



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



POCH AMBIENTAL S.A.

REDEFINICIÓN DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS

**REALIZADO POR:
POCH AMBIENTAL S.A.**

S.I.T. N° 192

SANTIAGO, OCTUBRE 2009

**Jefe de Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos
Ing. Sra. Mesenia Atenas**

**Inspector Fiscal
Ing. Sra. Mónica Musalem**

POCH AMBIENTAL S.A.

**Jefe de Proyecto
Dr. A. Gonzalo Benavides**

**Profesionales
Dr. Ginger Martínez
Dr. Alan Walkowiak
Ing. Srta. Karen Avendaño**

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS DE LA ASESORÍA	1
3	REVISIÓN, CORRECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA COMPRENDIDA ENTRE EL 2000 Y 2008 DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML).	2
3.1	OBJETIVO.....	2
3.2	ALCANCE.....	2
3.3	ORDENACIÓN Y REVISIÓN DE DATOS.....	2
3.3.1	Ordenación de la información.....	2
3.3.2	Revisión inicial	3
3.3.3	Revisión Final.....	7
3.4	VALIDACIÓN DE DATOS.....	8
3.4.1	Embalse La Paloma	11
3.4.2	Laguna Aculeo	11
3.4.3	Embalse Rapel	11
3.4.4	Laguna Grande de San Pedro.....	11
3.4.5	Laguna del Laja	11
3.4.6	Lago Lanalhue	12
3.4.7	Lago Caburgua.....	12
3.4.8	Lago Villarrica.....	12
3.4.9	Lago Calafquén.....	12
3.4.10	Lago Panguipulli.....	12
3.4.11	Lago Riñihue.....	13
3.4.12	Lago Ranco	13
3.4.13	Lago Maihue	13
3.4.14	Lago Llanquihue	13
3.4.15	Lago Todos Los Santos.....	14
3.4.16	Lago Chapo	14
3.5	CONCLUSIÓN	18
4	DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML)	18
4.1	METODOLOGÍA.....	19
4.1.1	Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos y embalses de la RML.....	19
4.1.2	Disponibilidad sub-acuática de irradianza: Zona eufótica (Z_{EUF})	19
4.1.3	Determinación del nutriente limitante de la producción biológica mediante las Razones de Redfield- Brzezinski (1985) y Redfield (1934).....	19
4.1.4	Análisis de la concentración del nutriente limitante de la producción biológica (N_{NIT} , P_{PIT} , N_{TOT} , P_{TOT})	22
4.1.5	Determinación de la condición trófica en los lagos y embalses de la RML.....	22
4.2	RESULTADOS.....	23
4.2.1	Patrones hidrodinámicos de los lagos y embalses de la RML	23
4.2.2	Disponibilidad sub-superficial de irradianza: Zona eufótica (Z_{EUF}).....	41
4.2.3	Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N / P)	43
4.2.4	Análisis de la concentración del nutriente limitante en la columna de agua.....	47
4.2.5	Determinación de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML.....	56
4.2.6	Variación temporal (2000-2008) de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML.....	68
4.3	CONCLUSIONES.....	98
4.3.1	Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos y embalses.....	98
4.3.2	Disponibilidad sub-superficial de irradianza: Zona eufótica (Z_{EUF}).....	98

4.3.3	Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N:P)	98
4.3.4	Determinación de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML	99
5	REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MUESTREO DE LOS 16 LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML) DE LA DGA	102
5.1	<i>Criterios para la definición del diseño de muestreo</i>	102
5.1.1	Potencial para aumentar condición trófica	102
5.1.2	Grado de intervención antrópica	105
5.2	<i>Diseño de muestreo específico para cada Clase de lagos y embalses</i>	109
5.2.1	CLASE 1: Cuerpos de agua regulados artificialmente, con niveles meso-eutróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitados por Fósforo) y con un alto grado de intervención antrópica	109
5.2.2	CLASE 2: Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y con un alto grado de intervención antrópica	116
5.2.3	CLASE 3: Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, los que presentan un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y el grado de intervención antrópica es variable pero menor que en los lagos de la Clase 2	131
5.2.4	CLASE 4: Cuerpos de agua naturales y someros, con niveles altos de trofia (Meso-Hipereutróficos), con un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y con alto grado de intervención antrópica	147
5.3	<i>Parámetros de calidad de agua y biológicos</i>	156
5.3.1	Parámetros de calidad de agua	156
5.3.2	Parámetros biológicos	156
5.4	<i>Comparación general del diseño de muestreo de los lagos y embalses de la RML con la redefinición de monitoreo</i>	156
5.4.1	Campañas de monitoreo	156
5.4.2	Estaciones de monitoreo	157
5.4.3	Número de muestras	157
5.4.4	Número de afluentes y efluentes	157
5.4.5	Profundidad máxima de muestreo	157
5.4.6	Número de parámetros de calidad de agua	157
5.4.7	Número de parámetros biológicos	157
6	INCORPORACIÓN DE LAGOS A LA RED MÍNIMA DE LAGOS DE LA DGA	159
6.1	<i>Diseño de muestreo</i>	159
6.2	<i>Parámetros de calidad de agua y biológicos</i>	161
6.2.1	Parámetros de calidad de agua	161
6.2.2	Parámetros biológicos	161
6.3	<i>Costos asociados al muestreo y al análisis de laboratorio</i>	165
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166
8	ANEXO A: Análisis de costos de muestreo de los nuevos lagos de la RML	169
8.1	<i>Introducción</i>	169
8.2	<i>Objetivo</i>	169
8.3	RESULTADOS	169
8.3.1	Incorporación de nuevos lagos	169
8.4	<i>Análisis de costos</i>	171
8.4.1	Costos de operación/campaña	172
8.4.2	Costo de Análisis/campaña	172
8.5	<i>Conclusión</i>	173

ÍNDICE DE FIGURAS

TABLA 1. PARÁMETROS REVISADOS.....	3
TABLA 2. REGISTROS ELIMINADOS. LOS NÚMEROS ENTRE PARÉNTESIS REPRESENTAN UNA OBSERVACIÓN DE LA ELIMINACIÓN QUE ESTÁ DETALLADA AL PIE DE LA TABLA.....	4
TABLA 3. EXISTENCIA PARCIAL DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA VALIDACIÓN (POCH SA) DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS POR LA DGA ENTRE EL 2000 Y EL 2008 EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML.....	9
TABLA 4. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS USADAS PARA LA VALIDACIÓN DE LAGOS O EMBALSES DE LA RML.....	9
TABLA 5. TABLA PARA VALIDACIÓN DE VALORES DE PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS EN LAGOS Y EMBALSES DE LA RML. LA COLUMNA TITULADA DGA MUESTRA EL VALOR PROMEDIO (*) O LA MODA (**) Y ENTRE PARÉNTESIS LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS DE LA BASE DE DATOS REVISADA POR POCH SA PARA EL PERIODO 2000 - 2008. LA COLUMNA TITULADA FUENTES CONTIENE LOS VALORES PROMEDIO O RANGOS DE VALORES ENCONTRADOS EN FUENTES BIBLIOGRÁFICAS. LAS CELDAS COLOREADAS INDICAN LOS VALORES QUE FUERON VALIDADOS POR POCH SA.....	15
TABLA 6. PORCENTAJE DE VALIDACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DE IMPORTANCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE TROFÍA EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML.....	18
TABLA 7. DETERMINACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE DE LA PRODUCCIÓN BIOLÓGICA. LA TABLA MUESTRA EL VALOR DE LAS RAZONES Si / N_{NIT} Y Si / P_{PIT} . UN VALOR DE LA RAZÓN Si / N_{NIT} QUE ES MAYOR O IGUAL A 2 INDICA LIMITACIÓN POR NITRÓGENO Y DE LO CONTRARIO LIMITACIÓN POR SÍLICE. UN VALOR DE LA RAZÓN Si / P_{PIT} QUE ES MAYOR O IGUAL A 14 INDICA LIMITACIÓN POR FÓSFORO Y DE LO CONTRARIO LIMITACIÓN POR SÍLICE.....	20
TABLA 8. DETERMINACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE DE LA PRODUCCIÓN BIOLÓGICA. LA TABLA MUESTRA EL NUTRIENTE LIMITANTE QUE RESULTA DE LA DETERMINACIÓN DE LAS RAZONES DEL Si CON EL N Y EL P. ENTRE PARÉNTESIS SE INDICA EL NÚMERO DE CASOS EN QUE EL NUTRIENTE INDICADO DELANTE DEL PARÉNTESIS FUE EL NUTRIENTE LIMITANTE.....	21
TABLA 9. CRITERIOS Y VALORES DE CLASIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA PARA LAGOS Y EMBALSES. SMITH ET AL. 1999.....	22
TABLA 10. DETERMINACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN Y MEZCLA DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML. LOS COLORES INDICAN AGRUPACIONES DE LAGOS EN FUNCIÓN DE PATRONES HIDRODINÁMICOS (VER PIE DE TABLA).....	24
TABLA 11. AMBIENTE LUMÍNICO SUB-SUPERFICIAL DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML EVALUADO A TRAVÉS DE LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA EUFÓTICA (Z_{EUF}). V = VERANO, P = PRIMAVERA, O = OTOÑO, I = INVIERNO, Z_{EUF} = ZONA EUFÓTICA. 1 = INFORME TÉCNICO 1, 2 = VILA ET AL. 1986, MONTECINO (1991), CABRERA & MONTECINO (1987), 3 = MONTECINO (1991), VILA ET AL. 1997, CABRERA & MONTECINO (1987), VILA ET AL. 2000, MONTECINO & CABRERA (1984), 4 = PARRA ET AL. 2003, VALDOVINOS & FIGUEROA (2000), 5 = VALDOVINOS & PEDREROS (2007), 6 = PARRA ET AL. 2003, VALDOVINOS & FIGUEROA (2000), 7 = CAMPOS (1984), CAMPOS ET AL. 1987, 8 = CAMPOS ET AL. 1983, CAMPOS (1984), 9 = CAMPOS ET AL. 1980, CAMPOS (1984), 10 = CAMPOS (1984), CAMPOS ET AL. 1981, 11 = CAMPOS (1984), WÖELFL ET AL. 2003; CAMPOS ET AL. 1978, CAMPOS ET AL. 1987, 12 = CAMPOS ET AL. 1982; WÖELFL (2009), CAMPOS (1992), 13 = WÖELFL (2009), 14 = CAMPOS ET AL. 1988, SOTO (2002), 15 = CAMPOS ET AL. 1990, MONTECINO (1991), 16 = VILLALOBOS ET AL. 2003.....	42
TABLA 12. VALORES DE LA RAZÓN N_{NIT}/P_{PIT} (RAZÓN DE REDFIELD) EN DIFERENTES CONDICIONES HIDRODINÁMICAS EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML.....	44
TABLA 13. VALORES DE LA RAZÓN N_{NIT}/P_{PIT} (RAZÓN DE REDFIELD) MEDIDOS EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML EN DIFERENTES PERIODOS ESTACIONALES.....	46
TABLA 14. CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL Y FÓSFORO TOTAL EN DIFERENTES CONDICIONES HIDRODINÁMICAS EN LOS LAGOS LIMITADOS EN SU PRODUCCIÓN BIOLÓGICA POR FÓSFORO.....	48
TABLA 15. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO) PARA LOS LAGOS Y EMBALSES LIMITADOS POR FÓSFORO.....	49
TABLA 16. CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL, NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL, FÓSFORO TOTAL Y NITRÓGENO TOTAL EN DIFERENTES CONDICIONES HIDRODINÁMICAS EN LOS LAGOS LIMITADOS EN SU PRODUCCIÓN BIOLÓGICA POR FÓSFORO Y NITRÓGENO.....	52
TABLA 17. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO) PARA LOS LAGOS LIMITADOS POR FÓSFORO Y NITRÓGENO.....	54
TABLA 18. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DEL NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO) PARA LOS LAGOS Y EMBALSE LIMITADOS POR FÓSFORO Y NITRÓGENO.....	55

TABLA 19. DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE <i>CLOROFILA A</i> EN LOS LAGOS Y EMBALSES LIMITADOS POR FÓSFORO.	57
TABLA 20. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO TOTAL Y SU ASOCIACIÓN CON LA CONDICIÓN TRÓFICA EN LOS SISTEMAS ACUÁTICOS LIMITADOS POR FÓSFORO.	58
TABLA 21. DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE <i>CLOROFILA A</i> EN LOS LAGOS ARAUCANOS LIMITADOS POR NITRÓGENO (LAGUNA DEL LAJA) Y POR NITRÓGENO Y FÓSFORO.	60
TABLA 22. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL Y FÓSFORO TOTAL Y SU ASOCIACIÓN CON LA CONDICIÓN TRÓFICA EN LOS LAGOS ARAUCANOS Y EN LA LAGUNA DEL LAJA.	61
TABLA 23. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE <i>CLOROFILA A</i> Y DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LOS LAGOS Y EMBALSES LIMITADOS POR FÓSFORO.	63
TABLA 24. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN FÓSFORO TOTAL Y DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML LIMITADOS POR FÓSFORO.	63
TABLA 25. PROMEDIO ANUAL DE LA CONCENTRACIÓN DE <i>CLOROFILA A</i> EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML LIMITADOS POR FÓSFORO.	64
TABLA 26. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN <i>CLOROFILA A</i> Y DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LOS LAGOS DE LA RML LIMITADOS POR NITRÓGENO Y FÓSFORO (LAGOS ARAUCANOS Y LAGUNA DEL LAJA).	65
TABLA 27. PROMEDIO ANUAL DE LA CONCENTRACIÓN DE <i>CLOROFILA A</i> EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML LIMITADOS POR FÓSFORO Y NITRÓGENO.	66
TABLA 28. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL Y DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN LOS LAGOS DE LA RML LIMITADOS POR NITRÓGENO Y FÓSFORO (LAGOS ARAUCANOS Y LAGUNA DEL LAJA).	67
TABLA 29. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN FÓSFORO TOTAL Y DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN LOS LAGOS DE LA RML LIMITADOS POR NITRÓGENO Y FÓSFORO (LAGOS ARAUCANOS Y LAGUNA DEL LAJA).	68
TABLA 30. DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML. LA CONDICIÓN TRÓFICA SE INDICA CON COLORES (VER LEYENDA AL PIE DE LA TABLA).	101
TABLA 31. CLASIFICACIÓN DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL PARA AUMENTAR LA CONDICIÓN TRÓFICA Y DEL GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.	104
TABLA 32. FUENTES DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS SON INDICADAS A PIE DE LA TABLA.	106
TABLA 33. CLASIFICACIÓN DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RML EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL PARA AUMENTAR LA CONDICIÓN TRÓFICA Y DEL GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.	108
TABLA 34. DISEÑO DE MUESTREO PROPUESTO PARA LOS EMBALSES DE LA CLASE 1: LA PALOMA Y RAPEL. SE INDICA LA PROFUNDIDAD DE MUESTREO MÁS RECOMENDADA PERO ENTRE PARÉNTESIS SE INDICA EL RANGO DE PROFUNDIDADES DEL CUAL TAMBIÉN PUEDEN SER TOMADAS LAS MUESTRAS.	110
TABLA 35. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL EMBALSE LA PALOMA (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	112
TABLA 36. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL EMBALSE RAPEL (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	113
TABLA 37. DISEÑO DE MONITOREO PROPUESTO PARA LOS LAGOS DE LA CLASE 2: CABURGUA, CALAFQUÉN, VILLARRICA, RIÑIHUE Y RANCO. SE INDICA LA PROFUNDIDAD DE MUESTREO MÁS RECOMENDADA Y ENTRE PARÉNTESIS SE INDICA EL RANGO DE PROFUNDIDADES DEL CUAL TAMBIÉN PUEDEN SER TOMADAS LAS MUESTRAS.	118
TABLA 38. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO CABURGUA (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	121
TABLA 39. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO CALAFQUÉN (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	122
TABLA 40. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO VILLARRICA (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	123
TABLA 41. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO RIÑIHUE Y SU REDEFINICIÓN.	124
TABLA 42. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO RANCO (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	125
TABLA 43. DISEÑO DE MUESTREO PROPUESTO PARA LOS LAGOS DE LA CLASE 3: PANGUIPULLI, MAIHUE, LLANQUIHUE, TODOS LOS SANTOS, CHAPO Y LA LAGUNA DEL LAJA. SE INDICA LA PROFUNDIDAD DE	

MUESTREO MÁS RECOMENDADA Y ENTRE PARÉNTESIS SE INDICA EL RANGO DE PROFUNDIDADES DEL CUAL TAMBIÉN PUEDEN SER TOMADAS LAS MUESTRAS.	133
TABLA 44. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO PANGUIPULLI (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	135
TABLA 45. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO MAIHUE (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	136
TABLA 46. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO LLANQUIHUE (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	137
TABLA 47. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO TODOS LOS SANTOS (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	138
TABLA 48. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO CHAPO (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	139
TABLA 49. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO MAIHUE (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	140
TABLA 50. DISEÑO DE MUESTREO PROPUESTO PARA LOS LAGOS Y LAGUNAS DE LA CLASE 4: EL LAGO LANALHUE, LA LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO Y LA LAGUNA ACULEO. SE INDICA LA PROFUNDIDAD DE MUESTREO MÁS RECOMENDADA PERO ENTRE PARÉNTESIS EL RANGO DE PROFUNDIDADES DEL CUAL TAMBIÉN PUEDEN SER TOMADAS LAS MUESTRAS.	148
TABLA 51. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN EL LAGO LANALHUE (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	150
TABLA 52. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN LA LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	151
TABLA 53. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL DESARROLLADO EN LA LAGUNA ACULEO (RML) Y SU REDEFINICIÓN.	152
TABLA 54. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE MONITOREO ACTUAL (RML) Y LA REDEFINICIÓN DEL DISEÑO (PROP) MEDIANTE PARÁMETROS INDICADORES.	158
TABLA 55. ESTACIONES DE MONITOREO EN LAGOS QUE SE RECOMIENDA INCLUIR A LA RML.	159
TABLA 56. DISEÑO DE MUESTREO PARA LAGOS SIN MONITOREO ACTUAL POR LA DGA.	160
TABLA 57. ESTACIONES DE MONITOREO PROPUESTAS PARA LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML).	171
TABLA 58. VALORIZACIÓN DE ÍTEMS INVOLUCRADOS EN LA EJECUCIÓN DE UNA CAMPAÑA DE TERRENO.	172
TABLA 59. RESUMEN DE LOS COSTOS PARA EL MONITOREO DE 6 LAGOS.	173

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL EMBALSE LA PALOMA (ESTACIÓN MURO). A) ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.....	25
FIGURA 2. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DE LA LAGUNA ACULEO (ESTACIONES DESAGÜE, PUNTILLA LEÓN Y CASA DE BOMBA). A) INDICIOS DE ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) INDICIOS DE ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) INDICIOS DE ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.....	26
FIGURA 3. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL EMBALSE RAPEL (ESTACIÓN MURO). A) ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	27
FIGURA 4. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DE LA LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO (ESTACIONES CENTRO, DESAGÜE Y SUR). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	28
FIGURA 5. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DE LA LAGUNA DEL LAJA (ESTACIONES BAHÍA COLORADO, PUERTO NUEVO Y PUNTILLA EL FLACO). A) MEZCLA EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	29
FIGURA 6. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO LANALHUE (ESTACIONES PUERTO PALECO, FRENTE A HOSTERÍA, PLAYA BLANCA Y PUERTO MANZANO). A) ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	30
FIGURA 7. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO CABURGUA (ESTACIONES CENTRO Y NORTE). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	31
FIGURA 8. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO VILLARRICA (ESTACIONES MOLCO, PUCÓN, VILLARRICA Y LA POZA). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	32
FIGURA 9. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO CALAFQUÉN (ESTACIÓN CENTRO). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	33
FIGURA 10. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO PANGUIPULLI (ESTACIONES CENTRO, Y CHOSHUENCO). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	34
FIGURA 11. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO RIÑIHUE (ESTACIÓN ENCO). A) MEZCLA EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.....	35
FIGURA 12. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO RANCO (ESTACIONES FUTRONO, RIÑINAHUE Y PUERTO NUEVO). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	36
FIGURA 13. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO MAIHUE (ESTACIONES CENTRO Y LOS LLOLLES). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	37
FIGURA 14. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO LLANQUIHUE (ESTACIONES ENSENADA Y PUERTO VARAS). A) MEZCLA EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) MEZCLA EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	38
FIGURA 15. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO TODOS LOS SANTOS (ESTACIONES ISLA MARGARITAS, PETROHUÉ Y PEULLA). A) MEZCLA EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.....	39
FIGURA 16. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONDICIÓN HIDRODINÁMICA DEL LAGO CHAPO (ESTACIONES CENTRO Y CHAMIZA). A) INICIOS DE LA ESTRATIFICACIÓN EN PRIMAVERA, B) ESTRATIFICACIÓN EN VERANO, C) DECAIMIENTO DE LA ESTRATIFICACIÓN EN OTOÑO Y D) MEZCLA EN INVIERNO.	40

FIGURA 17. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL EMBALSE LA PALOMA. A) <i>CLOROFILA A</i> , B) NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL) Y C) FÓSFORO TOTAL.	71
FIGURA 18. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA LAGUNA ACULEO. A) <i>CLOROFILA A</i> , B) NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL) Y C) FÓSFORO TOTAL.	72
FIGURA 19. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL EMBALSE RAPEL. A) <i>CLOROFILA A</i> , B) NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL) Y C) FÓSFORO TOTAL.	73
FIGURA 20. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO. A) <i>CLOROFILA A</i> , B) NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL) Y C) FÓSFORO TOTAL.	74
FIGURA 21. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO LANALHUE. A) <i>CLOROFILA A</i> , B) NUTRIENTE LIMITANTE (FÓSFORO INORGÁNICO TOTAL) Y C) FÓSFORO TOTAL.	75
FIGURA 22. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA LAGUNA DEL LAJA. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	76
FIGURA 23. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LA LAGUNA DEL LAJA. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	78
FIGURA 24. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO VILLARRICA. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	80
FIGURA 25. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO CALAFQUÉN. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	82
FIGURA 26. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO PANGUIPULLI. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	84
FIGURA 27. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO RIÑIHUE. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	86
FIGURA 28. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO RANCO. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	88
FIGURA 29. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO MAIHUE. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	90
FIGURA 30. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO LLANQUIHUE. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	92
FIGURA 31. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO TODOS LOS SANTOS. A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	94
FIGURA 32. ANÁLISIS TEMPORAL INTERANUAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO CHAPO A) <i>CLOROFILA A</i> Y B) NUTRIENTE LIMITANTE (NITRÓGENO INORGÁNICO TOTAL).	96
FIGURA 33. EMBALSE LA PALOMA. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: SECTOR MURO, 2: BRAZO RÍO GRANDE, 3: BRAZO RÍO GUATULAME. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR MURO, 2: SECTOR BAHÍA RÍO GUATULAME, 3: SECTOR BAHÍA RÍO GRANDE, 4: RÍO GUATULAME (AFLUENTE), 5: RÍO GRANDE (AFLUENTE).	114
FIGURA 34. EMBALSE RAPEL. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: SECTOR MURO, 2: BRAZO ALHUÉ, 3: SECTOR LAS BALSAS. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR MURO, 2: SECTOR ALHUÉ, 3: SECTOR LAS BALSAS, 4: ESTERO ALHUÉ, 5: RÍO CACHAPOAL, 6: RÍO TINGUIRIRICA.	115
FIGURA 35. LAGO CABURGUA. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: SECTOR NORTE, 2: SECTOR CENTRO, 3: SECTOR DESAGÜE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR NORTE, 2: SECTOR CENTRO, 3: SECTOR SUR, 4: RÍO BLANCO.	126
FIGURA 36. LAGO CALAFQUÉN. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: BAHÍA LICAN-RAY, 2: CENTRO LAGO, 3: BAHÍA COÑARIPE, 4: RÍO COÑARIPE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR BAHÍA COÑARIPE, 2: SECTOR BAHÍA LICAN-RAY, 3: SECTOR CENTRO, 4: RÍO COÑARIPE, 5: ESTERO DIUCO, 6: ESTERO COMONAHUE, 7: ESTERO COLLICO, 8: ESTERO NILFE.	127

FIGURA 37. LAGO VILLARRICA. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML).	
A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: VILLARRICA, 2: SECTOR MOLCO, 3: BAHÍA PUCÓN; 4: LA POZA. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: SECTOR BAHÍA VILLARRICA, 3: SECTOR BAHÍA MOLCO, 4: SECTOR BAHÍA PUCÓN, 5: RÍO PUCÓN.	128
FIGURA 38. LAGO RIÑIHUE. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A.	
ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: SECTOR ENCO, 2: SECTOR RIÑIHUE, 3: SECTOR DESAGÜE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR BAHÍA ENCO, 2: SECTOR CENTRO, 3: SECTOR BAHÍA SUR-PONIENTE, 4: SECTOR BAHÍA NOR-PONIENTE, 5: RÍO ENCO..	129
FIGURA 39. LAGO RANCO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A.	
ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: FUTRONO, 2: PUERTO NUEVO, 3: RIÑINAHUE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: SECTOR BAHÍA RIÑINAHUE, 3: SECTOR BAHÍA PUERTO NUEVO, 4: SECTOR BAHÍA FUTRONO, 5: RÍO CALCURRUPE, 6: RÍO NILAHUE.	130
FIGURA 40. LAGO PANGUIPULLI. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: BAHÍA PANGUIPULLI, 2: CENTRO LAGO, 3: BAHÍA CHOSHUECO, 4: RÍO HUANEHUE, 5: RÍO LLANQUIHUE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: RÍO LOS ÑADIS, 3: RÍO LLANQUIHUE.	141
FIGURA 41. LAGO MAIHUE. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A.	
ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: LOS LLOLLES, 2: CENTRO LAGO. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: RÍO HUEINAHUE, 3: RÍO MELIPUE, 4: RÍO PILLANLEUFU.	142
FIGURA 42. LAGO LLANQUIHUE. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: PUERTO OCTAY, 2: FRUTILLAR, 3: PUERTO VARAS, 4: ENSENADA. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: RÍO TEPU, 3: RÍO BLANCO, 4: RÍO PESCADO, 5: RÍO PRÓXIMO A FRUTILLAR.	143
FIGURA 43. LAGO TODOS LOS SANTOS. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: PETROHUE, 2: ISLA MARGARITA, 3: PEULLA. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: RÍO NEGRO, 3: RÍO BLANCO.	144
FIGURA 44. LAGO CHAPO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A.	
ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: CHAMIZA, 2: CENTRO LAGO, 3: CANUTILLAR. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: SECTOR SUR-ORIENTE, 3: RÍO NEGRO.	145
FIGURA 45. LAGUNA DEL LAJA. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: BAHÍA COLORADO, 2: RÍO COLORADO, 3: FRENTE PUNTA LOS MACHOS, 4: FRENTE PUNTILLA EL FLACO, 5: SECTOR PUERTO NUEVO. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, 2: RÍO EL QUIQUE, 3: RÍO DE LOS PINOS.	146
FIGURA 46. LAGO LANALHUE. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: PUERTO PALECO, 2: FRENTE HOSTERÍA, 3: PLAYA BLANCA, 4: PUERTO MANZANO. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO.	153
FIGURA 47. LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: SECTOR SUR, 2: SECTOR CENTRO, 3: SECTOR DESAGÜE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO.	154
FIGURA 48. LAGUNA ACULEO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). A. ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA RML: 1: FRENTE CASA DE BOMBAS, 2: FRENTE PUNTILLA LEÓN, 3: SECTOR DESAGÜE. B. PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO.	155
FIGURA 49. LAGO BUDI. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: BAHÍA PRINCIPAL, 2: SECTOR SUR, 3:	

SECTOR DE DESCARGA RÍO CURILEUFU, 4: RÍO BUDI, A: RÍO CURILEUFU, B: AFLUENTE CERCANO A PUERTO DOMÍNGUEZ.....	162
FIGURA 50. LAGO COLICO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: PUERTO COLICO, 2: SECTOR CENTRO, 3: BAHÍA RÍO TRAFAMPULLI, A: RÍO TRAFAMPULLI.	162
FIGURA 51. LAGO NELTUME. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: SECTOR CENTRO, A: RÍO NELTUME, B: RÍO CHANCHAN.	163
FIGURA 52. LAGO PIREHUEICO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: BAHÍA PUERTO PIREHUEICO, 2: BAHÍA PUERTO FUI, A: RÍO LIPINZA, B: RÍO HUAHUM.	163
FIGURA 53. LAGO PUYEHUE. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: BAHÍA SECTOR ESTE, 2: SECTOR CENTRO, A: RÍO LICAN, B: RÍO GOGOL, C: RÍO CHANLEUFU.	164
FIGURA 54. LAGO RUPANCO. REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MONITOREO DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML). PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO (POCH SA): 1: BAHÍA SECTOR PONIENTE, 2: SECTOR CENTRO, A: RÍO PULEUFU, B: RÍO AGUAS MALAS, C: RÍO BLANCO, D: RÍO FRUTILLAR, E: RÍO NEGRO.	164

1 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 Mínima de Lagos (RML). Actualmente esta red incluye el monitoreo estacional en 16 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 RML, la cual permita realizar correcciones y recomendaciones y la validación de los registros obtenidos por la DGA en el periodo 2000-2008. Con esta base de datos mejorada y con la disponibilidad de registros en el largo plazo, se determinará la condición trófica que históricamente han mostrado los 16 lagos y embalses y la condición trófica que en la actualidad muestran estos sistemas (desde 2007 en adelante). Finalmente y en base a la información de calidad de agua levantada por la DGA en este periodo de tiempo se redefinirá el actual diseño de muestreo que se ha implementado evaluando la incorporación de 7 nuevos lagos a la RML.

2 OBJETIVOS DE LA ASESORÍA

Los objetivos de la asesoría son:

- 1 Revisar, corregir y validar la base de datos de calidad de agua de los lagos y embalses de la Red Mínima de Lagos (RML) comprendida entre el 2000 y 2008.
- 2 Determinar la condición trófica de los lagos y embalses de la Red Mínima de Lagos (RML).
- 3 Redefinir el diseño de muestreo de los 16 lagos y embalses de la Red Mínima de Lagos (RML) de la DGA.
- 4 Proponer la incorporación de nuevos lagos a la red mínima de lagos de la DGA y un diseño de muestreo para estos lagos. Calcular los costos asociados a ello.

3 REVISIÓN, CORRECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA COMPRENDIDA ENTRE EL 2000 Y 2008 DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML).

3.1 OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue realizar una revisión de los parámetros de calidad de agua asociados a la determinación de la condición trófica de 16 lagos y embalses que actualmente son monitoreados por la Dirección General de Aguas en el marco del programa Red Mínima de Lagos (RML).

3.2 ALCANCE

La revisión de la base de datos por un equipo de trabajo dirigido por un especialista (Ph. D) le permitirá a la DGA disponer de un registro de información de mejor calidad en comparación con el actual registro existente de 16 parámetros de calidad de agua provenientes de 16 lagos o embalses del programa de monitoreo RML.

Mediante este estudio se revisó archivos en papel existentes en el laboratorio de química de la DGA, se realizaron entrevistas con personal del laboratorio encargado de la toma de muestras y de los registros, se corrigieron errores de digitación, se excluyeron datos fuera de tendencia y absurdos (por ejemplo, temperatura = 500 °C), se revisaron niveles de detección, se uniformizó la precisión de los valores y se revisó la exactitud (cuanto se acercan los valores a la realidad). Los datos fueron sometidos a un proceso de validación con información generada por entidades independientes a la DGA (Universidad de Chile, Universidad Austral, etc.) y por estudios de publicaciones científicas cuya regencia está indicada en la sección Referencias bibliográficas de este documento.

3.3 ORDENACIÓN Y REVISIÓN DE DATOS

3.3.1 Ordenación de la información

El mandante (DGA) proporcionó al consultor una base de datos que corresponde a los valores de los parámetros de calidad de agua publicados en el Banco Nacional de Aguas (BNA). Con la información recibida se realizó una revisión preliminar y de carácter general de los contenidos de los archivos, ello con el fin de evaluar la información existente y la calidad de los datos.

Se revisó un sub-conjunto de los parámetros que monitorea la DGA, los cuales son de importancia para la determinación de la condición trófica de los sistemas acuáticos continentales. Los parámetros revisados por POCH S.A. se indican en la **Tabla 1**.

Tabla 1 Parámetros revisados.

Parámetro	Unidad
Temperatura	°C
Conductividad específica	umhos/cm
pH	unidad
Oxígeno disuelto	mg/l
Porcentaje de saturación de oxígeno	%
Transparencia (Disco Secchi)	m
Nitrógeno de Nitrato (N-NO ₃)	mg/l
Nitrógeno de Nitrito (N-NO ₂)	mg/l
Nitrógeno de Amonio (N-NH ₄)	mg/l
Nitrógeno Kjehldal	mg/l
Nitrógeno total	mg/l
Fósforo de Ortofosfato (P-PO ₄)	mg/l
Fósforo total	mg/l
<i>Clorofila a</i>	ug/l
Sílice (SiO ₂)	mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l

3.3.2 Revisión inicial

Finalizada la etapa inicial de ordenación de datos se realizó un análisis preliminar de los valores de los parámetros de calidad de agua indicados en la **Tabla 1**. El análisis de los datos permitió detectar una serie de falencias e inconsistencias en los valores observados, motivo por el cual se consideró necesario realizar una estadía en el laboratorio de la DGA (Santiago). Durante la estadía se revisó el periodo completo de registros, sin embargo, se hizo énfasis en el periodo comprendido entre el 2000 y 2008 ya que durante este periodo el responsable de los análisis fue el laboratorio de la DGA y se consideró que dicho periodo era suficiente para determinar el estado de trofia actual de los lagos y embalses de la RML. Se revisaron los siguientes parámetros: Nitrógeno de nitrato, Nitrógeno de nitrito, Nitrógeno de amonio, Nitrógeno orgánico (NTK), Fósforo de ortofosfato y Fósforo total. Los registros en papel existentes en el laboratorio fueron comparados con los registros proveídos por la DGA en digital en abril de 2009 (base de datos del BNA). La comparación de los registros permitió realizar correcciones principalmente asociadas a errores en la digitación. Esta comparación, en conjunto con entrevistas y la asesoría del encargado del laboratorio permitió evaluar la validez de los datos, lo cual llevó a eliminar algunos registros de la base del consultor. En la **Tabla 2** se indican los registros que fueron eliminados por el consultor en esta primera etapa de revisión. La eliminación se realizó en base a información de terreno y a información de análisis de

laboratorio, lo cual condujo a considerar estos registros como ‘registros no-confiables’ y a eliminarlos de la base de datos. Se eliminaron los datos de Nitrógeno total de todo el año 2008 debido a que eran valores extremadamente altos y considerados no confiables según criterios de revisión y la experiencia del encargado del laboratorio (los análisis de nitrógeno y fósforo del año 2008 fueron subcontratados). En el caso de los parámetros P-PO₄ y P-P-total se eliminaron los datos contenidos en los periodos indicados en la **Tabla 2**.

Cabe señalar que durante la estadía en el laboratorio de la DGA se corrigieron solamente los errores de digitación evidentes y los errores indicados más abajo y solamente en estos casos, los valores de la base de datos del BNA fueron modificados. Si bien se detectaron otros errores, éstos no fueron corregidos ya que se consideró como válida la base de datos del BNA entregada por la DGA a la consultora. Tampoco se completaron datos faltantes en la base del BNA y existentes en los archivos en papel, ello por la misma razón antes expuesta.

Tabla 2. Registros eliminados. Los números entre paréntesis representan una observación de la eliminación que está detallada al pie de la Tabla.

Sistema	Parámetro	Periodo eliminado
Embalse La Paloma	P-PO ₄	primavera 2003, primavera 2005
	P-total	primavera 2008
	Cl <i>a</i>	primavera 2008 (11)
	N-total	primavera 2008 (5)
Laguna Aculeo	P-PO ₄	primavera 1999; verano 1999; otoño 1999; primavera 2008
	P-total	primavera 2008
	N-total	primavera 2008 (7)
Embalse Rapel	P-PO ₄	1999
	P-total	primavera 2008
	N-total	primavera 2008 (16)
Laguna Grande de San Pedro	P-PO ₄	1993; 1999
	P-total	primavera 2008
Laguna del Laja	P-PO ₄	Verano 2005; Primavera 2002, 2004 y 2005 (12)
	P-total	Primavera 2004 (13); primavera 2008
Lago Lanalhue	P-PO ₄	1999
	P-total	primavera 2008
Lago Caburgua	P-PO ₄	otoño 2002; invierno 2004; invierno 2006 (sector norte, desagüe, sector Norte (1)
	P-total	otoño 2002; invierno 2004; invierno 2006 (2) invierno 2007; primavera 2008
Lago Villarrica	P-PO ₄	verano 2001; verano 2002 (Molco); primavera 2002 (Molco); invierno 2004; primavera 2005 (Bahía Pucón, medio 2); primavera 2005 (Molco, fondo); otoño 2006
	P-total	primavera 2008
Lago Calafquén	P-PO ₄	otoño 1997; invierno 1998; primavera 1998; primavera 2004; invierno 2005 (estaciones Centro y Bahía Lican-Ray); verano 2006; primavera 2008
	P-total	primavera 2008 (3)

Sistema	Parámetro	Periodo eliminado
Lago Panguipulli	P-PO ₄	primavera 1998; invierno 1998; verano 1999; otoño 1999; otoño 2002; primavera 2004; verano 2006 (15)
	P-total	primavera 2008
	N-P-Cl <i>a</i>	primavera 2007 (14)
Lago Riñihue	P-PO ₄	invierno 2006 (Enco); verano 2006 (Bahía Riñihue); otoño 1997 (Bahía Riñihue) (6)
	P-total	primavera 2008; primavera 1990 (Desagüe, medio 2)
	N-total	primavera 2008 (5)
Lago Ranco	P-PO ₄	primavera 2004; verano 2006
	P-total	primavera 2008
Lago Maihue	P-PO ₄	verano 2006
	P-total	primavera 2008 (4)
Lago Llanquihue	P-PO ₄	1993
	P-total	primavera 2008
Lago Todos Los Santos	P-PO ₄	invierno 2004
	P-total	primavera 2008
Lago Chapo	P-PO ₄	verano 2006 (8)
	P-total	primavera 2008, invierno (2000) (9)

Notas al pie:

1. Lago Caburgua, PO₄:

Se eliminaron 3 datos (0,023; 0,023; 0,023) para Sector Norte, invierno de 2006.

Se eliminaron 4 datos (0,042; 0,013; 0,019; 0,007) para Sector Desagüe, invierno de 2006.

Se eliminaron 4 datos (0,016; 0,003; 0,016; 0,029) para Sector Centro, invierno de 2006.

2. Lago Caburgua, P-total:

Se eliminó 1 dato (0,016) para Sector Norte, invierno de 2006.

Se eliminó 1 dato (0,019) para Sector Desagüe, invierno 2006.

Se eliminaron 2 datos (0,033; 0,029) para Sector Centro, invierno de 2006.

3. Lago Calafquén, PO₄:

Se eliminaron 3 datos (0,003; 0,007; 0,007) para Bahía Coñaripe, primavera 2008.

Se eliminaron 3 datos (0,003; 0,007; 0,003) para Centro Lago, primavera 2008.

Se eliminaron 3 datos (0,010; 0,010; 0,007) para Bahía Lican-Ray, primavera 2008.

4. Lago Maihue, PO₄:

Se eliminaron 2 datos (0,026; 0,052) para Sector Centro, primavera 2004.

Se eliminaron 2 datos (0,020; 0,029) para Sector Los Llollles, primavera 2004.

5. Lago Riñihue, N-total:

Se eliminaron 2 datos (1,600; 1,600) para Desagüe, primavera 2008.

Se eliminaron 4 datos (1,600; 1,400; 1,400; 1,500) para Enco, primavera 2008.

Se eliminaron 2 datos (1,600; 1,800) para Bahía Riñihue, primavera 2008.

6. Lago Riñihue, PO₄:

Se eliminaron 2 datos (0,020; 0,016) para Bahía Riñihue, verano 2006.

7. Laguna Aculeo, N-total:

Se eliminaron 2 datos (2,440; 0,017) para Desagüe, primavera de 2008.

Se eliminaron 2 datos (1,917; 1,787) para Frente Puntilla León, primavera de 2008.

Se eliminaron 2 datos (2,176; 1,785) para Frente Casa de Bombas, primavera de 2008.

8. Lago Chapo, PO₄:

Se eliminó 1 dato (0,023) para Chamiza, verano de 2006.

9. Lago Chapo, P-total:

Se eliminó 1 dato (0,0148) para Chamiza, invierno de 2000.

10. Embalse La Paloma, Clorofila *a*:

Se eliminaron 2 datos (27,50; 20,70) para Sector Muro, primavera 2005.

11. Embalse La Paloma, N-total:

Se eliminaron 3 datos (0,522; 0,506; 0,634) para Sector Muro, primavera 2008.

12. Laguna del Laja, PO4:

Se eliminó 1 dato (0,039) para Punta Los Machos, verano de 2005.

Se eliminaron 3 datos (0,055; 0,026; 0,059) para Punta Los Machos, primavera de 2005.

Se eliminó 1 dato (0,111) para Puntilla El Flaco, primavera de 2002.

Se eliminaron 3 datos (0,039; 0,049; 0,062) para Puntilla El Flaco, primavera de 2005.

Se eliminaron 3 datos (0,088; 0,046; 0,052) para Bahía Colorado, primavera de 2005.

Se eliminó 1 dato (0,003) para Río Colorado, primavera de 2004.

Se eliminó 1 dato (0,055) para Río Colorado, primavera de 2005.

13. Laguna del Laja, P-total:

Se eliminó 1 dato (0,003) para Río Colorado, primavera de 2004.

14. Lago Panguipulli

Se eliminó la fila completa para Choshuenco, primavera de 2007 superficie. Por lo tanto se eliminaron todos los valores de los parámetros Nitrato, Nitrito, Ntotal, PO4, Ptotal, Clorofila y todos los parámetros asociados a esa fila.

15. Lago Panguipulli, PO4:

Se eliminaron 2 datos (0,033; 0,036) para Choshuenco, verano de 2006.

16. Embalse Rapel, N-total:

Se eliminaron 2 datos (0,038; 0,040) para Sector Muro, primavera 2008.

Además de la eliminación de datos, se realizaron las siguientes actividades de revisión:

1. Se corrigieron los valores mínimos (límites de detección, LD). Se identificaron y corrigieron los valores menores que el LD de cada parámetro medido en el laboratorio de la DGA con los valores correctos indicados por el encargado del laboratorio y por los archivos en papel. Así por ejemplo, si el parámetro Fósforo de ortofosfato (P-PO₄) presentaba valores de 0,001 mg/l siendo el límite de detección de 0,003 mg/l, estos datos fueron reemplazados por este valor correspondiente al límite de detección. Todas estas modificaciones fueron realizadas una vez corroborados los valores en los archivos de laboratorio.
2. Se identificaron los parámetros que correspondían a ortofosfato (PO₄) y no a Fósforo de ortofosfato (P-PO₄) y a nitrato (NO₃) y no a Nitrógeno de nitrato (N-NO₃). Los valores identificados incorrectos fueron corregidos por factores de conversión (0,326 para el parámetro PO₄ y 0,2258 para el parámetro NO₃) para obtener la concentración respectiva de P-PO₄ y N-NO₃.
3. Se identificaron los casos en los cuales se observó la condición: P-PO₄ > P-total. En estos casos se identificaron los posibles errores con la ayuda del encargado de laboratorio, de tal manera que si el error era de digitación podría ser modificado. Hubo casos en que se excluyó el P-PO₄ y otros casos en que se excluyó el P-total. También hubo casos que parecían anómalos pero los registros históricos del lago no permitieron excluirllos. Esto fue realizado con el criterio del consultor y en base a la experiencia de terreno que tiene el encargado del laboratorio.
4. Finalmente, se realizó una revisión de los valores de cada parámetro en base a la experiencia del consultor y los casos que resultaron fuera de tendencia y hasta cierto punto anómalos fueron revisados y comparados con los registros de los archivos en papel.

Como resultado de la comparación de los registros (Archivos del laboratorio y Registros BNA) se puso en evidencia la ausencia de datos de Fósforo total en el registro del BNA. Debido a la importancia de este parámetro en el cálculo de trofia se solicitó a la DGA la entrega de estos datos en conjunto con los datos de transparencia (disco Secchi), Nitrógeno orgánico y *Clorofila a*, los cuales fueron entregados y agregados a la base de datos de cada uno de los cuerpos lacustres de la RML.

3.3.3 Revisión Final

La revisión inicial de datos y la corrección de registros realizada en la DGA generó una nueva base de datos mejorada, la cual fue sometida a una segunda etapa de revisión. Esta segunda etapa de revisión consistió en generar una nueva estructura de archivos y aplicar criterios técnicos de revisión de los datos por el consultor especialista en limnología (Ph D).

En esta etapa se elaboraron registros para cada lago, laguna o embalse, los que fueron conformados por cuatro sub-archivos:

- 1) **INFORMACIÓN GENERAL.** Contiene información sobre las estaciones de muestreo, profundidad de muestreo, códigos DGA, ubicación geográfica. También se incluye información sobre el periodo total de datos existentes en la base de datos.
- 2) **REGISTRO DE DATOS.** Muestra la existencia parcial o inexistencia de datos para cada sistema acuático. También se indican los parámetros revisados y validados por POCH SA para el sistema acuático.
- 3) **FECHA Y HORA DE MUESTREO.** En este sub-archivo se presentan los datos de fecha y hora de los muestreos.
- 4) **BASE DE DATOS.** Este archivo contiene la base de datos revisada y validada parcialmente por POCH SA.

En esta etapa de revisión se realizaron las siguientes correcciones:

- Se uniformizaron las unidades de cada parámetro según los requerimientos limnológicos que se tiene de cada parámetro. Así por ejemplo, la precisión de los valores de temperatura fue restringida a un decimal por ser suficiente en términos de explicar el comportamiento térmico e hidrodinámico de la columna de agua. De esta manera, se consideró que 0,1 es un nivel de precisión suficiente para los valores de los parámetros Temperatura, Conductividad específica, pH, Oxígeno disuelto, Saturación de oxígeno, Transparencia y Demanda química de oxígeno y que puede ser obtenido con la mayoría de los sensores utilizados en limnología. Los valores de los parámetros *Clorofila a* y Sílice se acotaron a dos decimales. Los valores de los parámetros Nitrógeno de nitrato, Nitrógeno de nitrito, Nitrógeno de amonio, Nitrógeno orgánico, Nitrógeno total, Fósforo de ortofosfato y Fósforo total fueron restringidos a tres decimales.
- Se eliminaron valores puntuales extremos que estaban fuera de la tendencia, principalmente asociados a una muy baja ocurrencia, aproximadamente 4 o 5 casos de un total de 100

casos. Esta eliminación fue hecha con el criterio del experto, prescindiendo de la aplicación de análisis estadísticos ya que un punto fuera de tendencia podría representar un valor real que debe ser considerado principalmente en sistemas acuáticos de climas templados, los que varían estacionalmente y dentro de la columna de agua. Así por ejemplo, se excluyeron algunos valores extremos de *Clorofila a* que fueron excepcionalmente altos, pero la mayoría de los valores mayores correspondían valores medidos en un periodo estival en la superficie de los lagos.

- Se eliminaron los valores 0 (cero) ya que cualquier equipo o instrumento de medición tiene un límite de detección mayor que cero.
- En el caso del parámetro Demanda química de oxígeno, los valores $<0,001$, $<0,01$, $<0,1$ fueron reemplazados por el valor de detección 0,1.
- En las fechas de muestreo en que no existían datos de Nitrógeno total pero existían valores de Nitrito, Nitrato y Nitrógeno orgánico, el valor de Nitrógeno total fue obtenido mediante la suma de los primeros formas Nitrógeno (Nitrógeno total = Nitrito + Nitrato + Nitrógeno orgánico).

Adjunto a este documento se entregan archivos digitales para cada lago, laguna o embalse que representan una base de datos revisada y corregida por POCH SA. Esta base de datos depurada entre el 2000 y el 2008 incluye valores más confiables cuyo análisis y obtención de datos es de responsabilidad de la DGA ya que análisis anteriores a este periodo fueron subcontratados y los resultados fueron considerados no-confiables por el consultor en conjunto con el encargado del laboratorio, ello mediante la aplicación de varios criterios de revisión en la etapa de revisión inicial de la base de datos.

3.4 VALIDACIÓN DE DATOS

La base de datos sometida a validación incluyó el periodo de registros comprendido entre el 2000 y el 2008, con excepción de algunos sistemas que presentaron información a partir del 2001 (lagos Caburgua, Calafquén, Riñihue, Ranco y Maihue) o del 2002 (lago Todos Los Santos). La validación fue parcial ya que no se disponía de información de valores referenciales para todos los parámetros. Los parámetros que fueron sometidos a validación se indican en la **Tabla 3**.

La validación consistió en comparar los valores de los parámetros de la base de datos de la DGA con los valores considerados referenciales para este estudio, los cuales fueron obtenidos por entidades independientes de la DGA. Las fuentes bibliográficas con los valores referenciales provinieron de publicaciones científicas y trabajos técnicos realizados por universidades. Las referencias en extenso están indicadas en la sección Referencias bibliográficas.

Los parámetros limnológicos sujetos a validación fueron: SiO_2 , N-NO_3 , N-NO_2 , N-NH_4 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a*, los cuales tienen implicancias en la condición trófica de los lagos. Los datos para la validación fueron extraídos de estudios publicados en revistas científicas. Las fuentes bibliográficas utilizadas para la validación se indican en la **Tabla 4**.

Tabla 3. Existencia parcial de información bibliográfica para validación (POCH SA) de los valores de parámetros de calidad de agua medidos por la DGA entre el 2000 y el 2008 en los lagos y embalses de la RML.

Sistema	SiO ₂	N-NO ₃	N-NO ₂	N-NH ₄	N-N _{TOT}	P-PO ₄	P-P _{TOT}	Clorofila <i>a</i>
	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
Embalse La Paloma	-	-	-	-	-	-	-	-
Laguna Aculeo	X	X	-	-	-	X		X
Embalse Rapel	-	X	-	-	X	X	X	X
Laguna Grande de San Pedro	-	X	-	-	-	X	X	-
Laguna del Laja	-	X	-	-	-	X	X	-
Lago Lanalhue	-	X	-	-	-	X	X	-
Lago Caburgua	X	X	-	-	-	X	X	X
Lago Villarrica	X	X	-	-	-	X	X	X
Lago Calafquén	X	X	-	-	-	-	-	-
Lago Panguipulli	X	X	-	-	-	-	-	-
Lago Riñihue	X	X	-	-	-	X	X	X
Lago Ranco	X	X	X	X	X	X	X	X
Lago Maihue	-	X	X	X	X	X	X	X
Lago Llanquihue	-	X	-	X	-	X	X	X
Lago Todos Los Santos	-	X	-	-	-	X	X	X
Lago Chapo	-	-	-	-	-	-	-	X

- No se dispone de información bibliográfica

Tabla 4. Fuentes bibliográficas usadas para la validación de lagos o embalses de la RML.

Lagos o embalses	Fuentes bibliográficas
Embalse La Paloma	-
Laguna Aculeo	Vila et al. 1986, Montecino (1991), Cabrera & Montecino (1987)
Embalse Rapel	Montecino (1991), Vila et al. 1997, Cabrera & Montecino (1987), Vila et al. 2000, Montecino & Cabrera (1984)
Laguna Grande de San Pedro	Parra et al. 2003, Valdovinos & Figueroa (2000)

Laguna del Laja	Valdovinos & Pedreros (2007)
Lago Lanalhue	Parra et al. 2003, Valdovinos & Figueroa (2000)
Lago Caburgua	Campos (1984), Campos et al. 1987
Lago Villarrica	Campos et al. 1983, Campos (1984)
Lago Calafquén	Campos et al. 1980, Campos (1984)
Lago Panguipulli	Campos (1984), Campos et al. 1981
Lago Riñihue	Campos (1984), Wöelfl et al. 2003; Campos et al. 1978, Campos et al. 1987
Lago Ranco	Campos et al. 1982; Wöelfl (2009), Campos (1992)
Lago Maihue	Wöelfl (2009)
Lago Llanquihue	Campos et al. 1988, Soto (2002)
Lago Todos Los Santos	Campos et al. 1990, Montecino (1991)
Lago Chapo	Villalobos et al. 2003

- No se tiene información

En la **Tabla 5** se presenta una comparación de valores de los parámetros revisados con valores de los mismos parámetros encontrados en las fuentes bibliográficas indicadas con detalle en la sección 5 (Referencias bibliográficas).

El criterio de validación consistió en que los valores serán validados cuando el rango de valores de un parámetro de la base de datos esté incluido total o parcialmente en el rango de los valores descrito en las fuentes de referencia.

Cabe mencionar que los valores referenciales corresponden a registros históricos no recientes, lo cual puede no representar necesariamente la condición actual de la calidad del agua en cada sistema.

A continuación se describen los resultados de la comparación entre la base de datos de la DGA y los valores referenciales.

3.4.1 Embalse La Paloma

No se dispuso de información para realizar una validación de los rangos de concentración de los parámetros de calidad de agua medidos por la DGA en el embalse La Paloma entre el 2000 y el 2008.

3.4.2 Laguna Aculeo

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO_2 , N-NO_3 , P-PO_4 , y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores de concentración de SiO_2 y *Clorofila a* estuvieron incluidos en el rango descrito en la literatura. Por el contrario, los valores de N-NO_3 medidos por la DGA fueron mayores que el rango de valores referenciales y la moda de los valores de P-PO_4 medidos por la DGA en la laguna Aculeo fue menor que los valores descritos en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Debido a lo anterior, no se validan los valores de N-NO_3 y P-PO_4 para la laguna Aculeo y sí se validan los valores de concentración de SiO_2 y *Clorofila a* medidos por la DGA en la laguna Aculeo en el periodo 2000 - 2008.

3.4.3 Embalse Rapel

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores de P-PO_4 medidos por la DGA en el embalse Rapel entre el 2000 y 2008 fueron menores que los valores del rango de valores indicados en las fuentes bibliográficas (**Tabla 4**). Por el contrario, el rango de valores de N-N_{TOT} , N-NO_3 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* estuvo incluido en el rango de valores referenciales. En función de estos resultados se indica que los valores de P-PO_4 medidos por la DGA no son validados a diferencia de los valores de N-N_{TOT} , N-NO_3 , P-P_{TOT} y *Clorofila a*, los cuales son validados para el embalse Rapel en el periodo 2000 - 2008.

3.4.4 Laguna Grande de San Pedro

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , P-PO_4 y P-P_{TOT} (**Tabla 5**). El valor promedio de P-P_{TOT} medido por la DGA en la laguna Grande de San Pedro entre el 2000 y 2008 fue significativamente mayor que el valor descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 4**). Por el contrario, el rango de valores y los valores de tendencia central medidos por la DGA para el N-NO_3 y P-PO_4 oscilaron alrededor del valor puntual considerado referencial para estos parámetros. En función de estos resultados se indica que los valores de P-P_{TOT} medidos por la DGA en el periodo 2000 – 2008 no son validados a diferencia de los valores de N-NO_3 y P-PO_4 que son validados para la laguna Grande de San Pedro.

3.4.5 Laguna del Laja

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , P-PO_4 y P-P_{TOT} (**Tabla 5**). El rango y los valores promedio de N-NO_3 y P-P_{TOT} y la moda de los valores de P-PO_4 medidos por la DGA en la laguna del Laja entre el 2000 y 2008 fueron cercanos a los valores referenciales. Cabe mencionar que la concentración promedio de N-NO_3 medida por la DGA fue menor que el valor referencial, sin embargo el rango de valores indicaría la ausencia de diferencias significativas. Consecuentemente, se valida el rango de valores de N-NO_3 , P-PO_4 y P-P_{TOT} medidos por la DGA en la laguna del Laja en el periodo 2000 - 2008.

3.4.6 Lago Lanalhue

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO₃, P-PO₄ y P-P_{TOT} (**Tabla 5**). El rango de valores y los valores promedio de N-NO₃ y P-P_{TOT} y la moda de los valores de P-PO₄ medidos por la DGA en el lago Lanalhue entre el 2000 y 2008 fueron cercanos a los valores referenciales. Cabe mencionar que la concentración promedio de N-NO₃ medida por la DGA fue menor que el valor referencial, sin embargo el rango de valores indicaría la ausencia de diferencias significativas. Consecuentemente, se valida el rango de valores de N-NO₃, P-PO₄ y P-P_{TOT} medidos por la DGA en el lago Lanalhue en el periodo 2000 - 2008.

