928	2,111	1,054	1,052	2,471	2,717	1,288	1,376	0,093
Simpson (D)	0,544	0,875	0,511	0,240	0,733	0,937	0,274	0,823	0,443	0,830	0,837	0,715	0,837	0,396	0,478	0,848	0,889	0,665	0,657	0,021
Equidad de Pielou (J)	0,406	0,653	0,305	0,177	0,478	0,720	0,191	0,605	0,456	0,648	0,623	0,567	0,522	0,253	0,287	0,603	0,799	0,586	0,445	0,019

ANEXO 3

ALGAS NOCIVAS

3 ALGAS NOCIVAS EN LOS LAGOS DE LA RED DE CONTROL DE LAGOS DE LA DGA

3.1 METODOLOGÍA

Mediante literatura e información disponible en la web se identificaron taxa de microalgas nocivas. Los taxa y su abundancia son presentados en tabla. Estos taxa son potencialmente tóxicos para el ser humano y generan diferentes efectos en el uso que se le da a los cuerpos de agua, ya sea para la recreación, consumo del agua y/o riego. Dependiendo del nivel de abundancia estas algas pueden constituir Floraciones Algaes Nocivas (FAN). La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que cuando la abundancia de las cianobacterias alcanza a las 100.000 células por mililitro, se debe iniciar un análisis de toxicidad y monitoreo con mayor frecuencia para evitar afectaciones sanitarias de mayor riesgo. Actualmente en Chile, no existen normativas referentes a la calidad de aguas en relación a toxinas de cianobacterias y a la presencia de ningún tipo de microalgas (ver norma de calidad de agua NCh 409). No obstante, el Ministerio de Salud estableció como objetivo sanitario para el periodo 2010-2020 la inclusión de riesgos ambientales enfocados a agua potable, específicamente a la prevención y control de las enfermedades transmitidas por el agua y aguas de recreación con contacto directo.

3.2 RESULTADOS

De los 20 lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA, 11 de estos lagos presentaron taxa de microalgas planctónicas nocivas (**Tabla 22**). Los lagos que presentaron mayor número de taxa nocivos fueron el lago Lanalhue (4 taxa), laguna Grande de San Pedro (4 taxa), laguna Aculeo (3 taxa) y el lago Vichuquen (3 taxa) (**Tabla 22**). Entre estos sistemas, la laguna Aculeo presentó la mayor densidad total de microalgas nocivas, la cual alcanzó a $1,7 \times 10^7$ cel/L. Los lagos Lanalhue, Vichuquen y la laguna Grande de San Pedro presentaron un rango de valores de densidad de microalgas nocivas que varió entre $3,3 \times 10^3$ y 47×10^3 cel/L (**Tabla 22**). El resto de sistemas acuáticos presentaron frecuentemente 1 taxa y en muy baja densidad total ($56 - 2.100$ cel/l, **Tabla 22**).

Los lagos que no presentaron taxa de microalgas planctónicas nocivas fueron los lagos Caburgua, Calafquen, Chapo, Maihue, Neltume, Puyehue, Ranco, Todos los Santos y la laguna Torca (**Tabla 22**).

En relación a los taxa de microalgas nocivos, la microalga *Lyngbya limnetica* fue detectada en alta densidad (17×10^6 cel/L) y únicamente en la laguna Aculeo (**Tabla 22**).

El taxa *Microcystis aeruginosa* (Col/L) fue detectado en el lago Lanalhue (5×10^3 cel/L) y en la laguna Grande de San Pedro (37×10^3 cel/L) (**Tabla 22**).

El taxa *Microcystis elachista* fue detectado en el lago Lanalhue ($1,7 \times 10^3$ col/L), en la laguna Grande de San Pedro ($1,4 \times 10^3$ col/L), en el lago LLeulleu (56 col/L), lago Vichuquen (111 col/L) y en los lagos Panguipulli (222 col/L) y Riñihue ($2,3 \times 10^3$ col/L) (**Tabla 22**).

El taxa *Microcystis incerta* fue detectado en el lago Aculeo (17×10^3 col/L) y en la laguna Grande de San Pedro (666 col/L) (**Tabla 22**).

El taxa identificado como *Microcystis* spp. fue detectado en la laguna Aculeo ($1,3 \times 10^3$ cenobios), en el lago Colico (317 cenobios), lago Llanquihue (63 cenobios), lago Riñihue (63 cenobios), lago Rupanco (89 cenobios), laguna Grande de San Pedro (8.400 cenobios), lago Vichuquen ($2,1 \times 10^3$ cenobios) y en el lago Villarrica (42 cenobios) (**Tabla 22**).