3.4.7 Lago Caburgua

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO₂, N-NO₃, P-PO₄, P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio de los parámetros SiO₂ y P-P_{TOT} y la moda de los valores de P-PO₄ medidos por la DGA en el lago Caburgua entre el 2001 y 2008 estuvieron incluidos en el rango de valores descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, la concentración de N-NO₃ medida por la DGA fue menor que el rango de valores referenciales. Así mismo, el promedio y el rango de valores de *Clorofila a* obtenido por la DGA fue mayor que los valores referenciales. En función de estos resultados se indica que los valores de SiO₂, P-PO₄, y P-P_{TOT} medidos por la DGA en el lago Caburgua durante el periodo 2000-2008 son validados a diferencia de los valores de N-NO₃ y *Clorofila a* que no son validados.

3.4.8 Lago Villarrica

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO₂, N-NO₃, P-PO₄, P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio de SiO₂, N-NO₃ y P-P_{TOT} y la moda de los valores de P-PO₄ medidos por la DGA en el lago Villarrica entre el 2000 y 2008 están en el rango de valores indicado en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, el promedio y el rango de valores de *Clorofila a* medidos por la DGA fueron mayores que el rango de valores referenciales. En función de estos resultados se indica que los valores de los parámetros SiO₂, N-NO₃, P-PO₄ y P-P_{TOT} medidos por la DGA son validados para el lago Villarrica en el periodo 2000 - 2008, a diferencia de los valores de *Clorofila a* que no son validados.

3.4.9 Lago Calafquén

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO₂ y N-NO₃ (**Tabla 5**). Los valores de N-NO₃ medidos por la DGA en el lago Calafquén entre el 2001 y 2008 fueron mayores que los valores del rango descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, el promedio de los valores de SiO₂ medidos por la DGA estuvo en el rango de valores descrito en las fuentes de referencias. Debido a lo anterior, no se validan los valores de N-NO₃ pero sí se validan los valores de SiO₂ obtenidos por la DGA en el lago Calafquén en el periodo 2000-2008.

3.4.10 Lago Panguipulli

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO₂ y N-NO₃ (**Tabla 5**). Los valores de SiO₂ medidos por la DGA en el lago Panguipulli entre el 2000 y 2008 estuvieron en el rango de valores descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, los valores de N-NO₃ medidos por la DGA fueron mayores que los valores referenciales. Debido a lo anterior, se validan los valores de SiO₂ y no se validan los valores de N-NO₃ medidos por la DGA en el lago Panguipulli en el periodo 2000-2008.

3.4.11 Lago Riñihue

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO_2 , N-NO_3 , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio y los rangos de valores de SiO_2 y P-P_{TOT} así como la moda de valores obtenidos para el P-PO_4 por la DGA en el lago Riñihue entre el 2001 y 2008 variaron en el rango descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, el promedio de valores de N-NO_3 y *Clorofila a* medidos por la DGA fue mayor que los valores indicados en las fuentes de referencias. En función de estos resultados se indica que los valores de SiO_2 , P-PO_4 y P-P_{TOT} medidos por la DGA son validados para el lago Riñihue a diferencia de los valores de N-NO_3 y *Clorofila a* que no pueden ser validados para este sistema acuático en el periodo 2001 - 2008.

3.4.12 Lago Ranco

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron SiO_2 , N-NO_3 , N-NO_2 , N-NH_4 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio de SiO_2 , N-NO_3 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* así como la moda de los valores de N-NO_2 y P-PO_4 medidos por la DGA en el lago Ranco entre el 2001 y el 2008 fueron cercanos al valor referencial o estuvieron incluidos en el rango descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, los parámetros N-NH_4 y N-N_{TOT} presentaron rangos con valores mayores que los valores referenciales. En función de estos resultados se indica que los valores de SiO_2 , N-NO_3 , N-NO_2 , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* medidos por la DGA son validados para el lago Ranco en el periodo 2001 - 2008 a diferencia de los valores de N-NH_4 y N-N_{TOT} que no son validados para este lago.

3.4.13 Lago Maihue

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , N-NO_2 , N-NH_4 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio y moda de los parámetros N-NO_3 , N-NO_2 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* medidos por la DGA en el lago Maihue entre el 2001 y 2008 estuvieron en el rango descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 5**). Por el contrario, la moda de los valores de concentración de N-NH_4 no estuvo incluida en el rango de los valores indicados en las fuentes de referencia. Estos resultados indican que se validan los valores de los parámetros N-NO_3 , N-NO_2 , N-N_{TOT} , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* obtenidos por la DGA en el lago Maihue en el periodo 2001 – 2008. Por el contrario, no se validan los valores de N-NH_4 par este sistema y periodo de estudio.

3.4.14 Lago Llanquihue

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , N-NH_4 , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). Los valores promedio de P-P_{TOT} y *Clorofila a* así como la moda de los valores de P-PO_4 medidos por la DGA en el lago Llanquihue entre el 2000 y el 2008 fueron cercanos a los valores referenciales o estuvieron incluidos en el rango descrito en las fuentes bibliográficas. Por el contrario, los valores de N-NO_3 y N-NH_4 medidos por la DGA fueron mayores que los valores indicados en las fuentes. En función de estos resultados se indica que los valores de P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* medidos por la DGA son validados para el lago Llanquihue en el periodo 2000 - 2008 a diferencia de los valores de N-NO_3 y N-NH_4 que no son validados para este lago.

3.4.15 Lago Todos Los Santos

Los parámetros que fueron sometidos a validación fueron N-NO_3 , P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* (**Tabla 5**). El valor promedio de N-NO_3 medido por la DGA en el lago Todos Los Santos entre el 2002 y 2007 fue significativamente mayor que el rango de valores descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 4**). Por el contrario, los valores de P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* medidos por la DGA estuvieron en los rangos descritos para estos parámetros. En función de estos resultados se indica que los valores de N-NO_3 no son validados y que serían validados los valores de P-PO_4 , P-P_{TOT} y *Clorofila a* medidos por la DGA en el lago Todos Los Santos en el periodo 2002 - 2007.

3.4.16 Lago Chapo

El único parámetro sometido a validación fue la *Clorofila a* (**Tabla 5**). El valor promedio de *Clorofila a* medido por la DGA en el lago Chapo entre el 2000 y el 2008 está en el rango de valores descrito en las fuentes bibliográficas (**Tabla 4**). En función de este resultado se indica que los valores de *Clorofila a* medidos por la DGA en el lago Chapo en el periodo 2000 - 2008 son validados.

Tabla 5. Tabla para validación de valores de parámetros limnológicos en lagos y embalses de la RML. La columna titulada DGA muestra el valor promedio (*) o la moda (**) y entre paréntesis los valores máximos y mínimos obtenidos de la base de datos revisada por POCH SA para el periodo 2000 - 2008. La columna titulada Fuentes contiene los valores promedio o rangos de valores encontrados en fuentes bibliográficas. Las celdas coloreadas indican los valores que fueron validados por POCH SA.

Sistema	SiO ₂ (mg/l)		N-NO ₃ (ug/l)		N-NO ₂ (ug/l)		N-NH ₄ (ug/l)		N-N _{TOT} (ug/l)		P-PO ₄ (ug/l)		P-P _{TOT} (ug/l)		Clorofila <i>a</i> (ug/l)	
	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuente	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes
Embalse La Paloma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laguna Aculeo	3,9* (0,45 -13,7)	8,1 - 11,6	192* (16 - 2.420)	11 - 46	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 85)	1,7 - 2.845	-	-	34,40* (0,10 - 147,1)	23,2 - 2.040
																50,9 - 83,4
																157,2
Embalse Rapel	-	-	747* (2 - 2.327)	100 - 1.200 200 - 700	-	-	-	-	1.475* (255 - 2.426)	200 - 2.000	3** (3 - 230)	10 - 175	118* (3 - 395)	20 - 140	16,3* (0,10 - 95,3)	2,7 - 58,4
																3,5 - 26,2
																5,5 - 76
												10 - 80				2,7 - 45,7
																19,9
Laguna Grande de San Pedro	-	-	50* (2 - 374)	196	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 91)	5,9	32* (3 - 101)	11,9	-	-
Laguna del Laja	-	-	38* (2 - 200)	83	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 33)	6,5	14* (3 - 195)	10,1	-	-
Lago Lanalhue	-	-	50* (1 - 380)	166	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 30)	8,0	19* (3 - 95)	13,2	-	-

Sistema	SiO ₂ (mg/l)		N-NO ₃ (ug/l)		N-NO ₂ (ug/l)		N-NH ₄ (ug/l)		N-N _{TOT} (ug/l)		P-PO ₄ (ug/l)		P-P _{TOT} (ug/l)		Clorofila <i>a</i> (ug/l)	
	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuente	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes
Lago Caburgua	9,2* (3,1 - 13,8)	4,1 - 14,7 3,7 - 16,0	23* (2 - 144)	23 - 203 11 - 218	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 29)	1 - 4 1 - 5	9* (3 - 64)	4 - 14	1,36* (0,10 - 5,1)	0,007 - 0,34
Lago Villarrica	13,8* (3,8 - 19,1)	5,8 - 18,0 3,9 - 18,0	52* (2 - 221)	18 - 531 18 - 256	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 104)	10 - 13 1 - 13	18* (2 - 90)	5 - 30	2,21* (0,10 - 11,50)	0,01 - 0,88
Lago Calafquén	13,8* (4,1 - 18,2)	1,6 - 16,1	38* (2 - 212)	1 - 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lago Panguipulli	11,2* (3,6 - 17,3)	1,1 - 14,7	33* (2 - 236)	3 - 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lago Riñihue	10,9* (4,6 - 16,6)	3,2 - 17,5	38* (2 - 243)	1,9 - 22,8	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 46)	1 - 16	8* (3 - 25)	2 - 13	1,54* (0,10 - 7,2)	0,01 - 0,88
		3,2 - 16,1		0,5 - 4,0												
		1,1 - 12,3		3,6 - 19,9								0,9 - 4		5 - 31		
				0,5 - 7,5												
Lago Ranco	11,3* (3,4 - 14,0)	3,8 - 14,8	30* (1 - 236)	0,9 - 50	1** (1 - 20)	< 2	10** (1 - 110)	< 2 - 12	113* (8 - 442)	< 10 - 87	3** (3 - 27)	1 - 3	10* (4 - 41)	2 - 18	0,94* (0,10 - 4,50)	0,20 - 1,67
				0,8 - 10								1 - 13		< 1 - 19		0,04 - 1,24
				< 0,2 - 4,6								3 - 8				< 0,10 - 2,85
Lago Maihue	-	-	41* (2 - 249)	< 0,2 - 38	1** (1 - 20)	< 1	10** (10 - 110)	1 - 18	114* (10 - 486)	28 - 122	3** (3 - 100)	2 - 6	10* (3 - 34)	4 - 17	0,90* (0,10 - 8,60)	< 0,10 - 12,50
Lago Llanquihue	-	-	32* (2 - 358)	0,1 - 67	-	-	10** (10 - 110)	< 10	-	-	3** (2 - 44)	<1 - 3,9	9* (1 - 50)	<1 - 13,7	0,83* (0,10 - 2,90)	0,04 - 1,15
				0,3 - 5,0								1,5		3,5		0,50 - 2,90

Sistema	SiO ₂ (mg/l)		N-NO ₃ (ug/l)		N-NO ₂ (ug/l)		N-NH ₄ (ug/l)		N-N _{TOT} (ug/l)		P-PO ₄ (ug/l)		P-P _{TOT} (ug/l)		Clorofila a (ug/l)	
	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes
Lago Todos Los Santos	-	-	28* (2 - 288)	0,1 – 3,4	-	-	-	-	-	-	3** (3 - 39)	< 1 – 3	8* (3 - 34)	< 1 – 6	0,57* (0,10 - 2,10)	0,60 0,20 - 0,90
Lago Chapo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,25* (0,20 - 7,30)	0,06 – 1,02

- No se dispone de valores referenciales para el parámetro.

3.5 CONCLUSIÓN

La base de datos de la DGA fue parcialmente validada debido a que no se encontró información válida (según los criterios de selección de las fuentes) para varios parámetros de importancia para la determinación de trofia de los cuerpos lacustres, lo cual lleva a plantear que sólo fue posible realizar un proceso parcial de validación de datos. Cabe mencionar que lo anterior indica que los parámetros para algunos lagos no estarían invalidados sino que no fueron sometidos a validación. Debido a esto, se realizó un análisis para evaluar la validez de los datos de la DGA. Para ello, se calculó la proporción (%) de parámetros validados del total de parámetros con información para realizar la validación. La **Tabla 6** indica el porcentaje de validación de parámetros de trofia para cada lago y embalse de la DGA. Hubo porcentajes no despreciables de parámetros que fueron validados. El rango de porcentajes varió entre 50 y 100 %, lo que indica que los parámetros de importancia trófica en todos los cuerpos de agua de la RML sometidos a validación fueron validados en más de un 50%. Los parámetros *Clorofila a*, P-PO₄, P-PTOT y SiO₂ fueron los parámetros más frecuentemente validados en los cuerpos de agua de la RML. Por el contrario, N-NH₄ no fue validado en ninguno de estos cuerpos de agua, ya que los valores fueron siempre mayores que los valores indicados en las fuentes de referencia. El Nitrógeno total (N-N_{TOT}) también presentó pocos casos de validación (2 casos). Por lo tanto, es posible concluir que el valor de los parámetros de calidad de agua asociados al tema de trofia medidos entre el 2000 y 2008 en los lagos y embalses de la RML estarían en su mayoría validados.

Tabla 6. Porcentaje de validación de los parámetros de calidad de agua de importancia para la determinación de trofia en los lagos y embalses de la RML.

Lago o embalse	Parámetros	Parámetros	Par-validados
	Par-totales	Par-validados	%
Embalse La Paloma	-	-	-
Laguna Aculeo	4	2	50
Embalse Rapel	5	4	80
Laguna Grande de San	3	2	67
Laguna del Laja	3	3	100
Lago Lanalhue	3	3	100
Lago Caburgua	5	3	60
Lago Villarrica	5	4	80
Lago Calafquén	2	1	50
Lago Panguipulli	2	1	50
Lago Riñihue	5	3	60
Lago Ranco	8	6	75
Lago Maihue	7	6	86
Lago Llanquihue	5	3	60
Lago Todos Los Santos	4	3	75
Lago Chapo	1	1	100
Rango			50 - 100

(1) Es el número total de parámetros con información bibliográfica que permitió realizar una validación

(2) Es el número total de parámetros que fueron validados

4 DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DE LOS LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML)

4.1 METODOLOGÍA

4.1.1 Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos y embalses de la RML

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 y embalses de la RML consistió en determinar los periodos de mezcla y estratificación en un año promedio para cada periodo estacional en cada lago y embalse. Se revisaron perfiles sub-acuáticos de temperatura obtenidos estacionalmente por la DGA con un equipo CTD generalmente entre los años 1999 y 2007 ello en el marco del programa de monitoreo de la RML. Se determinó la ocurrencia de una estratificación térmica cuando se detectó una variación de temperatura en la columna de agua mayor o igual a 1 °C en un metro de profundidad. 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. Con estos datos se obtuvieron perfiles verticales promedios o más representativos de cada estación de muestreo y en 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 mayoría de las estaciones o en la estación Centro, la cual presenta una condición promedio en un lago. En base a este análisis se estableció el régimen intra-anual de mezcla y estratificación para cada sistema acuático.

4.1.2 Disponibilidad sub-acuática de irradianza: 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 Hipereutróficos es el clima lumínico subacuático. Debido a esto, se determinó la profundidad a la que llega el 1 % aproximado de irradianza superficial lo cual se define como la Zona eufótica (Z_{EUF}). La Z_{EUF} fue determinada mediante los valores del Disco Secchi (DS) y a través de la expresión $Z_{EUF} = 3 \times DS$, citada en Montecino (1991). Los lagos y embalses fueron agrupados como Sistemas con baja disponibilidad sub-acuática de irradianza y Sistemas con alta disponibilidad sub-acuática de irradianza. También se determinó la proporción que la Z_{EUF} ocupa en la columna de agua (Z_{EUF} / Z_{MAX} , %). El cálculo de Z_{EUF} fue basado en los datos de DS obtenidos entre el 2000 y el 2008. Se obtuvo el valor promedio y el rango de valores (máximo-mínimo) de Z_{EUF} medidos en este rango de años para los periodos de estratificación y mezcla que presentó cada estación de muestreo en cada lago o embalse.

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

Se determinó el nutriente Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Sílice (SiO_2) que estaría limitando la producción biológica en los lagos y embalses de la RML. Inicialmente se analizaron las razones SiO_2 / P_{PIT} y SiO_2 / N_{NIT} para determinar la importancia del SiO_2 como nutriente limitante. Un valor de la razón SiO_2 / N_{NIT} que fuera menor a 2 (en gramos) indica limitación por Sílice y un valor de la razón SiO_2 / P_{PIT} que fuera menor a 14 (en gramos) indica limitación por Sílice (Redfield-Brzezinski 1985).

El Sílice fue analizado y excluido preliminarmente del análisis del nutriente limitante debido a las altas concentraciones de este nutriente. Los resultados de las razones $\text{SiO}_2 / \text{P}_{\text{PIT}}$ y $\text{SiO}_2 / \text{N}_{\text{NIT}}$ se presentan en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Determinación del nutriente limitante de la producción biológica. La tabla muestra el valor de las razones $\text{Si} / \text{N}_{\text{NIT}}$ y $\text{Si} / \text{P}_{\text{PIT}}$. Un valor de la razón $\text{Si} / \text{N}_{\text{NIT}}$ que es mayor o igual a 2 indica limitación por Nitrógeno y de lo contrario limitación por Sílice. Un valor de la razón $\text{Si} / \text{P}_{\text{PIT}}$ que es mayor o igual a 14 indica limitación por Fósforo y de lo contrario limitación por Sílice.

Lago o Embalse	Si / N _{NIT}	Si / P _{PIT}
Embalse La Paloma	17 – 1.460	32 – 2.468
Laguna Aculeo	2 – 412	149 – 4.567
Embalse Rapel	11 – 372	35 – 4.290
Laguna Grande de San Pedro	11 – 1.300	92 – 1.833
Laguna del Laja	76 – 4.442	1.640 – 4.867
Lago Lanalhue	24 – 1.567	267 – 2.523
Lago Caburgua	113 – 4.433	1.273 – 3.567
Lago Villarrica	47 – 5.412	650 – 5.933
Lago Calafquen	68 – 5.735	1.393 – 6.067
Lago Panguipulli	115 – 4.600	967 – 4.219
Lago Riñihue	84 – 4.502	893 – 5.533
Lago Ranco	101 – 6.396	758 – 4.467
Lago Maihue	99 – 5.500	1.030 – 5.566
Lago Llanquihue	0,3 – 967	5 – 642
Lago Todos Los Santos	185 – 3.933	1.194 – 3.933
Lago Chapo	95 – 2.733	837 – 2.800

El análisis de los resultados mostró que en el 100% de los casos analizados para cada lago embalse, el N o el P fueron los nutrientes limitantes de la producción biológica (**Tabla 8**). Por lo tanto y debido a la ausencia de limitación por Sílice, el análisis posterior para determinar el nutriente limitante fue enfocado a N y P.

Tabla 8. Determinación del nutriente limitante de la producción biológica. La tabla muestra el nutriente limitante que resulta de la determinación de las razones del Si con el N y el P. Entre paréntesis se indica el número de casos en que el nutriente indicado delante del paréntesis fue el nutriente limitante.

Lago o Embalse	Si / N_{NIT}	Si / P_{PIT}
Embalse La Paloma	N (33 de 33 casos)	P (57 de 57 casos)
Laguna Aculeo	N (48 de 49 casos)	P (119 de 119 casos)
Embalse Rapel	N (20 de 20 casos)	P (60 de 60 casos)
Laguna Grande de San Pedro	N (108 de 108 casos)	P (45 de 45 casos)
Laguna del Laja	N (170 de 170 casos)	P (45 de 45 casos)
Lago Lanalhue	N (179 de 179 casos)	P (101 de 101 casos)
Lago Caburgua	N (237 de 237 casos)	P (23 de 23 casos)
Lago Villarrica	N (214 de 214 casos)	P (45 de 45 casos)
Lago Calafquen	N (143 de 143 casos)	P (19 de 19 casos)
Lago Panguipulli	N (128 de 128 casos)	P (36 de 36 casos)
Lago Riñihue	N (184 de 184 casos)	P (49 de 49 casos)
Lago Ranco	N (194 de 194 casos)	P (40 de 40 casos)
Lago Maihue	N (127 de 127 casos)	P (37 de 37 casos)
Lago Llanquihue	N (338 de 348 casos)	P (52 de 55 casos)
Lago Todos Los Santos	N (173 de 173 casos)	P (22 de 22 casos)
Lago Chapo	N (70 de 70 casos)	P (34 de 34 casos)

En una segunda etapa se determinó la razón entre las fracciones inorgánicas de N y P (N_{NIT} / P_{PIT}). Se utilizó la razón de Redfield (1934) para determinar limitación por alguno de estos nutrientes, la cual indica que cuando la razón N_{NIT} / P_{PIT} presenta un valor igual o mayor que 7 (en gramos) existe limitación por P y en caso contrario el N 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 o embalse. Los resultados fueron expresados como el número de casos en que el P o el N 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 P o N que ocurrió durante los periodos de estratificación o mezcla o en los periodos estacionales considerando los datos de todas las profundidades de muestreo. Así por ejemplo, para determinar el nutriente limitante en el lago Panguipulli se analizaron por separado las estaciones Centro y Choshuenco respecto de la estación Bahía Panguipulli ya que muestran diferencias en el patrón hidrodinámico. En las estaciones Centro y Choshuenco se registró el número de casos de limitación por P o N del total de casos (casos de P + casos de N) encontrados en verano, periodo en que ocurre estratificación en estas estaciones. Seguidamente, se registró el número de casos de limitación por P o N del total de casos ocurridos en otoño, invierno y primavera ya que durante estos tres periodos se genera mezcla en estas estaciones de muestreo. La estación Bahía Panguipulli presenta estratificación en primavera y mezcla el resto del año por lo que los casos de limitación por P o N fueron agrupados siguiendo este patrón. Finalmente, en la tabla de resultados se

muestra el nutriente que con mayor frecuencia fue limitante en cada condición hidrodinámica de cada estación de muestreo.

También se realizó un análisis temporal de la razón N_{NIT} / P_{PIT} considerando los cuatro periodos estacionales. Para ello se registró el número de casos en que el P o el N fue limitante respecto del total de casos (casos de P + casos de N) ocurridos en cada periodo estacional. Finalmente, los lagos y embalses fueron agrupados dependiendo del nutriente que estuviera limitando la producción biológica.

4.1.4 Análisis de la concentración del nutriente limitante de la producción biológica (N_{NIT} , P_{PIT} , N_{TOT} , P_{TOT})

Una vez identificado el nutriente limitante se realizó un análisis espacial para determinar posibles diferencias de su concentración asociadas a los procesos de estratificación o mezcla de la columna de agua y a posibles diferencias de concentración dentro de un ciclo anual.

4.1.5 Determinación de la condición trófica en los lagos y embalses de la RML

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 de nutrientes fue usada para confirmar y explicar los valores de biomasa cuantificados a través de la *Clorofila a*. En la **Tabla 9** se indica la clasificación de condición trófica indicada por Smith et al. 1999.

Tabla 9. Criterios y valores de clasificación de la condición trófica para lagos y embalses. Smith et al. 1999.

Condición trófica	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total (ug/l)	Clorofila a (ug/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 o 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 una escala inter-anual (2000-2008) 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 como de mantención, de aumento o de disminución de la condición trófica en el tiempo. En los gráficos de tendencia 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 más arriba indicado.

La concentración media anual de *Clorofila a* fue calculada en base a los valores promedios obtenidos de cada periodo estacional para cada lago. El promedio de *Clorofila a* de un periodo estacional (por ejemplo, verano) fue calculado en base a los datos de *Clorofila a* obtenidos en los mismos periodos (veranos) en todas las estaciones de monitoreo y considerando todas las profundidades de muestreo.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Patrones hidrodinámicos de los lagos y embalses de la RML

Se describió el comportamiento térmico vertical de los 16 lagos de la RML. Los resultados se presentan en la **Tabla 10**. El análisis integral de los lagos muestra la existencia de tres patrones hidrodinámicos en los lagos de la RML. El patrón más frecuente fue encontrado en 11 de los 16 lagos estudiados y fue el patrón denominado **M-e-E-e** (coloreado amarillo en la **Tabla 10**). Este patrón fue presentado por la laguna Grande de San Pedro y los lagos Caburgua, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo. Estos lagos muestran una estratificación durante el verano (indicado con una E en la **Tabla 10**) dos periodos de transición que indican el comienzo o el decline de la estratificación ya sea en primavera o en otoño (indicados con una e en la **Tabla 10**) y un periodo de mezcla en invierno (indicado con una M en la **Tabla 10**). Otro patrón significativo fue el denominado **M-E-E-e** o **M-e-E-E** (coloreado verde en la **Tabla 10**). Este patrón se observó en cuatro de los 16 lagos: en el embalse La Paloma, embalse Rapel, en la laguna del Laja y en el lago Lanalhue. Este patrón fue presentado por los embalses del estudio y surgiría por la condición de mayor turbulencia generada por el desagüe artificial de estos sistemas embalsados. Este patrón muestra una estratificación 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 y la ausencia de procesos de transición en primavera y otoño. Un tercer patrón hidrodinámico fue encontrado en la laguna Aculeo, la que muestra una condición de mezcla permanente de la columna de agua durante todo el ciclo anual (indicado en rosado en la **Tabla 10**). A continuación se realiza un análisis de la condición de mezcla y estratificación de la columna de agua para cada lago y embalse de la RML.

Tabla 10. Determinación de la estratificación y mezcla de los lagos y embalses de la RML. Los colores indican agrupaciones de lagos en función de patrones hidrodinámicos (ver pie de tabla).

Lago o embalse	Estación	Periodo estacional			
		Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Embalse La Paloma	Muro	M	E	E	M
Laguna Aculeo	Desagüe Puntilla León Casa de Bomba	M	e	e	e
Embalse Rapel	Muro	M	E	E	M
Laguna Grande de San Pedro	Centro Desagüe Sur	M	e	E	M
Laguna del Laja	Bahía Colorado Puerto Nuevo Puntilla El Flaco	M	M	E	E
	Punta Los Machos	M	M	E	e
Lago Lanalhue	Puerto Paleco Frente a Hostería Playa Blanca Puerto Manzano	M	E	E	M
Lago Caburgua	Centro Norte	M	e	E	e
	Desagüe	M	E	E	e
Lago Villarrica	Molco Pucón Villarrica La Poza	M	e	E	e
Lago Calafquen	Centro	M	e	E	e
	Coñaripe Lican-Ray	M	E	E	e
Lago Panguipulli	Centro Choshuenco	M	e	E	e
	Bahía Panguipulli	M	E	M	M
Lago Riñihue	Desagüe Bahía Riñihue	M	M	e	e
	Enco	M	M	E	e
Lago Ranco	Futroneo Riñinahue Puerto Nuevo	M	e	E	M
Lago Maihue	Centro Los Llollles	M	e	E	e
Lago Llanquihue	Ensenada Puerto Varas	M	M	E	M
	Puerto Octay Frutillar	M	M	e	M
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas Petrohue Peulla	M	M	E	e
Lago Chapo	Canutillar	M	E	E	e
	Centro Chamiza	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

4.2.1.1 Embalse La Paloma

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre 2000 y 2007 indica que el embalse La Paloma presentaría una estratificación que se desarrollaría en primavera y verano (**Tabla 10**). La estratificación decae durante el verano, ya que en otoño la columna de agua se observa mezclada. El Metalimnion que surge en primavera y verano se genera entre 12 y 23 m (**Figura 1**). La temperatura promedio del Epilimnion en primavera es 20,7 °C y en verano es 22,1 °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 1**), ello posiblemente asociado al régimen de descarga del embalse que estaría impidiendo que se genere indicios de estratificación en la columna de agua. En base a estos resultados es posible indicar que el embalse La Paloma muestra un comportamiento similar al de un sistema monomítico con estratificación en verano, sin embargo, las mayores temperaturas superficiales de primavera en el embalse conllevarían a generar estratificación a partir de primavera y hasta el verano, condición que no ocurriría en los lagos Araucanos por las menores temperaturas superficiales de primavera. Cabe mencionar que este patrón hidrodinámico fue observado en la estación de muestreo Muro, la cual muestra el comportamiento hidrodinámico típico de un embalse.

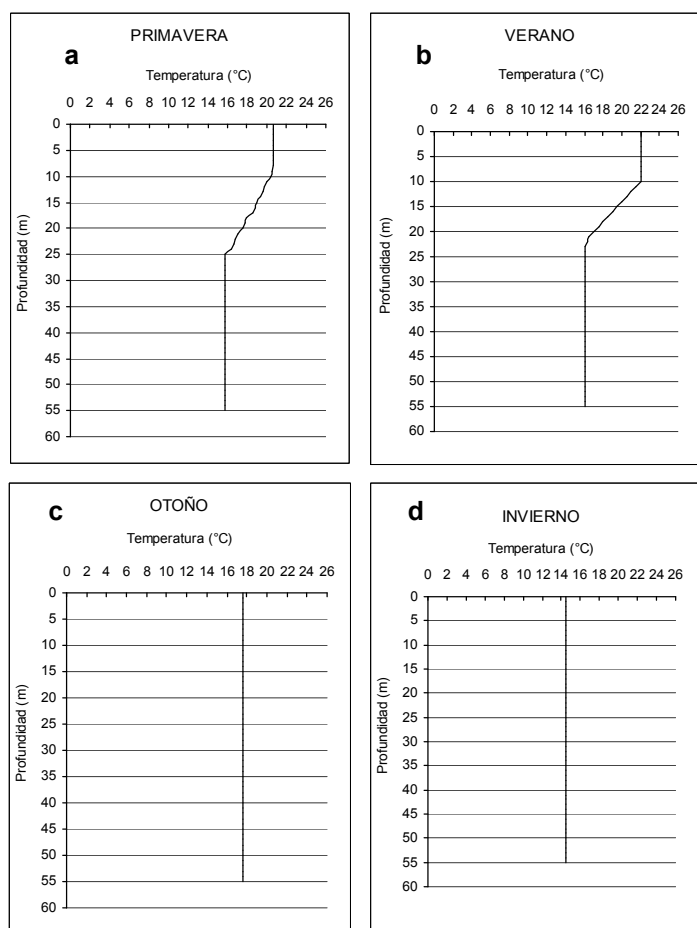


Figura 1. Variación estacional de la condición hidrodinámica del embalse La Paloma (estación Muro). a) Estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.2 Laguna Aculeo

No hubo información de perfiles verticales de temperatura para la laguna Aculeo, por lo que el patrón hidrodinámico fue inferido en función de los valores de oxígeno disuelto y temperatura obtenidos de la base de datos considerando los registros entre 1988 y 2008. La laguna Aculeo presentaría una columna mezclada durante todo el ciclo anual (**Tabla 10**). 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 2**). 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 2**). En base a estos resultados es posible indicar que la laguna Aculeo es un sistema polimíctico, 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.

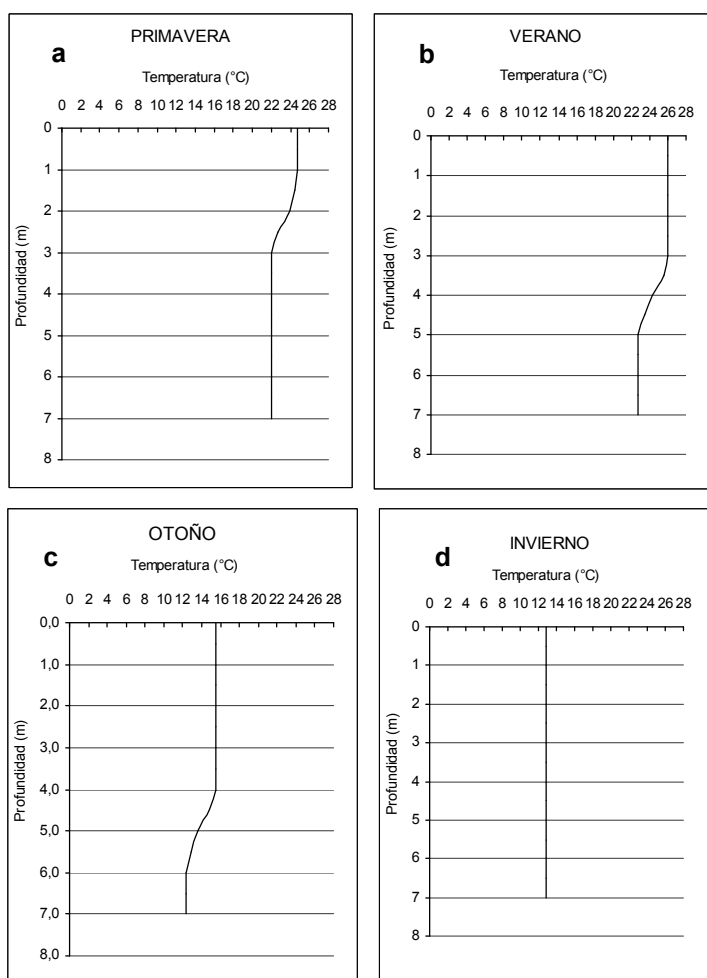


Figura 2. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Aculeo (estaciones Desagüe, Puntilla León y Casa de Bomba). a) Indicios de estratificación en primavera, b) Indicios de estratificación en verano, c) Indicios de estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.3 Embalse Rapel

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2007 en el embalse Rapel mostró una estratificación prolongada estival que se desarrolla en primavera y verano (**Tabla 10**). La estratificación decae durante el verano, ya que en otoño se observa mezclada la columna de agua. El Metalimnion que surge en primavera y verano ocurre superficialmente entre 0 y 5 m aproximadamente (**Figura 3**). La temperatura promedio del Epilimnion en primavera es 20,9°C y en verano es 22,9 °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 3**), ello posiblemente asociado al régimen de descarga del embalse que estaría impidiendo que se generen indicios de estratificación en la columna de agua. En base a estos resultados es posible indicar que el embalse Rapel muestra un comportamiento similar al de un sistema monomítico con estratificación en verano, sin embargo, las mayores temperaturas superficiales de primavera en el embalse conllevarían a generar estratificación a partir de primavera y la cual se mantendría hasta el verano, condición que no ocurriría en los lagos Araucanos por las menores temperaturas superficiales de primavera. Cabe mencionar que este patrón hidrodinámico fue observado en la estación de muestreo Muro, la cual muestra el comportamiento hidrodinámico típico de un embalse.

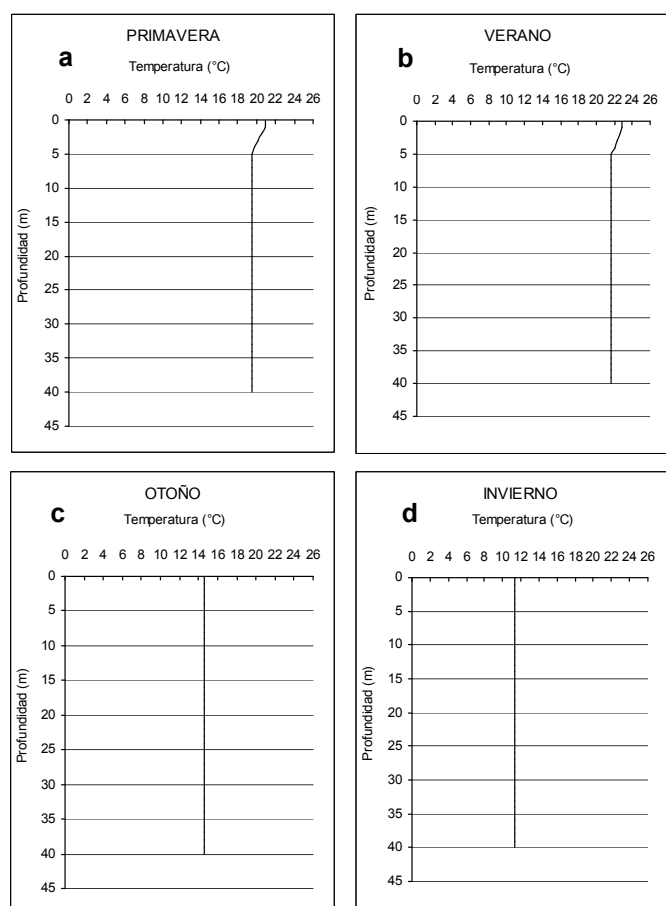


Figura 3. Variación estacional de la condición hidrodinámica del embalse Rapel (estación Muro). a) Estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.4 Laguna Grande de San Pedro

No hubo información de perfiles verticales de temperatura para la laguna Grande de San Pedro por lo que el patrón hidrodinámico fue inferido en función de los valores de oxígeno disuelto y temperatura obtenidos de la base de datos considerando los registros entre 1989 y 2008. Para la laguna Grande de San Pedro se dedujo la ocurrencia de una estratificación en el año, la cual surgiría durante el verano (**Tabla 10**). 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 4**). 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.

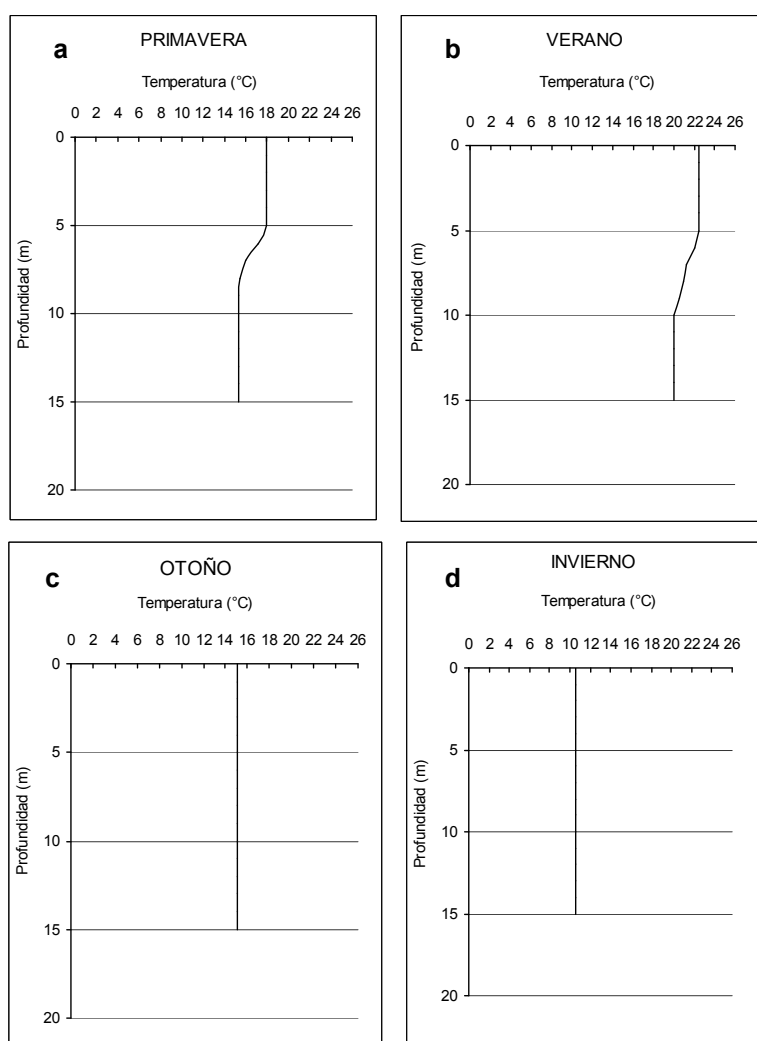


Figura 4. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la laguna Grande de San Pedro (estaciones Centro, Desagüe y Sur). a) Inicios de la estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.5 Laguna del Laja

Tres estaciones de muestreo (Bahía Colorado, Puerto Nuevo y Puntilla El Flaco) de la laguna del Laja mostraron estratificación en verano, la cual se prolongó hasta otoño (**Tabla 10**). Por el contrario, la estación Punta Los Machos presentó una estratificación solamente en verano. Todas las estaciones presentaron mezcla en invierno y primavera. El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2007 en las estaciones Bahía Colorado, Puerto Nuevo y Puntilla El Flaco de la laguna del Laja mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge y se desarrolla en verano y se mantiene en otoño. El Metalimnion que surge en el verano genera tres estratos en la columna de agua: Epilimnion que se desarrolla entre 0 y 5 m, Metalimnion que se desarrolla entre 5 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m (**Figura 5**). La temperatura promedio del Epilimnion en verano es 16,8 °C y del Hipolimnion es 6,1 °C. El Metalimnion de otoño ocurre entre 25 y 45 m. La temperatura promedio del Epilimnion en otoño es 12,3 °C y del Hipolimnion es 6,5 °C (**Figura 5**). La columna de agua se mantiene mezclada en invierno y primavera. En base a estos resultados se puede indicar que la laguna del Laja muestra un patrón hidrodinámico similar a un lago monomítico temperado con una estratificación que comienza y se genera en verano, ya que las temperaturas de primavera son bajas, y por lo tanto, impiden el inicio de una estratificación. La temperatura se mantiene alta en otoño y por ello, se mantiene la estratificación en este periodo en la columna de agua.

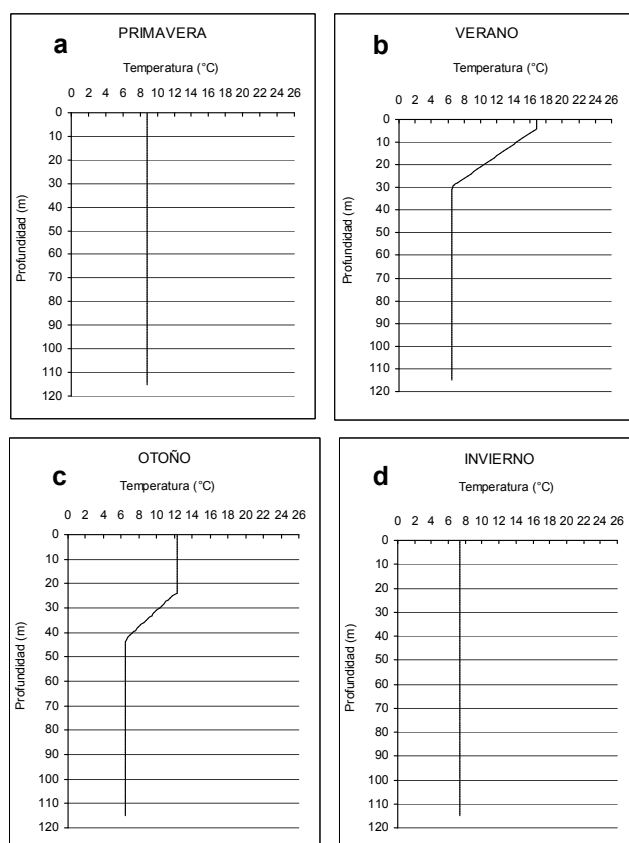


Figura 5. Variación estacional de la condición hidrodinámica de la Laguna del Laja (estaciones Bahía Colorado, Puerto Nuevo y Puntilla El Flaco). a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.6 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 1989 y 2008. El lago Lanalhue mostró una estratificación prolongada estival que se desarrolla entre primavera y verano (**Tabla 10**). La estratificación decae durante el verano, ya que en otoño se observa mezclada la columna de agua. El Metalimnion que surge en primavera y verano ocurre entre 9 y 12 m aproximadamente (**Figura 6**). 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 6**). En base a estos resultados es posible indicar que el lago Lanalhue muestra un comportamiento similar al de un sistema monomítico 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.

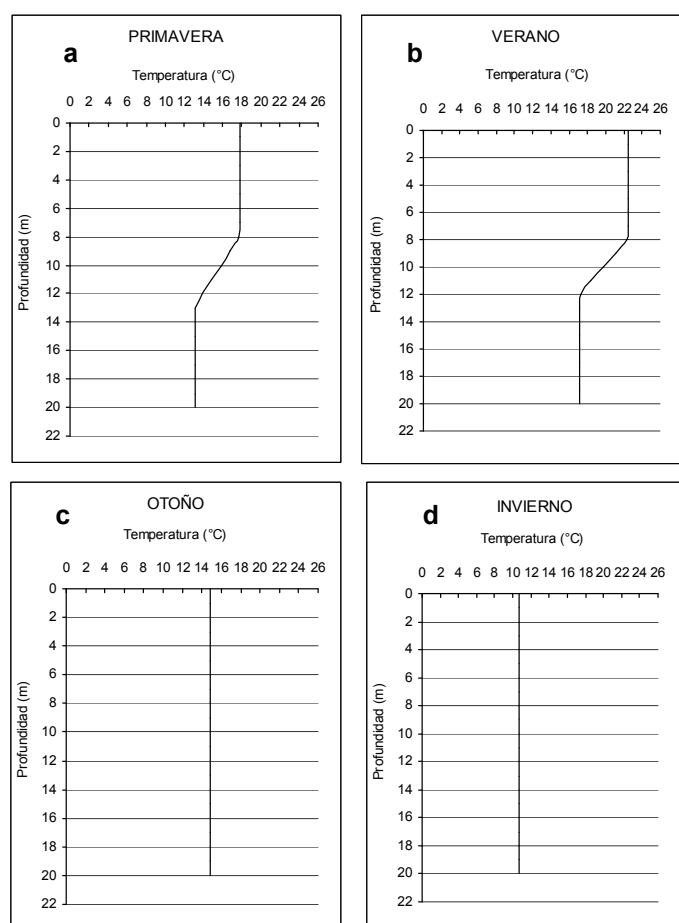


Figura 6. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Lanalhue (estaciones Puerto Paleco, Frente a hostería, Playa Blanca y Puerto Manzano). a) Estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.7 Lago Caburgua

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2007 en el lago Caburgua mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 7**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. El Metalimnion 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. 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 de la DGA (**Tabla 10**).

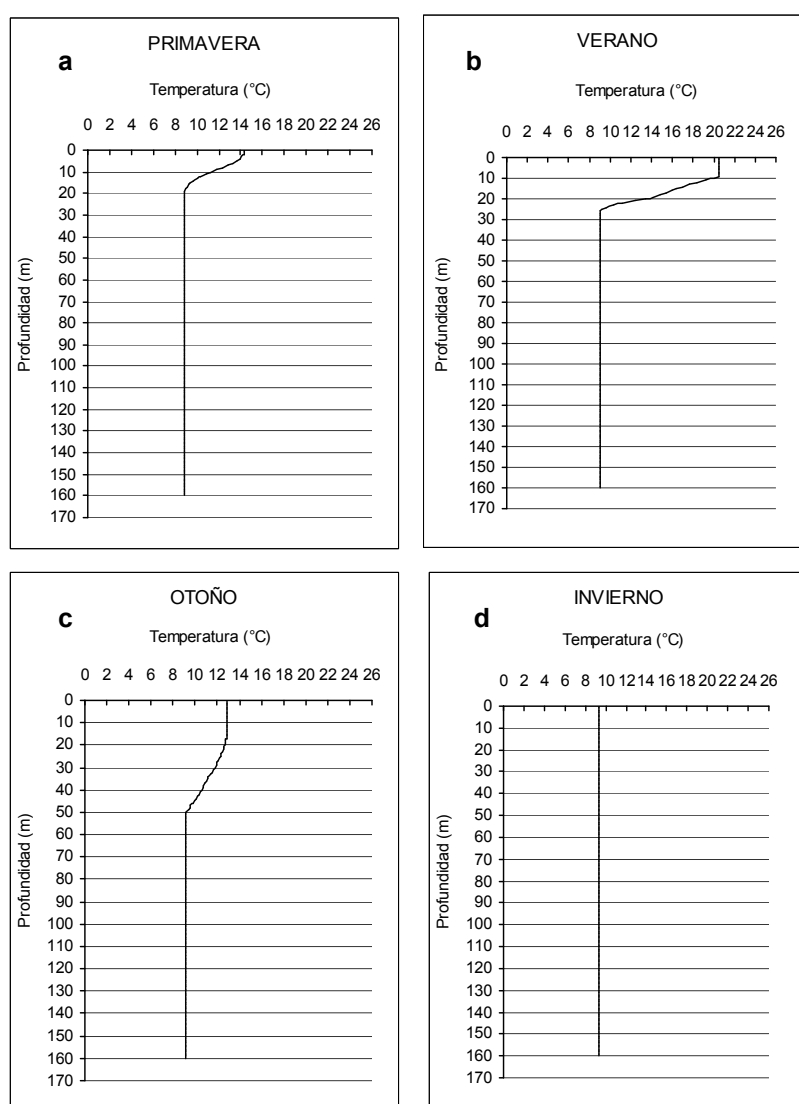


Figura 7. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Caburgua (estaciones Centro y Norte). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.8 Lago Villarrica

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2007 en el lago Villarrica mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 8**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae 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. 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 de la DGA: Molco, Pucón, Villarrica y La Poza (**Tabla 10**).

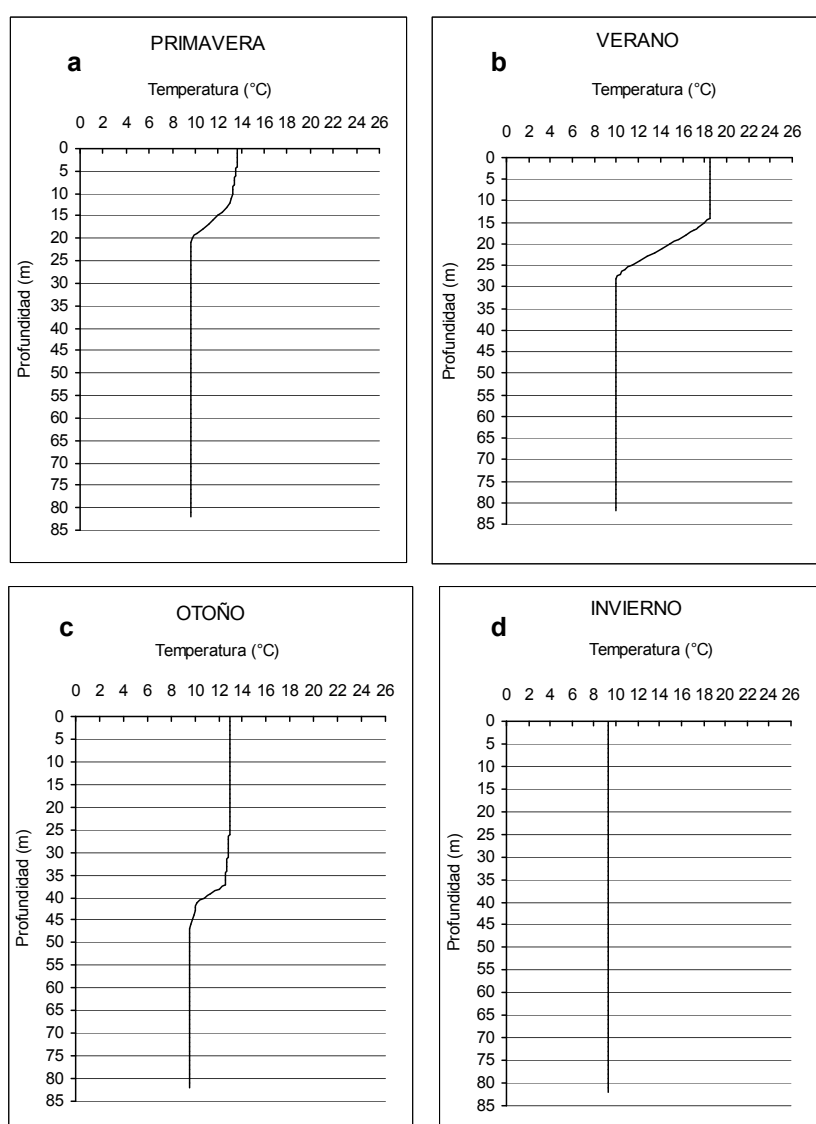


Figura 8. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Villarrica (estaciones Molco, Pucón, Villarrica y La Poza). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.9 Lago Calafquén

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2000 y 2007 en el lago Calafquén mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 9**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. El Metalimnion 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. 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 Calafquén 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 10**).

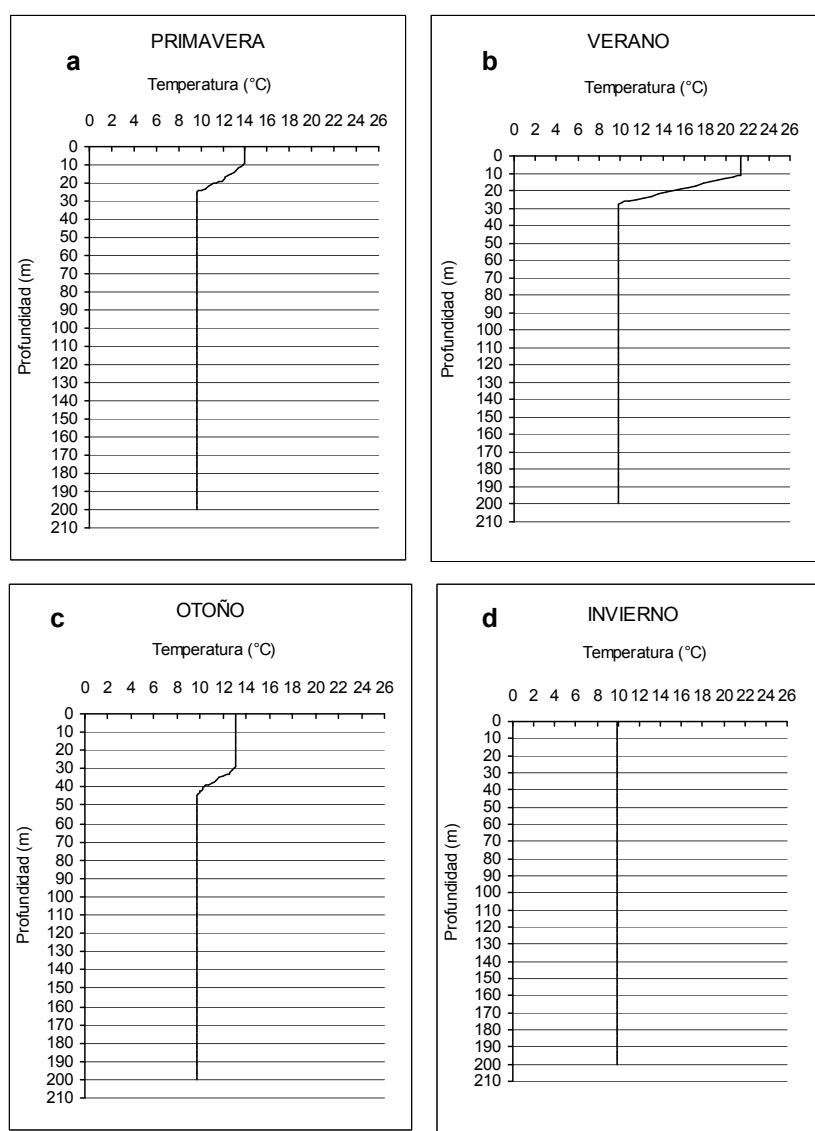


Figura 9. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Calafquén (estación Centro). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.10 Lago Panguipulli

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1997 y 2007 en el lago Panguipulli mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 10**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. El Metalimnion 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. 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 10**).

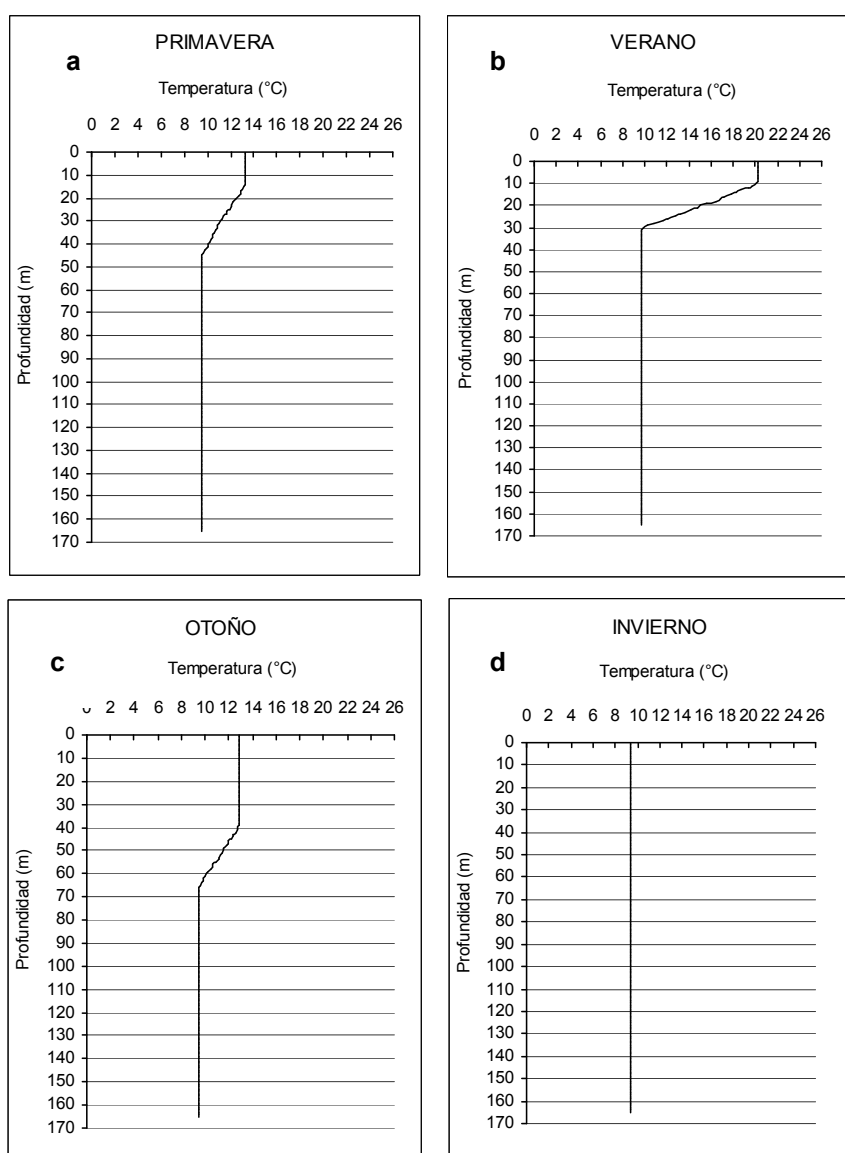


Figura 10. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Panguipulli (estaciones Centro, y Choshuenco). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.11 Lago Riñihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2007 en el lago Riñihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 11**). La estratificación comienza y se desarrolla en verano y decae en otoño. 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. 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 la estación de muestreo Enco, la cual se consideró ser la estación más representativa del lago (**Tabla 10**).

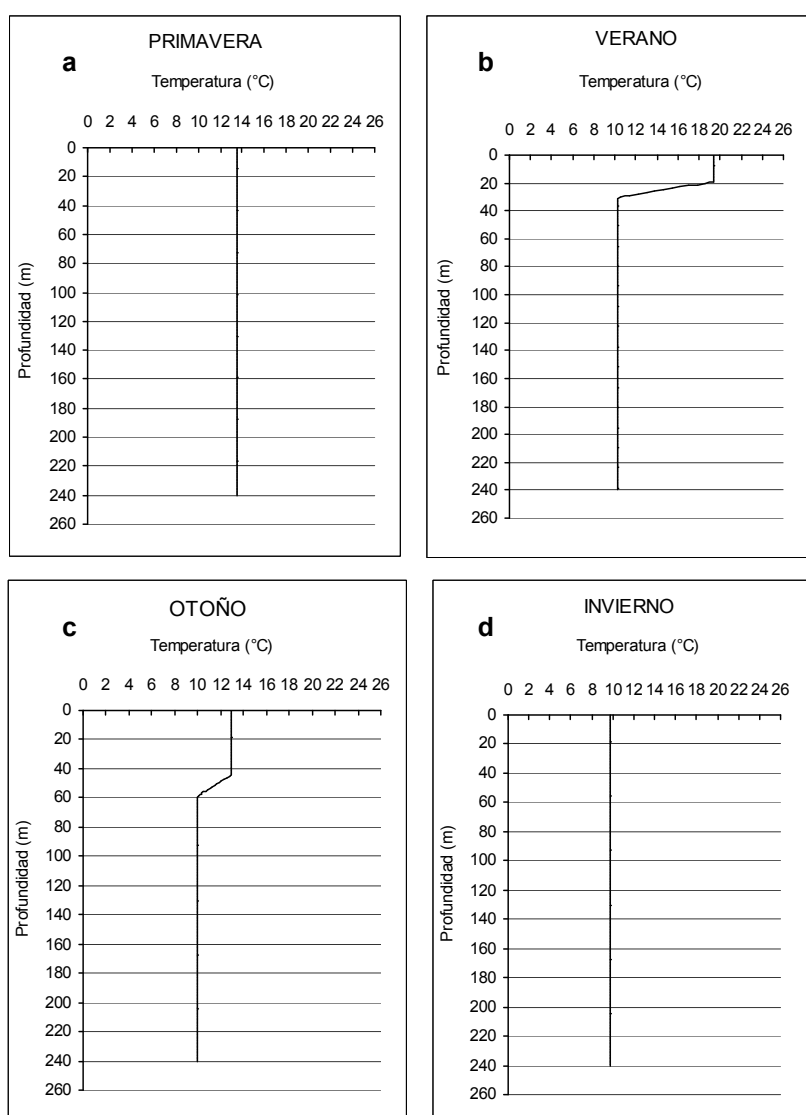


Figura 11. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Riñihue (estación Enco). a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.12 Lago Ranco

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2007 en el lago Ranco mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 12**). La estratificación comienza en primavera y se desarrolla y termina en verano, ya que en otoño la columna de agua se observa mezclada (**Figura 12**). El Metalimnion 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. 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 10**).

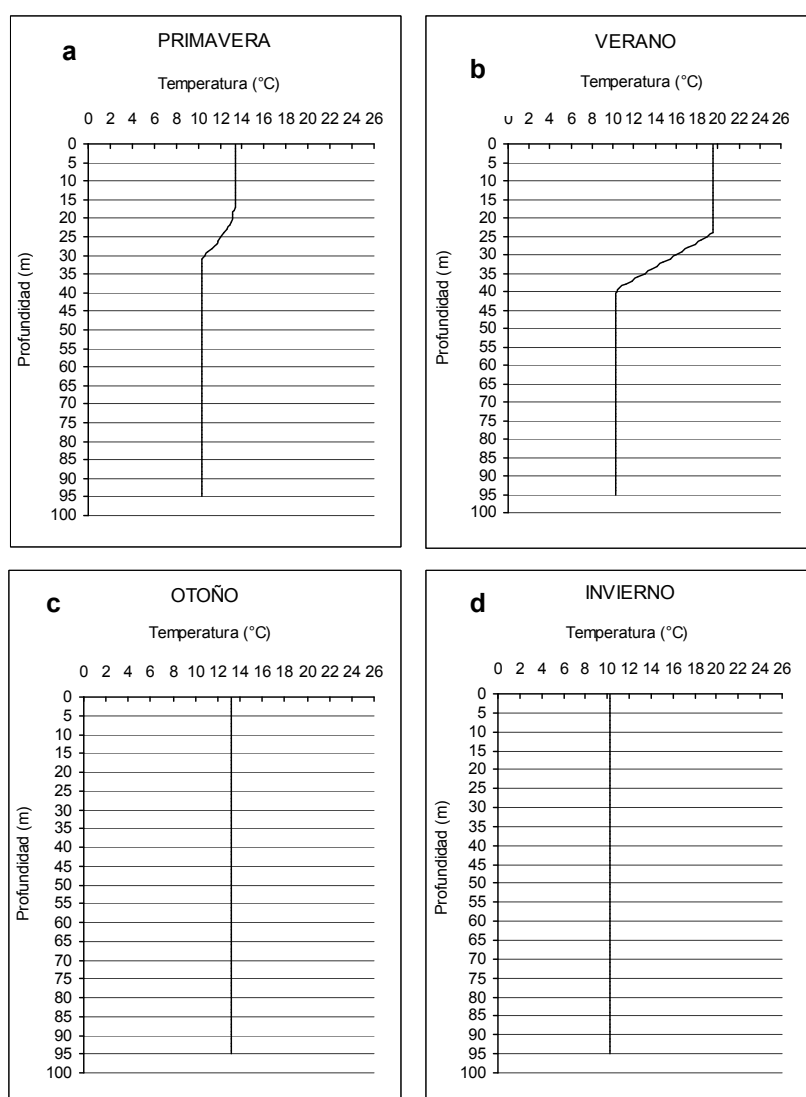


Figura 12. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Ranco (estaciones Futrono, Riñinahue y Puerto Nuevo). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.13 Lago Maihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1999 y 2007 en el lago Maihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10**, **Figura 13**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y termina en otoño (**Figura 13**). 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 surge entre 20 y 30 m y el Hipolimnion que ocurre a una profundidad mayor que 30 m. 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 Llollles (**Tabla 10**).

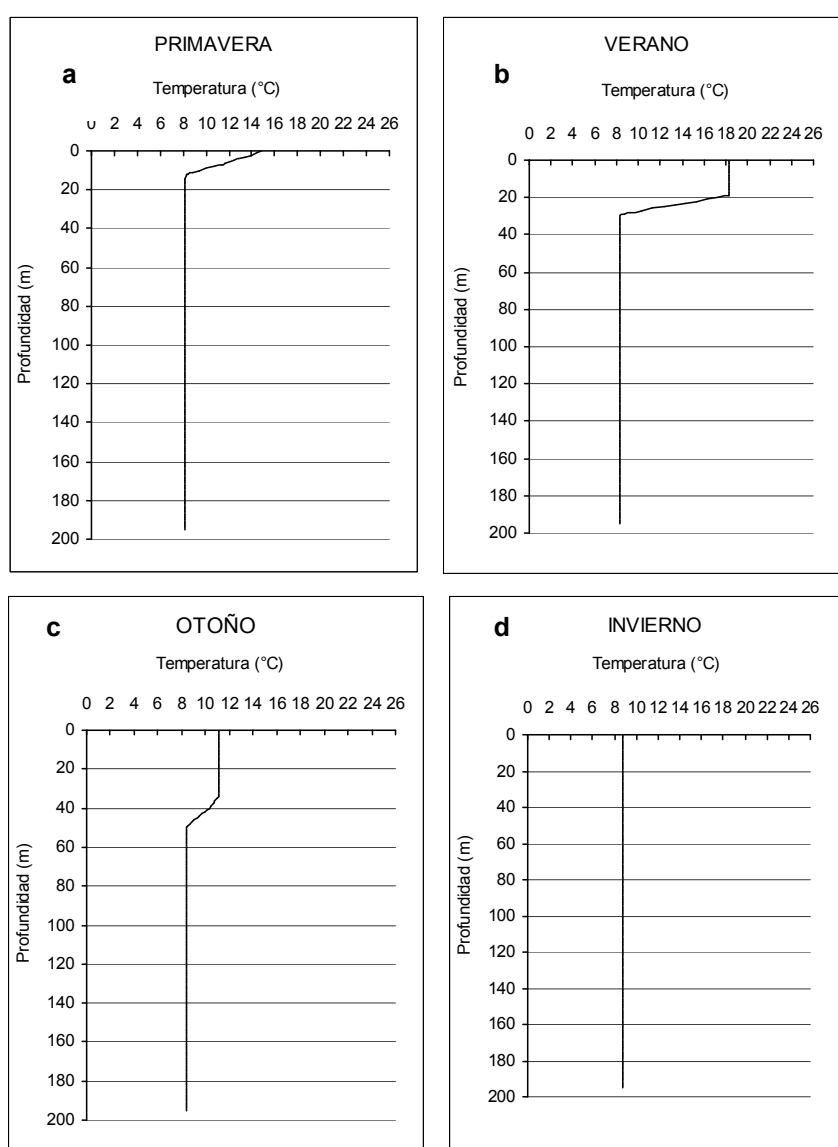


Figura 13. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Maihue (estaciones Centro y Los Llollles). a) Inicios de la estratificación, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.14 Lago Llanquihue

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1996 y 2007 en el lago Llanquihue mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 14**). La estratificación comienza, se desarrolla y desaparece en verano ya que durante otoño se observa mezclada la columna de agua. El Metalimnion 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. 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 monomíctico 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 10**).

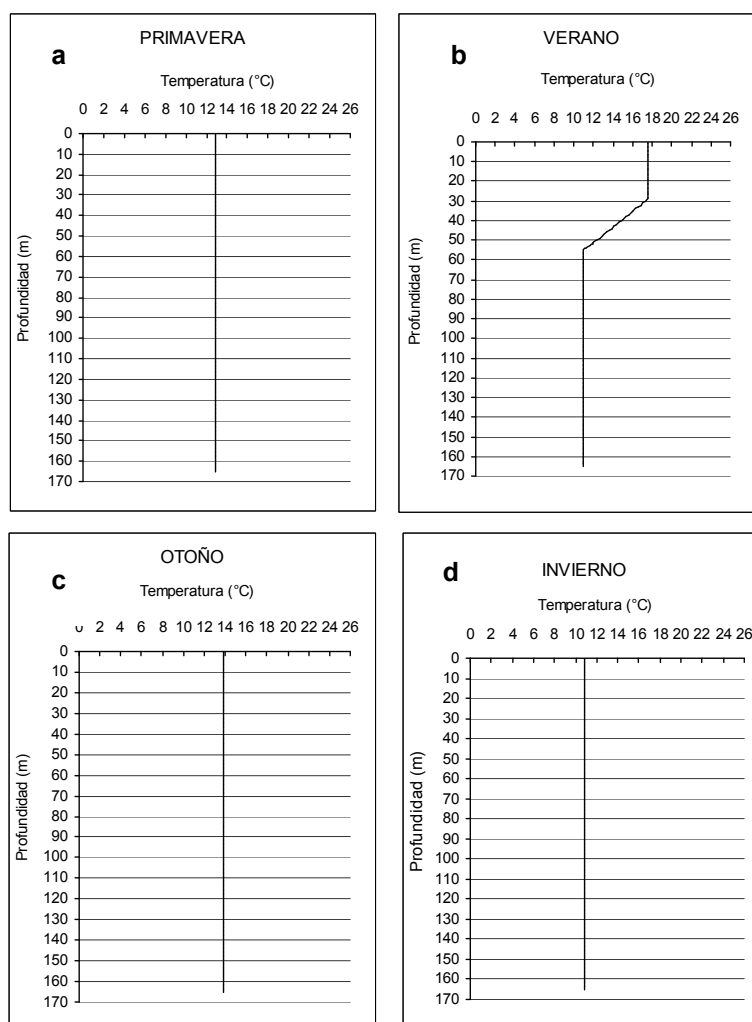


Figura 14. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Llanquihue (estaciones Ensenada y Puerto Varas). a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Mezcla en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.15 Lago Todos Los Santos

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 2002 y 2007 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 10, Figura 15**). La estratificación decae en otoño y durante invierno y primavera la columna de agua está mezclada (**Figura 15**). 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. 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 10**).

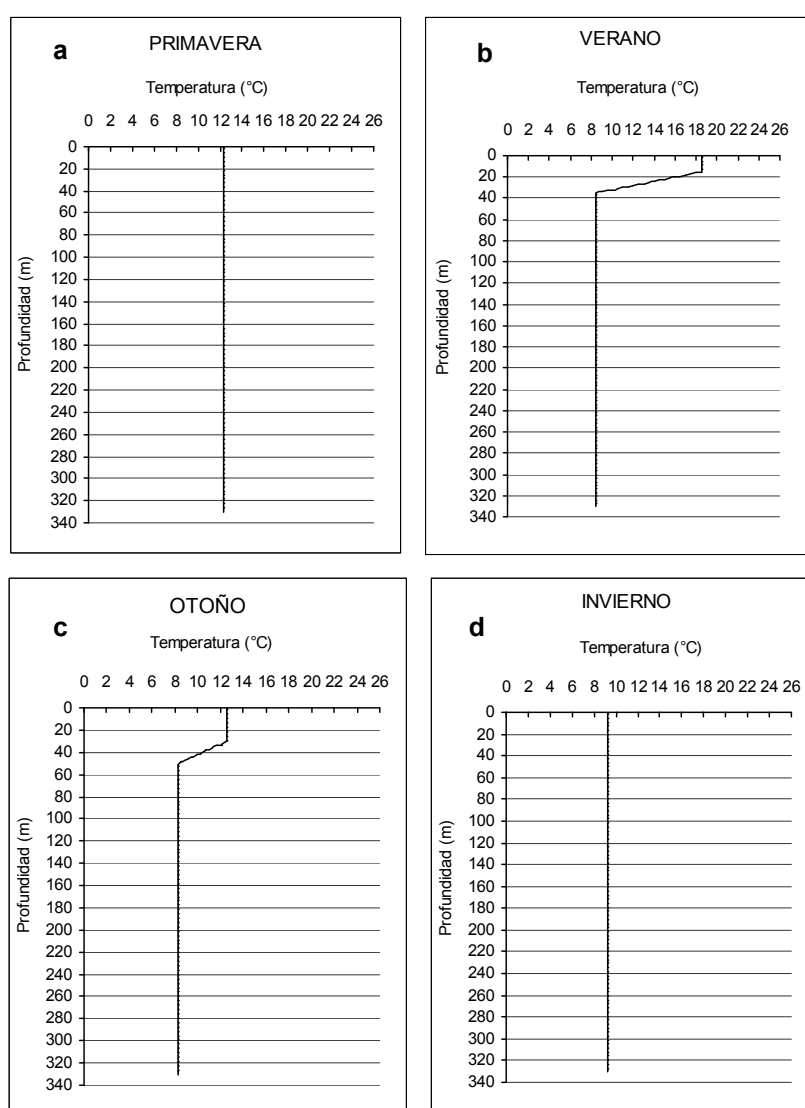


Figura 15. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Todos los Santos (estaciones Isla Margaritas, Petrohué y Peulla). a) Mezcla en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.1.16 Lago Chapo

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos entre el 1999 y 2007 en el lago Chapo mostró que este sistema presenta una estratificación en el año, la cual surge durante el verano (**Tabla 10, Figura 16**). La estratificación comienza en primavera, se desarrolla en verano y decae en otoño. El lago Chapo se observa con una condición de mezcla en invierno. El Metalimnion 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. 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 10**).

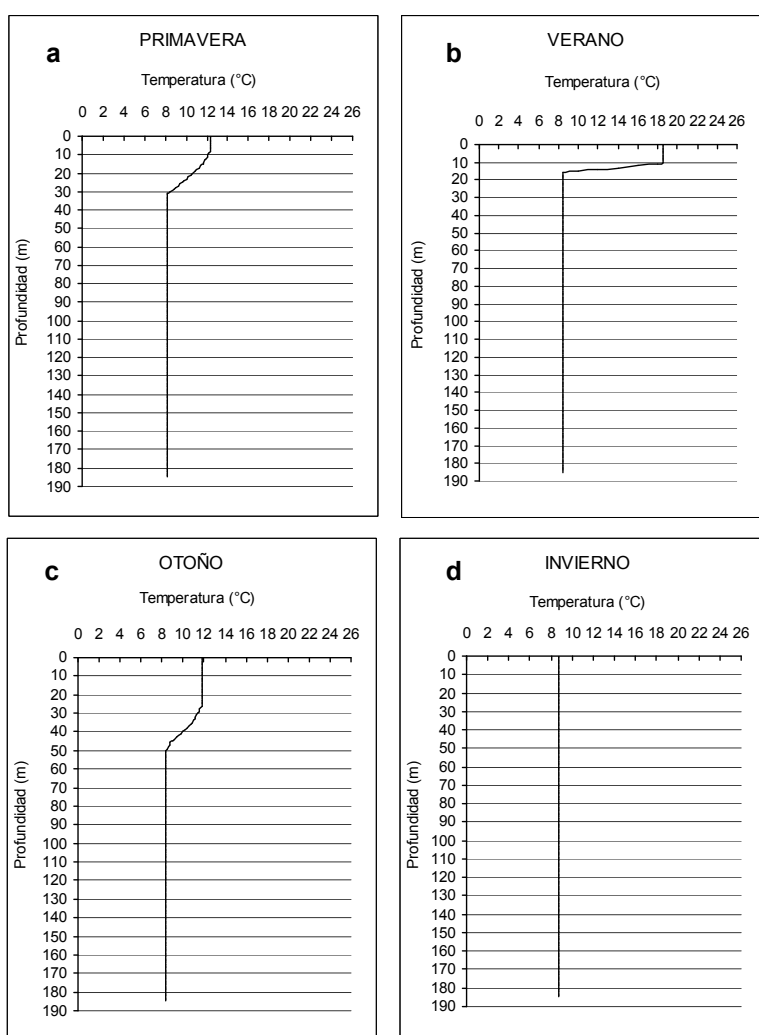


Figura 16. Variación estacional de la condición hidrodinámica del lago Chapo (estaciones Centro y Chamiza). a) Inicios de la estratificación en primavera, b) Estratificación en verano, c) Decaimiento de la estratificación en otoño y d) Mezcla en invierno.

4.2.2 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 ensambles autótrofos, principalmente de aquéllos 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 y embalses de la RML y los resultados se presentan en la **Tabla 11**.

La profundidad de la zona eufótica (Z_{EUF}) fue altamente variable en los lagos y embalses de la RML (**Tabla 3**). Se distinguieron dos agrupaciones de lagos y embalses en función del tamaño de la Z_{EUF} : Sistemas con baja Z_{EUF} y sistemas con alta Z_{EUF} , los que se indican con color en la **Tabla 11**. Los sistemas con baja Z_{EUF} fueron el embalse La Paloma, laguna Aculeo, embalse Rapel, laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue. Estos sistemas presentaron valores de Z_{EUF} que variaron entre 3,0 y 12,6 m. El resto de los sistemas presentó valores altos de Z_{EUF} que variaron entre 20,4 y 56,1 m. A modo de contraste se indica que el sistema con menor Z_{EUF} fue la laguna Aculeo (3,0 m) y el sistema con mayor Z_{EUF} fue el lago Llanquihue (56,1 m).

La **Tabla 11** muestra un patrón geográfico de los valores de Z_{EUF} , ya que muestra que desde el lago Caburgua y hacia el sur hasta el lago Chapo se observan los mayores valores de Z_{EUF} . La excepción al patrón es la laguna del Laja que mostró valores altos de Z_{EUF} , sin embargo, se debe considerar la altitud de este sistema y la lejanía a centros urbanos, factores que aumentan la disponibilidad sub-acuática de irradianza.

El análisis entre la condición hidrodinámica y la profundidad de Z_{EUF} indicó que no hay diferencias de Z_{EUF} asociadas a una condición de estratificación respecto de una condición de mezcla en la columna de agua (**Tabla 11**). Este resultado es particularmente notorio en los lagos Araucanos de la RML, los cuales muestran mayor profundidad y por lo tanto es probable que la mezcla de la columna de agua no alcance el fondo y por lo tanto no haya resuspensión de sedimento.

La razón Z_{EUF}/Z_{MAX} varió entre 3 y 43 % (**Tabla 11**). Los sistemas con una baja razón fueron principalmente los lagos Araucanos, desde el Caburgua y hasta el Chapo de norte a sur, entre los cuales se midió un porcentaje de columna irradiada 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 pequeña porción de la columna de agua en los lagos Araucanos la cual está irradiada y en la cual podría haber síntesis de materia orgánica de origen fotosintético. Desde el lago Lanalhue y hacia el norte, los porcentajes variaron entre 12 y 43 %, con excepción del embalse Rapel que mostró un 6 % de columna irradiada (**Tabla 11**).

Tabla 11. Ambiente lumínico sub-superficial de los lagos y embalses de la RML evaluado a través de la profundidad de la Zona Eufótica (Z_{EUF}). V = verano, P = primavera, O = otoño, I = invierno, Z_{EUF} = Zona eufótica. 1 = Informe técnico 1, 2 = Vila et al. 1986, Montecino (1991), Cabrera & Montecino (1987), 3 = Montecino (1991), Vila et al. 1997, Cabrera & Montecino (1987), Vila et al. 2000, Montecino & Cabrera (1984), 4 = Parra et al. 2003, Valdovinos & Figueroa (2000), 5 = Valdovinos & Pedreros (2007), 6 = Parra et al. 2003, Valdovinos & Figueroa (2000), 7 = Campos (1984), Campos et al. 1987, 8 = Campos et al. 1983, Campos (1984), 9 = Campos et al. 1980, Campos (1984), 10 = Campos (1984), Campos et al. 1981, 11 = Campos (1984), Wöelfl et al. 2003; Campos et al. 1978, Campos et al. 1987, 12 = Campos et al. 1982; Wöelfl (2009), Campos (1992), 13 = Wöelfl (2009), 14 = Campos et al. 1988, Soto (2002), 15 = Campos et al. 1990, Montecino (1991), 16 = Villalobos et al. 2003.

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z _{EUF} , m)	Z _{EUF} /Z _{MAX} (%)
Embalse La Paloma (Z _{MAX} = 69,5 m) ¹	Muro	Estratificación (P-V)	12,6 (3,0 - 27,0)	19
		Mezcla (O-I)	9,6 (1,2 - 24,0)	
Laguna Aculeo (Z _{MAX} = 7,0 m) ²	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	3,0 (0,81 - 9,9)	43
	Puntilla León			
	Casa de Bomba			
Embalse Rapel (Z _{MAX} = 90 m) ³	Muro	Estratificación (P-V)	3,6 (1,5 - 8,7)	6
		Mezcla (O-I)	2,9 (0,3 - 9,0)	
Laguna Grande de San Pedro (Z _{MAX} = 13,5 m) ⁴	Centro	Estratificación (V)	9,0 (6,0 - 12,0)	22
	Desagüe	Mezcla (O-I-P)	11,1 (4,5 - 29,4)	
	Sur			
Laguna del Laja (Z _{MAX} = 135 m) ⁵	Bahía Colorado	Estratificación (V-O)	27,3 (13,5 - 40,5)	19
	Puerto Nuevo	Mezcla (I-P)	20,7 (12,0 - 36,0)	
	Puntilla El Flaco			
	Punta Los Machos	Estratificación (V)	27,6 (22,5 - 32,4)	
		Mezcla (O-I-P)	23,4 (15,0 - 39,3)	
Lago Lanalhue (Z _{MAX} = 25 m) ⁶	Puerto Paleco	Estratificación (P-V)	8,7 (1,5 - 16,5)	12
	Frente a Hostería			
	Playa Blanca	Mezcla (O-I)	7,2 (1,2 - 15,0)	
	Puerto Manzano			
Lago Caburgua (Z _{MAX} = 325 m) ⁷	Centro	Estratificación (V)	39,3 (31,5 - 49,5)	5
	Norte	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 Villarrica (Z _{MAX} = 165 m) ⁸	Molco	Estratificación (V)	20,4 (6,0 - 34,5)	9
	Pucón			
	Villarrica	Mezcla (O-I-P)	25,5 (8,4 - 52,8)	
	La Poza			
Lago Calafquén (Z _{MAX} = 212 m) ⁹	Centro	Estratificación (V)	35,4 (24,0 - 51,0)	7
		Mezcla (O-I-P)	37,2 (22,5 - 49,5)	
	Coñaripe	Estratificación (P-V)	36,9 (24,0 - 51,0)	
	Lican-Ray	Mezcla (O-I)	32,4 (13,5 - 52,5)	
Lago Panguipulli (Z _{MAX} = 268 m) ¹⁰	Centro	Estratificación (V)	36,0 (25,5 - 54,0)	7
	Choshuenco	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)	

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z _{EUF} , m)	Z _{EUF} /Z _{MAX} (%)
Lago Riñihue (Z _{MAX} = 323 m) ¹¹	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 Ranco (Z _{MAX} = 199 m) ¹²	Futrono	Estratificación (V)	47,4 (25,5 - 69,0)	8
	Riñinahue	Mezcla (O-I-P)	41,1 (16,5 - 61,5)	
	Puerto Nuevo			
Lago Maihue (Z _{MAX} = 207 m) ¹³	Centro	Estratificación (V)	35,7 (16,5 - 58,5)	5
	Los Llollles	Mezcla (O-I-P)	25,5 (10,5 - 45,0)	
Lago Llanquihue (Z _{MAX} = 317 m) ¹⁴	Ensenada	Estratificación (V)	56,1 (39,0 - 90,0)	8
	Puerto Varas	Mezcla (O-I-P)	49,8 (28,5 - 90,0)	
	Puerto Octay	Mezcla (P-V-O-I)	45,0 (28,5 - 69,6)	
Lago Todos Los Santos (Z _{MAX} = 337 m) ¹⁵	Islas Margaritas	Estratificación (V)	24,9 (12,0 - 40,5)	6
	Petrohue	Mezcla (O-I-P)	31,5 (7,5 - 64,5)	
	Peulla			
Lago Chapo (Z _{MAX} = 298 m) ¹⁶	Canutillar	Estratificación (P-V)	37,5 (16,5 - 58,2)	6
		Mezcla (O-I)	33,6 (21,3 - 45,0)	
	Centro	Estratificación (V)	41,4 (27,0 - 60,6)	
	Chamiza	Mezcla (O-I-P)	32,4 (16,5 - 51,0)	
Baja Z _{EUF} (3,0 - 12,6 m)		Alta Z _{EUF} (20,4 - 56,1 m)		

4.2.3 Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N / P)

El análisis de la concentración de Nitrógeno y Fósforo en los sistemas acuáticos de la RML mostró dos agrupaciones de sistemas en función del nutriente que estaría limitando la producción biológica (**Tabla 12**). Una primera agrupación estaría compuesta por los sistemas acuáticos de las zonas centro-norte, centro y centro-sur: embalse La Paloma, laguna Aculeo, embalse Rapel, laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue, los cuales presentaron limitación de la producción por Fósforo (**Tabla 12**). La segunda agrupación estaría compuesta por los sistemas acuáticos de la zona sur: Lagos Araucanos y la laguna del Laja, los que presentaron limitación de la producción biológica por Fósforo y/o Nitrógeno.

4.2.3.1 Variación de la razón N_{NIT}/P_{PIT} en función de la condición hidrodinámica de la columna de agua

La condición hidrodinámica de la columna de agua de los lagos y embalses de la RML controló en forma significativa la limitación por nutrientes. Las diferencias de la razón N_{NIT}/P_{PIT} asociadas a las condiciones hidrodinámicas de la columna de agua se presentan en la **Tabla 12**.

El control de la condición de limitación por nutrientes fue variable entre los lagos y estuvo asociado a un patrón geográfico. En los sistemas acuáticos ubicados más al norte (desde el embalse La Paloma hasta el lago Lanalhue), la limitación por Fósforo fue observada independientemente de la condición hidrodinámica de la columna de agua, ya que con mezcla o con estratificación térmica, el Fósforo fue el nutriente limitante de la producción

biológica en la columna de agua (**Tabla 12**). Por el contrario, desde el lago Caburgua y hacia el sur hubo una mayor frecuencia de lagos con limitación por Nitrógeno (celdas coloreadas con verde en la **Tabla 12**) y por limitación de Nitrógeno o Fósforo (celdas coloreadas de rosado), por lo cual se pone en evidencia una mayor importancia del Nitrógeno hacia el sur como el nutriente que limitaría la producción biológica en los sistemas acuáticos continentales. Durante el periodo de mezcla en los lagos de la zona sur ocurrió frecuentemente limitación de la producción por Fósforo mientras que en el periodo de estratificación se detectaron más casos de limitación de la producción por Nitrógeno.

Tabla 12. Valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} (Razón de Redfield) en diferentes condiciones hidrodinámicas en los lagos y embalses de la RML

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	N _{NIT} /P _{PIT}
Embalse La Paloma	Muro	Estratificación (P-V)	P (29 de 43 casos)
		Mezcla (O-I)	P (35 de 52 casos)
Laguna Aculeo	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	P (160 de 178 casos)
	Puntilla León		
	Casa de Bomba		
Embalse Rapel	Muro	Estratificación (P-V)	P (40 de 40 casos)
		Mezcla (O-I)	P (38 de 43 casos)
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Estratificación (V)	P (33 de 63 casos)
	Desagüe	Mezcla (O-I-P)	P (121 de 176 casos)
	Sur		
Laguna del Laja	Bahía Colorado	Estratificación (V-O)	N (92 de 118 casos)
	Puerto Nuevo	Mezcla (I-P)	N (39 de 60 casos)
	Puntilla El Flaco		
	Punta Los Machos	Estratificación (V)	N (19 de 23 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N (20 de 31 casos)
Lago Lanalhue	Puerto Paleco	Estratificación (P-V)	P (99 de 152 casos) P (107 de 151 casos)
	Frente a Hostería		
	Playa Blanca	Mezcla (O-I)	
	Puerto Manzano		
Lago Caburgua	Centro	Estratificación (V)	N (39 de 48 casos)
	Norte	Mezcla (O-I-P)	N-P (56 de 110 casos)
	Desagüe	Estratificación (P-V)	N (24 de 44 casos)
		Mezcla (O-I)	N (29 de 43 casos)
Lago Villarrica	Molco	Estratificación (V)	N (57 de 67 casos)
	Pucón		
	Villarrica	Mezcla (O-I-P)	N-P (103 de 200 casos)
	La Poza		
Lago Calafquén	Centro	Estratificación (V)	N (9 de 15 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N (22 de 39 casos)
	Coñaripe	Estratificación (P-V)	N (33 de 45 casos)
	Lican-Ray	Mezcla (O-I)	N-P (34 de 69 casos)
Lago Panguipulli	Centro	Estratificación (V)	N (24 de 25 casos)
	Choshuenco	Mezcla (O-I-P)	N-P (54 de 104 casos)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	N-P (7 de 13 casos)
		Mezcla (V-O-I)	N-P (17 de 34 casos)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	N-P (88 de 172 casos)
	Bahía Riñihue		
	Enco	Estratificación (V)	N (12 de 16 casos)
		Mezcla (O-I-P)	N-P (39 de 72 casos)
Lago Ranco	Futroneo	Estratificación (V)	N (43 de 60 casos)
	Riñinahue	Mezcla (O-I-P)	N-P (95 de 184 casos)
	Puerto Nuevo		
Lago Maihue	Centro	Estratificación (V)	N (25 de 38 casos)
	Los Lollles	Mezcla (O-I-P)	P (69 de 125 casos)

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	N _{NIT} /P _{PIT}
Lago Llanquihue	Ensenada	Estratificación (V)	N (47 de 59 casos)
	Puerto Varas	Mezcla (O-I-P)	P (94 de 163 casos)
	Puerto Octay	Mezcla (P-V-O-I)	N-P (102 de 202 casos)
	Frutillar		
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas	Estratificación (V)	N (34 de 47 casos)
	Petrohue	Mezcla (O-I-P)	N (87 de 149 casos)
	Peulla		
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	N-P (7 de 12 casos)
		Mezcla (O-I)	P (22 de 36 casos)
	Centro	Estratificación (V)	N (21 de 26 casos)
	Chamiza	Mezcla (O-I-P)	P (40 de 65 casos)

V = verano, P = primavera, O = otoño, I = invierno, N_{NIT} = Nitrógeno inorgánico total (NO₂+NO₃), P_{PIT} = Fósforo inorgánico (P-PO₄)

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

4.2.3.2 Variación estacional de la razón N_{NIT}/P_{PIT}

Las variaciones estacionales de la razón N_{NIT}/P_{PIT} en los sistemas acuáticos de la RML se presentan en la **Tabla 13**. Los valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} medidos en los sistemas ubicados en las zonas centro-norte (embalse La Paloma), centro (laguna Aculeo, embalse Rapel) y centro-sur (laguna Grande de San Pedro y lago Lanalhue) fueron independientes del periodo estacional (celdas coloreadas de amarillo en la **Tabla 13**). La excepción fue la laguna del Laja, en la que se determinó que el Nitrógeno sería el factor limitante de la producción biológica en todo el ciclo anual (**Tabla 13**). Por el contrario, desde el lago Caburgua y hacia el sur hubo una alta frecuencia de eventos de limitación por Nitrógeno, principalmente durante los periodos de primavera y verano (celdas coloreadas con verde en la **Tabla 13**). Una condición constante entre todos los lagos de la zona sur fue que durante inviernos se determinó una limitación por Fósforo de la producción biológica en 15 de los 16 lagos (menos en la laguna del Laja). Cabe mencionar que en otoño también fue frecuente detectar una limitación por Fósforo pero este patrón solo fue encontrado en aproximadamente la mitad de los lagos Araucanos (**Tabla 13**).

La disminución de la concentración de Nitrógeno respecto del Fósforo durante el periodo estival usualmente está asociada a que en primavera y verano ocurre frecuentemente estratificación en los lagos de climas templados y entre ellos, los lagos Araucanos, tal como indicó en este estudio (**numeral 4.2.3.2**). En el 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 subsuperficialmente, lo cual genera un ambiente lumínico favorable para la mayoría de las especies del fitoplancton. 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 observan 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 13. Valores de la razón N_{NIT}/P_{PIT} (Razón de Redfield) medidos en los lagos y embalses de la RML en diferentes periodos estacionales.

Sistema	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Embalse La Paloma	P (19 de 27 casos)	P (16 de 20 casos)	P (13 de 23 casos)	P (16 de 25 casos)
Laguna Aculeo	P (50 de 53 casos)	P (36 de 37 casos)	P (36 de 41 casos)	P (43 de 52 casos)
Embalse Rapel	P (17 de 19 casos)	P (20 de 20 casos)	P (20 de 20 casos)	P (21 de 24 casos)
Laguna Grande de San Pedro	P (56 de 73 casos)	P (38 de 54 casos)	P (33 de 63 casos)	P (27 de 49 casos)
Laguna del Laja	N (12 de 13 casos)	N (39 de 65 casos)	N (78 de 95 casos)	N (41 de 59 casos)
Lago Lanalhue	P (69 de 91 casos)	P (59 de 78 casos)	P (40 de 74 casos)	P (38 de 60 casos)
Lago Caburgua	P (39 de 64 casos)	P (33 de 56 casos)	N (56 de 72 casos)	N (44 de 57 casos)
Lago Villarrica	N (35 de 67 casos) P (32 de 67 casos)	P (45 de 71 casos)	N (57 de 67 casos)	N (39 de 59 casos)
Lago Calafquén	P (29 de 48 casos)	N (13 de 18 casos)	N (29 de 45 casos)	N (34 de 54 casos)
Lago Panguipulli	P (38 de 47 casos)	N (29 de 48 casos)	N (33 de 34 casos)	N (30 de 46 casos)
Lago Riñihue	P (52 de 64 casos)	N (54 de 78 casos)	N (34 de 51 casos)	N (34 de 66 casos) P (32 de 66 casos)
Lago Ranco	P (39 de 68 casos)	N (41 de 57 casos)	N (43 de 60 casos)	P (40 de 59 casos)
Lago Maihue	P (31 de 34 casos)	N (32 de 42 casos)	N (25 de 38 casos)	P (28 de 50 casos)
Lago Llanquihue	P (66 de 98 casos)	N (61 de 104 casos)	N (84 de 113 casos)	P (63 de 104 casos)
Lago Todos Los Santos	P (23 de 39 casos)	N (46 de 49 casos)	N (34 de 47 casos)	P (35 de 60 casos)
Lago Chapo	P (32 de 45 casos)	P (9 de 18 casos) N (9 de 18 casos)	N (25 de 32 casos)	P (25 de 45 casos)

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno; N_{NIT} = Nitrógeno inorgánico total ($NO_2 + NO_3$); N_{NTOT} = Nitrógeno total ($N-NO_2 + N-NO_3 + N_{orgánico}$), P_{PIT} = Fósforo inorgánico ($P-PO_4$); P_{PTOT} = Fósforo total.

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

4.2.4 Análisis de la concentración del nutriente limitante en la columna de agua

4.2.4.1 Sistemas acuáticos limitados por Fósforo

Los lagos de la RML cuya producción biológica estuvo limitada por Fósforo fueron el embalse La Paloma, la laguna Aculeo, el embalse Rapel, la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue.

- **Fósforo inorgánico (P_{PIT})**

El análisis comparativo entre los lagos y embalses limitados por Fósforo mostró que hubo diferencias de la concentración promedio de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) entre ellos. El embalse Rapel presentó la mayor concentración de P_{PIT} (64 ug/l, 3 – 212 ug/l), la cual fue medida en el sector del Muro durante el periodo de mezcla del embalse (**Tabla 14**). La concentración de P_{PIT} disminuyó hasta 14 ug/l (3 -55 ug/l) en el periodo de estratificación de la columna de agua del embalse Rapel. El resto de estos sistemas limitados por Fósforo presentaron concentraciones promedio de P_{PIT} que variaron entre 3 y 11 ug/l (**Tabla 14**). Fue frecuente observar mayor concentración de P_{PIT} durante los periodos de mezcla en estos cinco cuerpos de agua respecto de la concentración observada en los periodos de estratificación.

El análisis temporal de la concentración de Fósforo a una escala intra-anual mostró que la concentración promedio de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) fue baja en todos los periodos estacionales (**Tabla 15**). Frecuentemente, la concentración de P_{PIT} en estos sistemas varió entre 3 y 14 ug/l, con excepción del embalse Rapel, cuya concentración de P_{PIT} varió entre 13 y 89 ug/l (**Tabla 15**). Usualmente, la mayor concentración de P_{PIT} fue detectada en los periodos de otoño e invierno (**Tabla 15**), ello probablemente asociado a la condición de mezcla que presentan estos sistemas en estos periodos. En otoño e invierno, la concentración de P_{PIT} varió entre 8 y 14 ug/l y excepcionalmente el embalse Rapel alcanzó una concentración promedio de 89 ug/l (**Tabla 15**). En los periodos de primavera y verano frecuentemente hubo menores concentraciones de P_{PIT} . Cabe mencionar que la laguna Grande San Pedro y el lago Lanalhue no presentaron significativas diferencias de concentración de P_{PIT} entre los periodos estacionales (**Tabla 15**).

- **Fósforo total (P_{PTOT})**

La laguna Aculeo mostró la mayor concentración promedio de P_{PTOT} (182 ug/l, 28 – 442 ug/l, **Tabla 14**). 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. El embalse Rapel también mostró una concentración promedio alta de P_{PTOT} (118 ug/l, 39 – 395 ug/l), la cual estuvo asociada principalmente al periodo de mezcla del embalse (otoño e invierno) (**Tabla 15**). Las concentraciones promedio de P_{PTOT} más bajas entre estos sistemas limitados por Fósforo fueron encontradas en el lago Lanalhue y en la laguna Grande de San Pedro, en donde se registraron valores promedio entre 17 y 21 ug/l (**Tabla 14**).

Se observó un patrón estacional significativo de variación de la concentración de Fósforo total (P_{PTOT}) en los cinco sistemas limitados por Fósforo. Durante el periodo de verano se

detectó una disminución de la concentración de P_{TOT} respecto de los otros periodos estacionales (**Tabla 15**). Este patrón fue particularmente evidente en la laguna de Aculeo y en los embalses La Paloma y Rapel, ya que la laguna Grande San Pedro y el lago Lanalhue no mostraron diferencias marcadas entre periodos estacionales (**Tabla 15**). El caso más conspicuo ocurrió en la laguna de Aculeo, ya que la concentración promedio de P_{TOT} medida entre otoño, invierno y primavera varió entre 126 y 176 ug/l y la cual disminuyó hasta un promedio de 85 ug/l durante el verano (**Tabla 15**). La concentración de P_{TOT} en el embalse La Paloma medida entre otoño, invierno y primavera varió entre 56 y 125 ug/l y en verano disminuyó a 38 ug/l, patrón similar al detectado en el embalse Rapel, en el cual, la concentración de P_{TOT} entre otoño, invierno y primavera varió entre 92 y 147 ug/l y disminuyó a 72 ug/l en verano (**Tabla 15**).

Tabla 14. Concentración de Fósforo inorgánico total y Fósforo total en diferentes condiciones hidrodinámicas en los lagos limitados en su producción biológica por Fósforo.

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente limitante	Fósforo inorgánico total (P_{PIT}) ug/l	Fósforo total (P_{TOT}) ug/l
Embalse La Paloma	Muro	Estratificación (P-V)	P	11 (3 - 81)	35 (6 - 124)
		Mezcla (O-I)	P	11 (3 - 82)	85 (3 - 363)
Laguna Aculeo	Desagüe	Mezcla (V-O-I-P)	P	7 (3 - 85)	132 (28 - 442)
	Puntilla León				
	Casa de Bomba				
Embalse Rapel	Muro	Estratificación (P-V)	P	14 (3 - 55)	82 (16 - 239)
		Mezcla (O-I)	P	64 (3 - 212)	118 (39 - 395)
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Estratificación (V)	P	4 (3 - 23)	19 (3 - 101)
	Desagüe	Mezcla (O-I-P)	P	5 (3 - 91)	20 (3 - 70)
	Sur				
Lago Lanalhue	Puerto Paleco	Estratificación (P-V)	P	3 (3 - 16)	17 (3 - 63)
	Frente a Hostería				
	Playa Blanca	Mezcla (O-I)	P	4 (3 - 30)	21 (3 - 95)
	Puerto Manzano				

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno

Tabla 15. Variación estacional de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para los lagos y embalses limitados por Fósforo.

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Embalse La Paloma	P	P _{PIT} (ug/l)	10 (3 - 49)	8 (3 - 27)	14 (3 - 81)	11 (3 - 82)
		P _{PTOT} (ug/l)	125 (5 - 363)	56 (6 - 124)	38 (7 - 84)	44 (3 - 272)
Laguna Aculeo	P	P _{PIT} (ug/l)	6 (3 - 32)	3 (3 - 19)	5 (3 - 46)	14 (3 - 85)
		P _{PTOT} (ug/l)	135 (50 - 442)	126 (31 - 350)	85 (43 - 155)	176 (28 - 427)
Embalse Rapel	P	P _{PIT} (ug/l)	89 (42 - 212)	14 (3 - 55)	13 (3 - 52)	39 (3 - 127)
		P _{PTOT} (ug/l)	147 (70 - 395)	92 (18 - 239)	72 (16 - 115)	88 (39 - 266)
Laguna Grande de San Pedro	P	P _{PIT} (ug/l)	8 (3 - 91)	4 (3 - 20)	4 (3 - 23)	4 (3 - 16)
		P _{PTOT} (ug/l)	21 (3 - 70)	15 (7 - 30)	19 (3 - 101)	21 (13 - 53)
Lago Llanquihue	P	P _{PIT} (ug/l)	4 (3 - 30)	3 (3 - 13)	3 (3 - 16)	3 (3 - 20)
		P _{PTOT} (ug/l)	21 (16 - 37)	17 (3 - 51)	17 (3 - 63)	20 (3 - 95)

N = Nitrógeno, P = Fósforo, P_{PTOT} = Fósforo total, P_{PIT} = Fósforo inorgánico total

4.2.4.2 Sistemas acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno

Los sistemas acuáticos de la RML cuya producción biológica estuvo limitada por Fósforo y Nitrógeno fueron los lagos: Caburgua, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo. En estos lagos se observó que la disponibilidad de Nitrógeno es igualmente limitante para la producción biológica que la disponibilidad de Fósforo. En este grupo se incluyó a la laguna del Laja que presentó limitación por Nitrógeno.

• Fósforo inorgánico (P_{PIT})

La concentración promedio de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) entre los lagos Araucanos que presentaron limitación por Fósforo y Nitrógeno varió entre 3 y 14 ug/l. Estos lagos Araucanos presentaron valores mínimos de 3 ug/l y valores máximos que variaron entre 6 y 114 ug/l (**Tabla 16**). Los lagos Araucanos que presentaron los menores valores de concentración de P_{PIT} fueron los lagos Riñihue (estación Enco), Todos Los Santos y Chapo (estación Canutillar). La concentración de P_{PIT} medida en estos tres lagos varió entre 3 y 9 ug/l (**Tabla 16**). Los lagos Araucanos que presentaron los mayores valores de concentración de P_{PIT} fueron los lagos Villarrica, Calafquén (estaciones Coñaripe y Lican-Ray) y Maihue (estación Centro). La concentración máxima de P_{PIT} medida en estos tres lagos varió entre 100 y 114 ug/l (**Tabla 16**). La concentración de P_{PIT} no mostró un patrón de asociación con la condición hidrodinámica de la columna de agua, ya que la variación no dependió de que el sistema estuviese en mezcla o estratificado (**Tabla 16**).

El análisis temporal a una escala estacional de la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) mostró que la concentración de P_{PIT} no fue significativamente variable entre los periodos estacionales (**Tabla 17**). La concentración promedio de P_{PIT} en los lagos Araucanos

obtenida entre el 2000 y el 2008 varió entre 3 y 17 ug/l. Fue muy frecuente encontrar valores de concentración de P_{PT} comprendidos entre 3 y 7 ug/l y los lagos que mostraron estos rangos de concentración fueron los lagos Chapo, Todos Los Santos, Llanquihue, Ranco, Riñihue, Panguipulli, Caburgua y Maihue en la mayor parte del año. Los lagos Villarrica y Calafquén presentaron un rango de concentración anual de P_{PT} que varió entre 12 y 16 ug/l (Villarrica) y entre 4 y 17 ug/l (Calafquén) (**Tabla 17**).

- **Fósforo total (P_{TOT})**

Hubo diferencias entre los lagos en función de la concentración de P_{TOT} . Lagos con menor concentración de P_{TOT} (6 – 10 ug/l) fueron los lagos Todos Los Santos, Llanquihue y Riñihue. Los lagos con valores mayores fueron los lagos Chapo, Maihue, Ranco, Panguipulli y Caburgua y particularmente los lagos Calafquén y Villarrica que presentaron concentraciones comparativamente altas de P_{TOT} (10 – 19 ug/l) (**Tabla 16**).

Hubo un patrón de variación de la concentración de P_{TOT} asociado a la condición estacional de estos lagos (**Tabla 17**). La concentración de P_{TOT} fue frecuentemente mayor durante el verano en relación a los otros periodos estacionales. Durante el verano se detectaron los valores más altos de P_{TOT} durante un ciclo anual para todos los lagos Araucanos (**Tabla 17**). Este resultado es fácilmente explicable debido al aumento del componente planctónico y en general a la proliferación de biomasa de origen autótrofo que ocurre en el periodo estival debido a la mayor irradianza sub-acuática.

- **Nitrógeno inorgánico (N_{NIT})**

En relación a la concentración de Nitrógeno inorgánico total (N_{NIT}), la concentración promedio de N_{NIT} varió entre 9 y 50 ug/l. Todos los lagos Araucanos del estudio presentaron valores mínimos entre 1 y 3 ug/l y valores máximos que variaron entre 148 y 359 ug/l (**Tablas 16**). La concentración de N_{NIT} fue variable y dependió de la condición hidrodinámica que mostraba la columna de agua (**Tabla 16**). Hubo mayor concentración de N_{NIT} durante los periodos de mezcla que en los periodos de estratificación térmica, lo cual fue encontrado en todos los lagos Araucanos de la RML. El rango de concentración de N_{NIT} medido durante el periodo de mezcla varió entre 1 y 359 ug/l mientras que la concentración de N_{NIT} en el periodo de estratificación varió entre 1 y 201 ug/l (**Tabla 16**).

Los lagos Araucanos limitados por Fósforo y Nitrógeno mostraron concentraciones bajas de Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) durante un ciclo anual (**Tabla 18**). La concentración promedio de N_{NIT} obtenida para cada periodo estacional (2000 – 2008) varió entre 7 y 58 ug/l (**Tabla 18**). 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 verano. Los rangos de concentración medidos en primavera y verano variaron entre 7 y 33 ug/l y fueron frecuentes los valores en el rango entre 10 y 20 ug/l. Por el contrario, en otoño e invierno fue mayor el rango de concentración de N_{NIT} , en el cual hubo valores desde 14 hasta 58 ug/l, siendo frecuentes los valores entre 30 y 40 ug/l (**Tabla 18**). Estos resultados son explicables en función del mayor consumo de N_{NIT} por organismos autótrofos que se desarrollan en forma abundante en primavera y verano, ello asociado a la mayor radiación que ocurre en el periodo estival y a la mayor estabilidad de la columna de agua (estratificación) que se genera en verano en los lagos Araucanos.

- **Nitrógeno total (N_{NTOT})**

Los lagos que alcanzaron mayores valores de N_{NTOT} en algún periodo del año fueron los lagos Caburgua, Villarrica, Ranco, Maihue, Llanquihue y Chapo. En estos lagos los mayores valores de N_{NTOT} variaron entre 160 y 209 ug/l (**Tabla 16**). Los lagos con menor concentración promedio de N_{NTOT} fueron Riñihue, Panguipulli, Calafquén y Todos Los Santos, cuyas concentraciones máximas promedio variaron entre 103 y 127 ug/l (**Tabla 16**). 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 18**).

Los lagos que presentaron los mayores valores de concentración de N_{NTOT} también fueron lagos que presentaron un marcado patrón de variación estacional de N_{NTOT} . Hubo frecuentemente menor concentración en invierno y primavera, la cual aumentó en verano y frecuentemente en otoño (**Tabla 18**). Este patrón fue conspicuo en los lagos Caburgua, Ranco, Maihue, Llanquihue y Chapo. Por el contrario, las concentraciones de N_{NTOT} en el lago Villarrica fueron comparativamente uniformes a través de un ciclo anual y también fueron comparativamente altas entre los lagos Araucanos (155 – 163 ug/l, **Tabla 18**).

Tabla 16 Concentración de Fósforo inorgánico total, Nitrógeno inorgánico total, Fósforo total y Nitrógeno total en diferentes condiciones hidrodinámicas en los lagos limitados en su producción biológica por Fósforo y Nitrógeno.

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente limitante	Nitrógeno inorgánico total (N _{NT}) ug/l	Fósforo inorgánico total (P _{PI}) ug/l	Nitrógeno total (N _{NTOT}) ug/l	Fósforo total (P _{PTOT}) ug/l
Laguna del Laja	Bahía Colorado	Estratificación (V-O)	N	28 (1 - 157)	5 (3-16)	101 (62 - 220)	14 (3 - 195)
	Puerto Nuevo	Mezcla (I-P)	N	56 (3 - 201)	7(3-30)	184 (140 - 228)	15 (3 - 80)
	Puntilla El Flaco						
	Punta Los Machos	Estratificación (V)	N	28 (3 - 134)	5 (3 - 19)	132 (91 - 191)	15 (3 - 90)
		Mezcla (O-I-P)	N	38 (1 - 201)	6 (3 - 33)	192 (188 - 197)	13 (3 - 49)
Lago Caburgua	Centro	Estratificación (V)	N	16 (3 - 56)	5 (3 - 29)	128 (2 - 393)	12 (3 - 52)
	Norte	Mezcla (O-I-P)	N-P	23 (1 - 148)	4 (3 - 29)	141 (30 - 317)	8 (3 - 27)
	Desagüe	Estratificación (P-V)	N	22 (1 - 63)	4 (3 - 16)	100 (4 - 215)	14 (3 - 64)
		Mezcla (O-I)	N	20 (1 - 96)	4 (3 - 22)	139 (43 - 307)	7 (3 - 13)
Lago Villarrica	Molco	Estratificación (V)	N	25 (1 - 178)	14 (3 - 52)	156 (28 - 500)	16 (4 - 90)
	Pucón						
	Villarrica	Mezcla (O-I-P)	N-P	47 (1 - 222)	13 (3 - 104)	159 (26 - 408)	19 (2 - 78)
	La Poza						
Lago Calafquén	Centro	Estratificación (V)	N	18 (1 - 66)	12 (3 - 59)	90 (57 - 123)	13 (4 - 28)
		Mezcla (O-I-P)	N	34 (1 - 201)	6 (3 - 21)	96 (6 - 255)	12 (3 - 27)
	Coñaripe	Estratificación (P-V)	N	29 (1 - 201)	12 (3 - 114)	100 (14 - 220)	12 (3 - 40)
	Lican-Ray	Mezcla (O-I)	N-P	37 (1 - 213)	8 (3 - 50)	91 (13 - 258)	13 (4 - 36)
Lago Panguipulli	Centro	Estratificación (V)	N	9 (1 - 44)	7 (3 - 26)	84 (23 - 129)	11 (5 - 21)
	Choshuenco	Mezcla (O-I-P)	N-P	37 (1 - 237)	4 (3 - 18)	105 (18 - 405)	9 (1 - 30)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	N-P	40 (1 - 201)	4 (3 - 16)	86 (17 - 203)	8 (4 - 25)
		Mezcla (V-O-I)	N-P	30 (1 - 151)	4 (3 - 23)	136 (37 - 344)	9 (1 - 22)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	37 (1 - 245)	4 (3 - 36)	79 (8 - 201)	8 (3 - 25)
	Bahía Riñihue						
	Enco	Estratificación (V)	N	23 (3 - 135)	3 (3 - 6)	63 (16 - 107)	7 (5 - 11)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	37 (1 - 226)	5 (3 - 46)	99 (17 - 210)	7 (3 - 15)

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente limitante	Nitrógeno inorgánico total (N _{NIT}) ug/l	Fósforo inorgánico total (P _{PIT}) ug/l	Nitrógeno total (N _{NTOT}) ug/l	Fósforo total (P _{PTOT}) ug/l
Lago Ranco	Futrono	Estratificación (V)	N	25 (3 - 106)	5 (3 - 26)	148 (8 - 442)	16 (7 - 41)
	Riñinahue	Mezcla (O-I-P)	N-P	29 (1 - 237)	5 (3 - 27)	101 (28 - 263)	9 (4 - 26)
	Puerto Nuevo						
Lago Maihue	Centro	Estratificación (V)	N	32 (3 - 159)	10 (3 - 100)	167 (10 - 486)	9 (3 - 33)
	Los Llollles	Mezcla (O-I-P)	P	45 (3 - 250)	5 (3 - 29)	98 (12 - 220)	10 (3 - 34)
Lago Llanquihue	Ensenada	Estratificación (V)	N	23 (3 - 168)	4 (3 - 16)	199 (19 - 565)	7 (2 - 16)
	Puerto Varas	Mezcla (O-I-P)	P	34 (1 - 233)	4 (3 - 23)	119 (16 - 258)	11 (1 - 50)
	Puerto Octay	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	32 (1 - 359)	4 (2 - 44)	145 (3 - 488)	8 (1 - 43)
	Frutillar						
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas	Estratificación (V)	N	27 (3 - 139)	3 (3 - 9)	127 (9 - 443)	10 (4 - 34)
	Petrohue	Mezcla (O-I-P)	N	30 (3 - 289)	4 (3 - 39)	105 (9 - 359)	7 (3 - 23)
	Peulla						
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	N-P	22 (3 - 81)	4 (3 - 7)	129 (34 - 340)	7 (3 - 12)
		Mezcla (O-I)	P	50 (3 - 234)	4 (3 - 26)	145 (59 - 462)	13 (3 - 51)
	Centro	Estratificación (V)	N	36 (3 - 107)	5 (3 - 36)	132 (36 - 717)	7 (3 - 22)
	Chamiza	Mezcla (O-I-P)	P	44 (3 - 178)	4 (3 - 36)	113 (23 - 239)	10 (3 - 48)

Tabla 17. Variación estacional de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para los lagos limitados por Fósforo y Nitrógeno.