El taxa *Microcystis wesenbergii* fue encontrado en el lago Lanalhue a una densidad de $3,3 \times 10^3$ col/L (**Tabla 22**).

El taxa *Oscillatoria* sp. fue detectado en el lago Lanalhue (333 Fil/L) y en el lago Vichuquen ($3,2 \times 10^3$ Fil/L) (**Tabla 22**).

Cabe destacar que las microalgas planctónicas nocivas se encontraron en los sistemas acuáticos que presentaron mayor condición trófica. La laguna Aculeo, el lago Lanalhue (en periodo de mezcla) y el lago Vichuquen (en periodo de mezcla) presentan condiciones de Eutrofia – Hipereutrofia y la laguna Grande de San Pedro condiciones de Mesotrofia. Así mismo, en la mayoría de lagos con Oligotrofia no se detectaron microalgas planctónicas nocivas.

Las concentraciones registradas para los taxa indicados en la **Tabla 22** son bajas (menor a 100.000 cel/mL) por lo que estos taxa no estarían formando Floraciones Algales Nocivas (FAN) y no estarían generando problemas para la salud humana. Sin embargo, se debe indicar que estas microalgas planctónicas eventualmente podrían generar una Floración y consecuentemente altas concentraciones de cianotoxinas afectando el uso que se le da a los cuerpos de agua.

Tabla 22. Abundancia de microalgas nocivas en el fitoplancton de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA entre los años 2011 y 2013.

AC=Laguna de Aculeo, CA=Lago Caburgua, CF=Lago Calafquen, CH=Lago Chapo, CO= Lago Colico, LA= Lago Lanalhue, LLA= Lago Llanquihue, LLE= Lago LLeulleu, MA= Lago Maihue, NE= Lago Neltume, PA= Lago Panguipulli, PU= Lago Puyehue, RA= Lago Ranco, RI= Lago Riñihue, RU= Lago Rupanco, SP= Laguna Grande de San Pedro, TLS= Lago Todos los Santos, TO= Laguna Torca, VCH= Lago Vichuquen y VI= Lago Villarrica.

Taxa	AC	CA	CF	CH	CO	LA	LLA	LLE	MA	NE	PA	PU	RA	RI	RU	SP	TLS	TO	VIQ	VI
<i>Lyngbya limnetica</i> (Fil/L)	1,7x10 ⁷																			
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Col/L)						5,0 x10 ³										3,7 x10 ⁴				
<i>Microcystis elachista</i> (Col/L)						1,7 x10 ³		56			222			2,3x10 ³		1,4 x10 ³				111
<i>Microcystis incerta</i> (Col/L)	1,7 x10 ⁴															666				
<i>Microcystis spp. (Cenobio)</i> (Cel/L)	1,3 x10 ⁵				317		63							63	89	8,4 x10 ³			2,1 x10 ³	42
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Col/L)						3,3 x10 ³														
<i>Oscillatoria sp.</i> (Fil/L)						333														3,2 x10 ³

ANEXO 4

INDICE TROFICO PLANCTÓNICO

4 INDICE TROFICO PLANCTÓNICO (IPL)

El estudio de las asociaciones de especies de microalgas del fitoplancton constituye una de las líneas metodológicas a seguir para la obtención de métricas para evaluar el estado ecológico de los diferentes tipos de lagos y embalses (DMA, 2005). Barbe *et al.* (Barbe *et al.*, 1990) propuso el índice trófico plantónico (ITP) que se basa en el tipo de poblaciones de fitoplancton, en la abundancia relativa de los grupos dominantes y en la biomasa de microalgas del fitoplancton en función de la Clorofila a. Sin embargo, para otorgar más importancia a los grupos algales indicadores de condiciones de trofía, el ITP ha sido sustituido por un nuevo índice denominado Índice Planctónico (IPL) en cuyo cálculo no se incluye la biomasa y cuya escala de calidad de los grupos de algas es más amplia e incluye nuevos grupos taxonómicos. Al eliminar la Clorofila del cálculo permite dar un mayor peso a las algas más relacionadas con la eutrofización (cianobacterias, euglénidos) y a las algas indeseables en las comunidades planctónicas, lo que permite evaluar con mayor precisión los niveles de trofía de los cuerpos de agua en base a la composición taxonómica (Phillipe *et al.*, 2003).