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Lago Caburgua	N-P	P _{PIT} (ug/l)	5 (3 - 29)	3 (3 - 10)	5 (3 - 29)	4 (3 - 16)
		P _{PTOT} (ug/l)	7 (3 - 27)	10 (4 - 26)	13 (3 - 64)	7 (3 - 12)
Lago Villarrica	N-P	P _{PIT} (ug/l)	16 (3 - 104)	13 (3 - 70)	14 (3 - 52)	12 (3 - 65)
		P _{PTOT} (ug/l)	19 (7 - 66)	18 (9 - 53)	16 (4 - 90)	19 (2 - 78)
Lago Calafquén	N-P	P _{PIT} (ug/l)	7 (3 - 50)	4 (3 - 7)	17 (3 - 114)	7 (3 - 36)
		P _{PTOT} (ug/l)	12 (5 - 36)	10 (3 - 29)	14 (4 - 40)	12 (4 - 27)
Lago Panguipulli	N-P	P _{PIT} (ug/l)	7 (3 - 9)	5 (3 - 16)	7 (3 - 26)	4 (3 - 18)
		P _{PTOT} (ug/l)	10 (5 - 21)	9 (3 - 30)	11 (5 - 22)	7 (1 - 27)
Lago Riñihue	N-P	P _{PIT} (ug/l)	3 (3 - 3)	7 (3 - 46)	3 (3 - 6)	4 (3 - 29)
		P _{PTOT} (ug/l)	8 (4 - 25)	6 (3 - 12)	9 (5 - 22)	6 (4 - 14)
Lago Ranco	N-P	P _{PIT} (ug/l)	5 (3 - 27)	4 (3 - 13)	5 (3 - 26)	5 (3 - 19)
		P _{PTOT} (ug/l)	11 (5 - 26)	9 (4 - 15)	16 (7 - 41)	7 (4 - 11)
Lago Maihue	N-P	P _{PIT} (ug/l)	3 (3 - 6)	5 (3 - 16)	10 (3 - 100)	6 (3 - 29)
		P _{PTOT} (ug/l)	11 (5 - 26)	10 (3 - 34)	9 (3 - 33)	7 (4 - 17)
Lago Llanquihue	N-P	P _{PIT} (ug/l)	4 (3 - 23)	3 (3 - 3)	4 (2 - 44)	3 (3 - 6)
		P _{PTOT} (ug/l)	10 (4 - 50)	8 (1 - 45)	8 (2 - 43)	10 (1 - 42)
Lago Todos Los Santos	N-P	P _{PIT} (ug/l)	6 (3 - 39)	4 (3 - 16)	3 (3 - 9)	4 (3 - 16)
		P _{PTOT} (ug/l)	7 (3 - 23)	8 (3 - 18)	10 (4 - 34)	6 (3 - 14)
Lago Chapo	N-P	P _{PIT} (ug/l)	6 (3 - 36)	4 (3 - 16)	4 (3 - 36)	4 (3 - 16)
		P _{PTOT} (ug/l)	16 (3 - 51)	7 (3 - 16)	7 (3 - 22)	7 (3 - 14)

Nitrógeno, P = Fósforo, P_{PTOT} = Fósforo total, P_{PIT} = Fósforo inorgánico total

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

Tabla 18. Variación estacional de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) para los lagos y embalse limitados por Fósforo y Nitrógeno.

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna del Laja	N	N _{NIT} (ug/l)	30 (3 - 155)	58 (3 - 201)	31 (3 - 157)	24 (1 - 161)
		N _{TOT} (ug/l)	-	186 (140 - 228)	139 (67 - 220)	62 (62)
Lago Caburgua	N-P	N _{NIT} (ug/l)	29 (1 - 148)	24 (1 - 88)	17 (3 - 62)	14 (1 - 96)
		N _{TOT} (ug/l)	133 (33 - 274)	102 (30 - 212)	117 (2 - 393)	164 (33 - 317)
Lago Villarrica	N-P	N _{NIT} (ug/l)	58 (1 - 188)	48 (1 - 201)	25 (1 - 178)	36 (1 - 222)
		N _{TOT} (ug/l)	163 (57 - 340)	158 (26 - 297)	156 (28 - 500)	155 (47 - 408)
Lago Calafquén	N-P	N _{NIT} (ug/l)	32 (1 - 100)	39 (1 - 201)	19 (1 - 74)	36 (1 - 213)
		N _{TOT} (ug/l)	99 (6 - 258)	87 (14 - 220)	108 (44 - 205)	91 (36 - 172)
Lago Panguipulli	N-P	N _{NIT} (ug/l)	43 (5 - 112)	41 (1 - 201)	9 (1 - 44)	31 (1 - 237)
		N _{TOT} (ug/l)	120 (18 - 405)	91 (17 - 216)	91 (23 - 245)	124 (26 - 229)
Lago Riñihue	N-P	N _{NIT} (ug/l)	29 (1 - 62)	40 (1 - 201)	33 (3 - 216)	41 (1 - 245)
		N _{TOT} (ug/l)	84 (14 - 210)	78 (9 - 137)	68 (8 - 134)	103 (17 - 158)
Lago Ranco	N-P	N _{NIT} (ug/l)	24 (1 - 72)	17 (2 - 71)	25 (3 - 106)	46 (1 - 237)
		N _{TOT} (ug/l)	98 (30 - 263)	76 (28 - 144)	148 (8 - 442)	160 (148 - 178)
Lago Maihue	N-P	N _{NIT} (ug/l)	41 (1 - 190)	23 (3 - 88)	28 (1 - 159)	52 (1 - 250)
		N _{TOT} (ug/l)	96 (12 - 220)	86 (20 - 170)	167 (10 - 486)	111 (24 - 220)
Lago Llanquihue	N-P	N _{NIT} (ug/l)	25 (1 - 80)	37 (3 - 201)	23 (3 - 168)	40 (1 - 359)
		N _{TOT} (ug/l)	117 (16 - 262)	151 (3 - 244)	198 (18 - 565)	99 (30 - 194)
Lago Todos Los Santos	N-P	N _{NIT} (ug/l)	17 (1 - 62)	7 (1 - 33)	23 (2 - 139)	45 (1 - 289)
		N _{TOT} (ug/l)	91 (9 - 359)	108 (44 - 191)	127 (9 - 443)	115 (54 - 276)
Lago Chapo	N-P	N _{NIT} (ug/l)	28 (1 - 99)	11 (1 - 81)	9 (1 - 107)	25 (1 - 234)
		N _{TOT} (ug/l)	131 (25 - 264)	108 (44 - 191)	209 (34 - 717)	135 (52 - 462)

Nitrógeno, P = Fósforo, N_{TOT} = Nitrógeno total, N_{NIT} = Nitrógeno inorgánico total

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

4.2.5 Determinación de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML

La determinación de la condición trófica de los cuerpos de agua de la RML 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 trofia siguiendo los criterios y valores definidos en la clasificación de Smith et al. 1999. Sin embargo, el análisis de la condición trófica fue apoyado por el análisis de la concentración de Fósforo total y Nitrógeno total pero la concentración de estos nutrientes no fueron considerados criterios determinantes.

4.2.5.1 Condición trófica bajo diferentes condiciones hidrodinámicas de la columna de agua

- **Sistemas acuáticos limitados por Fósforo**

El análisis de la concentración de *Clorofila a* en los cuerpos de agua que fueron limitados por Fósforo mostró que la condición de trofia en estos lagos y embalses varió entre niveles de Mesotrofia e Hipereutrofia (**Tabla 19**). Estos sistemas correspondieron al embalse La Paloma, la laguna Aculeo, el embalse Rapel, la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue.

La condición más extrema de trofia fue encontrada en la laguna Aculeo, la cual mostró una condición de Hipereutrofia (**Tabla 19**). La laguna Aculeo presentó una condición de mezcla permanente en la columna de agua que probablemente conlleve a observar esta condición durante todo el año. El lago Rapel y el embalse La Paloma presentaron una condición de Eutrofia y la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue una condición de Mesotrofia (**Tabla 19**).

Los sistemas presentaron la misma condición trófica en forma independiente de la condición hidrodinámica de la columna de agua. Esto ocurrió en todos estos sistemas acuáticos con excepción del embalse La Paloma, sin embargo estas diferencias fueron menores, lo cual permite plantear que tampoco habrían diferencias significativas asociadas a la condición de mezcla o estratificación en el embalse La Paloma (**Tabla 19**).

El análisis de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) para estos sistemas limitados por Fósforo mostró una alta coherencia entre los valores de Fósforo y de Clorofila. En la **Tabla 20** se muestran los resultados de Fósforo total para los sistemas acuáticos limitados por Fósforo. Hubo una mayor concentración de Fósforo total en la laguna Aculeo y en el embalse Rapel, lo cual confirma que estos sistemas presenten los mayores niveles de Hipereutrofia y Eutrofia (**Tabla 20**). Cabe mencionar que los eventos de mezcla que ocurren en la laguna Aculeo y en el embalse Rapel estarían propiciando el aumento de nutrientes y en particular la concentración de Fósforo en la columna de agua, el cual al estar limitando la producción de biomasa estaría generando el aumento de la condición trófica y explicando la condición actual de Eutrofia e Hipereutrofia en estos sistemas acuáticos (**Tabla 20**). Similarmente, la concentración de Fósforo total medida en la laguna Grande San Pedro y en el lago Lanalhue indicó condiciones de Mesotrofia, lo cual es totalmente coincidente con la concentración de *Clorofila a*, tanto en condiciones de mezcla como de estratificación térmica en la columna de agua.

Por lo tanto, en función de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) y de la concentración de *Clorofila a*, la laguna Aculeo sería el sistema con mayor nivel trófico (Hipereutrofia) entre los lagos y embalses de la RML. Los embalses Rapel y La Paloma serían sistemas Eutróficos y la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue serían sistemas Mesotróficos.

Tabla 19. Determinación de la condición trófica en función de la concentración de *Clorofila a* en los lagos y embalses limitados por Fósforo.

Sistema	Condición hidrodinámica	Clorofila a (ug/l)
Embalse La Paloma	Estratificación (P-V)	8,7 (0,30 - 69,90)
	Mezcla (O-I)	11,2 (0,40 - 51,10)
Laguna Aculeo	Mezcla (V-O-I-P)	31,4 (0,10 - 147,10)
Embalse Rapel	Estratificación (P-V)	13,7 (0,80 - 87,10)
	Mezcla (O-I)	9,1 (0,10 - 67,60)
Laguna Grande de San Pedro	Estratificación (V)	4,8 (0,50 - 29,30)
	Mezcla (O-I-P)	4,9 (0,60 - 11,10)
Lago Lanalhue	Estratificación (P-V)	5,4 (0,20 - 30,00)
	Mezcla (O-I)	10,0 (0,60 - 42,60)

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila a
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

Tabla 20. Valores de concentración de Nitrógeno total y Fósforo total y su asociación con la condición trófica en los sistemas acuáticos limitados por Fósforo.

Sistema	Condición hidrodinámica	Nutriente limitante	Nitrógeno total (N _{NTOT}) ug/l	Fósforo total (P _{PTOT}) ug/l
Embalse La Paloma	Estratificación (P-V)	Fósforo	518 (30 - 2.143)	35 (6 - 124)
	Mezcla (O-I)	Fósforo	419 (166 - 1.650)	85 (3 - 363)
Laguna Aculeo	Mezcla (V-O-I-P)	Fósforo	1.278 (22 - 2.951)	132 (28 - 442)
Embalse Rapel	Estratificación (P-V)	Fósforo	1.159 (636 - 1.877)	82 (16 - 239)
	Mezcla (O-I)	Fósforo	1.656 (705 - 2.426)	118 (39 - 395)
Laguna Grande de San Pedro	Estratificación (V)	Fósforo	316 (180 - 573)	19 (3 - 101)
	Mezcla (O-I-P)	Fósforo	293 (132 - 741)	20 (3 - 70)
Lago Lanalhue	Estratificación (P-V)	Fósforo	296 (119 - 758)	17 (3 - 63)
	Mezcla (O-I)	Fósforo	326 (123 - 857)	21 (3 - 95)

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno; N_{NTOT} = Nitrógeno total; P_{PTOT} = Fósforo total

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila <i>a</i>
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 acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno

El análisis de la concentración de *Clorofila a* en los cuerpos de agua que fueron limitados por Fósforo y Nitrógeno indicó una condición generalizada de Oligotrofia en estos lagos (**Tabla 21**). Estos sistemas correspondieron a los lagos Araucanos de la RML y a la laguna del Laja (limitada por Nitrógeno), la cual se ubica a mayor altitud y por lo tanto su dinámica es comparable a los sistemas acuáticos del estudio ubicados más hacia el sur y que constituyen el grupo de los lagos Araucanos.

La condición de Oligotrofia fue encontrada tanto en periodos de estratificación térmica como de mezcla, por lo que la condición hidrodinámica no afectó la condición trófica de estos sistemas monomícticos (**Tabla 21**).

La determinación del nutriente que está limitando la producción biológica (Fósforo o Nitrógeno) mostró que estos sistemas están limitados por Nitrógeno o por Fósforo alternadamente en el tiempo. Este resultado surge de factores estacionales e hidrológicos que modifican la disponibilidad de nutrientes en la cuenca y lo cual genera alternancia de la

condición limitante de la producción de biomasa en estos sistemas acuáticos. Debido a lo anterior, se analizó la concentración de Nitrógeno total y Fósforo total.

El análisis de la concentración de los nutrientes limitantes de la producción biológica en los lagos Araucanos mostró una alta coherencia entre los resultados de la concentración de Nitrógeno total con los resultados de la *Clorofila a*. En la **Tabla 22** se muestran los resultados de Fósforo total y Nitrógeno total para los sistemas acuáticos del estudio que fueron limitados por Fósforo y Nitrógeno. La concentración de Nitrógeno total confirmó que los lagos Araucanos del estudio y la laguna del Laja fueran sistemas oligotróficos (**Tabla 22**). En forma independiente de la condición hidrodinámica de la columna de agua, la concentración de Nitrógeno total fue baja y característica de sistemas oligotróficos (**Tabla 22**), lo cual permite plantear que habría un control significativo de la producción biológica por Nitrógeno en los lagos Araucanos de la RML.

Por el contrario, los resultados de Fósforo total mostraron patrones de trofia diferentes a los indicados por la *Clorofila a*. El análisis de la concentración de Fósforo total confirmó la condición de Oligotrofia solamente para algunos lagos Araucanos (**Tabla 22**). Los lagos Araucanos que mostraron niveles oligotróficos en función de la concentración del Fósforo total fueron los lagos Caburgua (en mezcla), Panguipulli (en mezcla), Riñihue, Ranco (en mezcla), Maihue (en estratificación), Llanquihue, Todos Los Santos (en mezcla) y Chapo (en estratificación). El resto de los lagos mostró concentraciones de Fósforo total que los tipificarían en una condición de Mesotrofia (**Tabla 22**). Los sistemas que presentarían niveles mesotróficos en función de la concentración de Fósforo total fueron la laguna del Laja, el lago Villarrica, el lago Calafquén (en cualquier condición hidrodinámica), los lagos Caburgua, Panguipulli, Ranco y Todos Los Santos cuando está estratificada la columna de agua y los lagos Maihue, Llanquihue y Chapo en condiciones de mezcla (**Tabla 22**).

Tabla 21. Determinación de la condición trófica en función de la concentración de Clorofila *a* en los lagos Araucanos limitados por Nitrógeno (laguna del Laja) y por Nitrógeno y Fósforo.

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Clorofila a (ug/l)
Laguna del Laja	Bahía Colorado	Estratificación (V-O)	1,33 (0,20 - 7,10)
	Puerto Nuevo	Mezcla (I-P)	1,73 (0,30 - 7,40)
	Puntilla El Flaco		
	Punta Los Machos	Estratificación (V)	1,18 (0,20 - 4,50)
		Mezcla (O-I-P)	1,32 (0,10 - 5,90)
Lago Caburgua	Centro	Estratificación (V)	1,27 (0,10 - 5,10)
	Norte	Mezcla (O-I-P)	1,39 (0,10 - 4,50)
	Desagüe	Estratificación (P-V)	1,22 (0,20 - 2,40)
		Mezcla (O-I)	1,42 (0,10 - 3,70)
Lago Villarrica	Molco	Estratificación (V)	1,03 (0,20 - 2,90)
	Pucón		
	Villarrica	Mezcla (O-I-P)	2,56 (0,10 - 11,50)
	La Poza		
Lago Calafquén	Centro	Estratificación (V)	0,39 (0,20 - 0,60)
		Mezcla (O-I-P)	1,16 (0,20 - 3,10)
	Coñaripe	Estratificación (P-V)	0,43 (0,10 - 1,00)
	Lican-Ray	Mezcla (O-I)	1,09 (0,20 - 3,80)
Lago Panguipulli	Centro	Estratificación (V)	0,79 (0,20 - 3,30)
	Choshuenco	Mezcla (O-I-P)	1,61 (0,20 - 4,30)
	Bahía Panguipulli	Estratificación (P)	1,58 (0,60 - 2,90)
		Mezcla (V-O-I)	2,00 (0,40 - 4,20)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (P-V-O-I)	1,65 (0,10 - 7,20)
	Bahía Riñihue		
	Enco	Estratificación (V)	0,49 (0,10 - 1,20)
		Mezcla (O-I-P)	1,59 (0,10 - 5,10)
Lago Ranco	Futroneo	Estratificación (V)	0,24 (0,10 - 0,50)
	Riñinahue	Mezcla (O-I-P)	1,12 (0,10 - 4,50)
	Puerto Nuevo		
Lago Maihue	Centro	Estratificación (V)	0,64 (0,10 - 3,10)
	Los Lloles	Mezcla (O-I-P)	0,97 (0,10 - 8,60)
Lago Llanquihue	Ensenada	Estratificación (V)	0,62 (0,10 - 2,53)
	Puerto Varas	Mezcla (O-I-P)	0,83 (0,10 - 2,70)
	Puerto Octay	Mezcla (P-V-O-I)	0,88 (0,10 - 2,90)
	Frutillar		
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas	Estratificación (V)	0,48 (0,10 - 2,10)
	Petrohue	Mezcla (O-I-P)	0,59 (0,10 - 1,40)
	Peulla		
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-V)	2,81 (0,50 - 7,30)
		Mezcla (O-I)	2,15 (0,40 - 4,30)
	Centro	Estratificación (V)	2,14 (0,20 - 5,80)
	Chamiza	Mezcla (O-I-P)	2,19 (0,40 - 5,20)

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila a
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

Tabla 22. Valores de concentración de Nitrógeno total y Fósforo total y su asociación con la condición trófica en los lagos Araucanos y en la laguna del Laja.

Sistema	Estación	Condición hidrodinámica	Nutriente limitante	Nitrógeno total (N _{NTOT}) ug/l	Fósforo total (P _{PTOT}) ug/l
Laguna del Laja	Bahía Colorado	Estratificación (V-	N	101 (62 - 220)	14 (3 - 195)
	Puerto Nuevo	Mezcla (I-P)	N	184 (140 - 228)	15 (3 - 80)
	Puntilla El				
	Punta Los Machos	Estratificación (V)	N	132 (91 - 191)	15 (3 - 90)
Lago Caburgua	Centro	Mezcla (O-I-P)	N	192 (188 - 197)	13 (3 - 49)
	Norte	Estratificación (V)	N	128 (2 - 393)	12 (3 - 52)
	Desagüe	Mezcla (O-I-P)	N-P	141 (30 - 317)	8 (3 - 27)
		Estratificación (P-Mezcla (O-I)	N	100 (4 - 215)	14 (3 - 64)
Lago Villarrica	Molco	Estratificación (V)	N	139 (43 - 307)	7 (3 - 13)
	Pucón				
	Villarrica	Mezcla (O-I-P)	N-P	156 (28 - 500)	16 (4 - 90)
	La Poza				
Lago Calafquén	Centro	Estratificación (V)	N	159 (26 - 408)	19 (2 - 78)
	Coñaripe	Mezcla (O-I-P)	N	90 (57 - 123)	13 (4 - 28)
		Estratificación (P-Mezcla (O-I)	N	96 (6 - 255)	12 (3 - 27)
	Lican-Ray	Estratificación (V)	N	100 (14 - 220)	12 (3 - 40)
Lago Panguipulli	Centro	Mezcla (O-I)	N-P	91 (13 - 258)	13 (4 - 36)
	Choshuenco	Estratificación (V)	N	84 (23 - 129)	11 (5 - 21)
	Bahía	Mezcla (O-I-P)	N-P	105 (18 - 405)	9 (1 - 30)
	Panguipulli	Estratificación (P)	N-P	86 (17 - 203)	8 (4 - 25)
Lago Riñihue	Desagüe	Mezcla (V-O-I)	N-P	79 (8 - 201)	8 (3 - 25)
	Bahía Riñihue				
	Enco	Estratificación (V)	N	63 (16 - 107)	7 (5 - 11)
		Mezcla (O-I-P)	N-P	99 (17 - 210)	7 (3 - 15)
Lago Ranco	Futroneo	Estratificación (V)	N	148 (8 - 442)	16 (7 - 41)
	Riñinahue	Mezcla (O-I-P)	N-P	101 (28 - 263)	9 (4 - 26)
	Puerto Nuevo				
Lago Maihue	Centro	Estratificación (V)	N	167 (10 - 486)	9 (3 - 33)
	Los Llollés	Mezcla (O-I-P)	P	98 (12 - 220)	10 (3 - 34)
Lago Llanquihue	Ensenada	Estratificación (V)	N	199 (19 - 565)	7 (2 - 16)
	Puerto Varas	Mezcla (O-I-P)	P	119 (16 - 258)	11 (1 - 50)
	Puerto Octay	Mezcla (P-V-O-I)	N-P	145 (3 - 488)	8 (1 - 43)
	Frutillar				
Lago Todos Los Santos	Islas Margaritas	Estratificación (V)	N	127 (9 - 443)	10 (4 - 34)
	Petrohue	Mezcla (O-I-P)	N	105 (9 - 359)	7 (3 - 23)
	Peulla				
Lago Chapo	Canutillar	Estratificación (P-Mezcla (O-I)	N-P	129 (34 - 340)	7 (3 - 12)
			P	145 (59 - 462)	13 (3 - 51)
	Centro	Estratificación (V)	N	132 (36 - 717)	7 (3 - 22)
	Chamiza	Mezcla (O-I-P)	P	113 (23 - 239)	10 (3 - 48)

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno; N_{NTOT} = Nitrógeno total; P_{PTOT} = Fósforo total

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila a
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

4.2.5.2 Variación estacional de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML

- **Sistemas acuáticos limitados por Fósforo**

El análisis de la concentración de *Clorofila a* en los cuerpos de agua que fueron limitados por Fósforo mostró que la condición de trofia en estos lagos y embalses varió entre periodos estacionales (**Tabla 23**). La laguna Aculeo y el embalse Rapel fueron los sistemas más estables en el tiempo, ya que frecuentemente mantuvieron su condición trófica durante el año. En el caso de la laguna Aculeo, fue frecuente la condición de Hipereutrofia (verano-otoño-invierno) y en el embalse Rapel los niveles alcanzaron frecuentemente niveles de Eutrofia (primavera-verano-otoño, **Tabla 23**). La condición trófica del lago Lanalhue alternó entre niveles de Eutrofia (otoño-invierno) y de Mesotrofia (primavera-verano). La laguna Grande de San Pedro y el embalse La Paloma presentaron niveles de Mesotrofia gran parte del año (verano-otoño-invierno) pero en primavera disminuyó la concentración de *Clorofila a* hasta niveles oligotróficos (**Tabla 23**). Fue frecuente observar que los niveles tróficos más bajos de cada sistema fueron observados en el periodo invierno-primavera en relación con el periodo verano-otoño.

Los resultados del análisis estacional de la concentración del nutriente limitante (Fósforo) muestran alta coherencia con los resultados de *Clorofila a*. En la **Tabla 24** se muestran los resultados de Fósforo total para los sistemas acuáticos limitados por Fósforo. La concentración de Fósforo total en la laguna Aculeo y en el embalse Rapel fue alta e indicativa de niveles de Eutrofia e Hipereutrofia (**Tabla 24**). La concentración de Fósforo en la laguna Grande de San Pedro y en el lago Lanalhue indicó niveles de Mesotrofia en estos sistemas durante todo el ciclo anual, lo cual es coherente con los niveles de Mesotrofia indicados para ellos. Sin embargo, la concentración de Fósforo total en el embalse La Paloma indicó valores de Eutrofia e Hipereutrofia, lo cual no confirma la tipificación realizada en términos de la *Clorofila a* (**Tabla 24**). Esta inconsistencia es probable que se genere por la ocurrencia de factores limitantes alternativos a los nutrientes como por ejemplo, la irradiación o alguna condición de la calidad química del agua como por ejemplo, la adición de antialgas que se realiza en el embalse para restringir la proliferación de algas, lo que también pudiera estar limitando la producción biológica en este embalse a pesar de la alta disponibilidad de Fósforo. (**Tabla 24**).

Mediante la integración de los valores de *Clorofila a* en un ciclo anual promedio es posible determinar la condición trófica de los lagos y embalses de la RML. La **Tabla 25** resume los resultados e indica la condición trófica para cada cuerpo de agua.

Tabla 23. Variación estacional de la concentración de *Clorofila a* y de la condición trófica de los lagos y embalses limitados por Fósforo.

Sistema	Nutriente limitante	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Embalse La Paloma (Muro)	P	8,36 (0,90 - 20,70)	3,21 (0,50 - 11,70)	4,24 (0,50 - 23,30)	5,55 (0,40 - 17,50)
Laguna Aculeo	P	29,75 (1,60 - 109,0)	19,16 (0,10 - 64,30)	37,45 (6,30 - 147,10)	42,04 (7,00 - 130,90)
Embalse Rapel (Muro)	P	4,43 (0,10 - 22,60)	13,12 (0,80 - 87,10)	14,35 (1,70 - 64,40)	14,32 (1,30 - 67,60)
Laguna Grande de San Pedro	P	5,41 (2,50 - 10,80)	3,06 (0,60 - 11,10)	4,81 (0,50 - 29,30)	5,88 (2,50 - 10,10)
Lago Lanalhue	P	9,14 (0,60 - 17,70)	5,44 (0,40 - 15,70)	5,38 (0,20 - 30,00)	10,54 (4,40 - 42,60)

Tabla 24. Variación estacional de la concentración Fósforo total y de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML limitados por Fósforo.

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Embalse La Paloma	P	P _{PTOT} (ug/l)	125 (5 - 363)	56 (6 - 124)	38 (7 - 84)	44 (3 - 272)
Laguna Aculeo	P	P _{PTOT} (ug/l)	135 (50 - 442)	126 (31 - 350)	85 (43 - 155)	176 (28 - 427)
Embalse Rapel	P	P _{PTOT} (ug/l)	147 (70 - 395)	92 (18 - 239)	72 (16 - 115)	88 (39 - 266)
Laguna Grande de San Pedro	P	P _{PTOT} (ug/l)	21 (3 - 70)	15 (7 - 30)	19 (3 - 101)	21 (13 - 53)
Lago Lanalhue	P	P _{PTOT} (ug/l)	21 (16 - 37)	17 (3 - 51)	17 (3 - 63)	20 (3 - 95)

V = verano; P = primavera; O = otoño; I = invierno; N_{NTOT} = Nitrógeno total; P_{PTOT} = Fósforo total

Tabla 25. Promedio anual de la concentración de *Clorofila a* en los lagos y embalses de la RML limitados por Fósforo.

Sistema	Nutriente limitante	Media anual de Clorofila a (ug/l)	Rango (ug/l)
Embalse La Paloma (Muro)	P	5,34	0,40 - 23,30
Laguna Aculeo	P	32,10	0,10 - 147,10
Embalse Rapel (Muro)	P	11,56	0,10 - 87,10
Laguna Grande de San Pedro	P	4,79	0,50 - 29,30
Lago Lanalhue	P	7,63	0,20 - 42,60

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila a
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 acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno**

El análisis de la concentración de *Clorofila a* en los cuerpos de agua que fueron limitados por Fósforo y Nitrógeno mostró que la condición de trofia en estos lagos no varió entre periodos estacionales (**Tabla 26**). Todos los lagos Araucanos y la laguna del Laja mostraron una condición de oligotrofia que se mantuvo en el tiempo. La integración de los valores de *Clorofila a* obtenidos en un ciclo anual promedio permitió determinar la condición trófica de los lagos y embalses de la RML. La **Tabla 27** resume los resultados e indica la condición trófica para cada cuerpo de agua.

Tabla 26. Variación estacional de la concentración *Clorofila a* y de la condición trófica de los lagos de la RML limitados por Nitrógeno y Fósforo (lagos Araucanos y laguna del Laja).

Sistema	Nutriente limitante	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna del Laja	N	1,70 (0,90 - 2,30)	1,69 (0,10 - 7,40)	1,36 (0,20 - 7,10)	1,19 (0,30 - 2,80)
Lago Caburgua	N-P	1,31 (0,10 - 4,00)	1,16 (0,10 - 2,30)	1,23 (0,10 - 5,10)	1,63 (0,10 - 4,50)
Lago Villarrica	N-P	2,64 (0,30 - 11,50)	1,99 (0,20 - 7,50)	1,03 (0,20 - 2,90)	3,12 (0,10 - 11,20)
Lago Calafquén	N-P	1,83 (0,40 - 3,80)	0,43 (0,20 - 1,00)	0,42 (0,10 - 1,00)	0,70 (0,30 - 1,30)
Lago Panguipulli	N-P	2,38 (0,60 - 4,30)	1,21 (0,20 - 3,20)	0,82 (0,20 - 3,30)	1,33 (0,30 - 2,70)
Lago Riñihue	N-P	3,30 (1,60 - 7,20)	1,06 (0,10 - 2,80)	0,51 (0,10 - 1,20)	0,91 (0,10 - 2,10)
Lago Ranco	N-P	1,73 (0,50 - 4,50)	0,51 (0,20 - 1,40)	0,24 (0,10 - 0,50)	0,73 (0,10 - 1,00)
Lago Maihue	N-P	0,79 (0,10 - 4,00)	1,19 (0,20 - 2,90)	0,64 (0,10 - 3,10)	1,00 (0,10 - 8,60)
Lago Llanquihue	N-P	1,58 (0,30 - 2,90)	0,39 (0,10 - 1,20)	0,62 (0,10 - 2,54)	0,77 (0,20 - 1,50)
Lago Todos Los Santos	N-P	0,59 (0,10 - 1,20)	0,53 (0,10 - 1,10)	0,48 (0,10 - 2,10)	0,65 (0,10 - 1,40)
Lago Chapo	N-P	1,37 (0,40 - 4,00)	2,90 (1,10 - 5,10)	2,33 (0,20 - 7,30)	2,72 (0,70 - 5,20)

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	<i>Clorofila a</i>
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

Tabla 27. Promedio anual de la concentración de *Clorofila a* en los lagos y embalses de la RML limitados por Fósforo y Nitrógeno.

Sistema	Nutriente limitante	Media anual Clorofila a (ug/l)	Rango (ug/l)
Laguna del Laja	N	1,49	0,10 - 7,40
Lago Caburgua	N-P	1,33	0,10 - 5,10
Lago Villarrica	N-P	2,20	0,10 - 11,50
Lago Calafquén	N-P	0,85	0,10 - 3,80
Lago Panguipulli	N-P	1,44	0,20 - 4,30
Lago Riñihue	N-P	1,45	0,10 - 7,20
Lago Ranco	N-P	0,80	0,10 - 4,50
Lago Maihue	N-P	0,91	0,10 - 8,60
Lago Llanquihue	N-P	0,84	0,10 - 2,90
Lago Todos Los Santos	N-P	0,56	0,10 - 2,10
Lago Chapo	N-P	2,33	0,20 - 7,30

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila a
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

En la **Tabla 28** se indica la concentración de Nitrógeno total para los sistemas acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno. Los resultados del análisis estacional de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) mostraron alta coherencia con los resultados de *Clorofila a* indicados más arriba, ya que los valores indicaron también una condición de Oligotrofia entre periodos estacionales en todos los lagos Araucanos y en la laguna del Laja (**Tabla 28**).

Sin embargo, el análisis de la concentración de Fósforo total indicó que los lagos Araucanos presentan niveles oligotróficos y mesotróficos que alternan entre periodos estacionales. De esta manera se puede indicar que ninguno de los lagos fue permanentemente oligotrófico o mesotrófico a través de un año promedio (**Tabla 29**). Es probable que este patrón se genere por la ocurrencia de variaciones estacionales de factores o condiciones que modifican la disponibilidad estacional de nutrientes (patrón de escurrimiento superficial de la cuenca, condiciones de mezcla, estratificación, consumo por organismos).

En base a los resultados es posible indicar que los lagos Araucanos y la laguna del Laja presentarían frecuentemente condiciones de Oligotrofia y que habría un significativo control de la producción por Nitrógeno. Sin embargo y bajo determinadas condiciones de mayor disponibilidad de Nitrógeno, es probable que el Fósforo pueda limitar la producción generando un aumento de los niveles tróficos en determinados periodos del año en los que estos lagos pudieran alcanzar una condición de Mesotrofia.

Tabla 28. Variación estacional de la concentración de Nitrógeno total y de la condición trófica en los lagos de la RML limitados por Nitrógeno y Fósforo (lagos Araucanos y laguna del Laja).

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna del Laja	N	N _{TOT} (ug/l)	-	186 (140 - 228)	139 (67 - 220)	62 (62)
Lago Caburgua	N-P	N _{TOT} (ug/l)	133 (33 - 274)	102 (30 - 212)	117 (2 - 393)	164 (33 - 317)
Lago Villarrica	N-P	N _{TOT} (ug/l)	163 (57 - 340)	158 (26 - 297)	156 (28 - 500)	155 (47 - 408)
Lago Calafquén	N-P	N _{TOT} (ug/l)	99 (6 - 258)	87 (14 - 220)	108 (44 - 205)	91 (36 - 172)
Lago Panguipulli	N-P	N _{TOT} (ug/l)	120 (18 - 405)	91 (17 - 216)	91 (23 - 245)	124 (26 - 229)
Lago Riñihue	N-P	N _{TOT} (ug/l)	84 (14 - 210)	78 (9 - 137)	68 (8 - 134)	103 (17 - 158)
Lago Ranco	N-P	N _{TOT} (ug/l)	98 (30 - 263)	76 (28 - 144)	148 (8 - 442)	160 (148 - 178)
Lago Maihue	N-P	N _{TOT} (ug/l)	96 (12 - 220)	86 (20 - 170)	167 (10 - 486)	111 (24 - 220)
Lago Llanquihue	N-P	N _{TOT} (ug/l)	117 (16 - 262)	151 (3 - 244)	198 (18 - 565)	99 (30 - 194)
Lago Todos Los Santos	N-P	N _{TOT} (ug/l)	91 (9 - 359)	108 (44 - 191)	127 (9 - 443)	115 (54 - 276)
Lago Chapo	N-P	N _{TOT} (ug/l)	131 (25 - 264)	108 (44 - 191)	209 (34 - 717)	135 (52 - 462)

Condición	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total	Clorofila <i>a</i>
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

Tabla 29. Variación estacional de la concentración Fósforo total y de la condición trófica en los lagos de la RML limitados por Nitrógeno y Fósforo (lagos Araucanos y laguna del Laja).

Sistema	Nutriente limitante	Parámetro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Laguna del Laja	N	P _{PTOT} (ug/l)	6 (6)	16 (3 - 80)	18 (3 - 195)	8 (3 - 16)
Lago Caburgua	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	7 (3 - 27)	10 (4 - 26)	13 (3 - 64)	7 (3 - 12)
Lago Villarrica	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	19 (7 - 66)	18 (9 - 53)	16 (4 - 90)	19 (2 - 78)
Lago Calafquén	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	12 (5 - 36)	10 (3 - 29)	14 (4 - 40)	12 (4 - 27)
Lago Panguipulli	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	10 (5 - 21)	9 (3 - 30)	11 (5 - 22)	7 (1 - 27)
Lago Riñihue	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	8 (4 - 25)	6 (3 - 12)	9 (5 - 22)	6 (4 - 14)
Lago Ranco	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	11 (5 - 26)	9 (4 - 15)	16 (7 - 41)	7 (4 - 11)
Lago Maihue	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	11 (5 - 26)	10 (3 - 34)	9 (3 - 33)	7 (4 - 17)
Lago Llanquihue	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	10 (4 - 50)	8 (1 - 45)	8 (2 - 43)	10 (1 - 42)
Lago Todos Los Santos	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	7 (3 - 23)	8 (3 - 18)	10 (4 - 34)	6 (3 - 14)
Lago Chapo	N-P	P _{PTOT} (ug/l)	16 (3 - 51)	7 (3 - 16)	7 (3 - 22)	7 (3 - 14)

4.2.6 Variación temporal (2000-2008) de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML

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 los registros comprendidos entre el 2000 y 2008 de la concentración del nutriente limitante en cada caso. 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 permitirá evaluar cómo ha ido evolucionando la condición trófica en cada lago o embalse de la RML. A continuación se realiza este análisis para cada lago.

4.2.6.1 Sistemas acuáticos limitados por Fósforo

4.2.6.1.1 Embalse La Paloma

El análisis a largo plazo (2000 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el embalse La Paloma muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Eutrofia y con frecuencia ha presentado Hipereutrofia, condiciones que se han mantenido en el tiempo y las cuales se observan hasta en el 2008 (**Figura 17a**). El análisis temporal de la concentración de

Fósforo inorgánico (P_{PIT}) como nutriente limitante indica que los valores de Fósforo han variado entre rangos mesotróficos y eutróficos pero también se observan valores muy bajos (3 ug/l) que son o están muy cerca del límite de detección analítica (**Figura 17b**). Consecuentemente, los valores de P_{PIT} actuales e históricos permitirían explicar la condición de Eutrofia que ocurre en el embalse La Paloma y lo cual confirma que el Fósforo ha sido el nutriente que ha controlado la producción biológica. En forma consistente, la concentración de P_{PTOT} entre el 2002 y el 2008 indica niveles de Mesotrofia y Eutrofia (**Figura 17c**).

4.2.6.1.2 Laguna Aculeo

El análisis a largo plazo (2000 - 2008) 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 18a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo inorgánico han sido frecuentemente bajos (3 ug/l), valor que representa el límite de detección analítica (**Figura 18b**). Por el contrario, la concentración de P_{PTOT} en el tiempo indica niveles de Hipereutrofia entre el 2002 y el 2008 (**Figura 18c**). Estos resultados indican que la laguna Aculeo ha presentado en forma permanente una abundante biomasa que ha consumido el Fósforo inorgánico y lo cual mantiene una cantidad mínima de este nutriente en el sistema 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.

4.2.6.1.3 Embalse Rapel

El análisis a largo plazo (2000 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el embalse Rapel muestra que este sistema ha presentado históricamente condiciones de Eutrofia e Hipereutrofia, las que se han mantenido en el tiempo y lo que se observa hasta en el 2008 (**Figura 19a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) como nutriente limitante de la producción biológica indica que estos valores han variado entre rangos eutróficos e hipereutróficos a pesar que también se observan valores muy bajos (3 ug/l) (**Figura 19b**). Consecuentemente, los actuales e históricos valores de P_{PIT} permitirían explicar las condiciones de Eutrofia e Hipereutrofia que ocurren en el embalse Rapel y lo cual confirma que el Fósforo ha sido el nutriente que controla la producción biológica en este sistema. Como era predecible, la concentración de P_{PTOT} en el tiempo también indica niveles de Eutrofia e Hipereutrofia entre el 2002 y el 2008 (**Figura 19c**).

4.2.6.1.4 Laguna Grande de San Pedro

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en la laguna Grande de San Pedro muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligo-mesotrofia, la que se ha mantenido hasta el 2008 (**Figura 20a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo han sido bajos y frecuentemente se han observado valores de 3 ug/l que representan el valor límite de detección analítica (**Figura 20b**). Por el contrario, la

concentración de P_{TOT} en el tiempo indica niveles meso-eutróficos entre el 2004 y parte del 2006 y niveles mesotróficos desde el 2006 hasta el 2008 (**Figura 20c**). 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 mantiene una cantidad mínima de este nutriente en el sistema 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-mesotrofia.

4.2.6.1.5 Lago Lanalhue

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Lanalhue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Meso-eutrofia, la que se ha mantenido hasta el 2008 (**Figura 21a**). El análisis temporal de la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) como nutriente limitante de la producción biológica indica que los valores de Fósforo han sido bajos y frecuentemente la concentración ha sido 3 ug/l, lo que representa el límite de detección analítica (**Figura 21b**). Por el contrario, la concentración de P_{TOT} en el tiempo indica niveles meso-eutróficos entre el 2003 y el 2008 (**Figura 21c**). Estos resultados indican que el lago Lanalhue presenta en forma permanente una abundante biomasa que consume el Fósforo inorgánico disuelto (PO_4), la cual mantiene una cantidad mínima de este nutriente disponible en el sistema. De esta manera, el Fósforo se encuentra incorporado en los organismos como Fósforo orgánico y el cual está incorporado en la fracción orgánica y particulada del sistema (por ejemplo, organismos planctónicos). Por lo tanto y debido a que no habría nutrientes disponibles, la producción biológica (biomasa) no aumenta y la condición trófica del lago se mantiene en los niveles actuales de Meso-eutrofia.

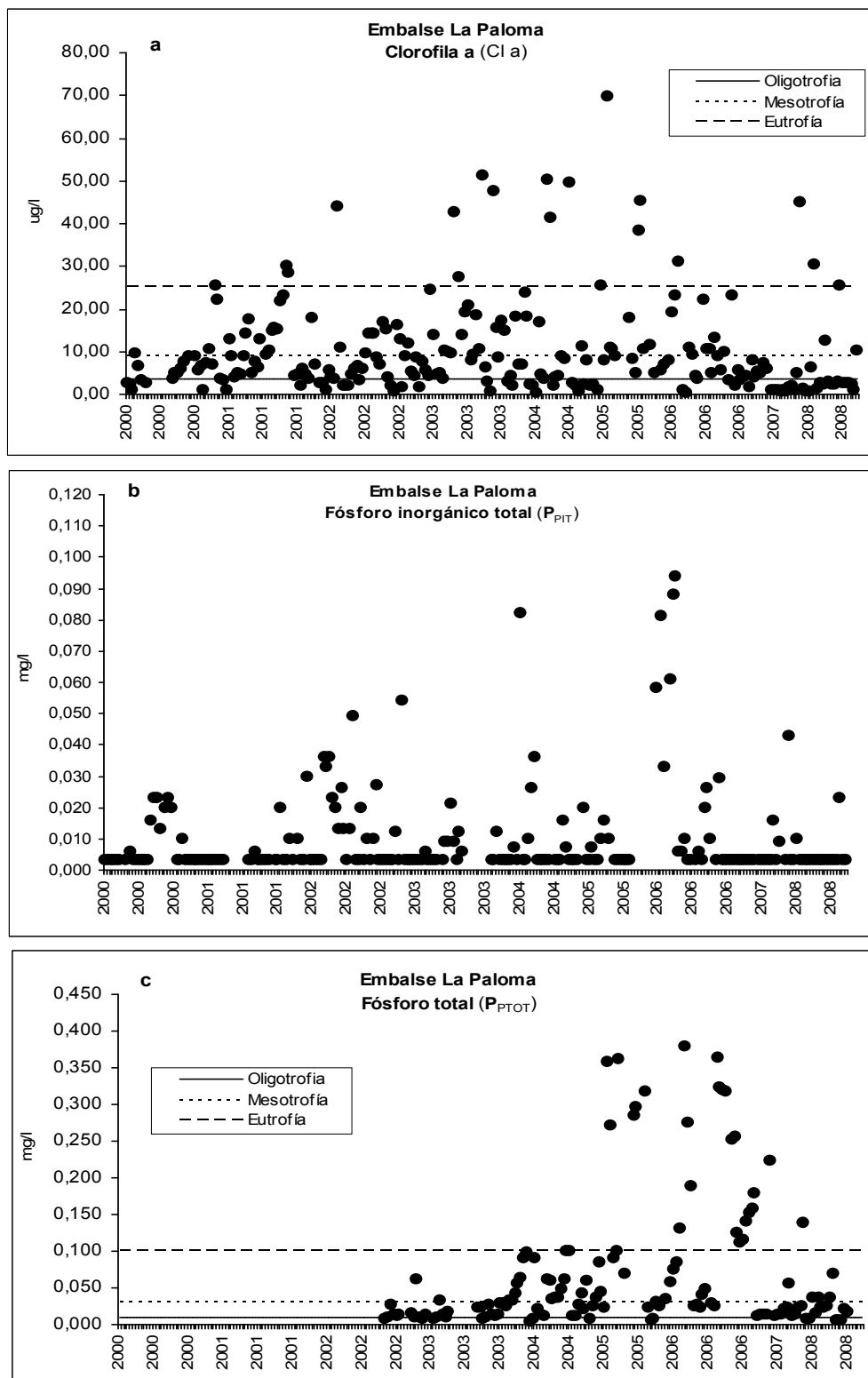


Figura 17. Análisis temporal interanual de la condición trófica del embalse La Paloma. a) *Clorofila a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

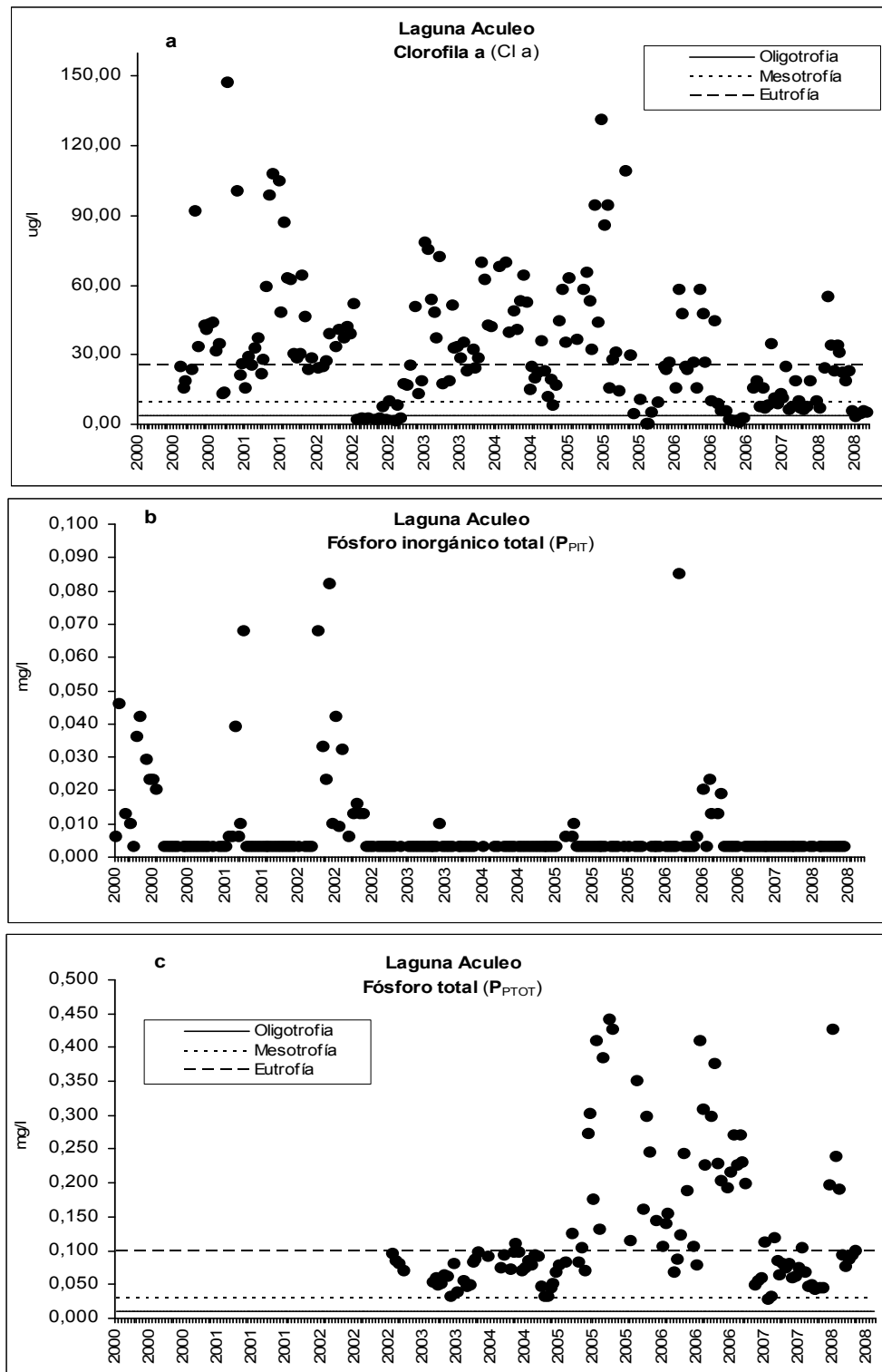


Figura 18. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Aculeo. a) *Clorofila a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

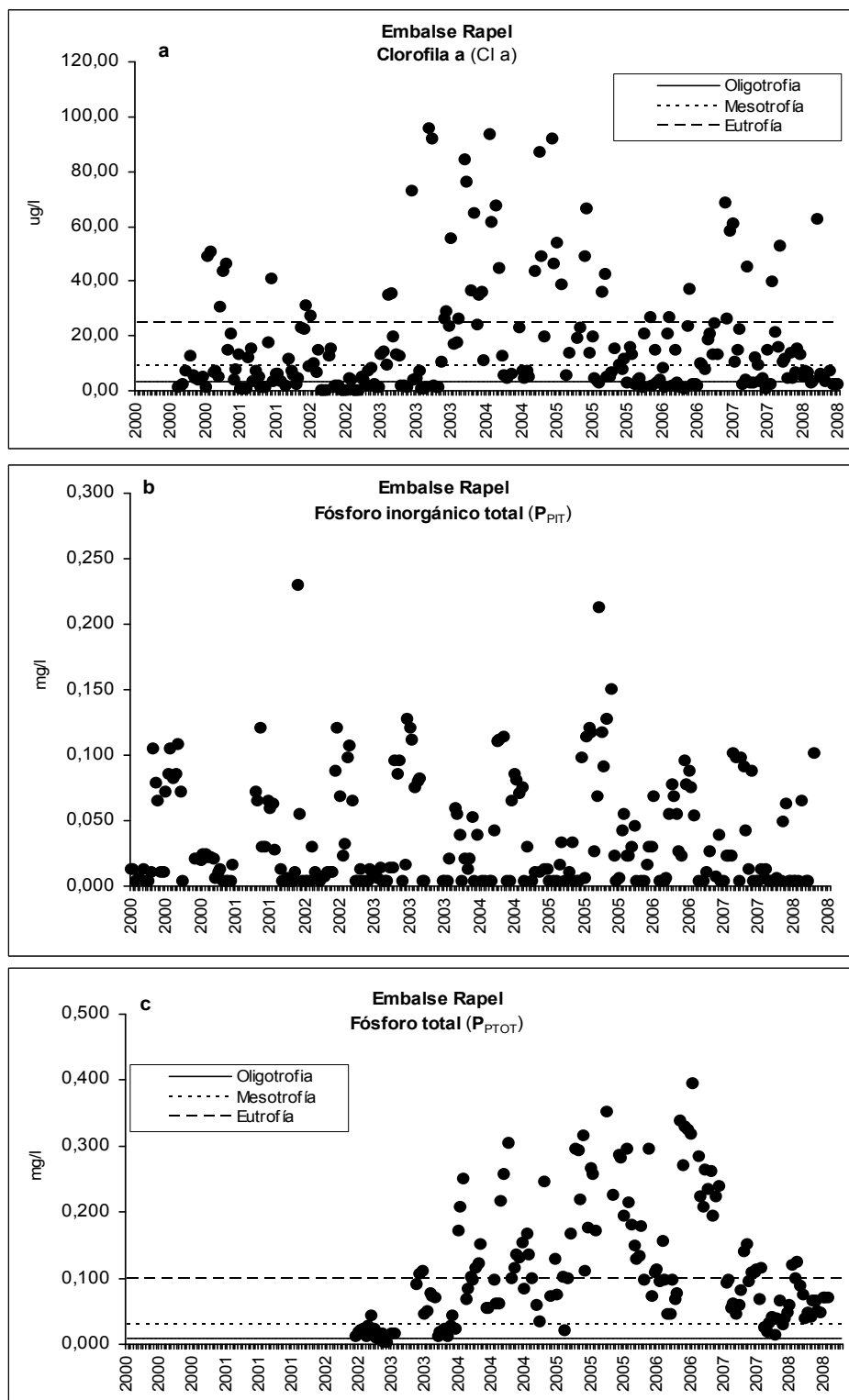


Figura 19. Análisis temporal interanual de la condición trófica del embalse Rapel. a) *Clorofila a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

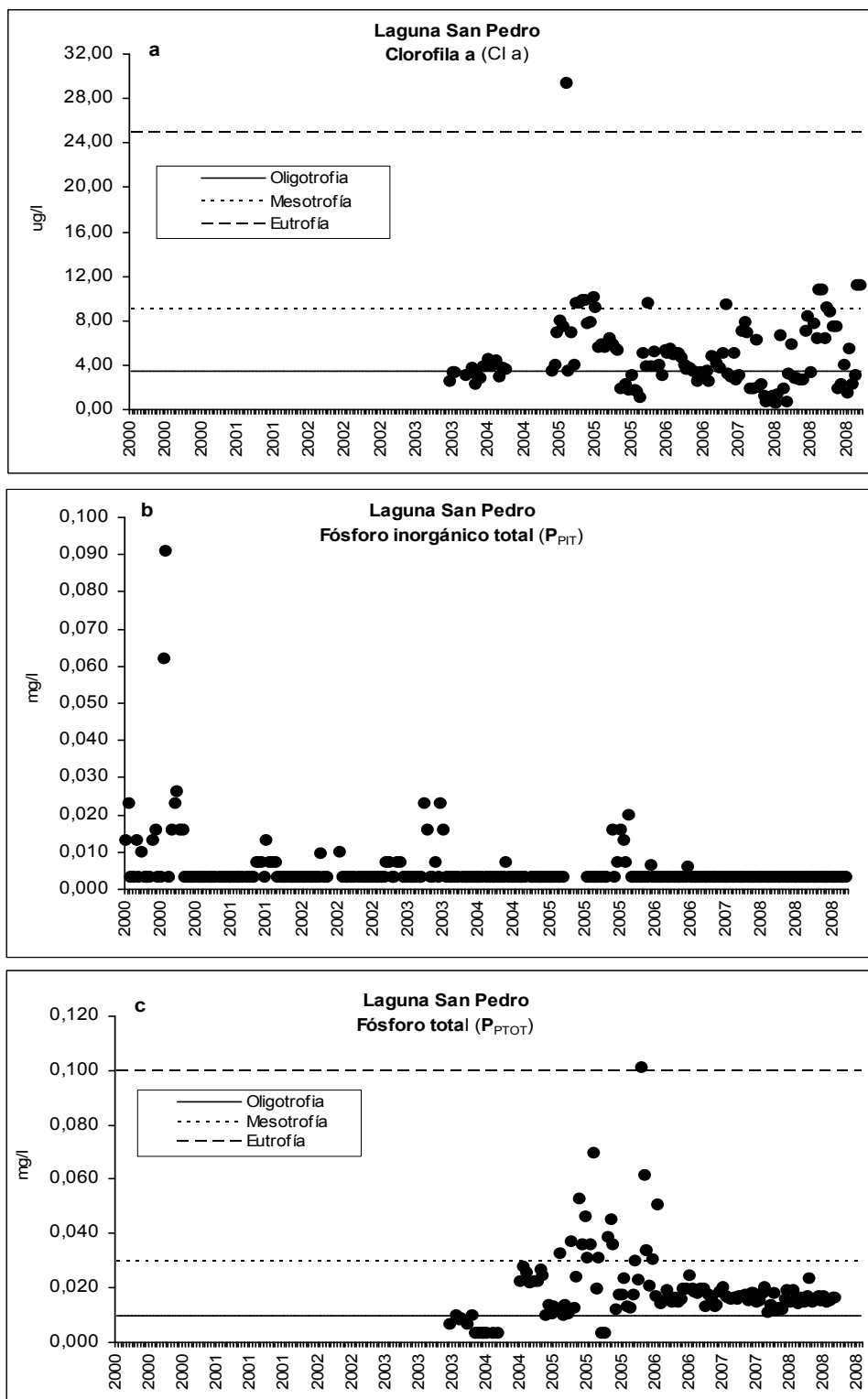


Figura 20. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna Grande de San Pedro. a) *Clorofila a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

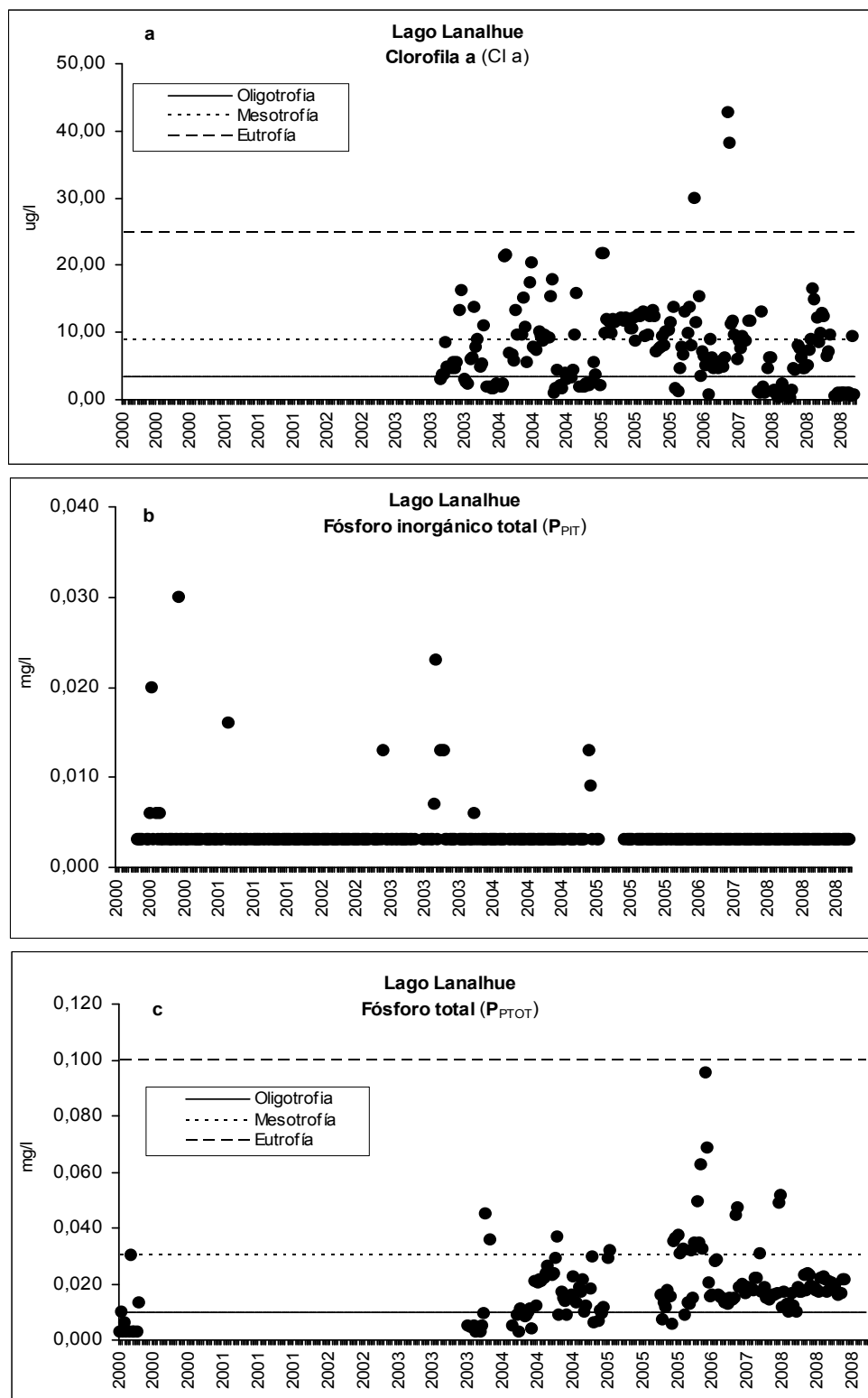


Figura 21. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Lanalhue. a) *Clorofila a*, b) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y c) Fósforo total.

4.2.6.2 Sistemas acuáticos limitados por Fósforo y Nitrógeno

4.2.6.2.1 Laguna del Laja

La laguna del Laja presenta limitación de la producción biológica por Nitrógeno y por ello su análisis fue incluido en el grupo de lagos Araucanos que además tiene mayor similitud en los niveles tróficos. El análisis a largo plazo (2000 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en la laguna del Laja muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia con algunos casos de Mesotrofia entre el 2003 y 2004 (**Figura 22a**). En la actualidad (2008) se observa una marcada y permanente condición de Oligotrofia. El análisis temporal de la concentración de Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) como nutriente limitante de la producción indica que los valores máximos han sido cercanos a 150 $\mu\text{g/l}$ pero han disminuido significativamente desde el 2003 en adelante llegando a alcanzar valores cercanos a 70 $\mu\text{g/l}$ (**Figura 22b**). Estos valores solo podrían generar condiciones de Oligotrofia, lo cual es consistente con la limitación de la producción biológica por Nitrógeno. Los escasos registros disponibles entre el 2004 y parte del 2006 indican que la concentración de N_{NTOT} ha seguido la misma tendencia temporal que la *Clorofila a* y similarmente ha indicado niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 22c**).

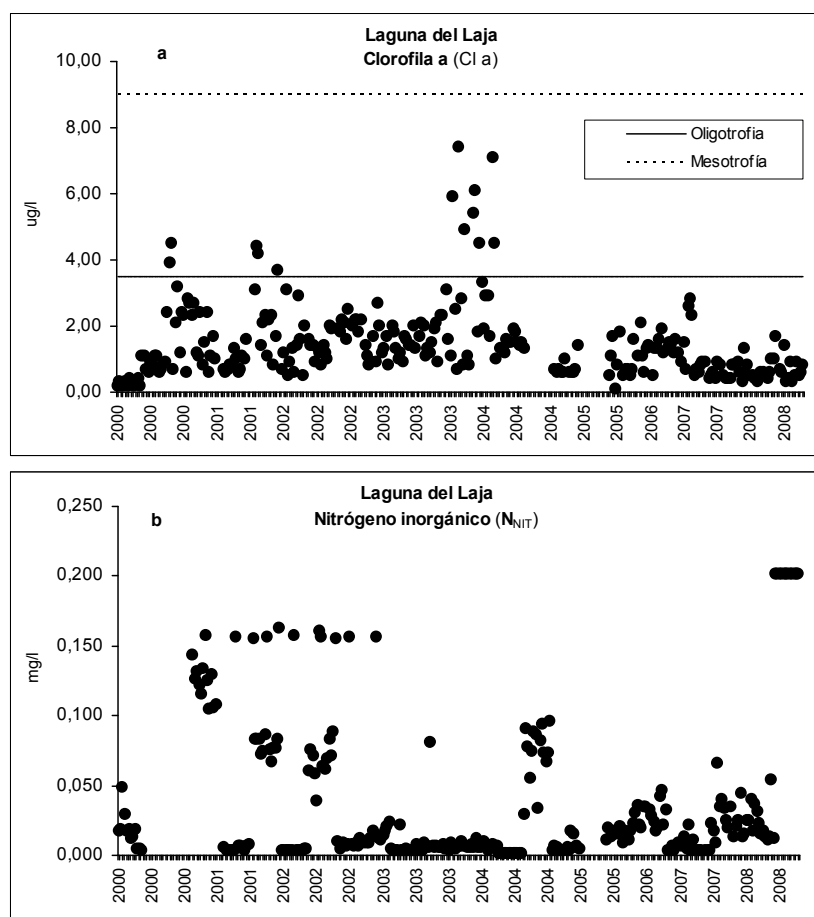


Figura 22. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna del Laja. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

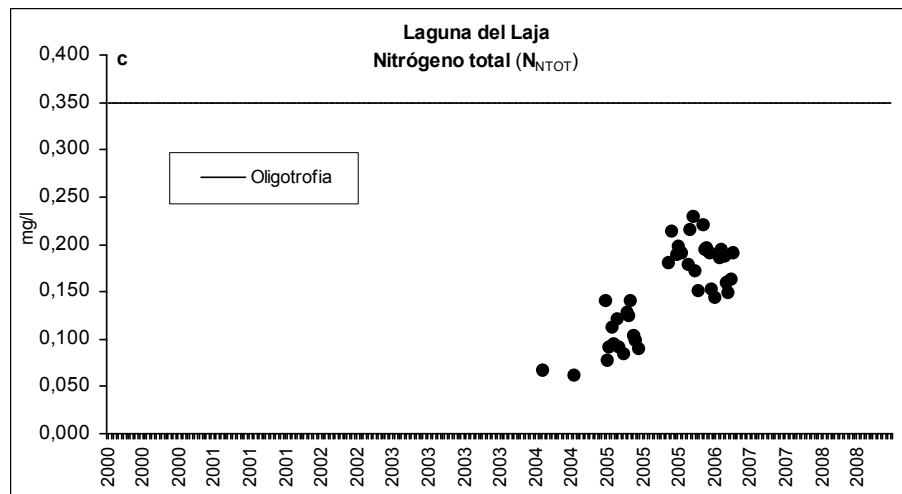


Figura 22. Continuación. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna del Laja. c) (Nitrógeno total).

4.2.6.2.2 Lago Caburgua

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Caburgua muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligo-mesotrofia entre el 2004 y el 2007 y que en el periodo actual (2007 en adelante) muestra una condición de Oligotrofia (**Figura 23a**). El análisis temporal de la concentración de Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) como nutriente limitante de la producción indica que si bien la concentración de N_{NIT} ha aumentado desde el 2005 en comparación a los valores medidos entre el 2002 y el 2004 (**Figura 23b**), los valores máximos alcanzados son cercanos a 90 $\mu\text{g/l}$ y podrían generar solamente condiciones de Oligotrofia. La concentración de N_{NTOT} ha seguido la misma tendencia temporal que la *Clorofila a* y similarmente ha indicado niveles de Oligotrofia a través de los años, lo cual se ha mantenido entre el 2003 y el 2006 (**Figura 23c**). El análisis de Fósforo muestra que la concentración de P_{PIT} ha disminuido en el tiempo ya que a partir del 2007 se observa una mayor frecuencia de valores muy bajos de Fósforo, los que son o están muy cerca del límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$, **Figura 23d**). Los actuales valores de P_{PIT} sólo pueden generar condiciones de Oligotrofia en el lago Caburgua. La concentración de P_{PTOT} también se ha mantenido en el tiempo y la tendencia indica niveles oligotróficos para el lago Caburgua principalmente a partir del 2006 y hasta la actualidad (**Figura 23e**).

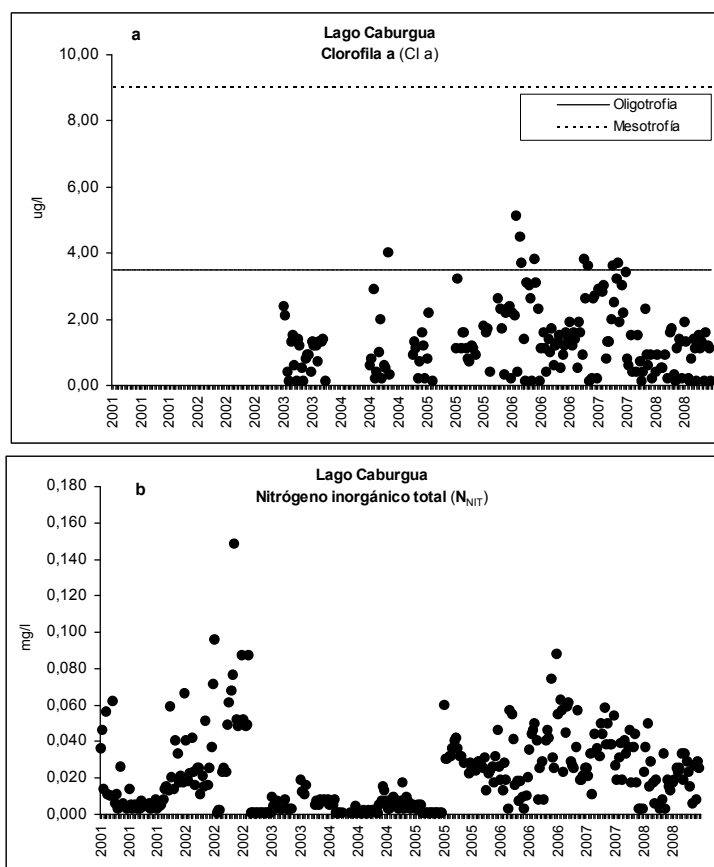


Figura 23. Análisis temporal interanual de la condición trófica de la laguna del Laja. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

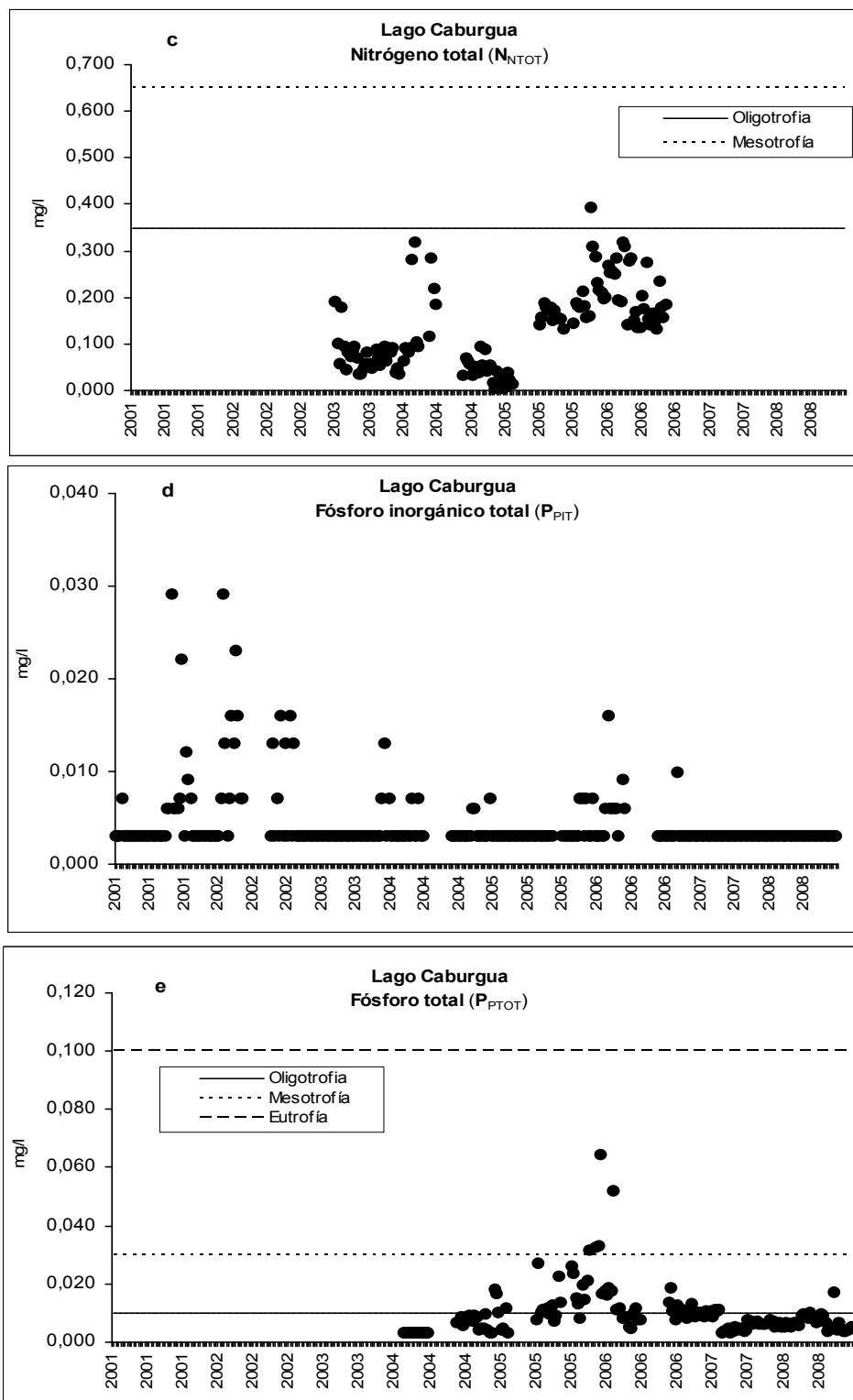


Figura 23 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Caburgua. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.3 Lago Villarrica

El análisis a largo plazo (2000 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Villarrica muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligo-mesotrofia y con varios casos de Eutrofia entre el 2003 y 2007 y que en el periodo actual (parte del 2007 y en adelante) ha disminuido a una condición de Oligotrofia (**Figura 24a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) muestra que la concentración de N_{NIT} ha variado en el tiempo y que han sido frecuentes los valores cercanos a 200 ug/l entre el 2000 y el 2002 y cercanos a 130 ug/l entre el 2005 y el 2008 (**Figura 24b**). La concentración de N_{TOT} muestra niveles de Oligotrofia en el lago Villarrica, lo cual se ha mantenido desde el 2002 hasta el 2006 (**Figura 24c**). Por el contrario, el análisis de Fósforo muestra los valores de P_{PIT} han sido altos y frecuentemente han sido mayores que 30 o 40 ug/l (**Figura 24d**), los cuales podrían explicar la ocurrencia de los niveles de Mesotrofia en este lago. La concentración de P_{TOT} también ha sido alta y frecuentemente ha indicado condiciones de Mesotrofia y eventualmente condiciones de Eutrofia (**Figura 24e**).

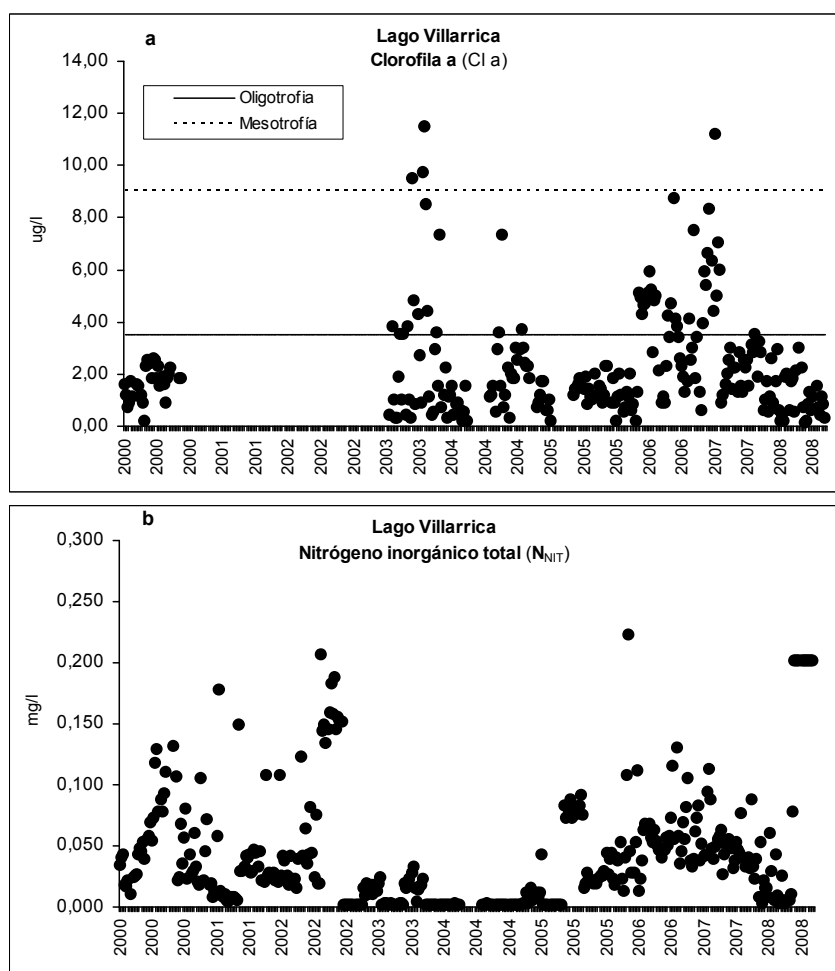


Figura 24. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Villarrica. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

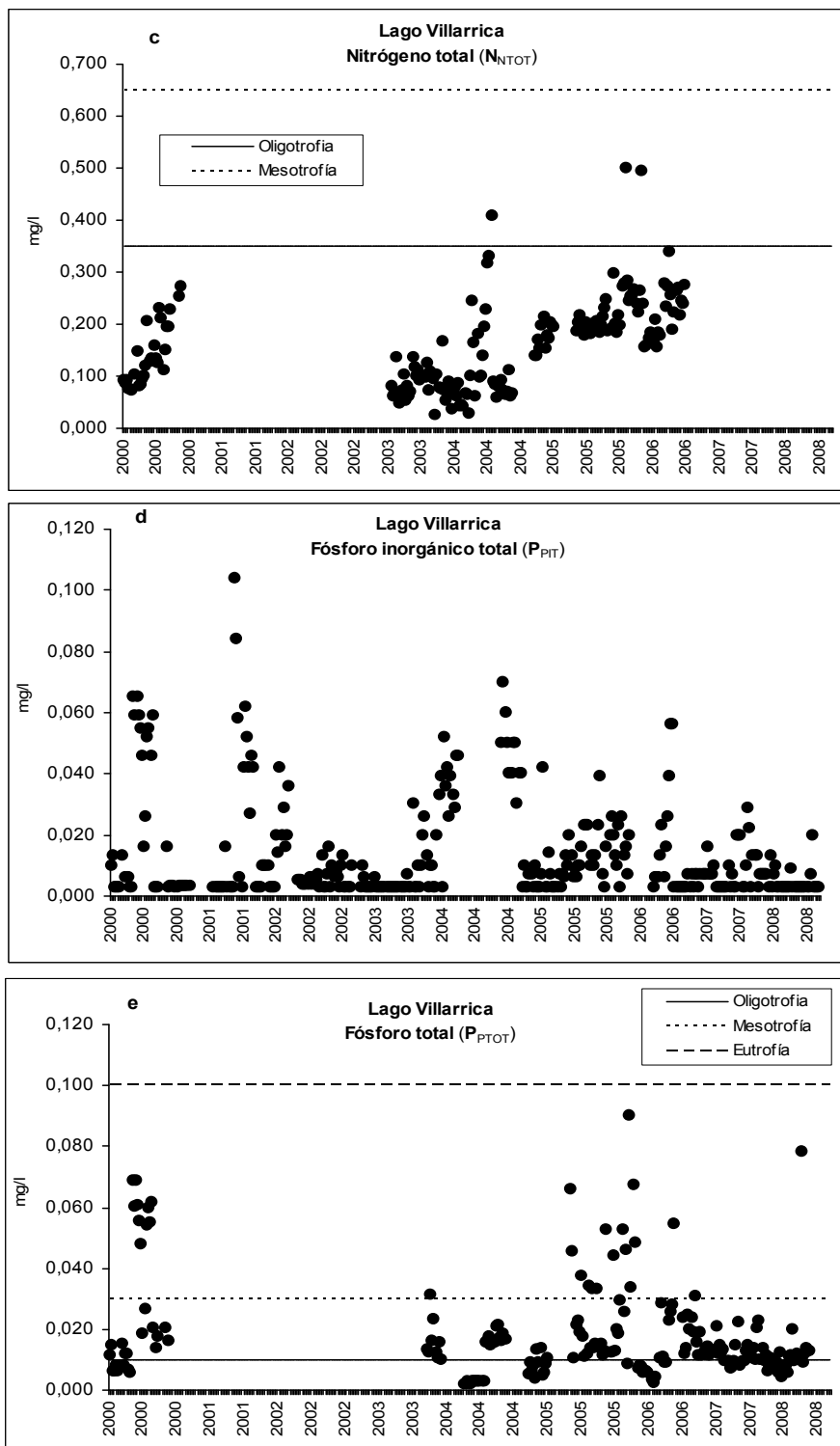


Figura 24 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Villarrica. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.4 Lago Calafquén

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Calafquén muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia entre el 2004 y 2008 pero que en el 2008 se observa un aumento de la condición trófica hasta niveles mesotróficos (**Figura 25a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) muestra que la concentración de N_{NIT} ha aumentado desde el 2005 en relación a los valores medidos entre el 2002 y el 2004 (**Figura 25b**). Las concentraciones máximas de N_{NIT} que se han alcanzado en todo el periodo de estudio están cerca de 100 ug/l, valores que podrían generar solamente hasta niveles de Oligotrofia. La concentración de N_{NTOT} ha seguido la misma tendencia temporal que la *Clorofila a* y ha indicado niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia desde el 2003 y hasta la actualidad (**Figura 25c**). El análisis de Fósforo muestra que la concentración de P_{PIT} ha disminuido desde el 2005 hasta el 2008 hasta valores muy bajos que son o están muy cerca del límite de detección analítica (3 ug/l, **Figura 25d**). La concentración actual de P_{PIT} puede generar condiciones de Oligotrofia. La concentración de P_{PTOT} ha sido variable en el tiempo y ha disminuido desde niveles mesotróficos (2005 – 2006) hasta niveles oligotróficos (2006 – 2008) (**Figura 25e**).

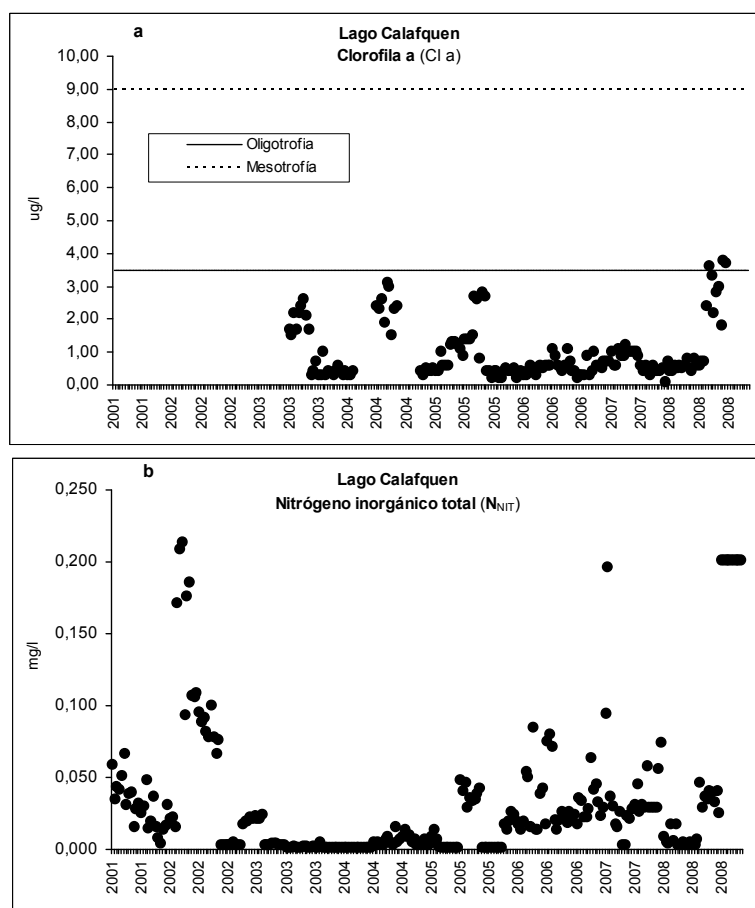


Figura 25. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Calafquén. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

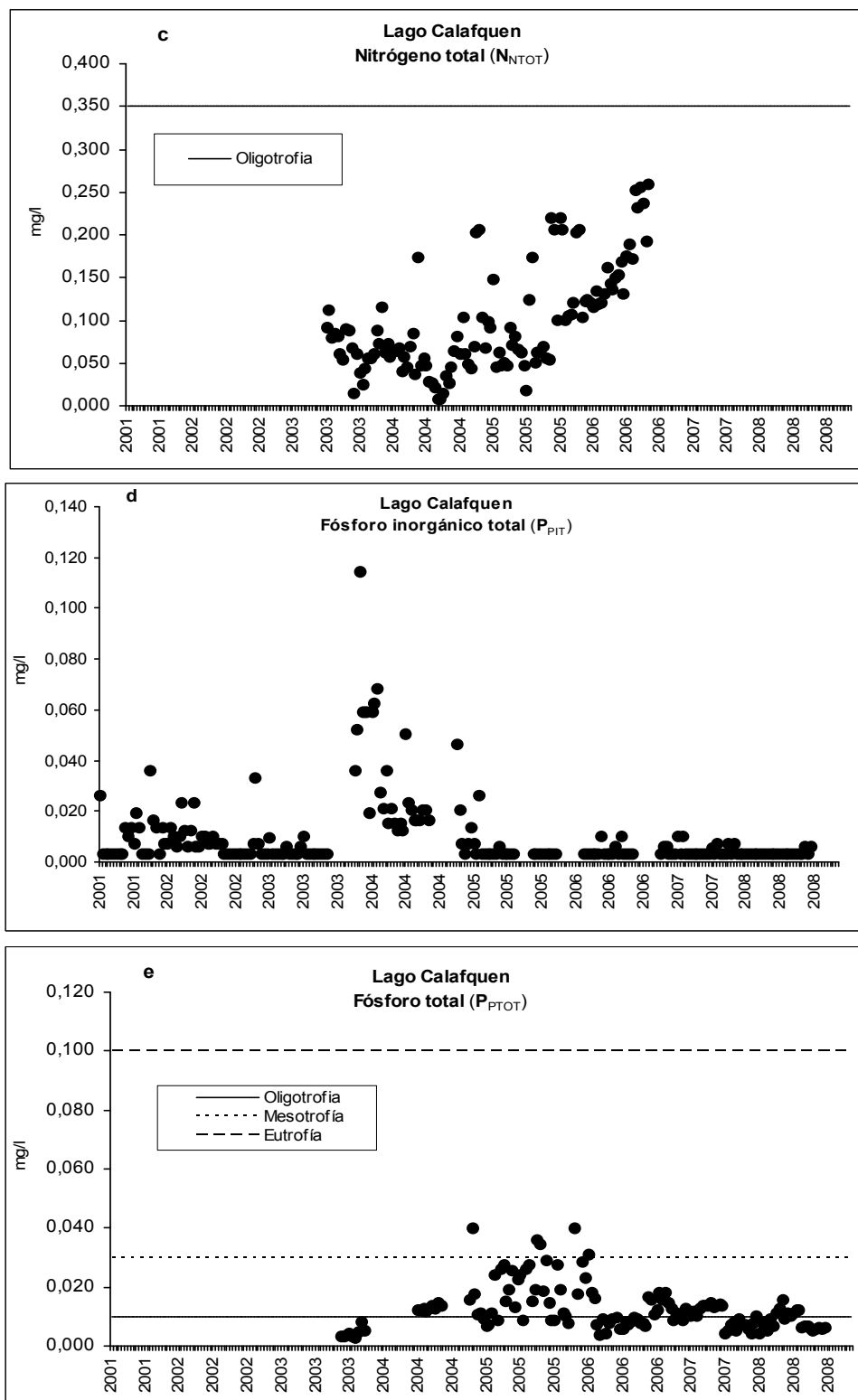


Figura 25 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Calafquén. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.5 Lago Panguipulli

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) 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 2008 (**Figura 26a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno) muestra una alta variación de la concentración de N_{NIT} desde el 2000 hasta el 2008 (**Figura 26b**). Sin embargo, las concentraciones máximas que se han alcanzado en todo el periodo de estudio han sido cercanas a 200 $\mu\text{g/l}$, valores que han podido producir una condición de Oligotrofia en este sistema. La concentración de N_{TOT} ha seguido la misma tendencia temporal que la *Clorofila a* y ha indicado niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia a través de los años y hasta el 2006 ya que no se cuenta con registros más recientes (**Figura 26c**). El análisis de Fósforo muestra que la concentración de P_{PIT} ha variado históricamente (2000-2008) y que los valores más frecuentes son muy bajos (3 $\mu\text{g/l}$, **Figura 26d**). La concentración actual de P_{PIT} solamente puede generar condiciones de Oligotrofia. La concentración de P_{TOT} ha sido variable en el tiempo y ha disminuido desde niveles mesotróficos (2004 – 2006) hasta niveles oligotróficos (2006 – 2008) pudiendo plantear que en la actualidad este lago está oligotrófico en función de la concentración de Fósforo (**Figura 26e**).

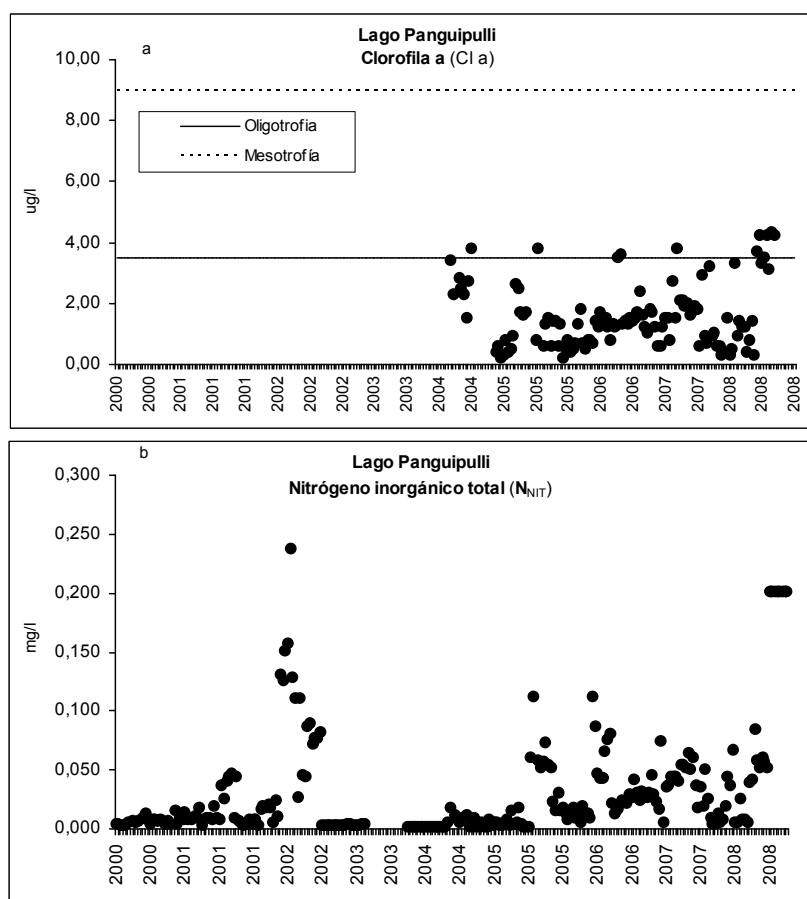


Figura 26. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Panguipulli. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

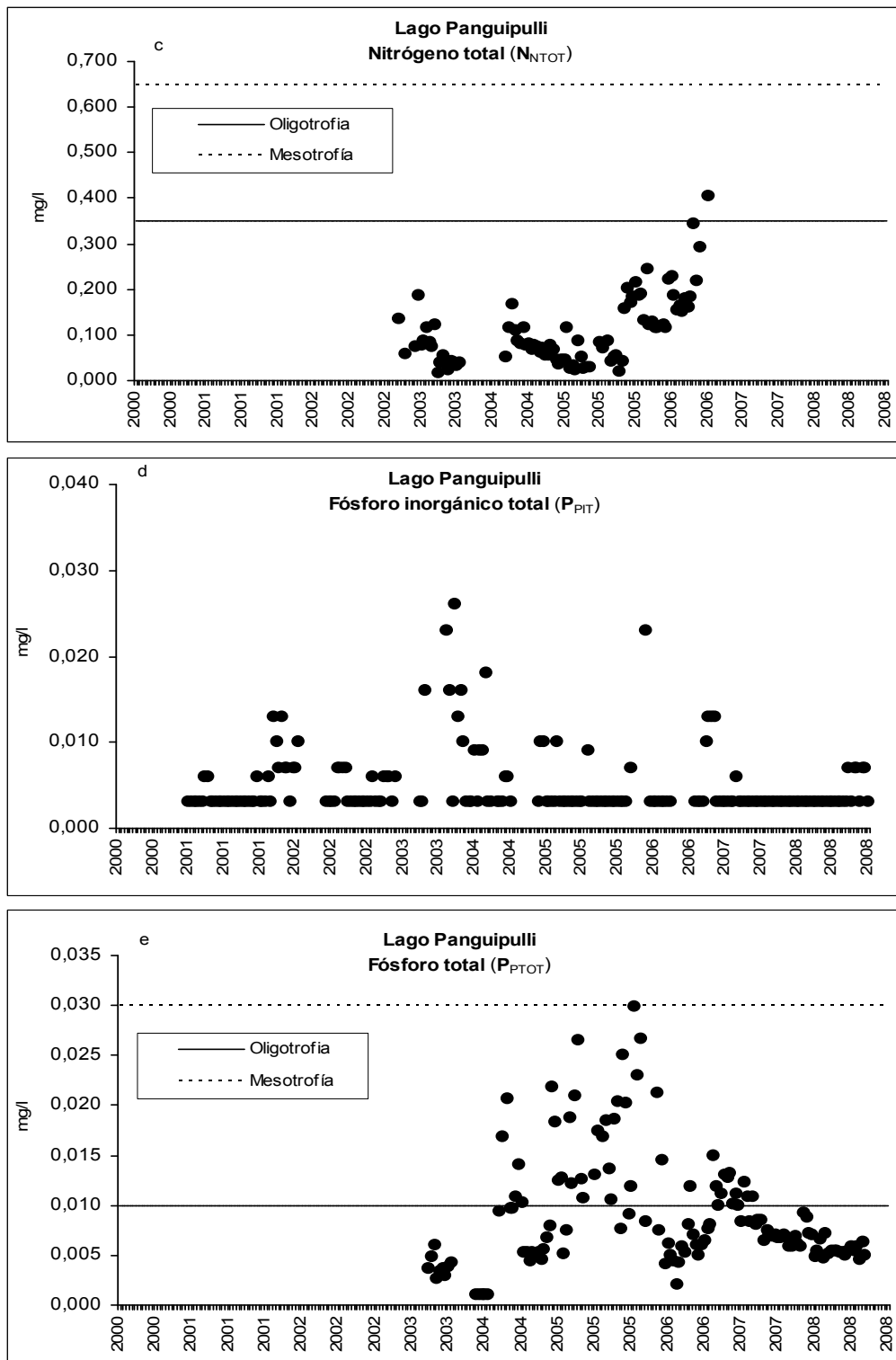


Figura 26 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Panguipulli. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.6 Lago Riñihue

El análisis a largo plazo (2004 - 2008) 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 parte del 2008 pero que en el 2008 se observa un aumento de la condición trófica hacia niveles mesotróficos (**Figura 27a**). El análisis temporal de la concentración del nutriente limitante (Nitrógeno, N_{NIT}) muestra que las concentraciones máximas de N_{NIT} desde el 2001 y hasta el 2008 han sido frecuentemente cercanas a 90 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema. Cabe destacar que ha habido valores puntuales de 200 $\mu\text{g/l}$ medidos en el 2008 que podrían explicar un aumento de la trofia pero que tampoco permiten explicar niveles de Mesotrofia (**Figura 27b**). La concentración de N_{TOT} indica niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia entre el 2003 y 2006 (**Figura 27c**). El análisis de Fósforo muestra que la concentración de Fósforo inorgánico (P_{PIT}) en el tiempo también podría limitar la producción biológica ya que han habido frecuentes valores muy bajos y cercanos al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$, **Figura 27d**) que explicarían una condición recurrente de Oligotrofia antes del 2008 pero que no explican la condición actual de Mesotrofia. La concentración de P_{TOT} ha indicado que históricamente ha habido niveles de Fósforo que tipificarían al lago Riñihue como un sistema oligo-mesotrófico pero a partir del 2007 los niveles han disminuido a oligotróficos (**Figura 27e**).

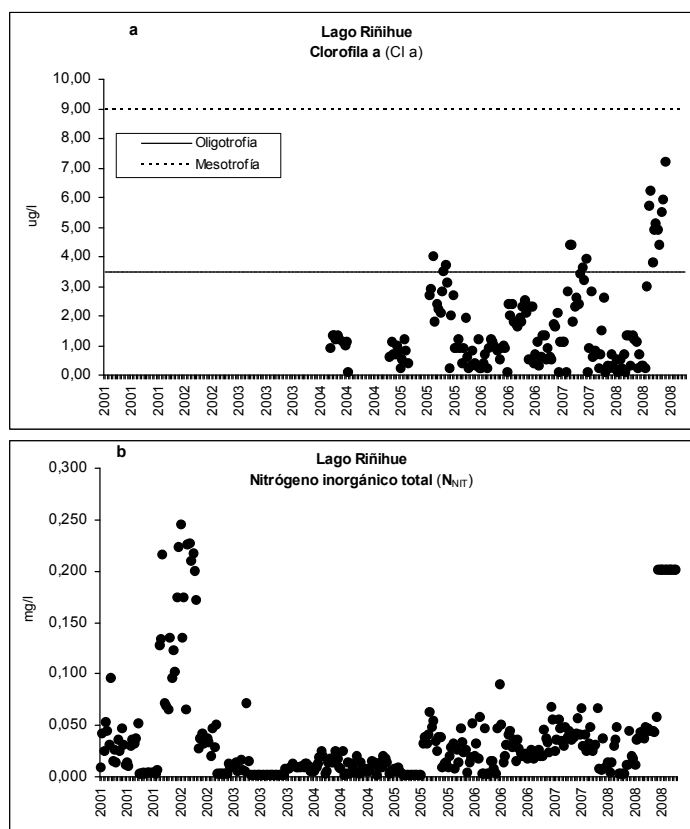


Figura 27. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Riñihue. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

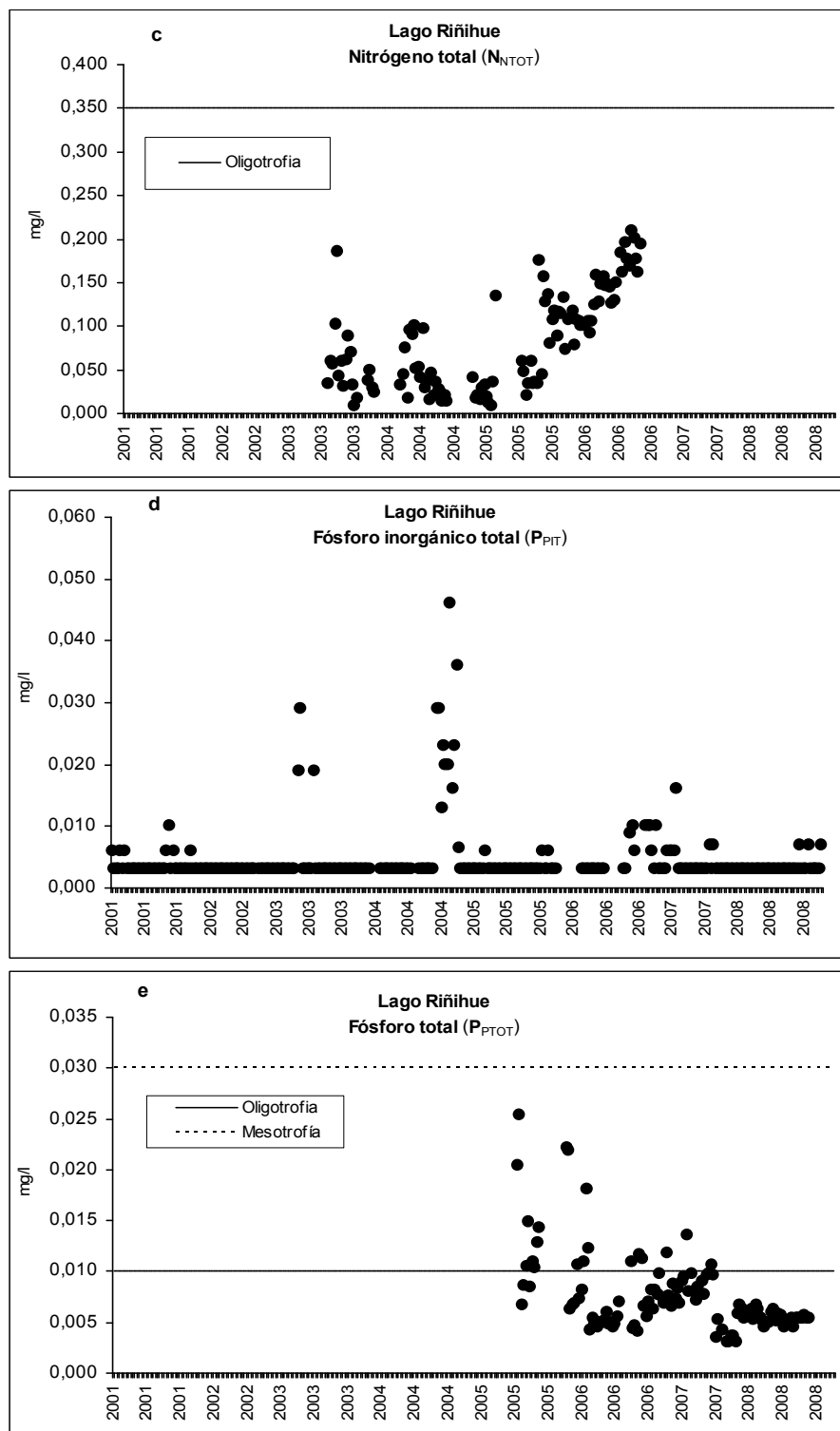


Figura 27 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Riñihue. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.7 Lago Ranco

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Ranco muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia, la cual se ha mantenido hasta el 2008 (**Figura 28a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno como un nutriente limitante muestra que las concentraciones máximas de N_{NIT} desde el 2001 y hasta el 2008 han sido frecuentemente cercanas a 100 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 28b**). La concentración de N_{TOT} ha indicado niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia entre el 2004 y 2006 (**Figura 28c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (P_{PIT}) indica que también podría ser limitante de la producción y 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 (**Figura 28d**). Consecuentemente, la concentración de P_{TOT} ha indicado que históricamente ha habido niveles de Fósforo que tipificarían al lago Ranco como un sistema oligo-mesotrófico, sin embargo a partir del 2007 y hasta el 2008 los niveles son oligotróficos (**Figura 28e**).

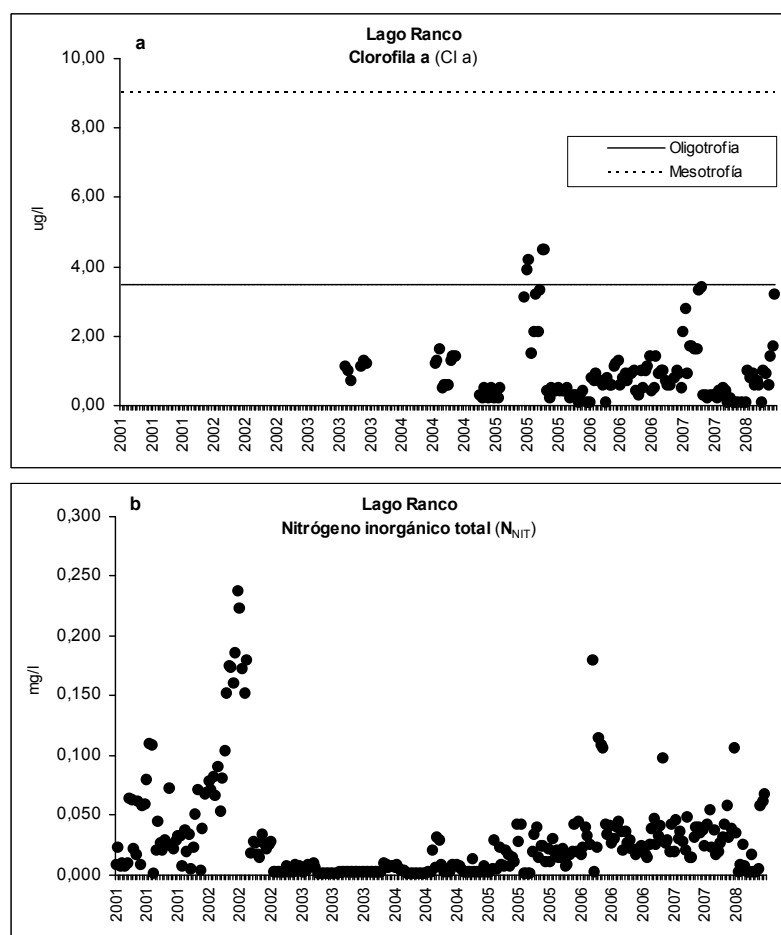


Figura 28. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Ranco. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

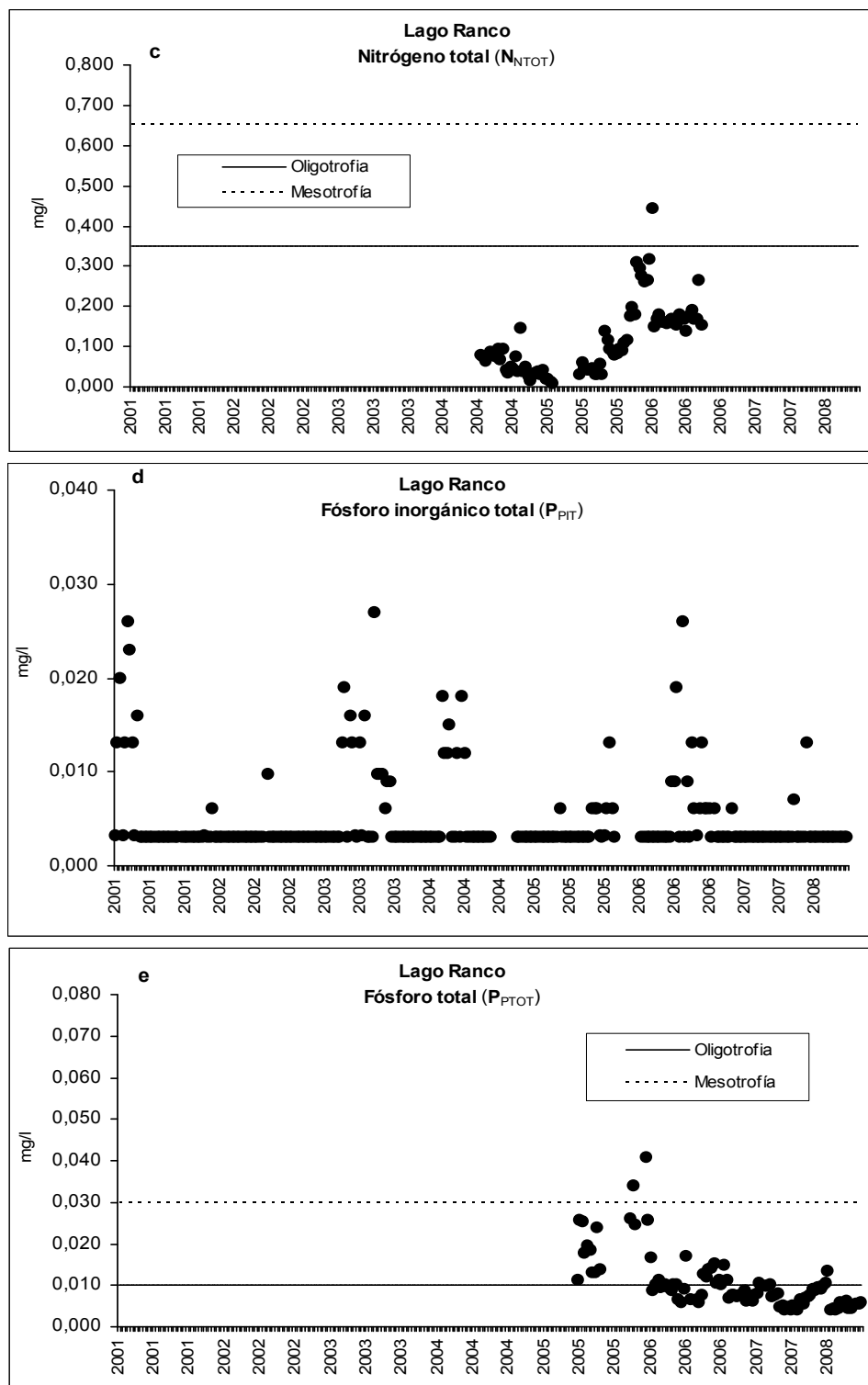


Figura 28 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Ranco. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.8 Lago Maihue

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) 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 2008 (**Figura 29a**). 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 2001 y hasta el 2008 han sido frecuentemente cercanas a 150 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia (**Figura 29b**). Similarmente, la concentración de N_{TOT} ha indicado generalmente niveles de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia entre el 2003 y 2005 (**Figura 29c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (Fósforo inorgánico, P_{PIT}) ha mostrado que la concentración de P_{PIT} ha sido frecuentemente cercana al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$) con excepción de algunos casos puntuales de mayor concentración (**Figura 29d**). Sin embargo, la concentración de P_{TOT} no refleja los niveles oligotróficos de P_{PIT} ya que se detectan niveles de P_{TOT} que tipificarían al lago Maihue como un sistema oligo-mesotrófico en gran parte del registro histórico. Sin embargo, a partir del 2007 y hasta el 2008 los niveles son oligotróficos (**Figura 29e**).