4.1 METODOLOGÍA

El cálculo del nuevo índice planctónico propuesto (IPL) se basa en las calificaciones de los grupos de algas, donde a cada grupo se le ha asignado nuevos valores de calidad (Q_i), otorgándoles más peso (valores de Q_i más altos) a los grupos algales que están directamente relacionados con la trofía como lo son las cianobacterias y los euglénidos. El cálculo también incluye la abundancia relativa de cada taxa (% de incidencia de cada taxa), lo cual también tiene asignado un valor y por lo tanto mientras más abundante sea un taxa en una muestra mayor será el valor asignado.

Los valores de calidad y abundancia relativa se presentan en la **Tabla 23** y en la **Tabla 24** respectivamente.

Tabla 23. Valores de calidad de los grupos de algas planctónicas.

Grupos de Algas	Q_i
Desmidiaceae	1
Bacillariophyceae	3
Chrysophyceae	5
Dinophyceae y Cryptophyceae	9
Chlorophyceae	12
Cyanophyceae	16
Euglenophyceae	20

Tabla 24. Escala de puntuación de abundancia relativa de taxa del fitoplancton.

Abundancia relativa (%)	Aj
0 - ≤10	0
10 - ≤30	1
30 - ≤50	2
50 - ≤70	3
70 - ≤90	4
90 - ≤100	5

Por lo tanto, el nuevo índice planctónico (IPL) se calcula de la siguiente manera:

$$IPL = \sum (Q_i * A_j)$$

Valores superiores a 50 indican condición de Eutrofia, mientras que valores inferiores indican condiciones de Oligotrofia (Barbe *et al.*, 1990).

La información disponible de fitoplancton fue ordenada con los datos cuantitativos entregados por la DGA correspondientes a informes de las consultoras Plancton Andino y del Centro de Ciencias Ambientales EULA. La información comprendió datos provenientes del periodo 2011 - 2013. En cada lago se agrupó la información de la abundancia de cada taxa unificando los datos de todas las estaciones de muestreo y profundidades en cada periodo estacional, promediando las abundancias de cada taxa presente con la finalidad de obtener un valor único para cada lago. Además se calculó la abundancia relativa de cada taxa mediante la determinación del % de incidencia de cada taxa respecto de la abundancia total de microalgas planctónicas. Con estos datos se procedió a calcular el IPL por periodo estacional según la disponibilidad de datos para cada lago. El cálculo del IPL fue ordenado en una tabla junto con el cálculo de la concentración de clorofila obtenida para cada periodo estacional. Se comparó el valor del IPL con la condición trófica de cada lago.

4.2 RESULTADOS

Los resultados del cálculo de Índice Planctónico (IPL) realizado para los ensambles de microalgas planctónicas de los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA se presentan en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Valores del Índice Planctónico (IPL) y Valores de Clorofila a obtenidos en los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA entre los años 2011-2013.

Cuerpo de Agua	Periodo	Año	IPL	Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)
Laguna de Aculeo	Verano	2012-2013	56	41,0 (6,3 – 147)
Lago Caburgua	Verano	2012-2013	30	0,94 (0,1 – 5,1)
	Primavera	2011	22	0,91 (0,1 – 2,3)
Lago Calafquen	Verano	2012	12	0,46 (0,1 – 1,0)
	Primavera	2011-2012	5	0,63 (0,2 – 3,1)
Lago Chapo	Primavera	2011	15	2,71 (0,46 – 5,1)
Lago Colico	Verano	2013	20	0,43 (0,13 – 0,8)
	Otoño	2013	48	0,30 (0,03 – 0,7)
Lago Lanalhue	Verano	2012	22	5,81 (0,2 – 30)
	Invierno	2011-2012	9	9,16 (0,6 – 20)
Lago Llanquihue	Verano	2012-2013	34	0,52 (0,1 – 2,5)
	Invierno	2012	9	1,61 (0,3 – 3,34)
	Primavera	2011	12	0,45 (0,1 – 1,7)
Lago LLeulleu	Invierno	2011	6	1,15 (0,68 – 1,14)
Lago Maihue	Verano	2013	18	0,56 (0,08 – 3,1)
Lago Neltume	Verano	2013	57	0,87(0,2 – 1,7)
	Otoño	2013	14	0,99 (0,3 – 2,2)
Lago Panguipulli	Verano	2012	12	0,80 (0,2 – 3,3)
	Primavera	2011-2012	15	1,08 (0,2-3,2)
Lago Puyehue	Verano	2013	39	0,50 (0,08 -1,3)
	Primavera	2012	9	1,81 (0,3 – 3,8)
Lago Ranco	Verano	2013	23	0,32 (0,1 – 1,4)
	Primavera	2012	9	0,51 (0,2 – 1,4)
	Otoño	2012	15	0,83 (0,1 – 2,1)
Lago Riñihue	Verano	2012	15	0,42 (0,1 – 1,2)
	Primavera	2012-2013	12	1,24 (0,10 – 3,4)
Lago Rupanco	Verano	2013	27	0,56 (0,3 – 0,95)
	Primavera	2012	20	0,81 (0,39 – 1,5)
Laguna Grande de San Pedro	Verano	2012	35	5,48 (0,5 – 29)
	Invierno	2011-2012	38	5,14 (2,5 – 11,0)
Lago Todos los Santos	Primavera	2011	21	0,52 (0,1 – 1,1)
Laguna Torca	Verano	2012	64	126 (115 – 137)
Lago Vichuquen	Verano	2013	64	9,57 (8,1 – 11,0)
	Otoño	2013	76	7,30 (6,8 – 7,8)