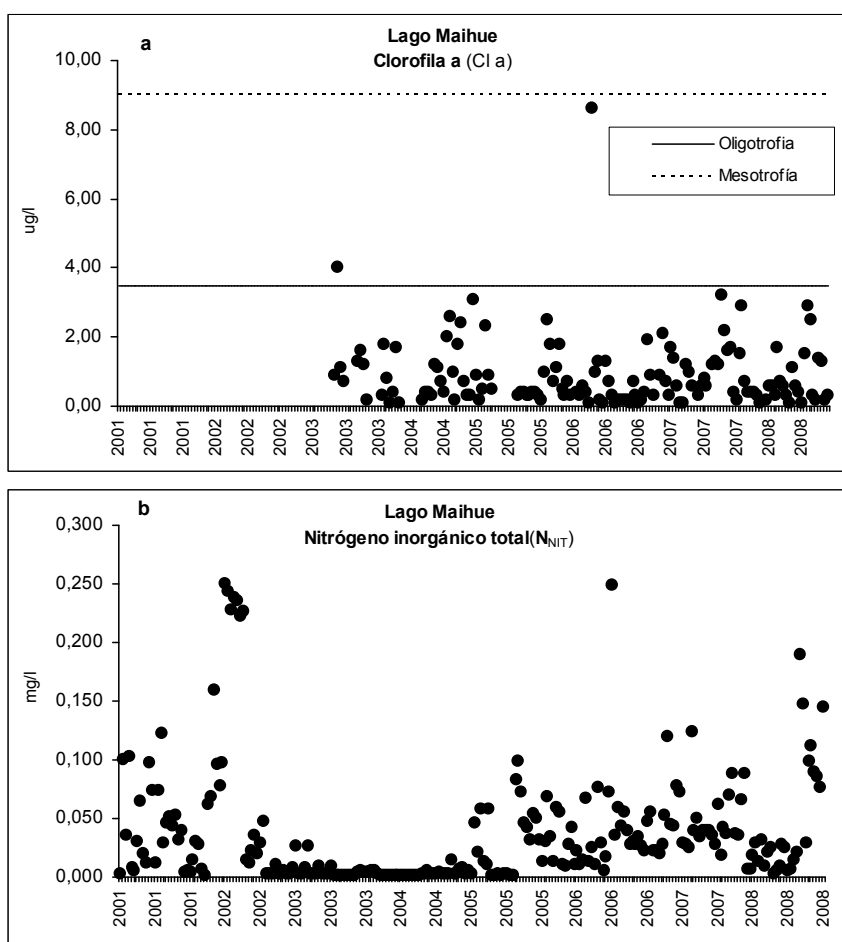


Figura 29. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Maihue. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

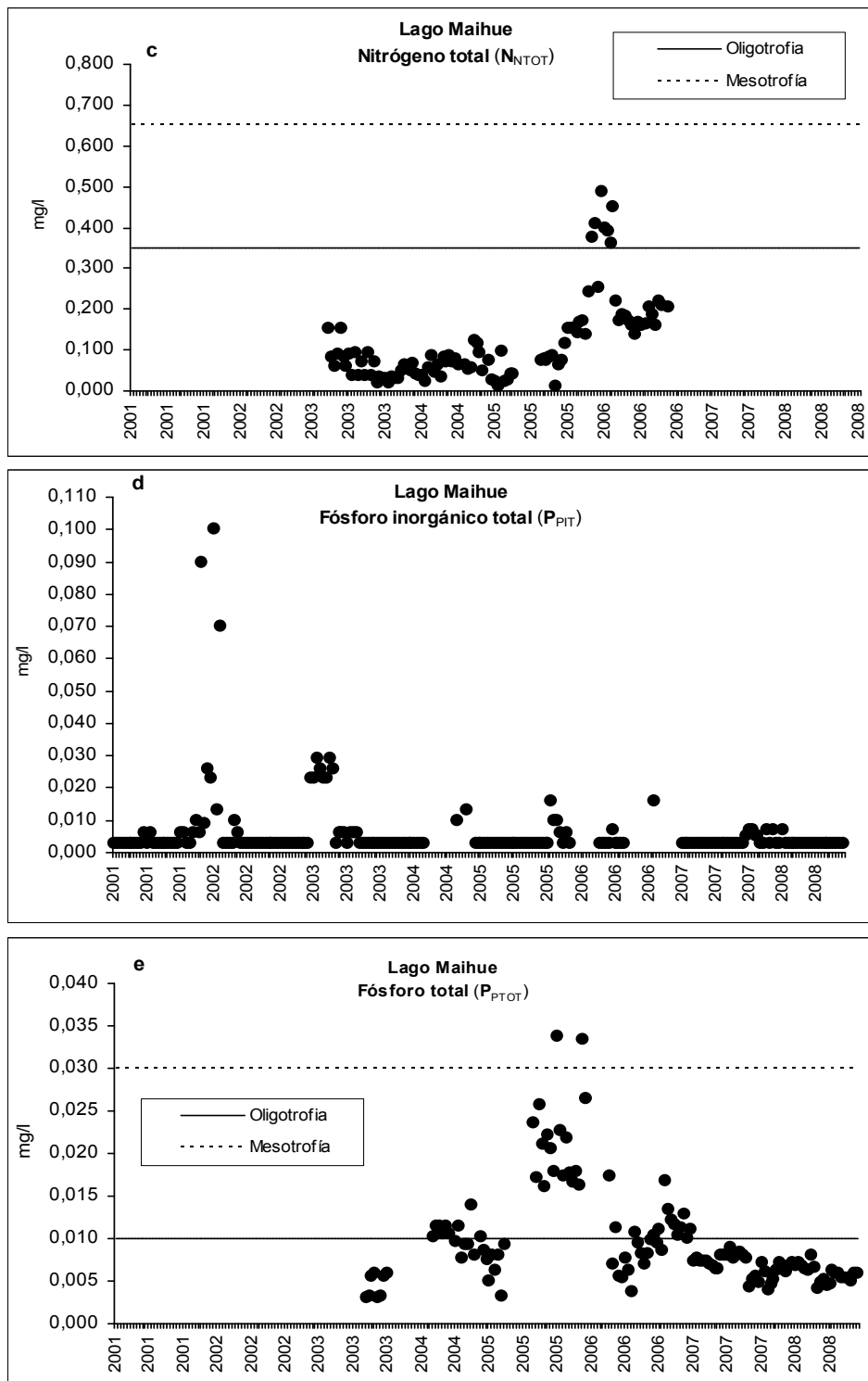


Figura 29 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Maihue. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.9 Lago Llanquihue

El análisis a largo plazo (2000 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Llanquihue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofia e incluso niveles menores que Oligotrofia, los cuales se han mantenido hasta el 2008 (**Figura 30a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno (N_{NIT}) muestra que las concentraciones máximas de N_{NIT} desde el 2000 y hasta el 2008 no exceden la concentración de 100 $\mu\text{g/l}$ con excepción de algunos valores que fueron cercanos a 200 $\mu\text{g/l}$ (**Figura 30b**). En forma consecuente, los valores de N_{NIT} históricamente más frecuentes explicarían los niveles de Oligotrofia en el lago Llanquihue (**Figura 30b**). La concentración de N_{TOT} es consistente con los patrones de variación antes mencionados ya que también indica niveles de Oligotrofia entre el 2004 y 2006 (**Figura 30c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (P_{PIT}) ha mostrado que la concentración de P_{PIT} ha sido frecuentemente muy baja y cercana al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$) (**Figura 30d**). Sin embargo la concentración de P_{TOT} indica la ocurrencia de niveles de Fósforo que tipificarían al lago Llanquihue como un sistema oligo-mesotrófico hasta el 2008 (**Figura 30e**).

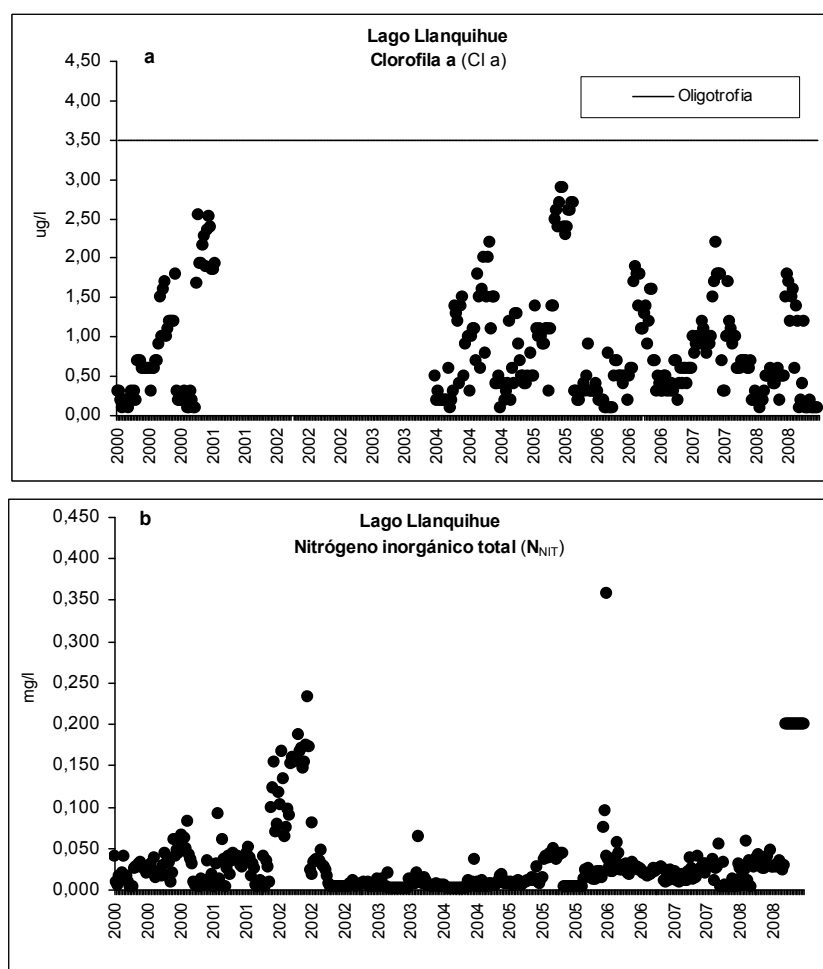


Figura 30. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Llanquihue. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

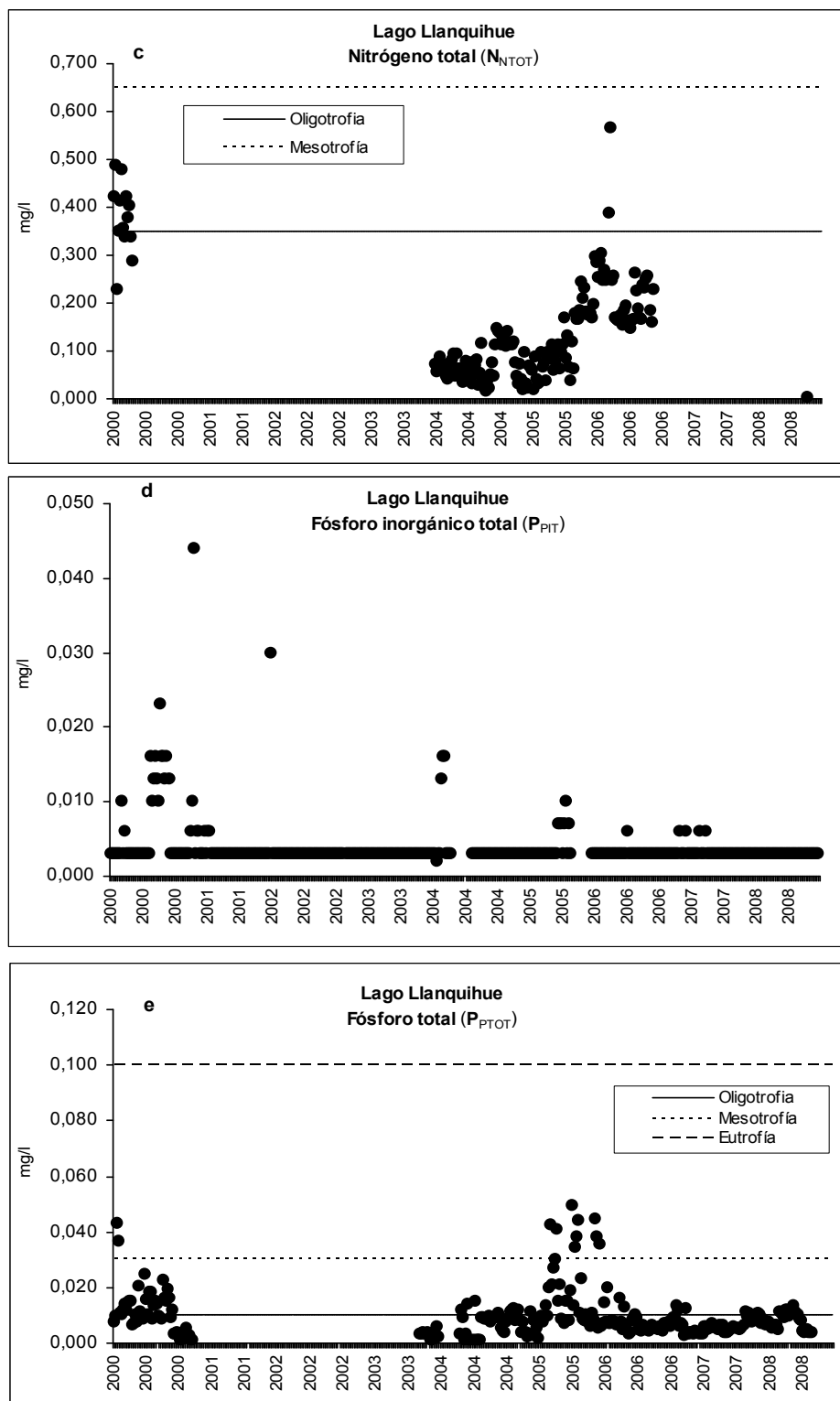


Figura 30 (Continuación) Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Llanquihue. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.10 Lago Todos Los Santos

El análisis a largo plazo (2003 - 2008) 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 2008 (**Figura 31a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) como un nutriente limitante muestra que las concentraciones máximas de N_{NIT} desde el 2002 hasta el 2008 han sido frecuentemente cercanas a 50 $\mu\text{g/l}$, valores que solo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 31b**). La concentración de N_{TOT} también ha indicado niveles de Oligotrofia al menos hasta el 2006 (**Figura 31c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (P_{PIT}) ha mostrado que la concentración de P_{PIT} ha sido permanentemente muy baja y cercana al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$) desde el 2005 y hasta el 2008 ya que antes del 2005 se observan varios casos de mayor concentración de P_{PIT} (**Figura 31d**). Sin embargo y a pesar de las bajas concentraciones de P_{PIT} , la concentración histórica y actual de P_{TOT} indica que el lago Todos Los Santos tendría una condición oligo-mesotrófica (**Figura 31e**).

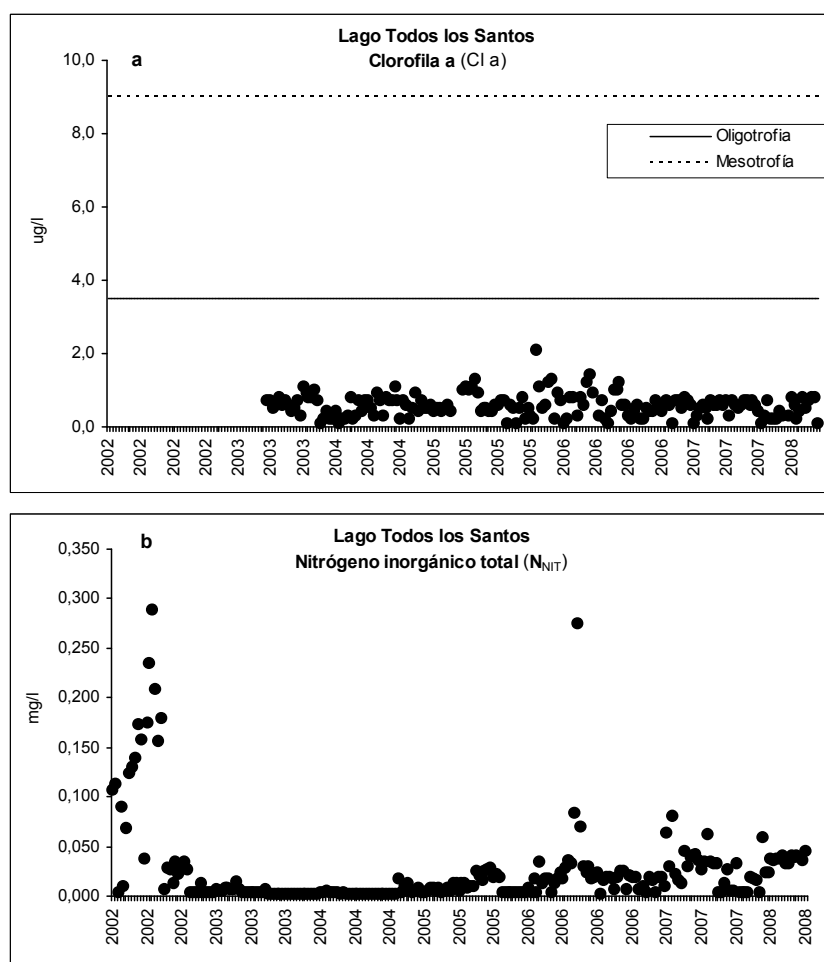


Figura 31. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Todos Los Santos. a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

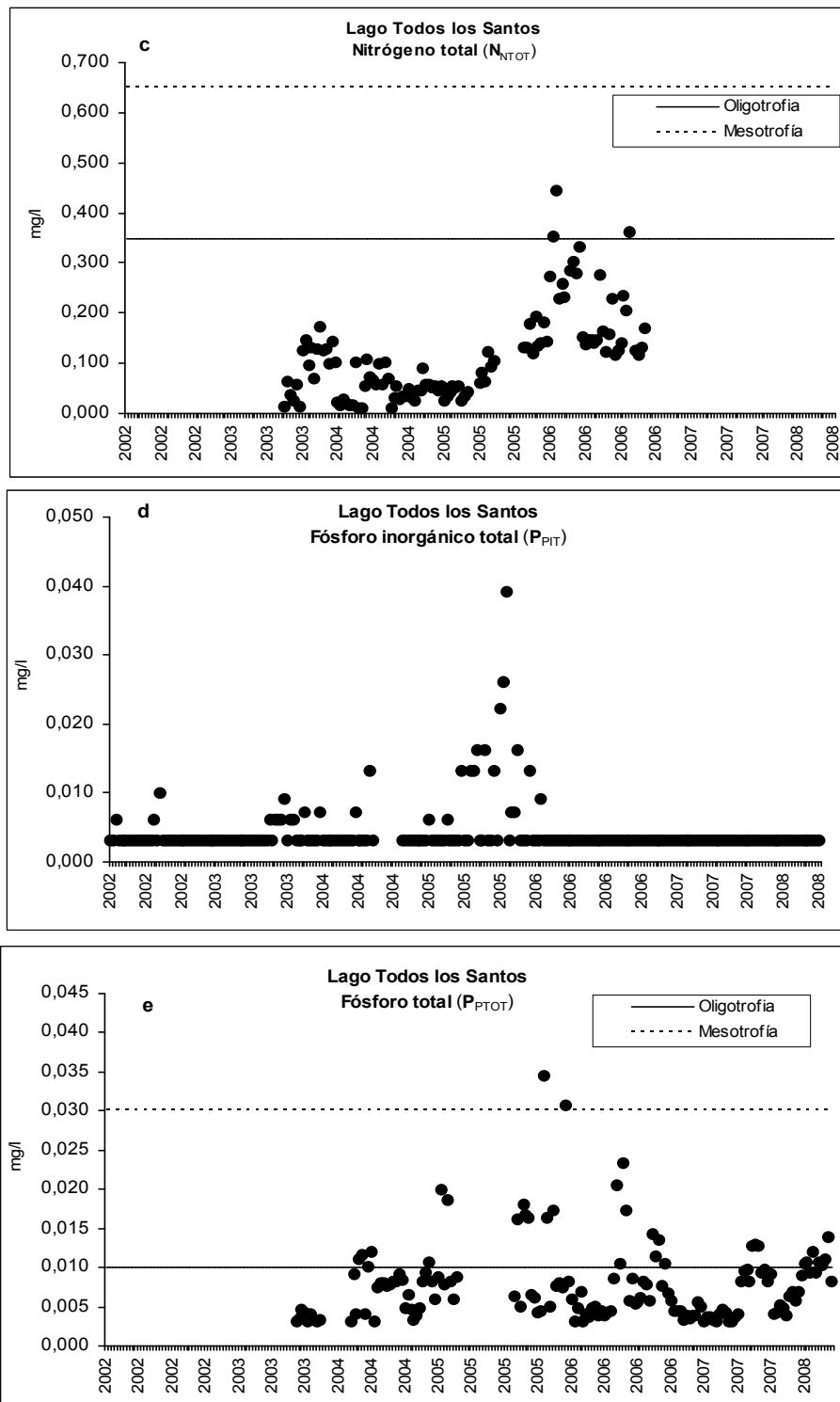


Figura 31 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Todos Los Santos. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.2.6.2.11 Lago Chapo

El análisis a largo plazo (2005 - 2008) de la concentración de *Clorofila a* en el lago Chapo indica que este sistema ha mostrado una condición permanente de Oligo-Mesotrofia que se mantenido hasta la actualidad (2008) (**Figura 32a**). El análisis temporal de la concentración del Nitrógeno inorgánico (N_{NIT}) como un nutriente limitante muestra que las concentraciones máximas de N_{NIT} desde el 2002 y hasta el 2008 han sido frecuentemente cercanas a 90 $\mu\text{g/l}$, valores que sólo podrían producir niveles de Oligotrofia en este sistema (**Figura 32b**). La concentración de N_{NTOT} también ha indicado niveles oligo-mesotróficos sin embargo también ha indicado una tendencia de aumento de trofia en el 2006 (**Figura 32c**). El patrón de variación de Fósforo en el tiempo (P_{PIT}) ha mostrado que la concentración de P_{PIT} ha permanentemente muy baja y cercana al límite de detección analítica (3 $\mu\text{g/l}$) desde el 2006 y hasta el 2008, pero antes del 2005 se observan varios casos de mayor concentración de P_{PIT} (**Figura 32d**). A pesar de las bajas concentraciones de P_{PIT} , la concentración de P_{PTOT} indica que históricamente se ha observado una condición de Oligo-mesotrofia pero que ha disminuido hasta una condición de Oligotrofia desde el 2006 hasta el 2008 (**Figura 32e**).

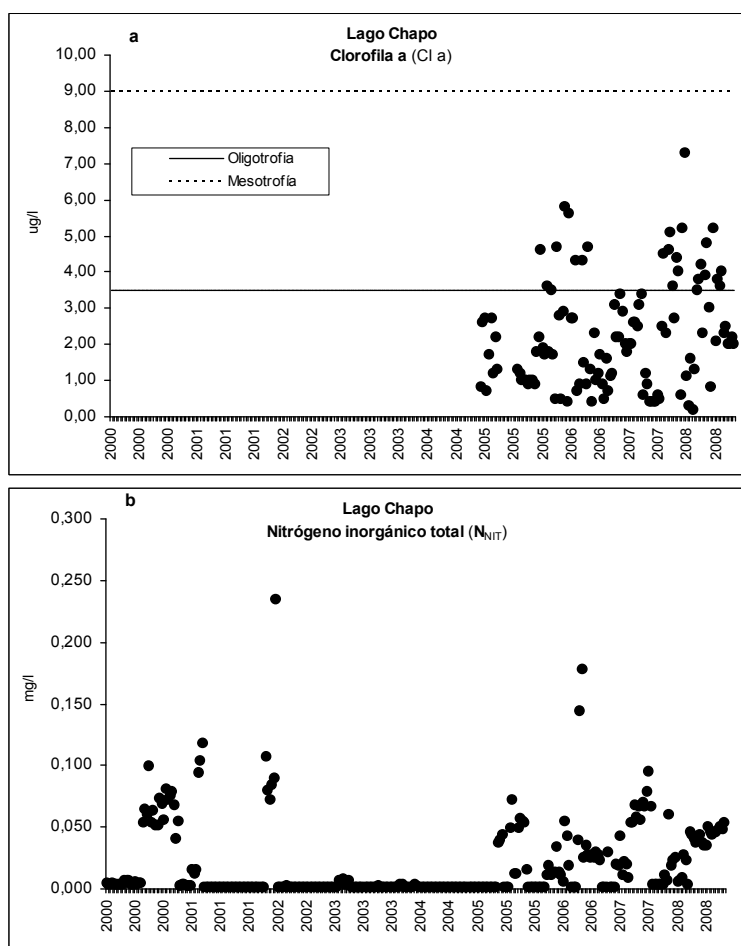


Figura 32. Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Chapo a) *Clorofila a* y b) Nutriente limitante (Nitrógeno inorgánico total).

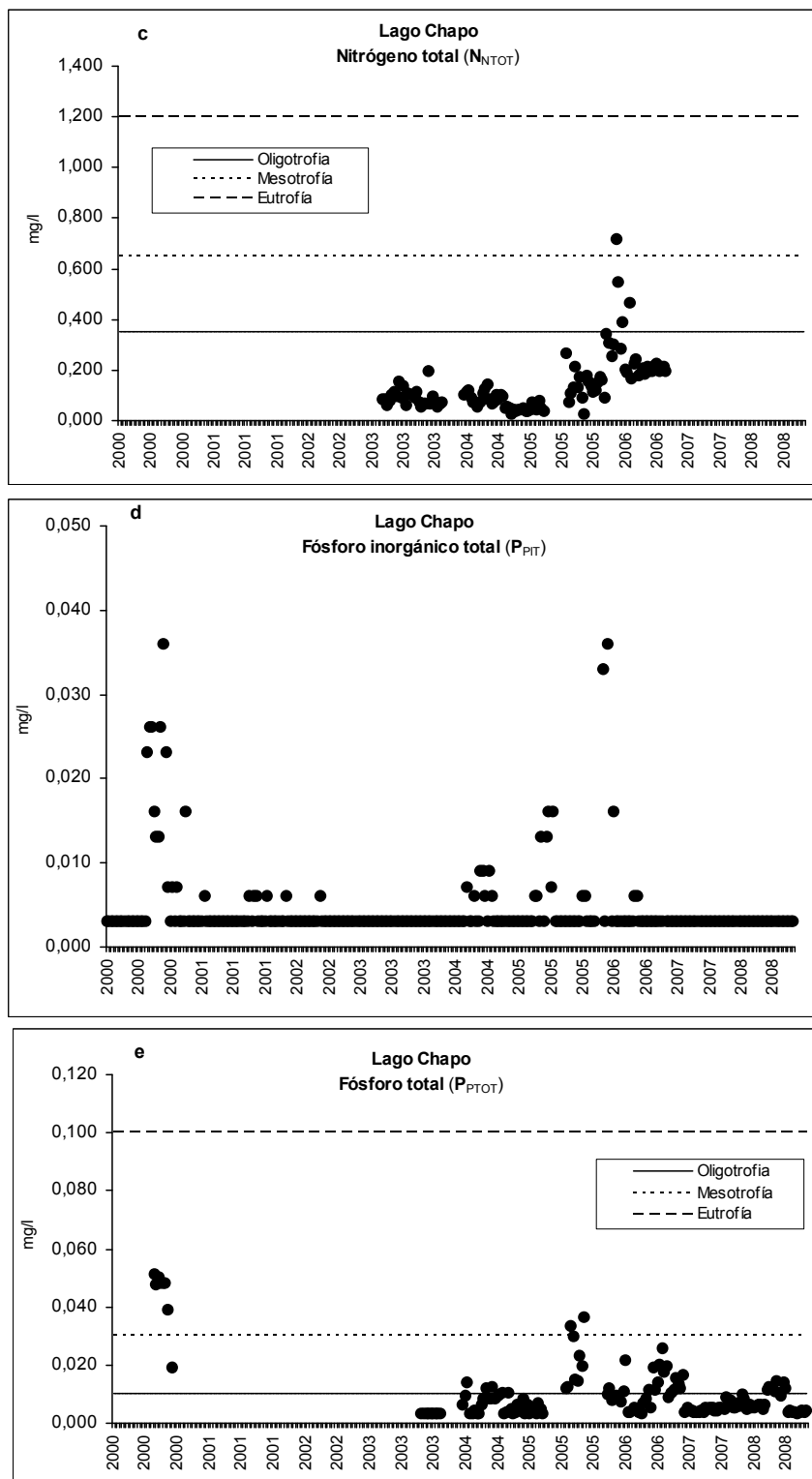


Figura 32 (Continuación). Análisis temporal interanual de la condición trófica del lago Chapo. c) Nitrógeno total, d) Nutriente limitante (Fósforo inorgánico total) y e) Fósforo total.

4.3 CONCLUSIONES

4.3.1 Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos y embalses

El análisis de la condición hidrodinámica de los lagos y embalses de la RML muestra que habrían tres patrones hidrodinámicos tipificados como: a) **M-e-E-e** encontrado en 11 de los 16 lagos que muestra un periodo de estratificación que ocurre en verano, b) **M-E-E-M** encontrado en 4 de los 16 lagos y que muestra una estratificación prolongada que comienza en primavera y se extiende hasta verano y c) **M-e-e-e** que fue encontrado en 1 de los 16 lagos y que muestra una condición de mezcla permanente de la columna de agua durante todo el ciclo anual.

4.3.2 Disponibilidad sub-superficial de irradianza: Zona eufótica (Z_{EUF})

Los resultados del análisis de irradianza sub-acuática muestran que los sistemas que presentaron una mayor proporción de la columna de agua con suficiente luz presentaron mayor producción biológica. Sin embargo, esto ocurrió solamente en los sistemas de las zonas centro-norte, centro y centro-sur que tienen mayor biomasa y por lo tanto la luz es un factor limitante de la producción biológica. Por el contrario, en los lagos Araucanos y en la laguna del Laja, la luz no estaría limitando la producción y por ello una mayor disponibilidad sub-superficial no genera mayor síntesis de materia orgánica. Un ejemplo de ello, es el lago Riñihue, el cual muestra una baja proporción de la columna de agua que está iluminada y sin embargo en la actualidad está mostrando niveles comparativamente altos de producción biológica (oligo-mesotróficos) entre los lagos Araucanos.

4.3.3 Determinación del nutriente limitante (Razón de Redfield N:P)

Se detectó un patrón geográfico significativo del nutriente limitante de la producción biológica. Los sistemas ubicados en las zonas centro-norte (embalse La Paloma), centro (laguna Aculeo, embalse Rapel) y centro-sur (laguna Grande de San Pedro y lago Lanalhue presentaron limitación por Fósforo mientras que en los sistemas ubicados en el zona sur (lagos Araucanos y laguna del Laja) presentaron como nutrientes limitantes de la producción biológica al Fósforo y al Nitrógeno, con un predominio de una limitación por Nitrógeno por sobre el Fósforo.

La limitación por Fósforo que fue observada en los lagos de las zonas centro-norte, centro y centro-sur fue independiente de la condición hidrodinámica de la columna de agua a diferencia de los lagos de la zona sur (incluida la laguna del Laja), que presentan mayor frecuencia de casos con limitación por Nitrógeno en el periodo de estratificación y mayor frecuencia de casos con limitación por Fósforo durante el periodo de mezcla.

En los sistemas acuáticos ubicados en las zonas centro-norte, centro y centro-sur hubo limitación por Fósforo que fue independientemente del periodo estacional, a diferencia de lo que presentaron los lagos ubicados en la zona sur (lagos Araucanos) que mostraron un significativo patrón de variación estacional de la limitación por Fósforo o Nitrógeno. Cabe mencionar que en estos lagos se determinó una mayor frecuencia de casos de limitación por Nitrógeno durante los periodos de primavera y verano mientras que en invierno hubo una mayor frecuencia de casos de limitación por Fósforo.

Este patrón de variación estacional de la disponibilidad de Fósforo no es consistente con la mayor escurrimiento que ocurre en esta época y la cual representa una importante fuente de Fósforo para estos sistemas lacustres. Sin embargo, la limitación por un nutriente no se genera por una baja disponibilidad del mismo sino por la relación entre las concentraciones de nutrientes. De esta manera, una limitación por Fósforo puede ser originada por una mayor disponibilidad de Nitrógeno en el medio. Es probable que durante el invierno aumente la disponibilidad de Nitrógeno debido a una disminución del consumo por las microalgas cuyas poblaciones están disminuidas en esta época, quedando Nitrógeno inorgánico en forma disuelta y disponible para otros organismos. Por otro lado, es probable que la mayor escurrimiento superficial que se genera en invierno se refleje en una mayor entrada de Nitrógeno inorgánico (N-NO_3) en las cubetas lacustres originada desde la cuenca de avenamiento, lo que aumentaría su disponibilidad en esta época. Por lo tanto, si en invierno existen mayores aportes de Nitrógeno es probable que pueda ocurrir limitación por Fósforo a pesar que haya una carga significativa de Fósforo desde los afluentes.

4.3.4 Determinación de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML

La condición de trofia de los lagos y embalses de la RML que estuvieron limitados por Fósforo varió entre niveles de Mesotrofia e Hipereutrofia (**Tabla 30**). Estos sistemas correspondieron al embalse La Paloma, la laguna Aculeo, el embalse Rapel, la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue. La laguna Aculeo fue el sistema con mayor nivel trófico (Hipereutrofia), el embalse Rapel presenta una condición de Eutrofia y el embalse La Paloma, la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue presentan una condición de Mesotrofia.

La condición de trofia de los lagos que estuvieron limitados por Fósforo y Nitrógeno fue Oligotrofia. Estos sistemas correspondieron a los lagos Araucanos de la RML y a la laguna del Laja (limitada solamente por Nitrógeno) cuya condición de mayor altitud lo hace comparable a los sistemas acuáticos ubicados más hacia el sur y que constituyen el grupo de lagos Araucanos. Los lagos Araucanos del estudio estarían limitados por Nitrógeno o Fósforo alternadamente en el tiempo. Este resultado surge por las condiciones hidrológicas imperantes en las cuencas con alta estacionalidad climática, las que varían a través de un ciclo generando eventos de alta escurrimiento superficial en primavera e invierno y menor escurrimiento en verano, lo cual genera variación de la disponibilidad de nutrientes (principalmente fósforo) que ingresan a las cubetas lacustres (Allan 1995). En el caso específico de los lagos Araucanos, a la variación natural de la disponibilidad de nutrientes se agregan no despreciables condiciones de intervención antrópica (ver capítulo 5.1.2: *Grado de intervención antrópica* de la sección “*Redefinición del diseño de muestreo de los 16 lagos y embalses de la Red Mínima de Lagos de la DGA*” de este documento), lo que también podría tener una condición estacional. De esta manera, ambas condiciones podrían estar generando una alternancia de la disponibilidad de Fósforo y/o Nitrógeno y por ello una condición limitante que sería variable estacionalmente. Si bien hasta ahora, los lagos Araucanos analizados en este estudio fueron tipificados con una condición de Oligotrofia, es probable que esto pudiera cambiar en condiciones de limitación por P y cuando ocurra mayor escurrimiento superficial (periodo invernal), periodo en que podría aumentar la condición trófica hasta niveles mesotróficos.

Sin embargo, se debe señalar que los resultados indican un mayor control de la tasa de síntesis de biomasa por Nitrógeno que por Fósforo pero bajo determinadas condiciones de mayor disponibilidad de Nitrógeno es posible que el Fósforo pueda limitar la producción generando un aumento de los niveles tróficos hasta valores de Mesotrofia.

El análisis a más largo plazo (2000-2008) de la condición trófica de los sistemas acuáticos limitados por Fósforo (el embalse La Paloma, la laguna Aculeo, el embalse Rapel, la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue) muestra que históricamente estos sistemas han presentado condiciones desde Mesotrofia hasta condiciones de Hipereutrofia. Todos estos sistemas han mantenido el nivel trófico hasta la actualidad (2007 en adelante). Consecuentemente la laguna Aculeo ha sido y es un sistema hipereutrótico, los embalses la Paloma y Rapel han mostrado niveles de Eutrofia e Hipereutrofia que se mantienen en la actualidad, el lago Lanalhue ha mostrado permanentemente niveles de Mesotrofia y Eutrofia y la laguna Grande de San Pedro presenta niveles de Oligotrofia y Mesotrofia desde el 2004.

El análisis de la condición trófica de los lagos Araucanos (limitados por Fósforo y Nitrógeno) entre el 2000 y 2008 indica que históricamente ha habido niveles de Oligotrofia (2004 – 2007), con excepción de los lagos Villarrica, Caburgua y Chapo que han mostrado una condición de Oligo-mesotrofia en el tiempo. La condición de Oligotrofia presentada por la mayoría de los lagos Araucanos de la RML se ha mantenido en la actualidad (2007 en adelante) y aquellos lagos que mostraban niveles oligo-mesotróficos han disminuido el nivel de trofia hasta una condición de Oligotrofia, por lo que en la actualidad hay una condición generalizada de Oligotrofia entre los lagos Araucanos. Sin embargo, existen varios comportamientos excepcionales. El lago Villarrica ha mostrado niveles oligo-meso-eutróticos en el largo plazo, condición que ha variado en la actualidad ya que a partir del 2007 se observa una significativa disminución de su trofia hasta niveles oligotróficos. También se debe destacar el patrón de trofia detectado en el lago Riñihue. El lago Riñihue ha mostrado históricamente una condición de Oligotrofia y desde el 2007 hasta el 2008 los niveles han aumentado hasta una condición de Mesotrofia. Por otro lado, el lago Chapo ha mantenido en la actualidad los niveles oligo-mesotróficos que ha presentado históricamente (2005 - 2007). Finalmente, cabe mencionar también que la laguna del Laja ha presentado frecuentemente niveles oligotróficos los que se observan en la actualidad.

Tabla 30. Determinación de la condición trófica en los lagos y embalses de la RML. La condición trófica se indica con colores (ver leyenda al pie de la Tabla).

Sistema	Nutriente limitante	MEDIA ANUAL <i>Clorofila a</i> (ug/l)	Mínimo (*) <i>Clorofila a</i> (ug/l)	Máximo (*) <i>Clorofila a</i> (ug/l)
Embalse La Paloma	P	5,34	3,21	8,36
Laguna Aculeo	P	32,1	19,16	42,04
Embalse Rapel	P	11,56	4,43	14,35
Laguna Grande de San Pedro	P	4,79	3,06	5,88
Lago Lanalhue	P	7,63	5,38	10,54
Laguna del Laja	N	1,49	1,19	1,7
Lago Caburgua	N-P	1,33	1,16	1,63
Lago Villarrica	N-P	2,2	1,03	3,12
Lago Calafquén	N-P	0,85	0,42	1,83
Lago Panguipulli	N-P	1,44	0,82	2,38
Lago Riñihue	N-P	1,45	0,51	3,30
Lago Ranco	N-P	0,8	0,24	1,73
Lago Maihue	N-P	0,91	0,64	1,19
Lago Llanquihue	N-P	0,84	0,39	1,58
Lago Todos Los Santos	N-P	0,56	0,48	0,65
Lago Chapo	N-P	2,33	1,37	2,9

* Los valores representan el valor promedio mínimo y máximo entre periodos estacionales

Leyenda: Clasificación de Smith *et al.* 1999.

Condición trófica	Fósforo total (ug/l)	Nitrógeno total (ug/l)	<i>Clorofila a</i> (ug/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	

5 REDEFINICIÓN DEL DISEÑO DE MUESTREO DE LOS 16 LAGOS Y EMBALSES DE LA RED MÍNIMA DE LAGOS (RML) DE LA DGA.

5.1 Criterios para la definición del diseño de muestreo

Se realizó una revisión del diseño de muestreo actual que mantiene la DGA en 16 lagos y embalses, lo cual condujo a replantear el periodo de muestreo, el número de estaciones de muestreo, la frecuencia de muestreo, la profundidad de muestreo y los parámetros de calidad de agua que están actualmente siendo monitoreados. La redefinición del diseño de muestreo fue realizada en función de los siguientes criterios:

- El potencial para aumentar la condición trófica que muestran los lagos y embalses de la RML.
- El grado de intervención antrópica que están presentando los lagos y embalses de la RML.

5.1.1 Potencial para aumentar condición trófica

La limitación por Fósforo es una condición significativa en los lagos Araucanos ya que el análisis de condición trófica muestra que las actuales concentraciones de Fósforo en estos sistemas pueden aumentar la condición trófica y generar una condición de Mesotrofia (**numeral 4.3.4**). Por otro lado, el Fósforo es un elemento que varía por condiciones hidrológicas, climáticas y geográficas además por diversas actividades antrópicas, lo que indica que variaciones de la disponibilidad de ese nutriente en la cuenca podrían generar variaciones de la condición trófica en los lagos receptores.

El potencial para aumentar trofia fue incluido como criterio para definir el diseño de muestreo ya que un sistema con mayor riesgo o probabilidad de aumentar su condición trófica debiera ser monitoreado en forma más intensiva de modo de detectar fuentes y factores causales de deterioro ambiental. Los embalses y algunos lagos de la RML fueron clasificados como limitados por Fósforo y en el caso de algunos lagos Araucanos se encontró una condición alternada de limitación de la producción biológica por Fósforo y por Nitrógeno. En estos lagos Araucanos se determinó que en algunos periodos del año (otoño-invierno) ocurre con mayor frecuencia una condición de limitación por Fósforo por sobre una limitación por Nitrógeno (**numeral 4.2.4.2**). Por otro lado, para estos mismos lagos se ha indicado que en determinadas condiciones hidrodinámicas ocurre más frecuentemente una limitación por Fósforo que por Nitrógeno en la columna de agua (**numeral 4.2.3.1**). De esta manera, entre los lagos y embalses de la RML existen diferencias en el potencial para aumentar su condición trófica, lo cual es está asociado al grado de limitación por Fósforo.

En la **Tabla 31** se muestra la condición trófica actual de cada lago (**numeral 5.1.1**) y el potencial de cada lago para aumentar trofia de acuerdo al análisis estacional y entre periodos hidrodinámicos de la limitación por Fósforo definido en base a la frecuencia de casos de limitación por Fósforo tal como se indicó más arriba. En la **Tabla 31** también se tipifica (Estable/Variable) el patrón de variación temporal de la condición trófica de los lagos y embalses de la RML en un largo plazo (2000 – 2008). A través de este patrón se observa la

tendencia en el tiempo que ha mostrado la condición trófica y por lo tanto se puede evaluar la respuesta a más largo plazo que han tenido los sistemas frente a las probables variaciones temporales de la disponibilidad de Fósforo en las cuencas de avenamiento.

De acuerdo a lo anterior, se plantea que los embalses La Paloma y Rapel cuya producción biológica está limitada por Fósforo (**numeral 4.2.3.1**), tienen un alto potencial para aumentar su condición trófica, ya que actualmente presentan niveles de Meso-eutrofia (La Paloma) y Eutrofia (Rapel) pero presentan valores de concentración de Fósforo que eventualmente podrían generar niveles eutróficos en el caso del embalse La Paloma y niveles hipereutróficos en el caso del embalse Rapel (**Tabla 24**).

Cabe mencionar que a pesar que la laguna Grande de San Pedro y el lago Lanalhue están limitados por Fósforo, los actuales valores de concentración de este nutriente mantendrían su condición de Mesotrofia. Similarmente, la laguna Aculeo actualmente presenta niveles de Hipereutrofia, condición que se mantendría en el tiempo debido a que la concentración de Fósforo generaría esta misma condición hipereutrófica.

Los lagos Araucanos limitados por Fósforo y Nitrógeno (**numeral 4.2.3.1**) que muestran un alto potencial para aumentar su actual condición de Oligotrofia son los lagos Caburgua, Villarrica, Calafquén, Ranco, Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos los Santos y Chapo, ya que presentan concentraciones de Fósforo conducentes a alcanzar una condición de Mesotrofia (**Tabla 29**).

Tabla 31. Clasificación de los lagos y embalses de la RML en función del potencial para aumentar la condición trófica y del grado de intervención antrópica.

Sistema	Condición trófica actual	Patrón de variación temporal de la condición trófica (1)	Potencial para aumentar la condición trófica (2)
Embalse La Paloma	Meso-eutrofia	Estable	Alto
Laguna Aculeo	Hipereutrofia	Estable	Bajo
Embalse Rapel	Eutrófico-Hipereutrofia	Estable	Alto
Laguna Grande de San Pedro	Mesotrófico	Estable	Bajo
Lago Lanalhue	Meso-eutrofia	Estable	Bajo
Laguna del Laja	Oligotrofia	Estable	Bajo
Lago Caburgua	Oligotrofia	Disminución	Alto
Lago Villarrica	Oligotrofia	Disminución	Alto
Lago Calafquén	Oligotrofia	Estable	Alto
Lago Panguipulli	Oligotrofia	Estable	Bajo
Lago Riñihue	Oligotrofia	Aumento	Bajo
Lago Ranco	Oligotrofia	Estable	Alto
Lago Maihue	Oligotrofia	Estable	Bajo
Lago Llanquihue	Oligotrofia	Estable	Bajo
Lago Todos Los Santos	Oligotrofia	Estable	Bajo
Lago Chapo	Oligotrofia	Estable	Bajo

(1) El patrón de variación puede ser *Estable* si los niveles de trofia que se mantienen en el tiempo dentro una variación natural asociada a estacionalidad y a diferencias en los sectores de muestreo. Alternativamente, este patrón puede ser *Variable* (Disminución o Aumento) cuando se ha encontrado que históricamente ha habido una disminución o un aumento de los niveles tróficos en el tiempo.

(2) El potencial para aumentar la condición trófica es tipificado como *Alto* cuando la concentración de Fósforo es suficiente para aumentar la condición trófica en condiciones de limitación de este nutriente. Alternativamente, el potencial para aumentar trofia es tipificado como *Bajo* si no se han detectado concentraciones que fósforo que produzcan un aumento de la trofia.

5.1.2 Grado de intervención antrópica

El grado de intervención antrópica fue incluido como criterio de definición para el diseño de monitoreo ya que en los sistemas acuáticos que muestran mayor presencia de centros urbanos en las riberas (descargas domiciliarias), presencia de pisciculturas y mayor turismo y recreación se debiera realizar un mayor esfuerzo de monitoreo que en los sistemas con menor intervención antrópica.

La **Tabla 32** muestra una valoración cualitativa (ocurrencia y ausencia) de 5 condiciones de intervención antrópica: Presencia de piscicultura, Descarga de residuos domiciliarios, Presencia de central hidroeléctrica, Presencia de centros urbanos en la ribera y uso para actividades de turismo y recreación.. La Fuente Centros urbanos consideró la ocurrencia de ciudades ubicadas en el litoral de los lagos y embalses y excluyó la presencia de poblados por suponer descargas un efecto significativamente menor y despreciables frente ciudades ribereñas. La evaluación de la Fuente Turismo y recreación se realizó en términos comparativos y con antecedentes insuficientes por lo que su tipificación puede presentar errores. Sin embargo, debido a que esta Fuente no ocurre todo el año y representa un nivel de intervención menor que las restante Fuentes su inclusión no alteraría la clasificación final de los lagos. Con un 1 se indica la ocurrencia de cada fuente de intervención antrópica y con un 0 (cero) la ausencia de tal fuente. Cabe mencionar que no se cuenta con toda la información por lo que el análisis pudiera estar incompleto. Al pie de la **Tabla 32** se indica la cita de las fuentes de información que están en extenso en la sección Referencia Bibliográficas. Cabe señalar que varios antecedentes acerca de las Fuentes de intervención antrópica fueron proporcionados por el personal técnico de terreno que aportó información principalmente sobre la existencia de plantas de tratamiento de aguas servidas, la presencia de poblados significativos en las descargas hacia los lagos y varios datos de interés para esta evaluación.

La última columna de la **Tabla 32** contiene la sumatoria de los valores de cada Fuente y por lo tanto indica el grado relativo de intervención antrópica que muestra cada sistema. Un valor entre 0 y 2 fue definido como Bajo grado de intervención antrópica y valores entre 3 y 4 como Alto grado de intervención antrópica. De esta manera, la laguna del Laja y los lagos Maihue, Todos Los Santos y Chapo presentan Bajo grado de intervención antrópica mientras que la laguna Aculeo, el embalse Rapel, la laguna Grande de San Pedro, los lagos Lanalhue, Caburgua, Villarrica, Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Ranco y Llanquihue presentan Alto grado de intervención antrópica. El embalse La Paloma fue incluido entre los lagos con Alto grado de intervención por estar regulado artificialmente.

Tabla 32. Fuentes de intervención antrópica y Grado de intervención antrópica de los lagos y embalses de la RML. Fuentes bibliográficas son indicadas a pie de la Tabla.

Sistema	Piscicultura	Descarga de residuos domiciliarios	Represamiento	Centros urbanos	Turismo y recreación	GRADO DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA
Embalse La Paloma	0	1	1	0	0	2
Laguna Aculeo	1	1	0	1	1	4
Embalse Rapel	0	1	1	1	1	4
Laguna Grande de San Pedro	0	1	0	1	1	3
Lago Lanalhue	0	1	0	1	1	3
Laguna del Laja	0	0	1	0	1	2
Lago Caburgua	0	1	0	1	1	3
Lago Villarrica	1	1	0	1	1	4
Lago Calafquén	0	1	0	1	1	3
Lago Panguipulli	0	1	0	1	1	3
Lago Riñihue	0	1	0	1	1	3
Lago Ranco	1	1	0	1	1	4
Lago Maihue	0	0	0	0	0	0
Lago Llanquihue	1	1	0	1	1	4
Lago Todos Los Santos	0	0	0	0	0	0
Lago Chapo	1	0	1	0	0	2

Cabrera & Montecino (1987), Campos (1984), Campos (1992), Campos et al. 1978, Campos et al. 1980, Campos et al. 1981, Campos et al. 1982, Campos et al. 1983, Campos et al. 1987, Campos et al. 1988, Campos et al. 1990, Montecino (1991), Montecino & Cabrera (1984), Parra et al. 2003, Soto (2002), Valdovinos & Figueroa (2000), Valdovinos & Pedreros (2007), Villalobos et al. 2003, Vila et al. 1986, Vila et al. 1997, Vila et al. 2000, Wöelfl et al. 2003, Wöelfl (2009).

La valoración del grado de intervención antrópica fue incluido a la **Tabla 33** junto con la condición trófica (Oligotrofia, Mesotrofia, Eutrofia e Hipereutrofia) que fue definida para cada sistema (**numeral 4.3.4**) y con el potencial para aumentar su trofia según lo indicado más arriba.

La aplicación de estos criterios llevó a realizar una clasificación de los lagos y embalses de la RML en base a la cual se proponen diseños de muestreo específicos para cada Clase de acuerdo a las diferencias de las condiciones hidrológicas, hidrodinámicas y de limitación por Fósforo que existen entre ellos. En la **Tabla 33** se indican 4 Clases de lagos y embalses (indicadas con diferentes colores en la última columna) a las que se les definió un diseño de muestreo de acuerdo a los criterios indicados más arriba.

La Clase 1 incluye los cuerpos de agua regulados artificialmente, con niveles meso-eutróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitados por Fósforo) y con un alto grado de intervención antrópica. En esta clasificación se incluyen los embalses Rapel y La Paloma.

La Clase 2 incluye a los cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (Limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y con alto grado de intervención antrópica. En este grupo se incluyen los lagos Araucanos: Caburgua, Villarrica, Calafquén, Riñihue y Ranco.

La Clase 3 incluye a los cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, los que presentan un bajo potencial para aumentar su condición de trofia (Limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y el grado de intervención antrópica es variable pero es menor que en los lagos de la Clase 2. En este grupo se incluyen los lagos Araucanos: Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo y la laguna del Laja.

La Clase 4 incluye a los cuerpos de agua naturales y someros, con niveles altos de trofia (meso-hipereutróficos), con un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y con un alto grado de intervención antrópica. En este grupo se incluyen el lago Lanalhue y las lagunas Grande de San Pedro y Aculeo.

Tabla 33. Clasificación de los lagos y embalses de la RML en función del potencial para aumentar la condición trófica y del grado de intervención antrópica.

Sistema	Condición trófica actual	Potencial para aumento de trofia	Grado de intervención antrópica	Clasificación de lagos y embalses (3)
Embalse La Paloma	Meso-eutrofia	Alto	Alto(1)	Clase 1
Laguna Aculeo	Hipereutrofia	Bajo	Alto	Clase 4
Embalse Rapel	Eutrofia-Hipereutrofia	Alto	Alto	Clase 1
Laguna Grande de San Pedro	Mesotrófico	Bajo	Alto	Clase 4
Lago Lanalhue	Meso-eutrofia	Bajo	Alto	Clase 4
Laguna del Laja	Oligotrofia	Bajo	Bajo	Clase 3
Lago Caburgua	Oligotrofia	Alto	Alto	Clase 2
Lago Villarrica	Oligotrofia	Alto	Alto	Clase 2
Lago Calafquén	Oligotrofia	Alto	Alto	Clase 2
Lago Panguipulli	Oligotrofia	Bajo	Alto	Clase 3
Lago Riñihue	Oligotrofia	Alto(2)	Alto	Clase 2
Lago Ranco	Oligotrofia	Alto	Alto	Clase 2
Lago Maihue	Oligotrofia	Bajo	Bajo	Clase 3
Lago Llanquihue	Oligotrofia	Bajo	Alto	Clase 3
Lago Todos Los Santos	Oligotrofia	Bajo	Bajo	Clase 3
Lago Chapo	Oligotrofia	Bajo	Bajo	Clase 3

(1) Se asignó un Alto grado de intervención antrópica por estar regulado artificialmente.

(2) Se consideró con un Alto potencial de aumento de la condición trófica debido a que este lago ha presentado un aumento de la trofia que es significativo en el tiempo.

(3) **Clases de lagos:**

- **Clase 1:** Cuerpos de agua regulados artificialmente, con niveles meso-eutróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitados por Fósforo) y con un alto grado de intervención antrópica.
- **Clase 2:** Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (Limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y con alto grado de intervención antrópica.
- **Clase 3:** Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, los que presentan un bajo potencial para aumentar su condición de trofia (Limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y el grado de intervención antrópica es variable pero es menor que en los lagos de la Clase 2.
- **Clase 4:** Cuerpos de agua naturales y someros, con niveles altos de trofia (meso-hipereutróficos), con un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y con un alto grado de intervención antrópica.

A continuación se describe un diseño de monitoreo específico para cada Clase de lagos y embalses de la RML.

5.2 Diseño de muestreo específico para cada Clase de lagos y embalses

5.2.1 CLASE 1: Cuerpos de agua regulados artificialmente, con niveles meso-eutróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitados por Fósforo) y con un alto grado de intervención antrópica.

En esta Clase se incluyen los embalses Rapel y La Paloma. Los principales factores moduladores de la calidad del agua y de los procesos y ensambles biológicos en los embalses son los procesos de acumulación y descarga de la cubeta, los cuales son dependientes de las entradas difusas y puntuales hacia el embalse. De acuerdo a ello, es relevante realizar un seguimiento de estas condiciones forzantes que son externas a los embalses pero que modulan su calidad de agua, por lo que se recomienda realizar monitoreo en los principales afluentes a estos embalses. El (o los) efluente (s) de los embalses no fue incluido ya que el alcance del monitoreo de la RML no considera el efecto de estos embalses sobre la cuenca. También se consideró la toma de muestras de sedimento solamente en el periodo de verano ya que la estratificación puede generar un ambiente anóxico y la liberación de Fósforo desde el sedimento con las implicancias que ello tiene sobre la condición trófica en estos embalses. Cabe mencionar que los fines de los embalses son múltiples además de los usos para generación y riego y por ello, la DGA mantiene redes de monitoreo de calidad de agua. Sin embargo, se podría considerar el desarrollo de planes de gestión y recuperación conjuntos ENDESA-DGA que permitieran asignar una responsabilidad compartida del seguimiento y protección de estos sistemas acuáticos artificiales.

Los criterios considerados en el diseño de muestreo de los embalses La Paloma y Rapel fueron:

- a) Criterio de operación del embalse (Periodos más frecuente de acumulación y descarga del embalse)
- b) Criterio hidrológico (periodos de crecida y estiaje de la cuenca)
- c) Criterio hidrodinámico (periodos de estratificación y mezcla de la columna de agua)

5.2.1.1 Estaciones de monitoreo

A continuación se indican las estaciones de monitoreo propuestas para los embalses La Paloma y Rapel:

5.2.1.1.1 Embalse La Paloma

En el embalse La Paloma se definieron 5 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Muro
- 2 Sector Bahía Río Guatulame
- 3 Sector Bahía Río Grande
- 4 Río Guatulame (Afluente)
- 5 Río Grande (Afluente)

5.2.1.1.2 Embalse Rapel

En el embalse Rapel se definieron 6 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Muro
- 2 Sector Alhué
- 3 Sector Las Balsas
- 4 Estero Alhué (Afluente)
- 5 Río Cachapoal (Afluente)
- 6 Río Tinguiririca (Afluente)

5.2.1.2 Periodos y Profundidad de muestreo

La **Tabla 34** presenta el diseño de muestreo para los embalses La Paloma y Rapel. El diseño considera las estaciones ubicadas dentro de los embalses. En cada afluente se tomará 1 muestra en una profundidad media en los mismos periodos estacionales indicados para las muestras de los embalses.