Cuerpo de Agua	Periodo	Año	IPL	Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)
Lago Villarrica	Verano	2012-2013	15	1,28 (0,05 – 8,7)
	Primavera	2011-2012	16	1,81 (0,2 – 7,5)

Condición trófica (Barbe et al 1990)	IPL
Oligotrofia	<50
Eutrofia	≥ 50

Condición trófica (Smith et al 1990)	Fósforo total ($\mu\text{g/l}$)	Nitrógeno total ($\mu\text{g/l}$)	Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)
Oligotrofia	< 10	< 350	< 3,5
Mesotrofia	10-30	350 - 650	3,5 - 9
Eutrofia	30 -100	650 - 1.200	9-25
Hipereutrofia	> 100	> 1.200	> 25

De acuerdo a los resultados, en la mayoría de los lagos (17 de 20 lagos) la condición trófica calculada mediante el IPL coincide con la determinación de condición trófica basada en la concentración de Clorofila a para cada periodo estacional. Las excepciones son explicadas a continuación.

En el Lago Neltume, la composición taxonómica muestra alta riqueza de taxa indicadores de bajos niveles de trofia. Sin embargo se observa la presencia dominante de *Anabaena* spp. que alcanza a un 57% de la abundancia total de microalgas del fitoplancton medida en este lago (**Tabla 21**). Este resultado conlleva a obtener un alto valor de Q_i lo cual aunado a una alta abundancia relativa resulta en una condición de eutrofia para el lago Neltume de acuerdo al IPL.

Para la laguna grande de San Pedro, la condición trófica de acuerdo a la concentración de Clorofila a indica condiciones de Mesotrofia, sin embargo el valor del IPL indicó condiciones de Oligotrofia. Cabe mencionar que el valor del IPL no es bajo sino que es cercano a 50 (35 y 38), lo que estaría indicando una condición oligotrófica que avanza hacia a una condición mesotrófica en los periodos estacionales indicados en la **Tabla 25**.

En el caso de lago Lanalhue, la composición taxonómica corresponde principalmente a taxa que no tienen valores elevados de Q_i , por lo que al efectuar el cálculo del IPL, la condición trófica basada en la presencia de grupos de microalgas indicaría que el cuerpo de agua tiende a la oligotrofia.

En conclusión, los resultados del IPL calculado para los lagos de la Red de Control de Lagos de la DGA apoyan en gran parte los resultados de la condición trófica determinada para estos lagos durante el periodo 2000-2014. Teniendo en cuenta que el cálculo del IPL está basado principalmente en la composición taxonómica, la condición de trofía no necesariamente va a coincidir con la condición indicada por otros parámetros (como la Clorofila a). Sin embargo, en la mayoría de los casos dichos cálculos deben ser complementarios.

Cabe destacar que la información de Fitoplancton analizada comprendió entre los años 2011 y 2013 lo cual es significativamente menor al periodo de datos provenientes para el análisis de la calidad de agua (2000-2014). Este desbalance de cantidad de información podría estar explicando las inconsistencias entre ambas aproximaciones para calcular condición trófica de lagos.