Tabla 34. Diseño de muestreo propuesto para los embalses de la Clase 1: La Paloma y Rapel. Se indica la profundidad de muestreo más recomendada pero entre paréntesis se indica el rango de profundidades del cual también pueden ser tomadas las muestras.

PERIODO	INVIERNO	VERANO	VERANO-OTOÑO
MES	junio-julio	enero-febrero	Marzo-abril
CONDICIÓN	Acumulación	Descarga	Descarga
	Mezcla	Estratificación	Mezcla
	Crecida	Estiaje	Estiaje
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:			
EMBALSE/PERIODO	INVIERNO	VERANO	VERANO-OTOÑO
La Paloma ($Z_{MAX}= 70$ m)	5 m	5 m (0 - 5 m, Epilimnion)	5 m
		15 m (10 - 20 m, Metalimnion)	
		50 m (> 30 m, Hipolimnion)	
		sedimento	
Rapel ($Z_{MAX}= 90$ m)	5 m	2 m (0 - 3 m, Metalimnion)	5 m
		> 15 m (Hipolimnion)	
		sedimento	

5.2.1.3 Comparación del actual diseño de monitoreo con la redefinición de monitoreo de los embalses de la Clase 1.

Se mantuvieron las tres estaciones de monitoreo actuales del embalse La Paloma (**Tabla 35**) y del embalse Rapel (**Tabla 36**), a las cuales se adicionaron los afluentes de cada embalse. Se indican las actuales estaciones de monitoreo en los embalses La Paloma (**Figura 33a**) y Rapel (**Figura**

34a) seguido de las estaciones de monitoreo propuestas en esta redefinición para los embalses La Paloma (**Figura 33b**) y Rapel (**Figura 34b**).

En la redefinición del diseño de muestreo hubo una reducción del número de las campañas de monitoreo, de 4 campañas a 3 campañas por año en los periodos de invierno, verano y verano-otoño. Se redefinieron las profundidades de muestreo ya que se propuso hacer un muestreo estratificado durante el periodo de estratificación térmica (verano) y tomar una sola muestra en invierno y verano-otoño. El número y los parámetros de calidad de agua también fueron redefinidos, enfocándose a los parámetros físico-químicos y a los nutrientes nitrogenados y fosforados. Se propuso realizar el monitoreo del sedimento y de parámetros biológicos, tales como la cobertura de macrófitas y la densidad y composición de fitoplancton. Se propone excluir los perfiles verticales de temperatura (CTD), ya que los registros tomados han permitido la determinación de la estructura térmica vertical de la columna de agua de estos embalses.

Tabla 35. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el embalse La Paloma (RML) y su redefinición.

EMBALSE LA PALOMA (Z _{MAX} = 69,5 m) ¹	MONITOREO ACTUAL			REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 19	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM* Número de estación
Estación de muestreo	Sector Muro	04524006-1	305311 E - 6601523 N	1 (Fig. 33 A)	Sector Muro	305234 E - 6600307 N 1 (Fig. 33 B)
	Brazo río Grande	04524005-3	311268 E - 6601814 N	2 (Fig. 33 A)	Sector Bahía Río Guatulame	311490 E - 6597297 N 2 (Fig. 33 B)
	Brazo río Guatulame	04537012-7	312009 E - 6596005 N	3 (Fig. 33 A)	Sector Bahía Río Grande	308291 E - 6601530 N 3 (Fig. 33 B)
					Río Guatulame	311913 E - 6592405 N 4 (Fig. 33 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno				Río Grande	312102 E - 6602048 N 5 (Fig. 33 B)
	Otoño	Superficie (0 m) / Medio 1 (3 m) / Medio 2 (5 m) / Medio 3 (15 m) / Medio 4 (20 m) / Fondo (30 m)			Invierno	5 m
	Primavera				Verano	0 - 5 m / 10 - 20 m / > 30 m / sedimento
	Verano				Verano-otoño	5 m
Parámetros						
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos			Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total			N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂			-		
4. Microelementos	-			-		
5. Coliformes	-			-		
6. Sedimento	-			Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila <i>a</i> (ug/m ³)			Clorofila <i>a</i> (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional			-		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (2000) Recopilación y ordenamiento de la información limnológica monitoreada por la Red Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 134 páginas.

Tabla 36. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el embalse Rapel (RML) y su redefinición.

EMBALSE RAPEL (Z _{MAX} = 90 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 19	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Muro	06054001-2	261487 E - 6231078 N	1 (Fig. 34 A)	Sector Muro	266010 E - 6224758 N	1 (Fig. 34 B)
	Sector Brazo Alhué	06045001-3	278009 E - 6220506 N	2 (Fig. 34 A)	Sector Alhué	277805 E - 6219748 N	2 (Fig. 34 B)
	Sector Las Balsas	06019017-8	272002 E - 6215523 N	3 (Fig. 34 A)	Sector Las Balsas	272638 E - 6214790 N	3 (Fig. 34 B)
					Estero Alhué	283233 E - 6223714 N	4 (Fig. 34 B)
					Río Cachapoal	277074 E - 6205291 N	5 (Fig. 34 B)
					Río Tinguiririca	276344 E - 6202368 N	6 (Fig. 34 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (2-3,9) / Medio 2 (4 - 6,9) / Medio 3 (7 -29,9) / Fondo (30 m)			Invierno	5 m	
	Otoño				Verano	0 - 3 m / > 15 m / sedimento	
	Primavera				Verano-otoño	5 m	
	Verano						
Parámetros	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂ - - - -				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
1. Físicoquímicos					N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
2. Nutrientes					-		
3. Macroelementos					-		
4. Microelementos					-		
5. Coliformes					Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
6. Sedimento							
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³)		
					Fitoplancton (cel/ml)		
					Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (1985) Parámetros Morfométricos de la Red Nacional Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Publicación interna E.H 85/11. 49 páginas.

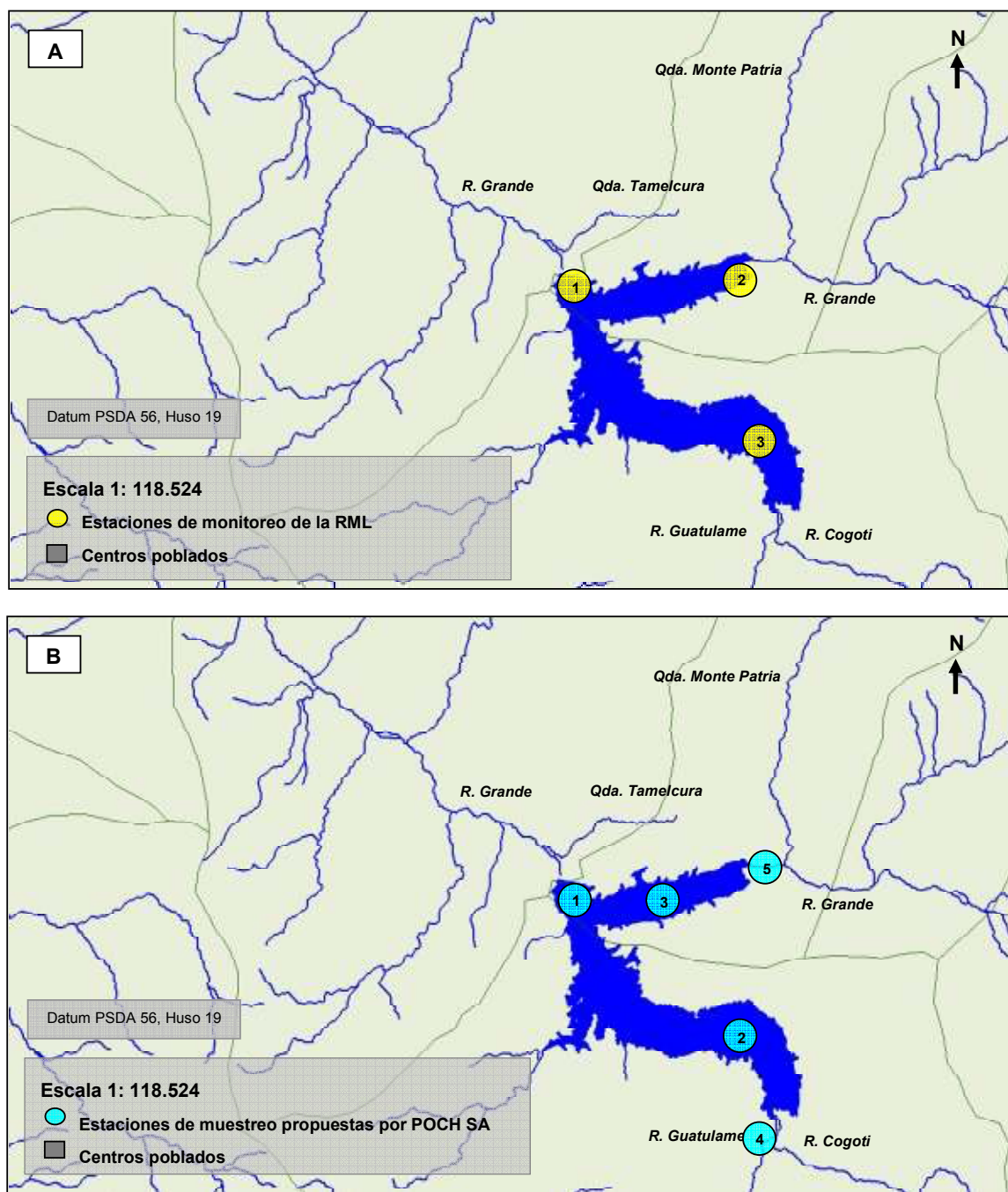


Figura 33. Embalse La Paloma. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). A. Estaciones de monitoreo actuales de la RML: 1: Sector Muro, 2: Brazo Río Grande, 3: Brazo Río Guatulame. B. Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): 1: Sector Muro, 2: Sector Bahía Río Guatulame, 3: Sector Bahía Río Grande, 4: Río Guatulame (Afluente), 5: Río Grande (Afluente).

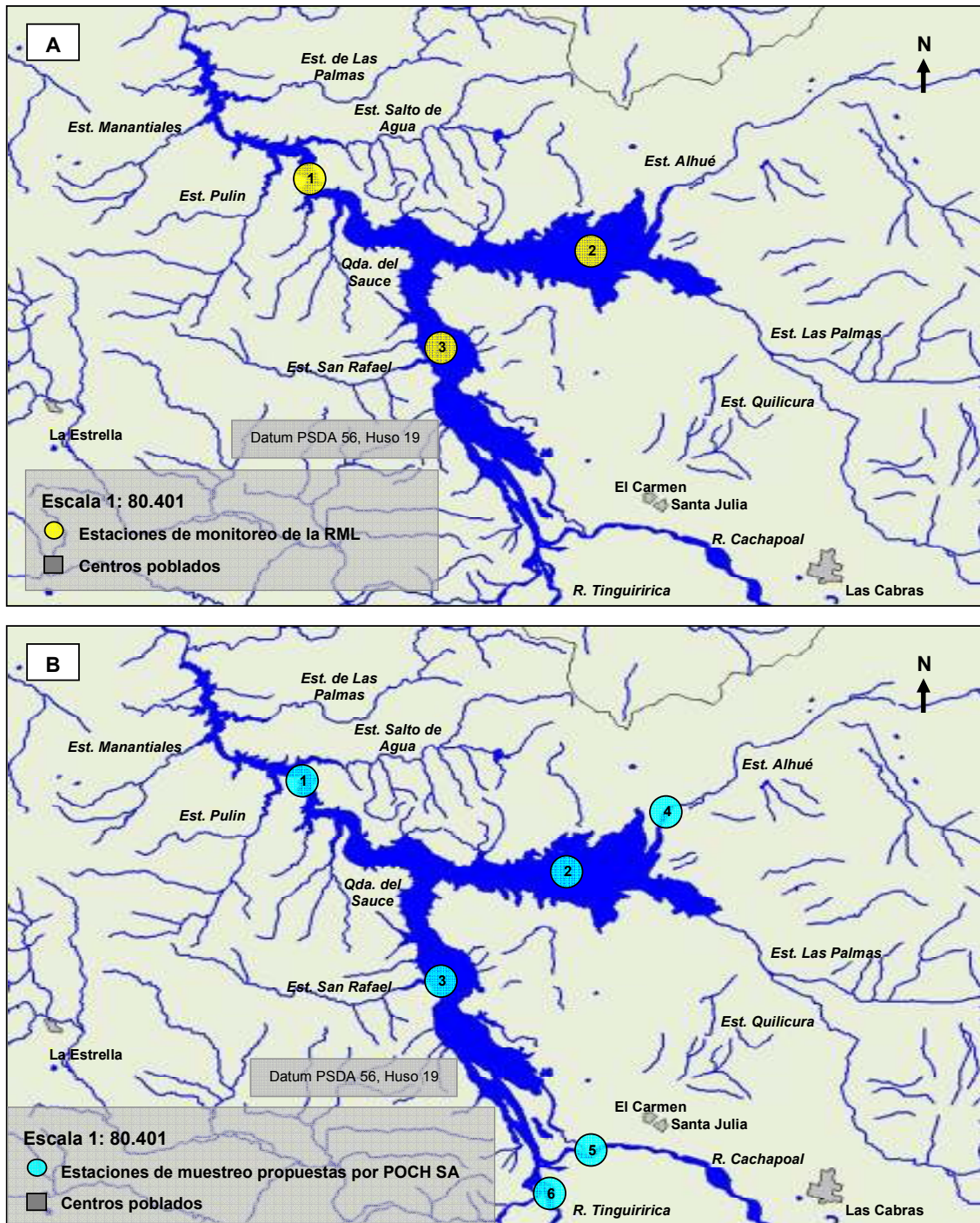


Figura 34. Embalse Rapel. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Sector Muro, **2:** Brazo Alhué, **3:** Sector Las Balsas. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Muro, **2:** Sector Alhué. **3:** Sector Las Balsas, **4:** Estero Alhué, **5:** Río Cachapoal, **6:** Río Tinguiririca.

5.2.2 CLASE 2: Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, con un alto potencial para aumentar su condición de trofia (limitación periódica de Fósforo o Nitrógeno) y con un alto grado de intervención antrópica.

En esta Clase se incluyen los lagos Araucanos: Caburgua, Villarrica, Calafquén, Riñihue y Ranco.

Estos lagos presentan un alto potencial para aumentar su condición trófica (**numeral 5.1.1, Tabla 31**) y también un comparativamente alto grado de intervención antrópica debido al número y tamaño de centros poblados (ciudades) ubicados en la ribera, así como también muestran una mayor actividad económica y recreación que otros lagos Araucanos (**numeral 5.1.2, Tabla 32**). Un ejemplo de ello es el lago Villarrica, sobre el cual se ha diagnosticado una significativa presión antrópica de distintas fuentes, principalmente asociada a la descargas de nutrientes proveniente de poblados y ciudades de la ribera (Campos et al 1983, Campos 1994). Estos lagos actualmente son oligotróficos pero presentan limitación por Fósforo bajo condiciones hidrodinámicas de mezcla en la columna de agua y en otoño e invierno (**numeral 4.2.3.1 y numeral 4.2.3.2**), por lo que la actual concentración de Fósforo y un eventual aumento de la concentración de Fósforo podrían llevarlo a mostrar una condición de Mesotrofia. Cabe mencionar que para el lago Villarrica existe una reciente normativa ambiental (Norma Secundaria de Calidad de agua para el lago Villarrica) que está siendo implementada y que permitirá restringir usos y regular descargas, sin embargo, sería recomendable asignar un mayor esfuerzo de muestreo durante el periodo inicial de vigencia y de aplicación de la NSCA, de tal modo de evaluar su efectividad sobre la condición trófica del lago.

Debido a lo anterior, se asignó el mayor esfuerzo de muestreo a los lagos Caburgua, Calafquén, Villarrica, Riñihue y Ranco entre los lagos de la RML, lo cual consideró la toma de muestras en el sector central del lago, en sectores cercanos a los centros urbanos (ciudades) y en sectores de bahías cuya calidad de agua puede diferir de la calidad de agua en el sector central del lago. También se incluyó la toma de muestras en los principales afluentes de estos lagos de por las mismas razones expuestas para los embalses de la Clase 1. También se consideró la toma de muestras de sedimento en los 3 periodos de muestreo debido a que estos lagos tienen un mayor potencial de aumentar su trofia y eventuales condiciones de anoxia en el sedimento propician la liberación de Fósforo desde el sedimento con las implicancias que ello tiene sobre la condición trófica de los lagos.

Los criterios considerados para definir el muestreo en los lagos Caburgua, Calafquén, Villarrica, Riñihue y Ranco fueron:

- a) Criterio hidrológico (periodos de crecida y estiaje de la cuenca)
- b) Criterio hidrodinámico (periodos de estratificación y mezcla de la columna de agua)
- c) Criterio de limitación por Fósforo

A continuación se indican las estaciones de monitoreo propuestas para los lagos Caburgua, Calafquén, Villarrica, Riñihue y Ranco:

5.2.2.1 Estaciones de monitoreo

5.2.2.1.1 Lago Caburgua

En el lago Caburgua se definieron 4 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Norte (lago, zona pelágica)
- 2 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 3 Sector Sur (lago, zona pelágica)
- 4 Río Blanco (afluente)

5.2.2.1.2 Lago Calafquén

En el lago Calafquén se definieron 8 estaciones de muestreo:

- 1 Sector bahía Coñaripe (lago, zona pelágica)
- 2 Sector bahía Lican-Ray (lago, zona litoral)
- 3 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 4 Río Coñaripe (afluente)
- 5 Estero Diuco (afluente)
- 6 Estero Comonahue (afluente)
- 7 Estero Collico (afluente)
- 8 Estero Nilfe (afluente)

5.2.2.1.3 Lago Villarrica

En el lago Villarrica se definieron 5 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Sector bahía Villarrica (lago, zona pelágica)
- 3 Sector bahía Molco (lago, zona litoral)
- 4 Sector bahía Pucón (lago, zona pelágica)
- 5 Río Pucón (afluente)

5.2.2.1.4 Lago Riñihue

En el lago Riñihue se definieron 5 estaciones de muestreo:

- 1 Sector bahía Enco (lago, zona pelágica)
- 2 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 3 Sector bahía sur-poniente (lago, zona pelágica)
- 4 Sector bahía nor-poniente (lago, zona pelágica)
- 5 Río Enco (afluente)

5.2.2.1.5 Lago Ranco

En el lago Ranco se definieron 6 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Sector bahía Riñinahue (lago, zona pelágica)
- 3 Sector bahía Puerto Nuevo (lago, zona pelágica)
- 4 Sector bahía Futrono (lago, zona pelágica)
- 5 Río Calcurrupe (afluente)
- 6 Río Nilahue (afluente)

5.2.2.2 Periodos y Profundidad de muestreo

Entre los periodos de muestreo se incluyó otoño ya que es en este periodo en donde ocurre una más frecuente limitación por Fósforo que por sobre Nitrógeno. En la **Tabla 37** se indica el diseño de muestreo para los lagos Caburgua, Calafquén, Villarrica, Riñihue y Ranco. En cada afluente se tomará 1 muestra en una profundidad media en los mismos periodos estacionales indicados para las muestras de los lagos.

Tabla 37. Diseño de monitoreo propuesto para los lagos de la Clase 2: Caburgua, Calafquén, Villarrica, Riñihue y Ranco. Se indica la profundidad de muestreo más recomendada y entre paréntesis se indica el rango de profundidades del cual también pueden ser tomadas las muestras.

PERIODO	INVIERNO	VERANO	OTOÑO
MES	junio-julio	enero-febrero	abril-mayo
CONDICIÓN	Crecida	Estiaje	Estiaje
	Mezcla	Estratificación	Mezcla
	Limitación por Fósforo	-	Limitación por Fósforo
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:			
LAGO/PERIODO	INVIERNO	VERANO	OTOÑO
Lago Caburgua (Z _{MAX} = 327 m)	20 m	5 m (0 - 10 m, Epilimnion)	20 m
	sedimento	15 m (10 - 25 m, Metalimnion)	sedimento
		150 m (> 40 m, Hipolimnion)	
		sedimento	
Lago Calafquén (Z _{MAX} = 212 m)	20 m	5 m (0 - 10 m, Epilimnion)	20 m
	sedimento	20 m (10 - 30 m, Metalimnion)	sedimento
		190 m (> 40 m, Hipolimnion)	
		sedimento	
Lago Villarrica (Z _{MAX} = 165 m)	20 m	8 m (5 - 10 m, Epilimnion)	20 m
	sedimento	20 m (15 - 30 m, Metalimnion)	sedimento
		100 m (> 40 m, Hipolimnion)	

PERIODO	INVIERNO	VERANO	OTOÑO
MES	junio-julio	enero-febrero	abril-mayo
CONDICIÓN	Crecida	Estiaje	Estiaje
	Mezcla	Estratificación	Mezcla
	Limitación por Fósforo	-	Limitación por Fósforo
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:			
LAGO/PERIODO	INVIERNO	VERANO	OTOÑO
		sedimento	
Lago Riñihue (Z _{MAX} = 323 m)	20 m	5 m (0 - 10 m, Epilimnion)	20 m
	sedimento	25 m (20 – 30 m, Metalimnion)	sedimento
		180 m (> 50 m, Hipolimnion)	
		sedimento	
Lago Ranco (Z _{MAX} = 199 m)	20 m	5 m (5 - 10 m, Epilimnion)	20 m
	sedimento	30 m (25 - 40 m, Metalimnion)	sedimento
		100 m (> 50 m, Hipolimnion)	
		sedimento	

5.2.2.3 Comparación del actual diseño de monitoreo con la redefinición de monitoreo de los lagos de la Clase 2.

Desde la **Tabla 38** hasta la **Tabla 42** se indica una comparación del diseño de monitoreo actual y el diseño de monitoreo redefinido para los lagos de la Clase 2. En la redefinición fueron incorporados los afluentes a los lagos y varias estaciones en el sector pelágico de los cuerpos de agua. Las actuales estaciones de monitoreo son indicadas desde la **Figura 35a** hasta la **Figura 39a**, seguido de las estaciones de monitoreo propuestas en esta redefinición (Desde la **Figura 35b** hasta la **Figura 39b**).

Hubo una reducción del número de las campañas de monitoreo de 4 campañas realizadas actualmente a 3 campañas por año en los periodos de invierno, verano y otoño. Se redefinieron las profundidades de muestreo y se propuso hacer un muestreo estratificado durante el periodo de estratificación térmica (verano) y tomar solamente una muestra en la columna de agua en los periodos de mezcla (invierno y otoño). El número y los parámetros de calidad de agua también fueron redefinidos, enfocándose a los parámetros físico-químicos y a los nutrientes nitrogenados y fosforados. Se propuso comenzar a realizar el monitoreo del sedimento y de parámetros biológicos, tales como la cobertura de macrófitas y la densidad y composición de fitoplancton. Se propuso excluir los perfiles verticales de temperatura (CTD), ya que los registros tomados han permitido la determinación de la estructura térmica vertical de la columna de agua de estos lagos.

Tabla 38. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Caburgua (RML) y su redefinición.

LAGO CABURGUA (Z _{MAX} = 327 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Norte	09417003-6	264019 E - 5672025 N	1 (Fig. 35 A)	Sector Norte	262370 E - 5670049 N	1 (Fig. 35 B)
	Sector Centro	09417004-4	260515 E - 5667012 N	2 (Fig. 35 A)	Sector Centro	260141 E - 5665547 N	2 (Fig. 35 B)
	Sector Desagüe	09417005-2	259520 E - 5661025 N	3 (Fig. 35 A)	Sector Sur	258469 E - 5658644 N	3 (Fig. 35 B)
					Río Blanco	267430 E - 5672579 N	4 (Fig. 35 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Medio 2 (30 m) / Fondo (80 m)			Invierno	20 m y sedimento	
	Otoño				Verano	0 - 10 m / 10 - 25 m / > 40 m / sedimento	
	Primavera				Otoño	20 m y sedimento	
	Verano						
Parámetros	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total SiO ₂ - - - -				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
1. Físicoquímicos					N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
2. Nutrientes					-		
3. Macroelementos					-		
4. Microelementos					-		
5. Coliformes					-		
6. Sedimento					Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Campos H, W Steffen, O Parra, P Domínguez & G Agüero (1987) Estudios limnológicos en el lago Caburgua (Chile). Gayana, Botánica 44(1-4): 61-84.

Tabla 39. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Calafquén (RML) y su redefinición.

LAGO CALAFQUEN (Z _{MAX} = 212 m) ¹	MONITOREO ACTUAL			REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM* Número de estación
Estación de muestreo	Bahía Lican-Ray	10106004-7	228589 E - 5623722 N	1 (Fig. 36 A)	Sector bahía Coñaripe	239042 E - 5616429 N 1 (Fig. 36 B)
	Centro del Lago	10106005-5	226017 E - 5620241 N	2 (Fig. 36 A)	Sector bahía Lican-Ray	229812 E - 5623908 N 2 (Fig. 36 B)
	Bahía Coñaripe	10106006-3	239104 E - 5616305 N	3 (Fig. 36 A)	Sector Centro	223990 E - 5619932 N 3 (Fig. 36 B)
	Río Coñaripe	10105002-5	240946 E - 5613722 N	4 (Fig. 36 A)	Río Coñaripe	241251 E - 5614085 N 4 (Fig. 36 B)
					Estero Diuco	241623 E - 5617425 N 5 (Fig. 36 B)
				Estero Comonahue	237964 E - 5619440 N 6 (Fig. 36 B)	
				Estero Collico	236427 E - 5621984 N 7 (Fig. 36 B)	
				Estero Nilfe	235897 E - 5622462 N 8 (Fig. 36 B)	
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Medio 2 (30 m) / Fondo (45 m)			Invierno	20 m y sedimento
	Otoño				Verano	0 - 10 m / 10 - 30 m / > 40 m / sedimento
	Primavera				Otoño	20 m y sedimento
	Verano					
Parámetros						
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos			Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total			N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	SiO ₂			-		
4. Microelementos	-			-		
5. Coliformes	Fecales, Totales			-		
6. Sedimento	-			Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)			Clorofila a (ug/m ³)		
				Fitoplancton (cel/ml)		
				Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional			-		

¹ Campos H (1984) Limnological study of Araucanian lakes (Chile). Verh. Internat. Verein. Limnol. 22 (1319-1327): 1319-1327

Tabla 40. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Villarrica (RML) y su redefinición.

LAGO VILLARRICA (Z _{MAX} = 165 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Bahía Villarrica	09420005-9	225187 E - 5647655 N	1 (Fig. 37 A)	Sector Centro	231662 E - 5650795 N	1 (Fig. 37 B)
	Molco	09420006-7	233714 E - 5646220 N	2 (Fig. 37 A)	Sector bahía Villarrica	225347 E - 5647481 N	2 (Fig. 37 B)
	Bahía Pucón	09420008-3	242754 E - 5650614 N	3 (Fig. 37 A)	Sector bahía Molco	231600 E - 5647762 N	3 (Fig. 37 B)
	La Poza	09420007-5	2433942 E - 5648660 N	4 (Fig. 37 A)	Sector bahía Pucón	239635 E - 5650076 N	4 (Fig. 37 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 15,0 m) / Medio 2 (15,1 - 30,0 m) / Medio 3 (30,1 - 79,9 m) / Fondo (≥80 m)			Invierno	20 m y sedimento	
	Otoño				Verano	5 - 10 m / 15 - 30 m / > 40 m / sedimento	
	Primavera						
	Verano				Otoño	20 m y sedimento	
Parámetros							
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond.Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Campos H (1984) Limnological study of Araucanian lakes (Chile). Verh. Internat. Verein. Limnol. 22 (1319-1327): 1319-1327

Tabla 41. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Riñihue y su redefinición.

LAGO RIÑIHUE (Z _{MAX} = 323 m) ¹	MONITOREO ACTUAL			REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM* Número de estación
Estación de muestreo	Enco	10111005-2	226801 E - 5578596 N	1 (Fig. 38 A)	Sector bahía Enco	223763 E -5580152 N 1 (Fig. 38 B)
	Bahía Riñihue	10111004-4	207190 E - 5586998 N	2 (Fig. 38 A)	Sector Centro	217026 E - 5585741 N 2 (Fig. 38 B)
	Desagüe	10111003-6	205968 E - 5590230 N	3 (Fig. 38 A)	Sector bahía sur-poniente	209741 E - 5586639 N 3 (Fig. 38 B)
					Sector bahía nor-poniente	206647 E - 5590831 N 4 (Fig. 38 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno				Río Enco	229651 E - 5578855 N 5 (Fig. 38 B)
	Otoño	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 15,0 m) / Medio 2 (15,1 - 30,0 m) / Fondo (>30,1 m)			Invierno	20 m y sedimento
	Primavera				Verano	0 - 10 m / 20 - 30 m / > 50 m / sedimento
	Verano				Otoño	20 m y sedimento
Parámetros						
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO			Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total			N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂			-		
4. Microelementos	Fe, Cu, B			-		
5. Coliformes	-			-		
6. Sedimento	-			Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	<i>Clorofila a</i> (ug/m ³)			<i>Clorofila a</i> (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional			-		

¹ Geller W (1992) The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer. Aquatic Science 54(1): 37-57.

Tabla 42. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Ranco (RML) y su redefinición.

LAGO RANCO (Z _{MAX} = 199 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Futrono	10307002-3	209443 E - 5550558 N	1 (Fig. 39 A)	Sector Centro	206603 E - 5539892 N	1 (Fig. 39 B)
	Puerto Nuevo	10307003-1	197914 E - 5537140 N	2 (Fig. 39A)	Sector bahía Riñinahue	222621 E - 5532279 N	2 (Fig. 39 B)
	Riñinahue	10307004-K	218855 E - 5532948 N	3 (Fig. 39 A)	Sector bahía Puerto Nuevo	199545 E - 5537671 N	3 (Fig. 39 B)
					Sector bahía Futrono	208982 E - 5550042 N	4 (Fig. 39 B)
					Río Calcurrupe	224524 E - 5542667 N	5 (Fig. 39 B)
					Río Nilahue	227061 E - 5537592 N	6 (Fig. 39 B)
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Medio 2 (30 m) / Medio 3 (80 m)			Invierno	20 m y sedimento	
	Otoño				Verano	5 - 10 m / 25 - 40 m / > 50 m / sedimento	
	Primavera				Otoño	20 m y sedimento	
	Verano						
Parámetros							
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Campos H, J Arenas, W Steffen, C Román & G Agüero (1982) Limnological study of lake Ranco (Chile) Morphometry, physics, chemistry and plankton. Arch. Hydrobiol. 94 (2): 137-171.

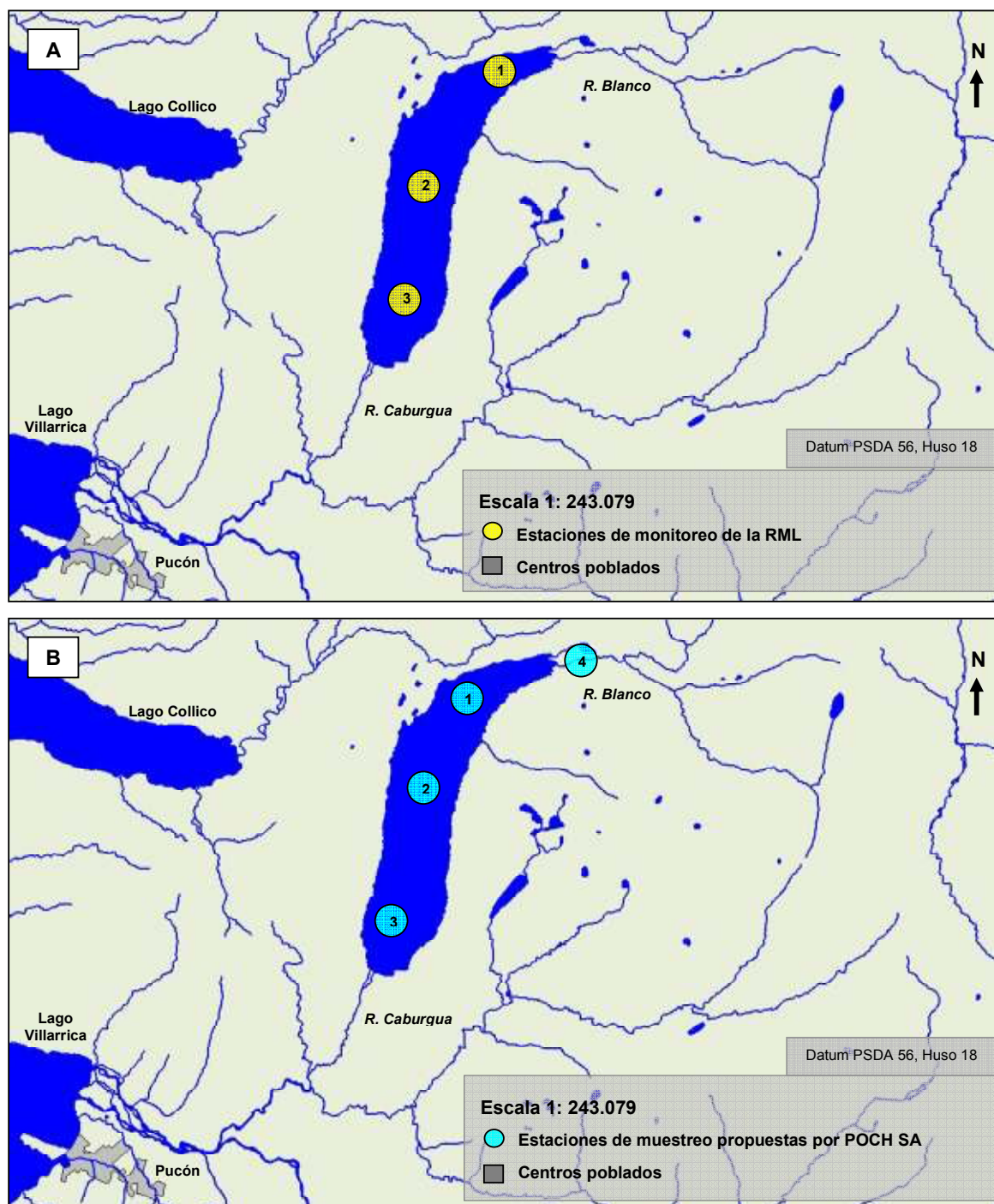


Figura 35. Lago Caburgua. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). A. Estaciones de monitoreo actuales de la RML: 1: Sector Norte, 2: Sector Centro, 3: Sector Desagüe. B. Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): 1: Sector Norte, 2: Sector Centro, 3: Sector Sur, 4: Río Blanco.

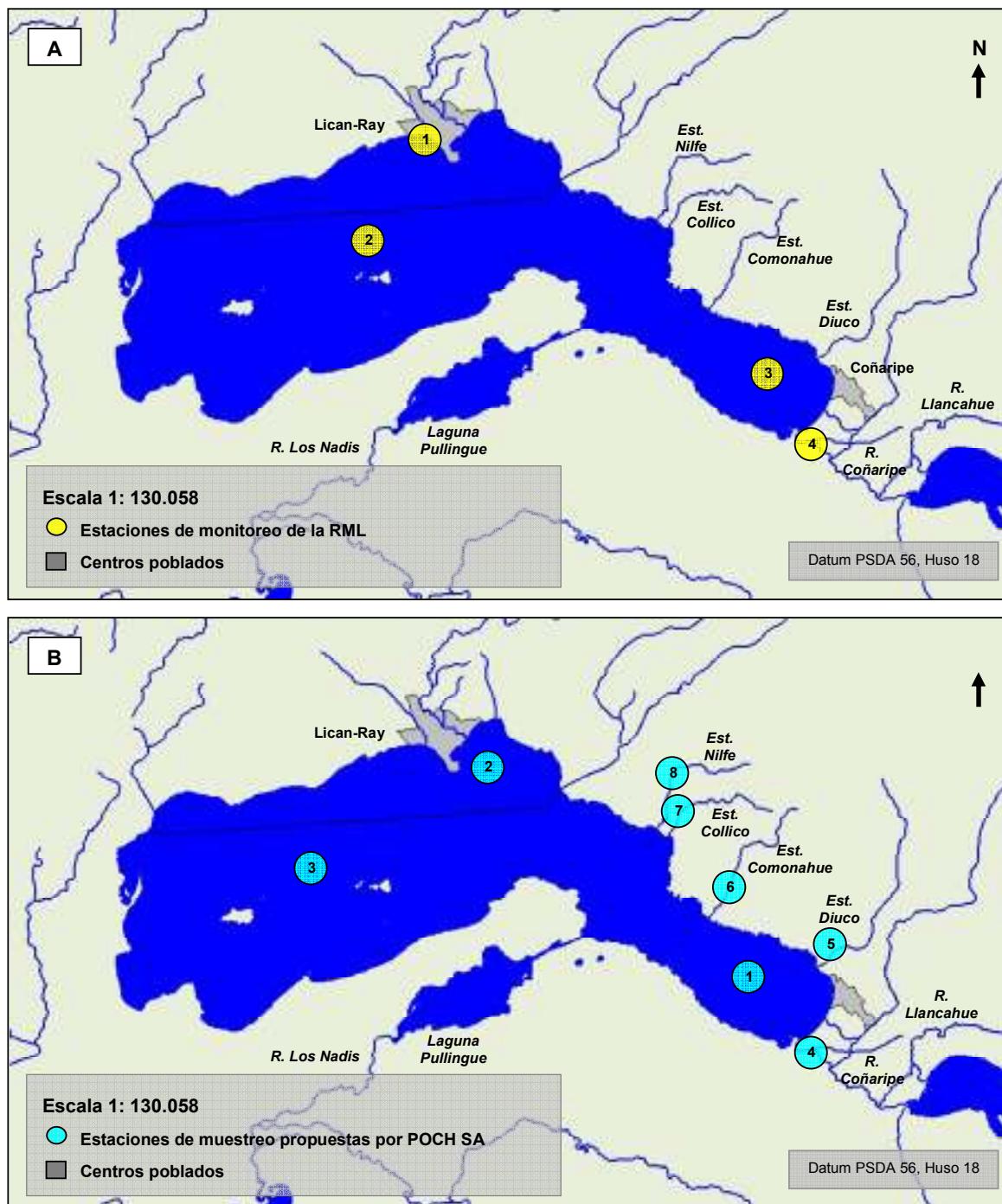


Figura 36. Lago Calafquén. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Bahía Lican-Ray, **2:** Centro Lago, **3:** Bahía Coñaripe, **4:** Río Coñaripe. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector bahía Coñaripe, **2:** Sector bahía Lican-Ray, **3:** Sector Centro, **4:** Río Coñaripe, **5:** Estero Diuco, **6:** Estero Comonahue, **7:** Estero Collico, **8:** Estero Nilfe.

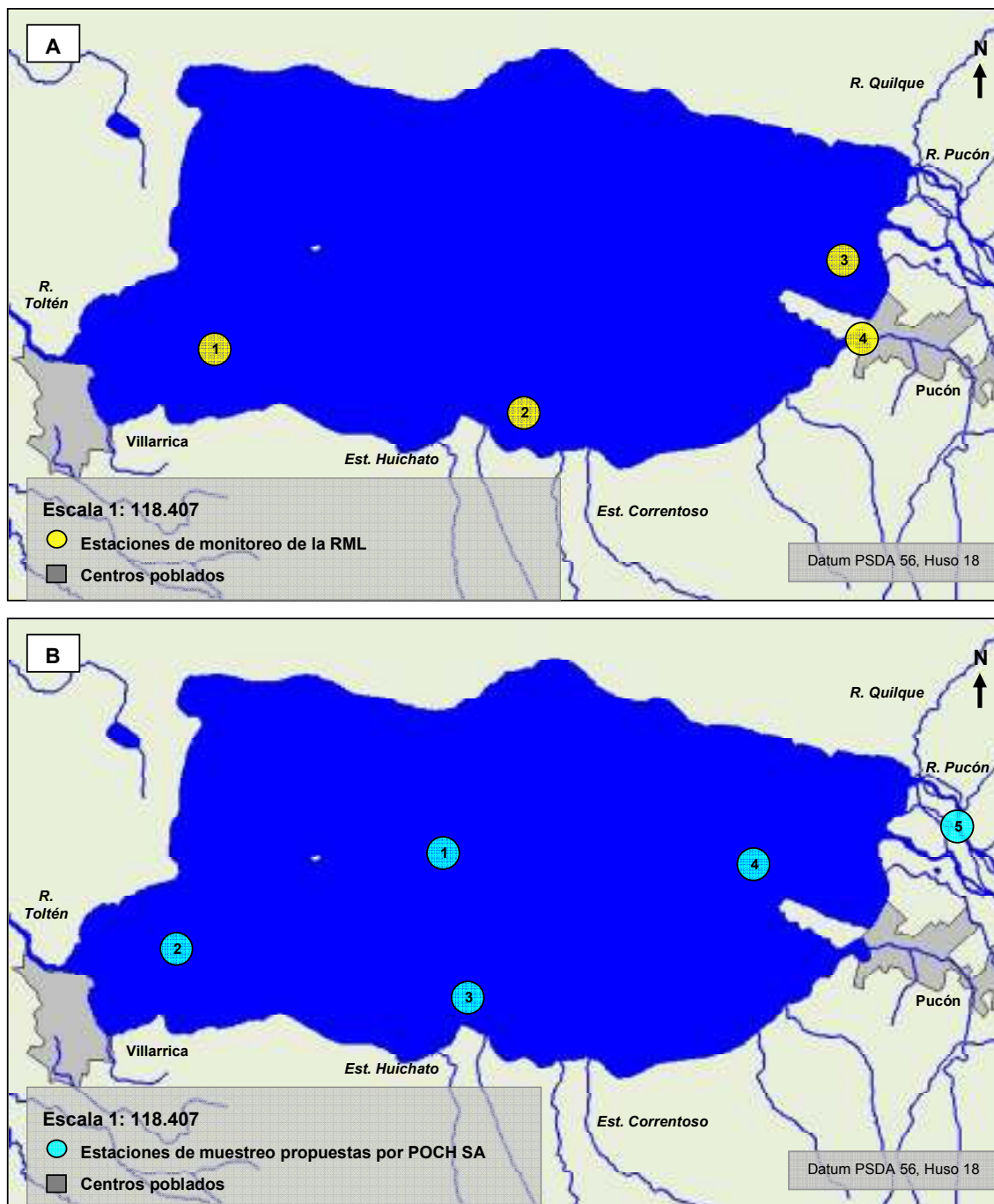


Figura 37. Lago Villarrica. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Villarrica, **2:** Sector Molco, **3:** Bahía Pucón; **4:** La Poza. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Sector bahía Villarrica, **3:** Sector bahía Molco, **4:** Sector bahía Pucón, **5:** Río Pucón.

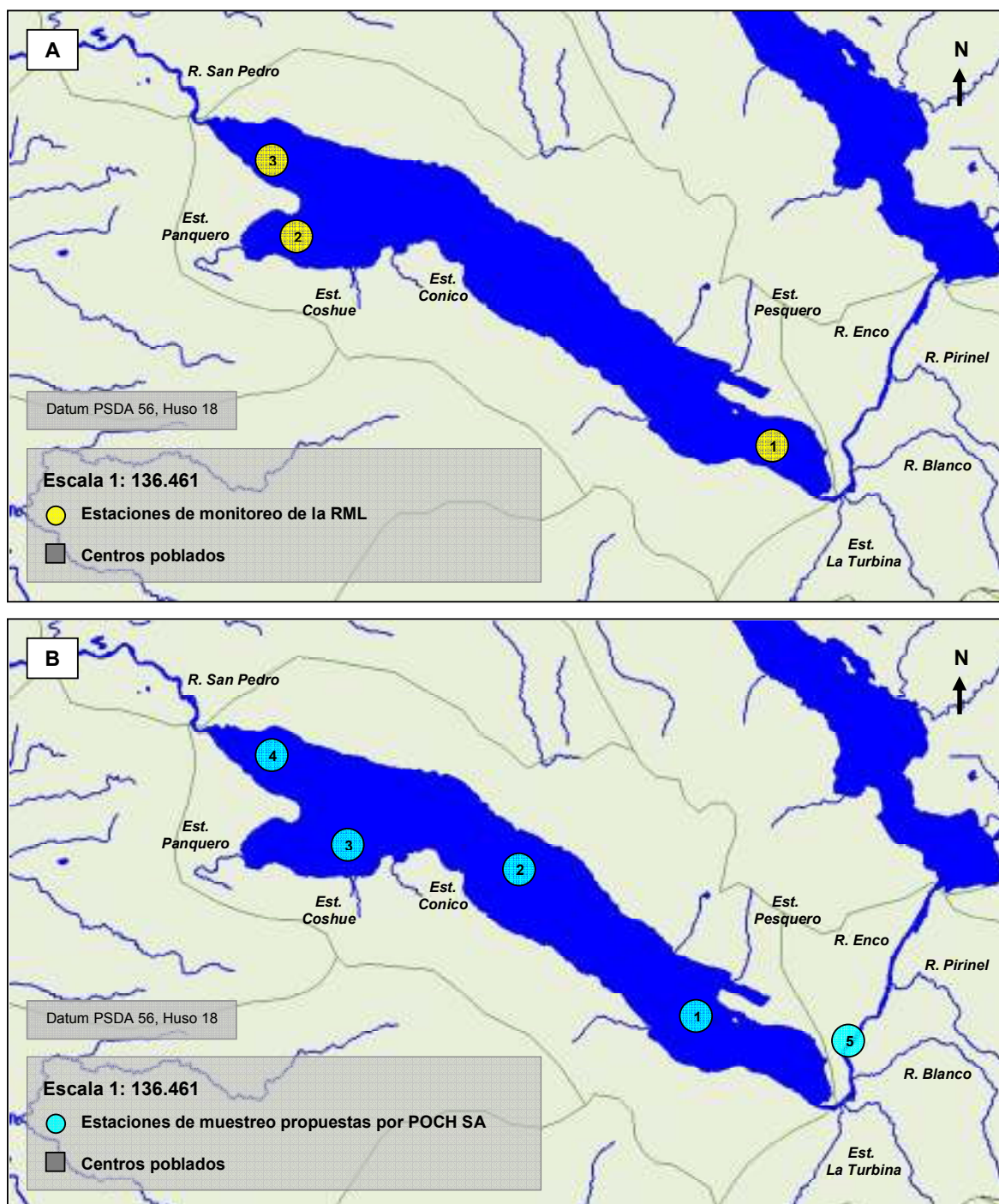


Figura 38. Lago Riñihue. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Sector Enco, **2:** Sector Riñihue, **3:** Sector Desagüe. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector bahía Enco, **2:** Sector Centro, **3:** Sector bahía sur-poniente, **4:** Sector bahía nor-poniente, **5:** Río Enco.

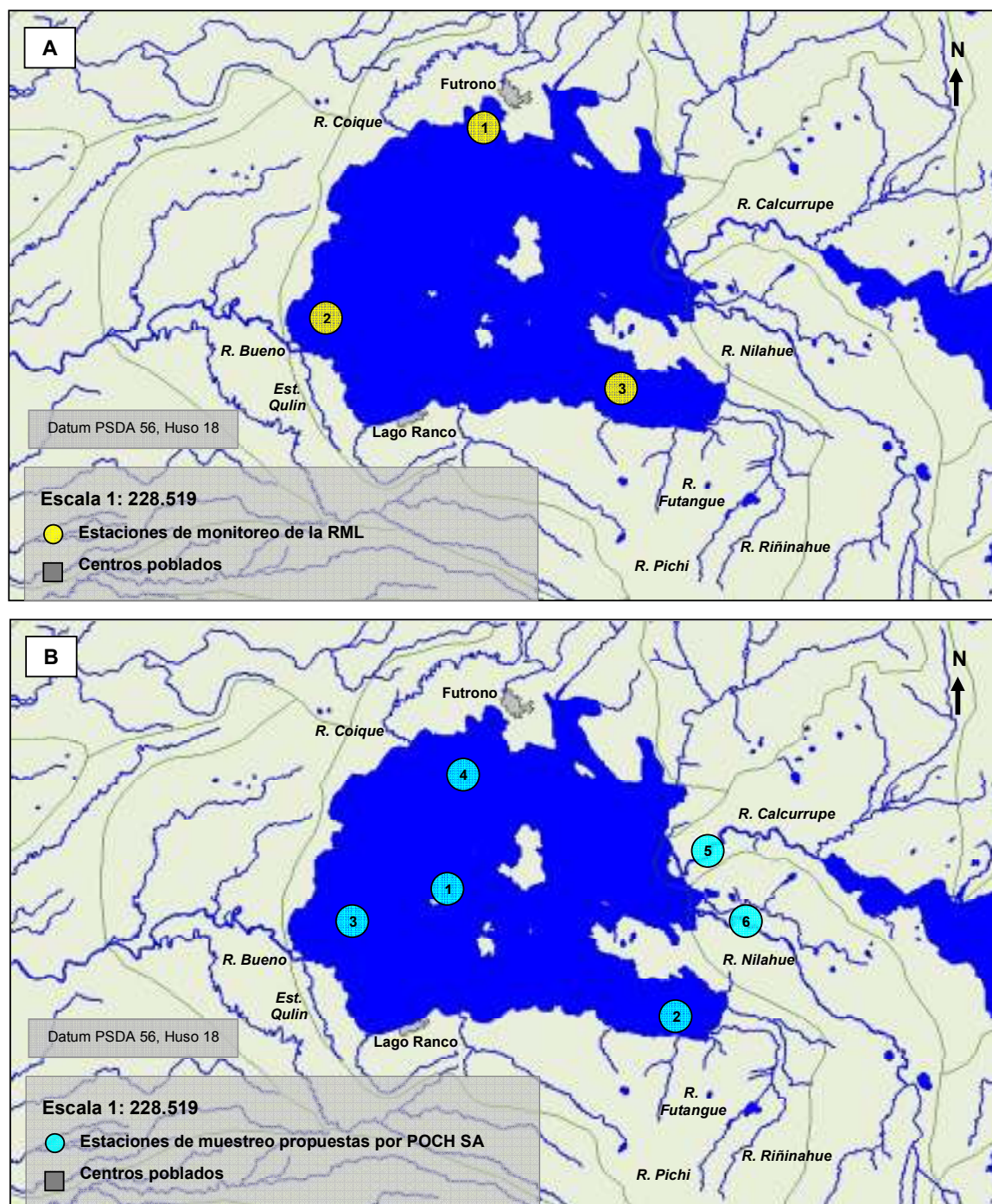


Figura 39. Lago Ranco. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Futrono, **2:** Puerto Nuevo, **3:** Riñinahue. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Sector bahía Riñinahue, **3:** Sector bahía Puerto Nuevo, **4:** Sector bahía Futrono, **5:** Río Calcurrupe, **6:** Río Nilahue.

5.2.3 CLASE 3: Cuerpos de agua naturales y profundos, con niveles oligotróficos, los que presentan un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y el grado de intervención antrópica es variable pero menor que en los lagos de la Clase 2.

En esta Clase se incluyen los lagos Araucanos: Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos, Chapo y la laguna del Laja.

Estos lagos presentan un comparativamente bajo potencial de aumentar su condición trófica (con excepción de la laguna del Laja) (**numeral 5.1.1, Tabla 31**) y un menor grado de intervención antrópica que los lagos Araucanos incluidos en la Clase 2 (**numeral 5.1.1, Tabla 32**), por lo que se les asignó un menor esfuerzo de muestreo. El diseño de muestreo de los lagos Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo y de la laguna del Laja consideró la toma de una muestra en el lago la cual estuvo restringida al sector central del lago. También se definieron muestras en los principales afluentes de estos lagos, sin embargo, debido al menor potencial que presentan estos lagos para aumentar la trofia, sería razonable disminuir el número de afluentes muestreados y realizar un muestreo solamente en los afluentes que aporten una mayor descarga de agua y/o sedimento a estos lagos. También se consideró la toma de muestras de sedimento pero solamente en el periodo de verano ya que la estratificación puede generar un ambiente anóxico y la liberación de Fósforo desde el sedimento con las implicancias que ello tiene sobre la condición trófica de los lagos.

Los criterios específicos para el determinar el diseño de muestreo de los lagos Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo y de la laguna del Laja fueron:

- a) Criterio hidrológico (periodos de crecida y estiaje de la cuenca)
- b) Criterio hidrodinámico (periodos de estratificación y mezcla de la columna de agua)

A continuación se indican las estaciones de monitoreo propuestas para los lagos Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos y Chapo y para la laguna del Laja:

5.2.3.1 Estaciones de monitoreo

5.2.3.1.1 Lago Panguipulli

En el lago Panguipulli se definieron 3 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Río Los Ñadis (afluente)
- 3 Río Llanquihue (afluente)

5.2.3.1.2 Lago Maihue

En el lago Maihue se definieron 4 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Río Hueinahue (afluente)
- 3 Río Melipue (afluente)
- 4 4Río Pillanleufu (afluente)

5.2.3.1.3 Lago Llanquihue

En el lago Llanquihue se definieron 5 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Río Tepu (afluente)
- 3 Río Blanco (afluente)
- 4 Río Pescado (afluente)
- 5 5Río próximo a Frutillar (afluente)

5.2.3.1.4 Lago Todos Los Santos

En el lago Todos Los Santos se definieron 3 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Río Negro (afluente)
- 3 3Río Blanco (afluente)

5.2.3.1.5 Lago Chapo

En el lago Chapo se definieron 3 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (lago, zona pelágica)
- 2 Sector Sur-oriente (lago, zona pelágica)
- 3 3Río Negro (afluente)

5.2.3.1.6 Laguna del Laja

En la laguna del Laja se definieron 3 estaciones de muestreo:

- 1 Sector Centro (laguna, zona pelágica)
- 2 Río El Quique (afluente)
- 3 Río de Los Pinos (afluente)

5.2.3.2 Periodos y Profundidad de muestreo

Fue excluido el periodo de otoño ya que estos sistemas no muestran variaciones de condición trófica por un aumento de concentración de Fósforo en algún periodo del año. En la **Tabla 43**

se indica el diseño de muestreo para los lagos Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos, Chapo y para la laguna del Laja.

Tabla 43. Diseño de muestreo propuesto para los lagos de la Clase 3: Panguipulli, Maihue, Llanquihue, Todos Los Santos, Chapo y la laguna del Laja. Se indica la profundidad de muestreo más recomendada y entre paréntesis se indica el rango de profundidades del cual también pueden ser tomadas las muestras.

PERIODO	INVIERNO	VERANO
MES	junio-julio	enero-febrero
CONDICIÓN	Crecida	Estiaje
	Mezcla	Estratificación
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:		
LAGO/PERIODO	INVIERNO	VERANO
Lago Panguipulli ($Z_{MAX}= 268$ m)	20 m	5 m (0 - 10 m, Epilimnion)
		20 m (10 - 30 m, Metalimnion)
		150 m (> 50 m, Hipolimnion)
		sedimento
Lago Maihue ($Z_{MAX}= 207$ m)	20 m	5 m (0 - 15 m, Epilimnion)
		25 m (20 - 30 m, Metalimnion)
		160 m (> 50 m, Hipolimnion)
		sedimento
Lago Llanquihue ($Z_{MAX}= 317$ m)	20 m	10 m (0 - 20 m, Epilimnion)
		30 m (30 - 40 m, Metalimnion)
		150 m (> 80 m, Hipolimnion)
		sedimento
Lago Todos Los Santos ($Z_{MAX}= 337$ m)	20 m	10 m (0 - 10 m, Epilimnion)
		25 m (15 - 35 m, Metalimnion)
		280 m (> 60 m Hipolimnion)
		sedimento
Lago Chapo ($Z_{MAX}= 298$ m)	20 m	5 m (0 - 10 m, Epilimnion)
		20 m (10 - 30 m, Metalimnion)
		160 m (> 40 m, Hipolimnion)
		sedimento
Laguna del Laja ($Z_{MAX}= 135$ m)	20 m	0 - 3 m (Epilimnion)
		15 m (10 - 30 m, Metalimnion)
		100 m (> 50 m, Hipolimnion)
		sedimento

5.2.3.3 Comparación del actual diseño de monitoreo con la redefinición de monitoreo de los lagos de la Clase 3.

Desde la **Tabla 44** hasta la **Tabla 49** se indica una comparación del diseño de monitoreo actual y el diseño de monitoreo redefinido. En la redefinición fueron propuestas estaciones ubicadas en los afluentes principales y una estación en el sector pelágico en cada lago o embalse. Desde la **Figura 40a** hasta la **Figura 45a** se indican las actuales estaciones de monitoreo seguido de las estaciones de monitoreo propuestas en la redefinición (Desde la **Figura 40b** hasta la **Figura 45b**).

En la redefinición hubo una reducción del número de las campañas de monitoreo, de 4 campañas realizadas actualmente a 2 campañas que se debieran realizar en los periodos invierno y verano. Se redefinieron las profundidades de muestreo y se propuso hacer un muestreo estratificado durante el periodo de estratificación térmica (verano) y tomar una muestra en la columna de agua en el periodo de mezcla (invierno). El número y los parámetros de calidad de agua también fueron redefinidos, enfocándose a los parámetros físico-químicos y a los nutrientes nitrogenados y fosforados. Se propuso comenzar a realizar el monitoreo del sedimento y de parámetros biológicos tales como la cobertura de macrófitas y la densidad y composición de fitoplancton. Se propone excluir los perfiles verticales de temperatura (CTD), ya que los registros tomados han permitido la determinación de la estructura térmica vertical de la columna de agua de estos lagos.

Tabla 44. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Panguipulli (RML) y su redefinición.

LAGO PANGUIPULLI (Z _{MAX} = 268 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Bahía Panguipulli	10108002-1	215946 E - 5605938 N	1 (Fig. 40 A)	Sector Centro Río Los Ñadis Río Llanquihue	221773 E - 5602383 N 222692 E - 5609731 N 236426 E - 5587774 N	1 (Fig. 40 B) 2 (Fig. 40 B) 3 (Fig. 40 B)
	Centro Lago	10108003-K	227510 E - 5594884 N	2 (Fig. 40 A)			
	Bahía Choshuenco	10108004-8	234282 E - 5586619 N	3 (Fig. 40 A)			
	Río Huanehue	10107001-8	222438 E - 5610261 N	4 (Fig. 40 A)			
	Río Llanquihue	10104001-1	239563 E - 5587250 N	5 (Fig. 40 A)			
Periodo y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 8 m) / Medio 2 (8,1 - 17,5 m) / Medio 3 (17,6 - 35,0 m) / Fondo (>35,1 m)			Invierno Verano	20 m 0 - 10 m / 10 - 30 m / > 50 m / sedimento	
	Otoño						
	Primavera						
	Verano						
Parámetros							
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	Fecales, Totales				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Campos H (1984) Limnological study of Araucanian lakes (Chile). Verh. Internat. Verein. Limnol. 22 (1319-1327): 1319-1327.

Tabla 45. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Maihue (RML) y su redefinición.

LAGO MAIHUE (Z _{MAX} = 207 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Los Llollles	10304004 - 3	234213 E - 5540521 N	1 (Fig. 41 A)	Sector Centro	240788 E - 5538006 N	1 (Fig. 41 B)
	Sector Centro	10304003 - 5	240911 E - 5537475 N	2 (Fig. 41 A)	Río Hueinahue	246705 E - 5533019 N	2 (Fig. 41 B)
Periodo y profundidad de muestreo					Río Melipue	245589 E - 5530712 N	3 (Fig. 41 B)
					Río Pillanleufu	242165 E - 5540835 N	4 (Fig. 41 B)
	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 15 m) / Medio 2 (15,1 - 30 m) / Medio 3 (30,1 - 60 m) / Fondo (>60 m)			Invierno Verano	20 m 0 - 15 m / 20 - 30 m / > 50 m / sedimento	
	Otoño						
Primavera							
Verano							
Parámetros							
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (2000) Recopilación y ordenamiento de la información limnológica monitoreada por la Red Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 134 páginas.

Tabla 46. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Llanquihue (RML) y su redefinición.

LAGO LLANQUIHUE (Z _{MAX} = 317 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Puerto Octay	10410006-6	174928 E - 5456737 N	1 (Fig. 42 A)	Sector Centro	181344 E - 5440388 N	1 (Fig. 42 B)
	Frutillar	10410007-4	165114 E - 5439002 N	2 (Fig. 42 A)	Río Tepu	198465 E - 5429299 N	2 (Fig. 42 B)
	Ensenada	10410009-0	198608 E - 5433288 N	3 (Fig. 42 A)	Río Blanco	196167 E - 5427805 N	3 (Fig. 42 B)
	Puerto Varas	10410008-2	168292 E - 5419151 N	4 (Fig. 42 A)	Río Pescado	182723 E - 5425507 N	4 (Fig. 42 B)
					Río próximo a Frutillar	161120 E - 5442629 N	5 (Fig. 42 B)
Periodo y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 18 m) / Medio 2 (18,1 - 32 m) / Medio 3 (32,1 - 46 m) / Medio 4 (46,1 - 60 m) / Fondo (60,1 - 80 m)			Invierno	20 m 0 - 20 m / 30 - 40 m / > 80 m / sedimento	
	Otoño				Verano		
Primavera							
Verano							
Parámetros							
1. Fisicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	Fecales, Totales				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Geller W (1992) The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer. Aquatic Science 54(1): 37-57.

Tabla 47. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Todos Los Santos (RML) y su redefinición.

LAGO TODOS LOS SANTOS (Z _{MAX} = 337 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Petrohue	10454003-1	215846 E - 5441453 N	1 (Fig. 43 A)	Sector Centro	222077 E - 5444034 N	1 (Fig. 43 B)
	Sector Islas Margaritas	10454004-K	220991 E - 5446050 N	2 (Fig. 43 A)	Río Negro	245713 E - 5449748 N	2 (Fig. 43 B)
	Sector Peulla	10454002-3	238226 E - 5444746 N	3 (Fig. 43 A)	Río Blanco	239804 E - 5438450 N	3 (Fig. 43 B)
Periodo y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Medio 2 (30 m) / Fondo (80 m)			Invierno Verano	20 m 0 - 10 m / 15 - 35 m / > 60 m / sedim.	
	Otoño						
	Primavera						
	Verano						
Parámetros	Temperatura, Cond.Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total SiO ₂ - - - -				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
1. Físicoquímicos					N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P- PO ₄ , Fósforo total		
2. Nutrientes					-		
3. Macroelementos					-		
4. Microelementos					-		
5. Coliformes					Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
6. Sedimento					-		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Geller W (1992) The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer. Aquatic Science 54(1): 37-57.

Tabla 48. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Chapo (RML) y su redefinición.

LAGO CHAPO (Z _{MAX} = 298 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Chamiza	10430003-0	203680 E - 5406868 N	1 (Fig. 44 A)	Sector Centro	205430 E - 5408135 N	1 (Fig. 44 B)
	Sector Centro	10430002-2	209192 E - 5403232 N	2 (Fig. 44 A)	Sector Sur-oriente	212861 E - 5400165 N	2 (Fig. 44 B)
	Sector Canutillar	10430004-9	212861 E - 5400165 N	3 (Fig. 44 A)	Río Negro	209664 E - 5410605 N	3 (Fig. 44 B)
Periodo y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Fondo (30 m)			Invierno Verano	20 m 0 - 10 m / 10 - 30 m / > 40 m / sedimento	
	Otoño						
	Primavera						
	Verano						
Parámetros							
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³)		
					Fitoplancton (cel/ml)		
					Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (2000) Recopilación y ordenamiento de la información limnológica monitoreada por la Red Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 134 páginas.

Tabla 49. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Maihue (RML) y su redefinición.

LAGUNA DEL LAJA (Z _{MAX} = 135 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Bahía Colorado	08370004-1	298021 E - 5876006 N	1 (Fig. 45 A)	Sector Centro Río El Quique Río de Los Pinos	296305 E - 5866131 N	1 (Fig. 45 B)
	Río Colorado	08370005-k	302000 E - 5879700 N	2 (Fig. 45 A)		295006 E - 5881665 N	2 (Fig. 45 B)
	Frente Punta Los Machos	08370003-3	296022 E - 5871023 N	3 (Fig. 45 A)		299750 E - 5850272 N	3 (Fig. 45 B)
	Frente Puntilla El Flaco	08370002-5	296020 E - 5864021 N	4 (Fig. 45 A)			
	Sector Puerto Nuevo	08370001-7	291022 E - 5862016 N	5 (Fig. 45 A)			
Periodo y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (15 m) / Medio 2 (30 m) / Fondo (>30 m)			Invierno Verano	20 m 0 - 3 m / 10 - 30 m / > 50 m / sedimento	
	Otoño						
	Primavera						
	Verano						
Parámetros							
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	SiO ₂				-		
4. Microelementos	-				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	Muestreo estacional				-		

¹ Citado en Valdovinos C & P Pedreros (2007) Geographic variations in shell growth rates of the mussel *Diplodon chilensis* from temperate lakes of Chile: implications for biodiversity conservation Limnologia 37: 63–75.

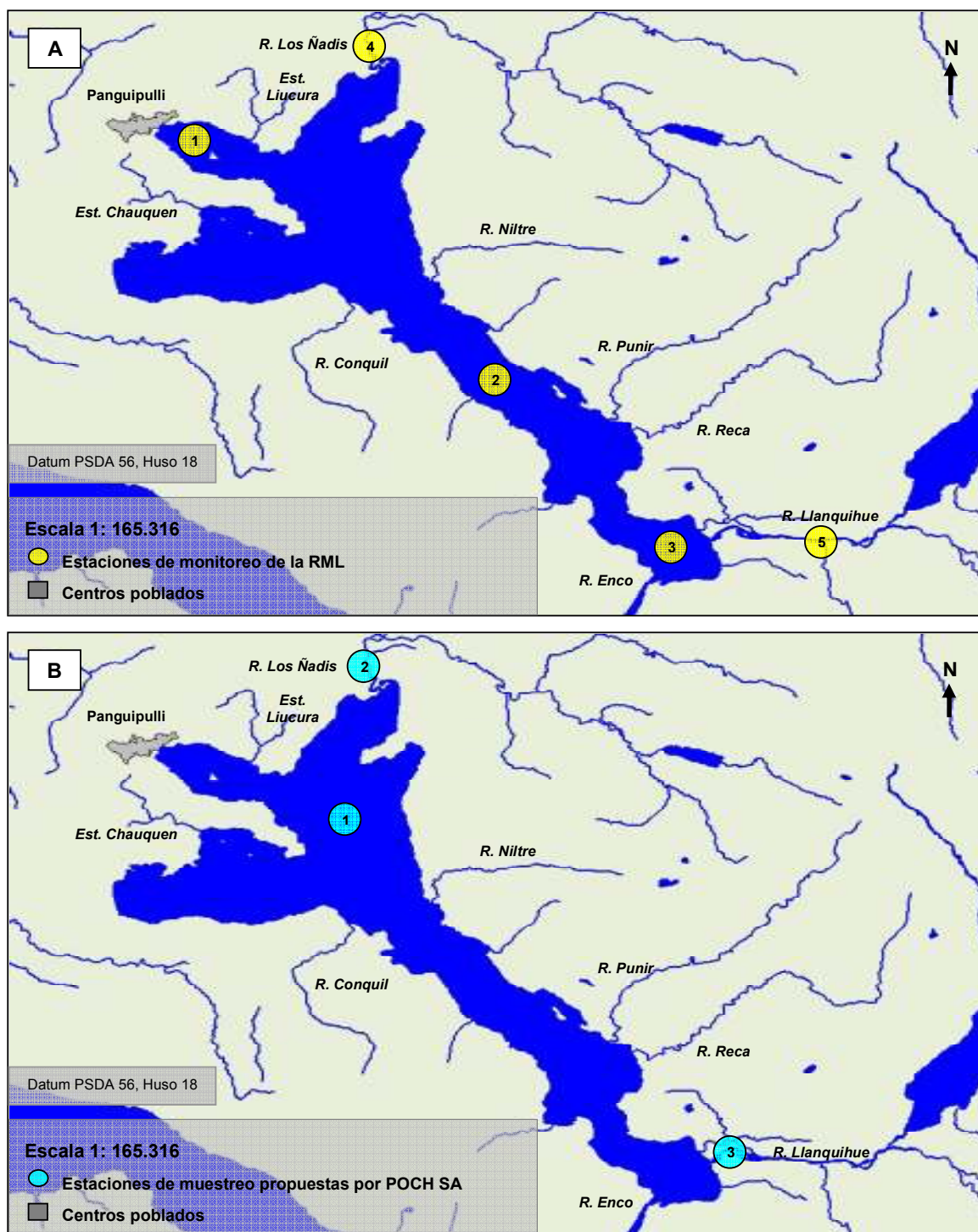


Figura 40. Lago Panguipulli. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Bahía Panguipulli, **2:** Centro Lago, **3:** Bahía Choshuenco, **4:** Río Huanehue, **5:** Río Llanquihue. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Río Los Ñadis, **3:** Río Llanquihue.

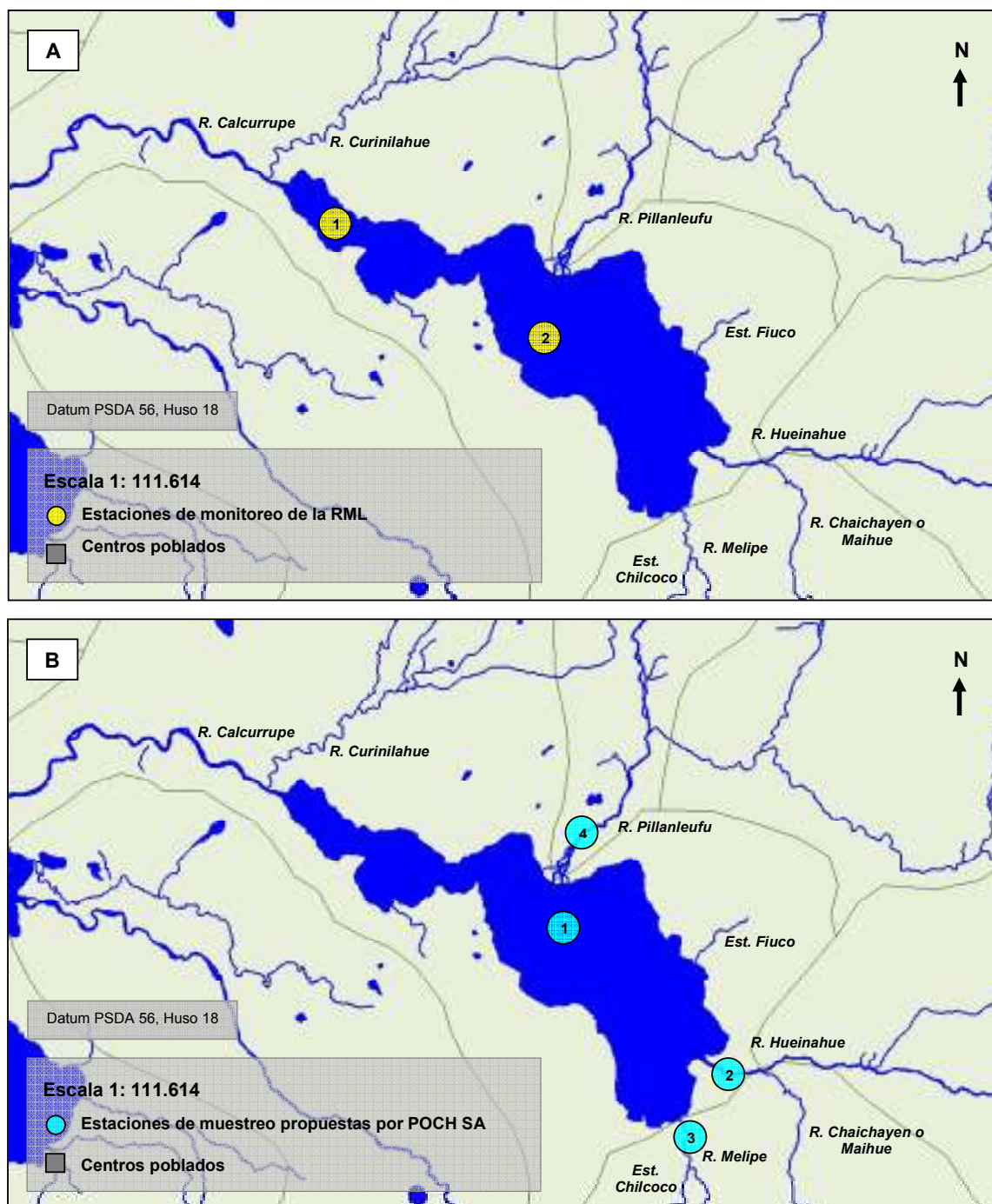


Figura 41. Lago Maihue. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Los Llollles, **2:** Centro lago. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Río Hueinahue, **3:** Río Melipue, **4:** Río Pillanleufu.

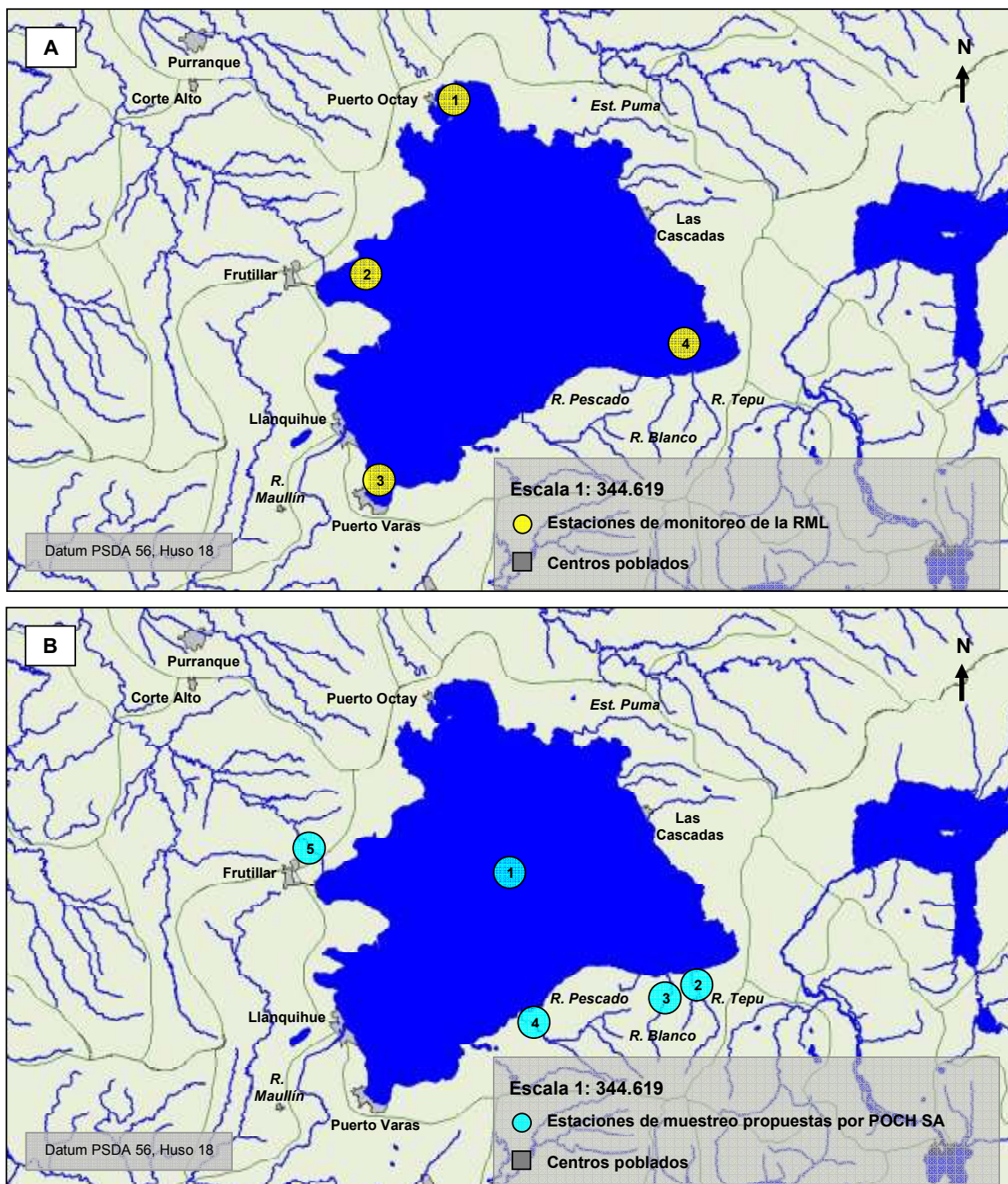


Figura 42. Lago Llanquihue. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Puerto Octay, **2:** Frutillar, **3:** Puerto Varas, **4:** Ensenada. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Río Tepu, **3:** Río Blanco, **4:** Río Pescado, **5:** Río próximo a Frutillar.

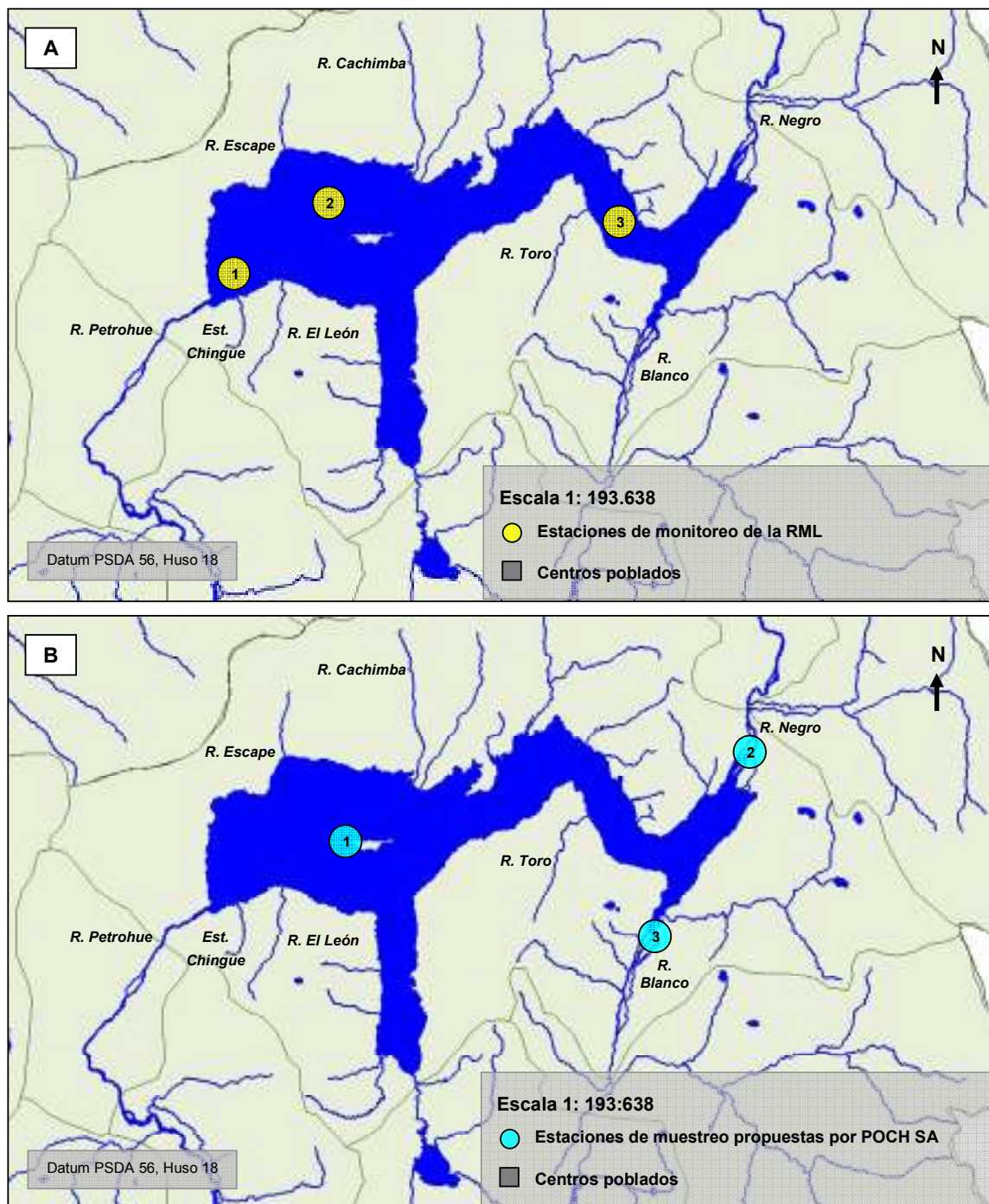


Figura 43. Lago Todos Los Santos. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Petrohue, **2:** Isla Margarita, **3:** Peulla. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Río Negro, **3:** Río Blanco.

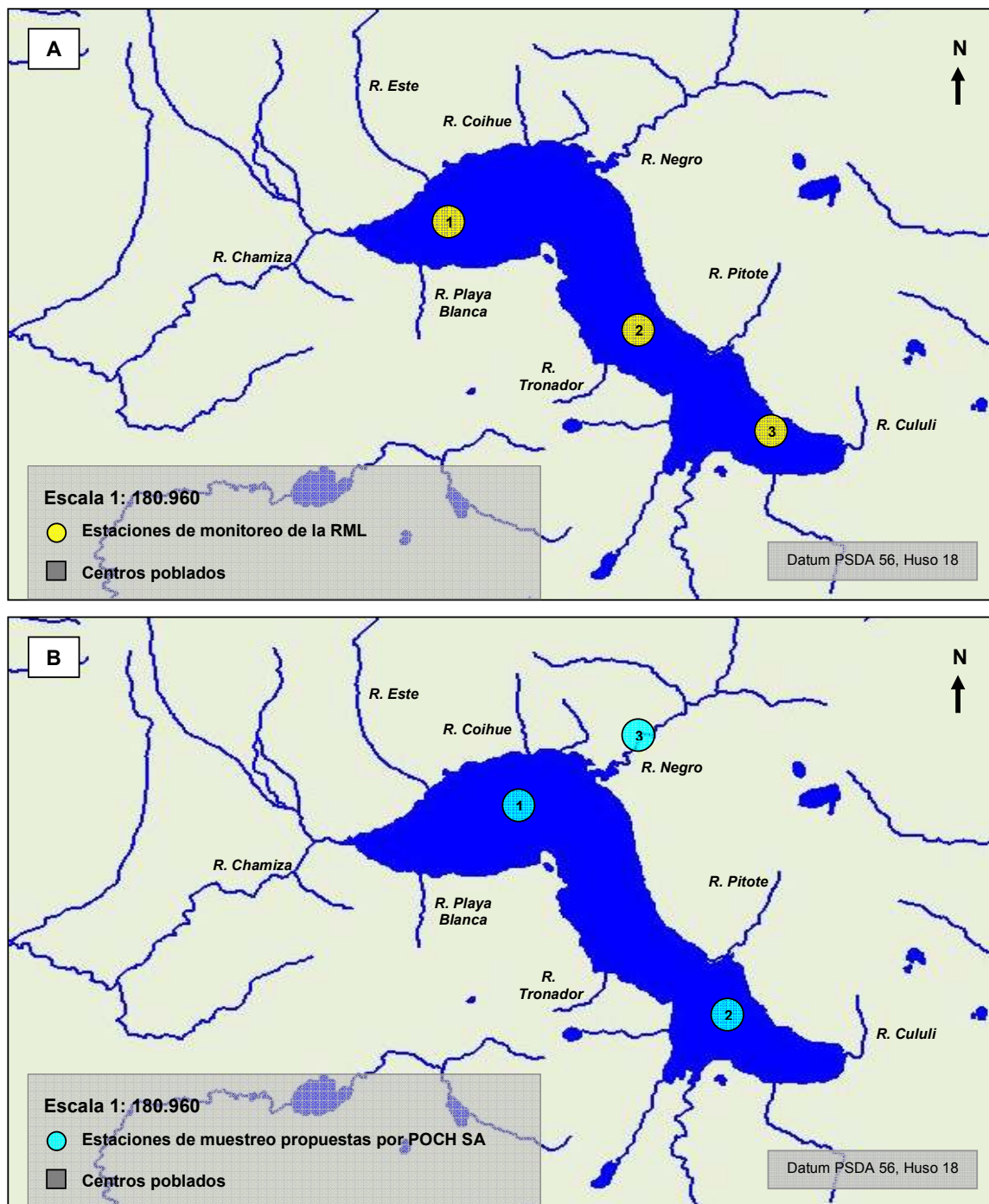


Figura 44. Lago Chapo. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Chamiza, **2:** Centro lago, **3:** Canutillar. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **2:** Sector Sur-oriente, **3:** Río Negro.

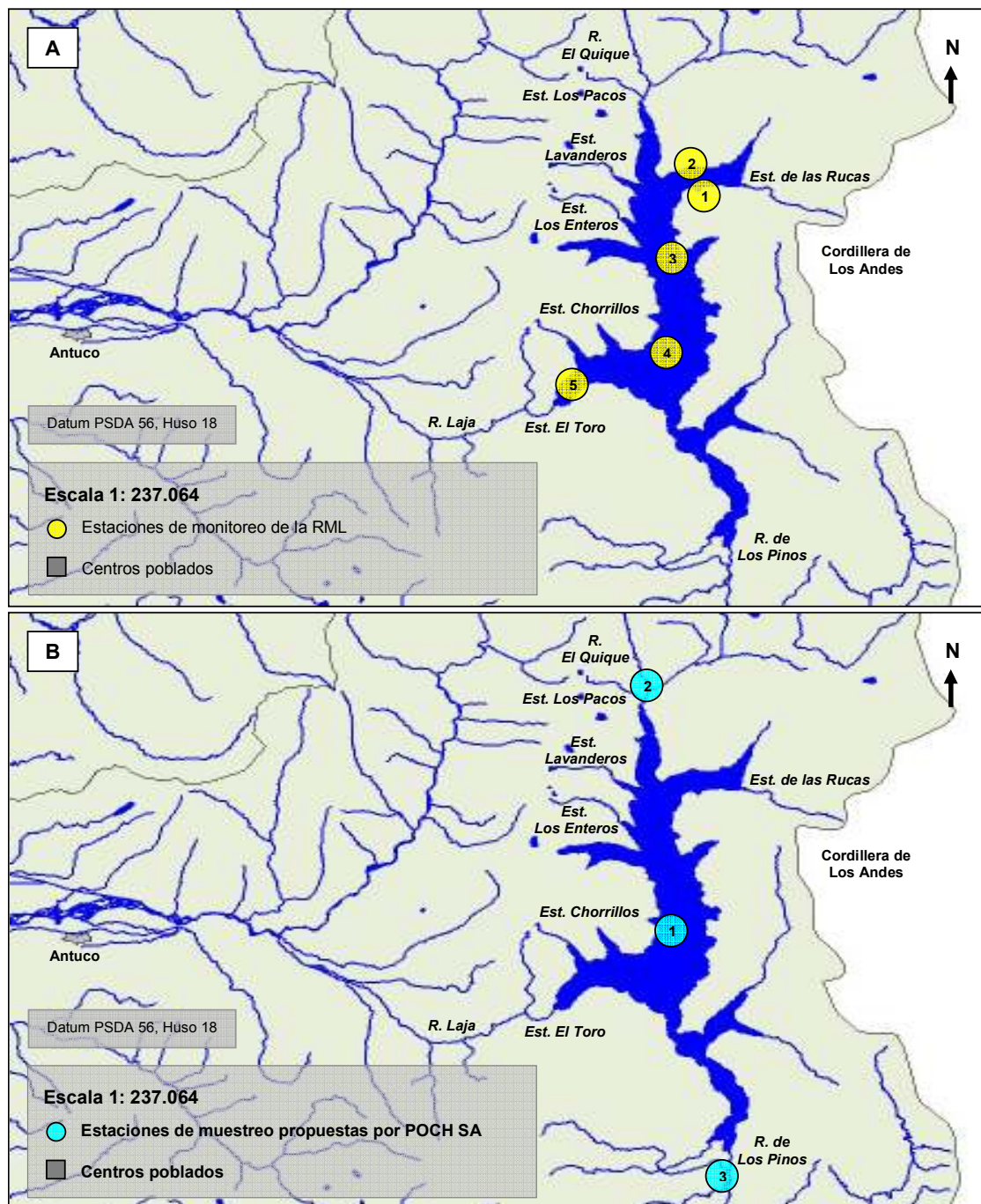


Figura 45. Laguna del Laja. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: 1: Bahía Colorado, 2: Río Colorado, 3: Frente Punta los Machos, 4: Frente Puntilla el Flaco, 5: Sector Puerto Nuevo. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): 1: Sector Centro, 2: Río El Quique, 3: Río de Los Pinos.

5.2.4 CLASE 4. Cuerpos de agua naturales y someros, con niveles altos de trofia (Meso-Hipereutróficos), con un bajo potencial para aumentar su condición de trofia y con alto grado de intervención antrópica.

En esta Clase se incluye el lago Lanalhue y las lagunas Grande de San Pedro y Aculeo.

Estos cuerpos de agua se encuentran cercanos a centros urbanos o incluso son parte de la zona urbana de ciudades por lo que presentan una condición de alta intervención antrópica (**numeral 5.1.2, Tabla 32**). Sin embargo, presentan un bajo potencial para aumentar su condición trófica ya que el nivel de trofia en estos sistemas es muy alto (Eutrofia - Hipereutrofia) (**numeral 5.1.1, Tabla 31**) e incluso la biomasa podría estar alcanzando una condición máxima de capacidad de carga. Por otro lado, estos sistemas son someros y de menor área que los otros lagos de la RML, por lo que sería comparativamente fácil implementar medidas de manejo ambiental. Debido a lo anterior, se les atribuyó el menor esfuerzo de muestreo entre los lagos de la RML. El diseño de muestreo para el lago Lanalhue y las lagunas Grande de San Pedro y Aculeo consideró la toma de 1 muestra en el sector central (pelágico) de cada cuerpo de agua y excluyó del muestreo a los afluentes y efluentes ya que estos sistemas son los más intervenidos entre los sistemas de la RML y su potencial para aumentar su trofia es menor y consecuentemente, el riesgo de deterioro ambiental también es comparativamente menor, por lo que el esfuerzo en la vigilancia por parte de la DGA debiera también ser menor. Se consideró tomar 1 muestra en el sedimento en los periodos de verano e invierno debido a la alta carga de material orgánico.

El criterio principal para determinar el diseño de muestreo de estos tres lagos fue la condición hidrodinámica de la columna de agua y por ello se consideró la ocurrencia de estratificación y mezcla de la columna de agua. En la **Tabla 5** se indica el diseño de muestreo para el lago Lanalhue, la laguna Grande de San Pedro y la laguna Aculeo.

A continuación se indican las estaciones de muestreo propuestas para el lago Lanalhue y las lagunas Grande de San Pedro y Aculeo:

5.2.4.1 Estaciones de monitoreo

5.2.4.1.1 Lago Lanalhue

En el lago Lanalhue se definió 1 estación de monitoreo ubicada en el sector Centro (lago, zona pelágica).

5.2.4.1.2 Laguna Grande de San Pedro

En la laguna Grande de San Pedro se definió 1 estación de monitoreo ubicada en el sector Centro (lago, zona pelágica).

5.2.4.1.3 Laguna Aculeo

En la laguna Aculeo se definió 1 estación de monitoreo ubicada en el sector Centro (laguna, zona pelágica).

5.2.4.2 Periodos y Profundidad de muestreo

La **Tabla 50** presenta el diseño de muestreo para el lago Lanalhue, la laguna Grande de San Pedro y la laguna Aculeo.

Tabla 50. Diseño de muestreo propuesto para los lagos y lagunas de la Clase 4: el lago Lanalhue, la laguna Grande de San Pedro y la laguna Aculeo. Se indica la profundidad de muestreo más recomendada pero entre paréntesis el rango de profundidades del cual también pueden ser tomadas las muestras.

PERIODO	INVIERNO	VERANO
MES	julio-agosto	enero-febrero
CONDICIÓN	Mezcla	Estratificación
PROFUNDIDAD DE MUESTREO:		
LAGO o LAGUNA/PERIODO	INVIERNO	VERANO
Lago Lanalhue ($Z_{MAX}=25$ m)	8 - 10 m	0 - 5 m (Epilimnion)
	sedimento	10 - 15 m (Metalimnion)
		15 m (> 15 m, Hipolimnion)
		sedimento
Laguna Grande de San Pedro ($Z_{MAX}=14$ m)	5 - 10 m	0 - 3 m (Epilimnion)
	sedimento	6 - 9 m (Metalimnion)

PERIODO	INVIERNO	VERANO
Laguna Aculeo (Z _{MAX} = 7 m)		> 10 m (Hipolimnion)
		sedimento
	3 - 4 m	3 - 4 m*
	sedimento	sedimento

* La laguna Aculeo no presenta estratificación durante el año

5.2.4.3 Comparación del actual diseño de monitoreo con la redefinición de monitoreo de los lagos y lagunas de la Clase 4.

Desde la **Tabla 51** hasta la **Tabla 53** se realiza una comparación del diseño de monitoreo actual y el diseño de monitoreo redefinido. En la redefinición fueron extraídas la mayoría de las estaciones y se dejó una sola estación en el sector pelágico y central de cada cubeta lacustre. Desde la **Figura 46a** hasta la **Figura 48a** se indican las actuales estaciones de monitoreo seguido de las estaciones de monitoreo propuestas en la redefinición (Desde la **Figura 46b** hasta la **Figura 46b**).

Hubo una reducción del número de las campañas de monitoreo, de 4 campañas que se realizan actualmente a 2 campañas que se sugieren realizar en verano e invierno. Se redefinieron las profundidades de muestreo y se propuso hacer un muestreo estratificado durante el periodo de estratificación térmica (verano), sin embargo, en el caso de la laguna Aculeo, sería suficiente tomar una muestra en la columna de agua en verano y en invierno, ya que la columna de agua se encuentra permanentemente mezclada. El número y los parámetros de calidad de agua también fueron redefinidos, enfocándose a los parámetros físico-químicos y a los nutrientes nitrogenados y fosforados. Se propuso comenzar a realizar el monitoreo del sedimento y de parámetros biológicos tales como la cobertura de macrófitas y la densidad y composición de fitoplancton. A diferencia de los lagos anteriores, no existen perfiles verticales para las lagunas Aculeo y Grande de San Pedro y los perfiles para el lago Lanalhue son insuficientes, por los que se propone generar estos perfiles para los periodos estacionales más arriba señalados.

Tabla 51. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en el lago Lanalhue (RML) y su redefinición.

LAGO LANALHUE (Z _{MAX} = 25 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Puerto Paleco	08822009-9	115086 E - 5797418 N	1 (Fig. 46 A)	Sector Centro	120769 E - 5794170 N	1 (Fig. 46 B)
	Frente Hostería	08822010-2	120814 E - 5794269 N	2 (Fig. 46 A)			
	Playa Blanca	08822011-0	124939 E - 5792534 N	3 (Fig. 46 A)			
	Puerto Manzano	08822012-9	125927 E - 5788085 N	4 (Fig. 46 A)			
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 - 0,5 m) / Medio 1 (0,6 - 5,0 m) / Medio 2 (5,1 - 10,0 m) / Fondo (> 10 m)	Invierno	8 - 10 m y sedimento			
	Otoño						
Primavera	Verano		Verano	0 - 5 m / 10 - 15 m / > 15 m / sedimento			
Verano							
Parámetros							
1. Físicoquímicos	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO		
2. Nutrientes	N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total				N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total		
3. Macroelementos	HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂				-		
4. Microelementos	Fe, Cu, B, As				-		
5. Coliformes	-				-		
6. Sedimento	-				Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	1 perfil (primavera 2007)				Perfiles verticales de temperatura (CTD)		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (1985) Parámetros Morfométricos de la Red Nacional Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Publicación interna E.H 85/11. 49 páginas.

Tabla 52. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en la laguna Grande de San Pedro (RML) y su redefinición.

LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO (Z _{MAX} = 13,5 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Sector Sur	08394007-7	132982 E - 5911841 N	1 (Fig. 47 A)	Sector Centro	133856 E - 5913729 N	1 (Fig. 47 B)
	Sector Centro	08394008-5	133416 E - 5912972 N	2 (Fig. 47 A)			
	Sector Desagüe	08394009-3	133551 E - 5913990 N	3 (Fig. 47 A)			
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 5,9 m) / Medio 2 (6,0 - 8,0 m) / Medio 3 (8,1 - 8,9 m) / Medio 4 (9,0 - 11,0 m) / Fondo (11,1 - 15,0 m)			Invierno	5 - 10 m y sedimento	
	Otoño Primavera Verano				Verano	0 - 3 m / 6 - 9 m / > 10 m / sedimento	
Parámetros	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂ Fe, Cu, B, As Fecales -				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total - - - Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
1. Físicoquímicos							
2. Nutrientes							
3. Macroelementos							
4. Microelementos							
5. Coliformes							
6. Sedimento							
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	-				Perfiles verticales de temperatura (CTD)		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (2000) Recopilación y ordenamiento de la información limnológica monitoreada por la Red Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 134 páginas.

Tabla 53. Comparación del diseño de monitoreo actual desarrollado en la laguna Aculeo (RML) y su redefinición.

LAGUNA ACULEO (Z _{MAX} = 7 m) ¹	MONITOREO ACTUAL				REDEFINICIÓN DE MONITOREO		
	Estaciones	Código	Coordenadas UTM Datum PSDA 56, Huso 18	Número de estación	Estaciones	Coordenadas UTM*	Número de estación
Estación de muestreo	Frente Casa de Bombas	05716008-K	321306 E - 6255512 N	1 (Fig. 48 A)	Sector Centro	323840 E - 6252405 N	1 (Fig. 48 B)
	Frente Puntilla León	05716009-8	323015 E - 6253511 N	2 (Fig. 48 A)			
	Sector Desagüe	05716010-1	325004 E - 6253023 N	3 (Fig. 48 A)			
Periodos y profundidad de muestreo	Invierno	Superficie (0 m) / Medio 1 (0,1 - 2,5 m) / Medio 2 (2,6 - 3,9 m) / Fondo (4,0 - 5,0 m)			Invierno	3 - 4 m y sedimento	
	Otoño Primavera Verano				Verano	3 - 4 m** / sedimento	
Parámetros	Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Turbidez, Transparencia, DQO, Sólidos totales suspendidos N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total HCO ₃ , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO ₄ , SiO ₂ - - - -				Temperatura, Cond. Espec, pH, Oxígeno disuelto, % Sat. de oxígeno, Transparencia, DQO N-NO ₃ , N-NO ₂ , N-NH ₄ , N-Kjeldahl, Nitrógeno total, P-PO ₄ , Fósforo total - - - Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica		
1. Físicoquímicos							
2. Nutrientes							
3. Macroelementos							
4. Microelementos							
5. Coliformes							
6. Sedimento							
7. Parámetros biológicos	Clorofila a (ug/m ³)				Clorofila a (ug/m ³) Fitoplancton (cel/ml) Macrófitas (m ²)		
Perfil de CTD	-				Perfiles verticales de temperatura (CTD)		

¹ Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (1985) Parámetros Morfométricos de la Red Nacional Mínima de Control de Lagos. Proyecto de práctica profesional. Publicación interna E.H 85/11. 49 páginas.

** La laguna Aculeo no presenta estratificación durante el verano.

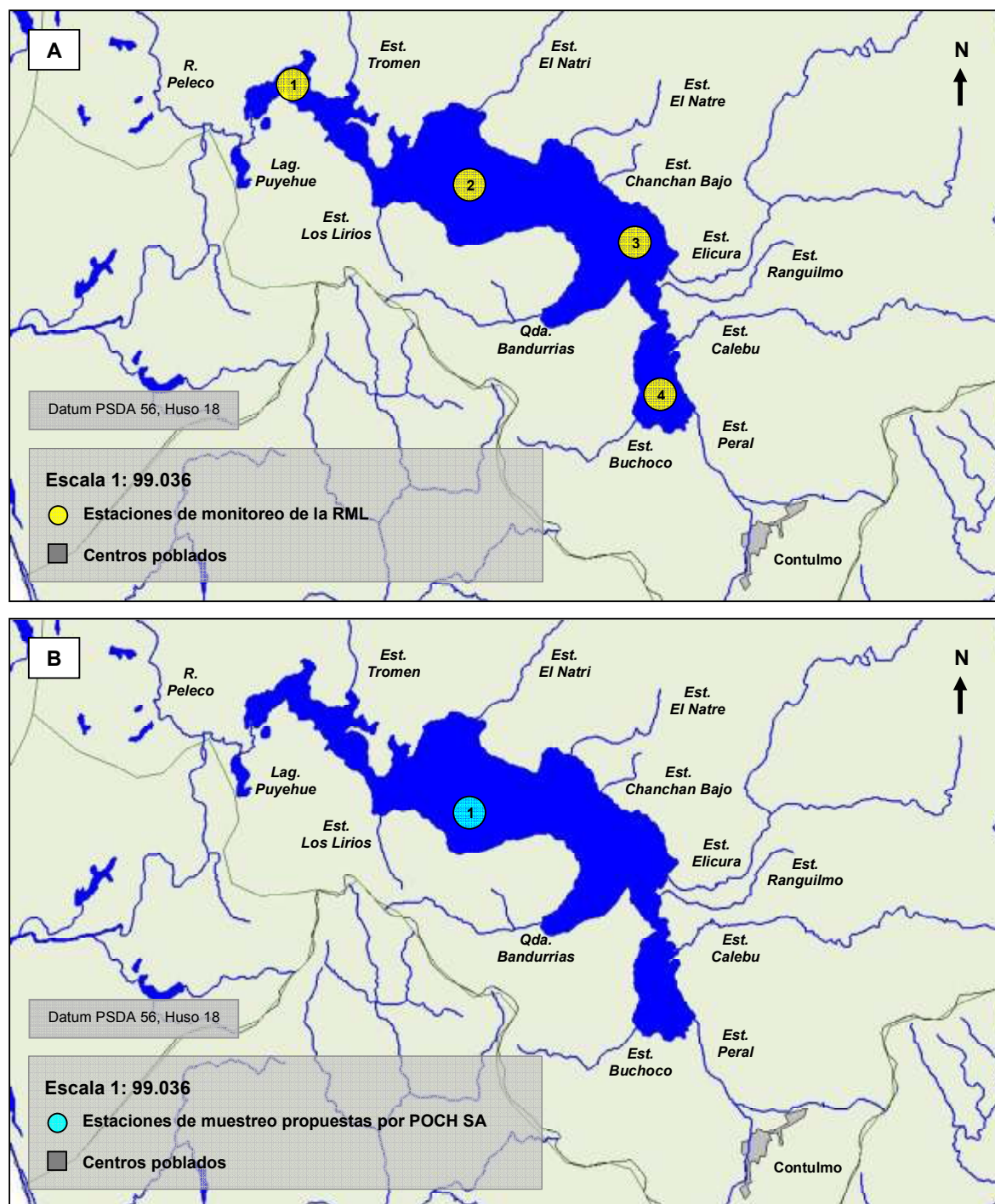


Figura 46. Lago Lanalhue. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Puerto Peleco, **2:** Frente Hostería, **3:** Playa Blanca, **4:** Puerto Manzano. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro.

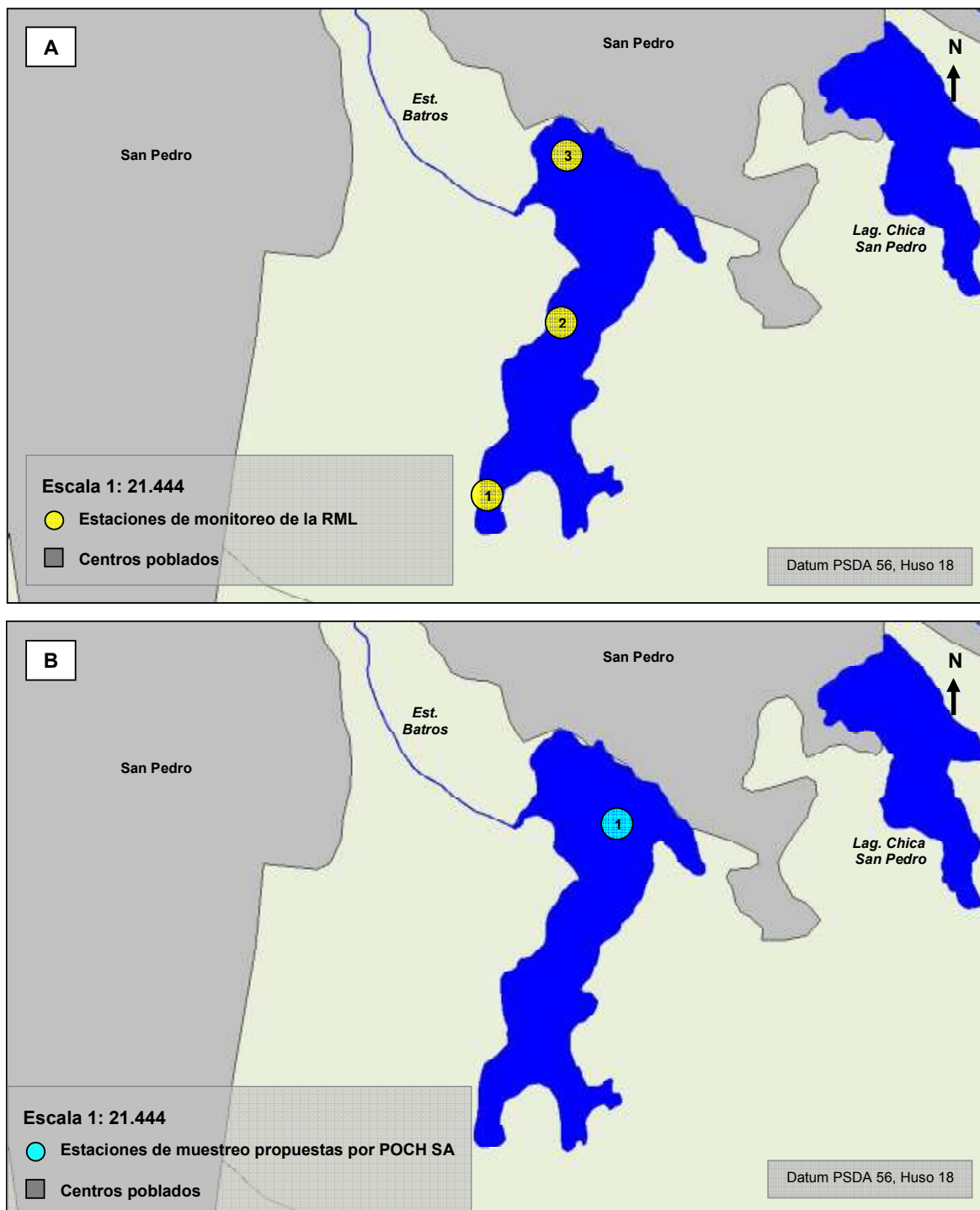


Figura 47. Laguna Grande de San Pedro. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Sector Sur, **2:** Sector Centro, **3:** Sector Desagüe. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro.

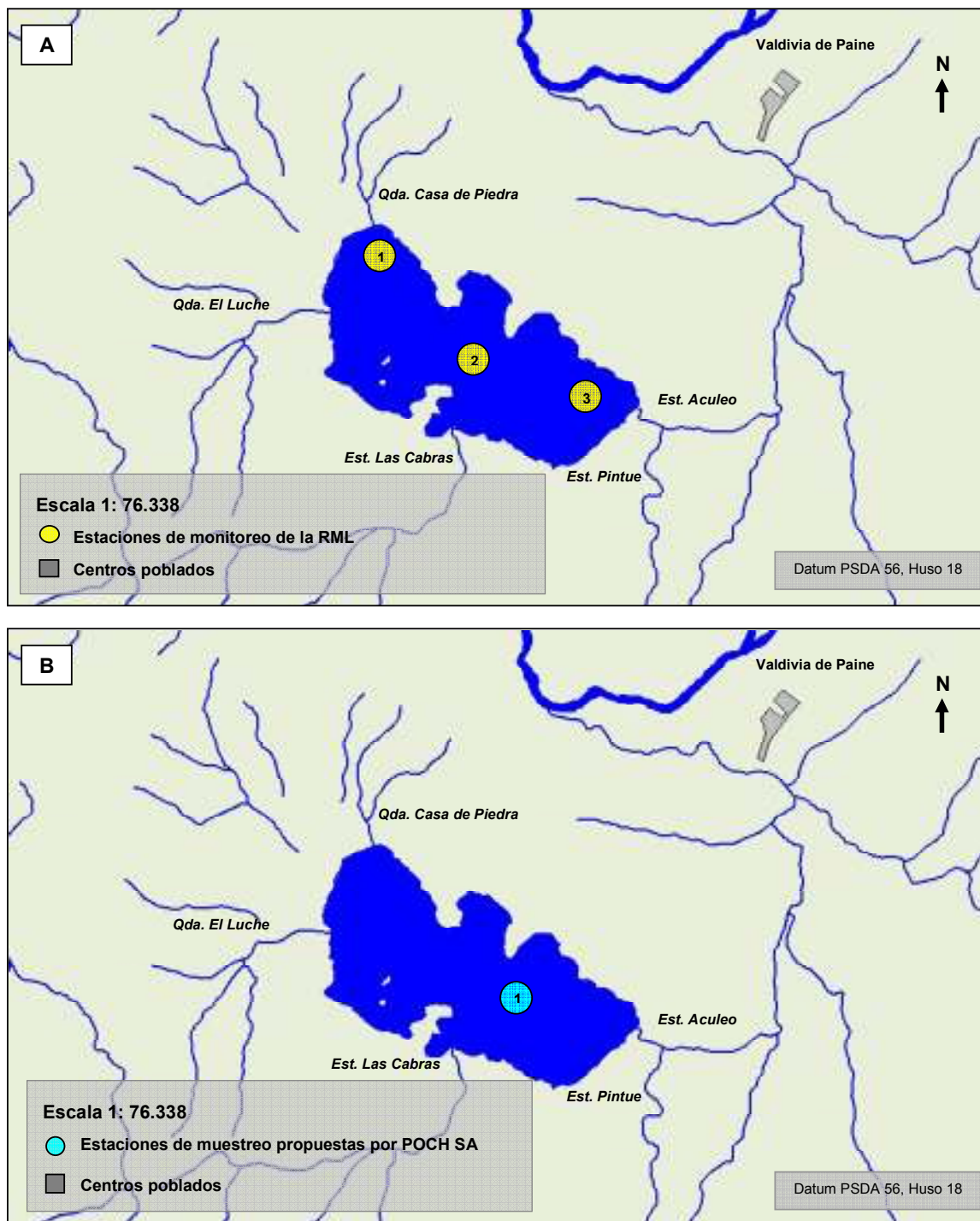


Figura 48. Laguna Aculeo. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). **A.** Estaciones de monitoreo actuales de la RML: **1:** Frente Casa de Bombas, **2:** Frente Puntilla León, **3:** Sector Desagüe. **B.** Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro.

5.3 Parámetros de calidad de agua y biológicos

En todos los lagos de la RML se definió un conjunto de parámetros de importancia limnológica de tipo químico y biológico cuyo seguimiento permitirá monitorear la condición trófica y la calidad del agua en la columna de agua y en el sedimento (*), los cuales se indican a continuación:

5.3.1 Parámetros de calidad de agua:

- Temperatura (°C)
- Conductividad específica (uSims/cm)
- pH (unidades)
- Oxígeno disuelto (mg/l)
- Porcentaje de saturación de oxígeno (%)
- Transparencia (Disco Secchi, m)
- Nitrógeno de Nitrato (N-NO₃, ug/l)
- Nitrógeno de Nitrito (N-NO₂, ug/l)
- Nitrógeno de Amonio (N-NH₄, ug/l)
- Nitrógeno Kjehldal (ug/l)
- Nitrógeno total (ug/l)
- Fósforo de Ortofosfato (P-PO₄, ug/l)
- Fósforo total (ug/l)
- Demanda química de oxígeno (DQO, mg/l)
- Fósforo total (mg/kg)*
- Nitrógeno total (mg/kg)*
- Materia orgánica (mg/kg)*

5.3.2 Parámetros biológicos

- Clorofila a (ug/l)
- Macrófitas (cobertura, m² o %)
- Fitoplancton (Densidad y composición, cel/ml)

5.4 Comparación general del diseño de muestreo de los lagos y embalses de la RML con la redefinición de monitoreo.

5.4.1 Campañas de monitoreo.

Hubo una disminución de 1 o 2 campañas por año en cada lago o embalse de la RML en esta redefinición (**Tabla 54**). La disminución se debió a que conociendo la estructura vertical y la estacionalidad de los sistemas, los muestreos fueron restringidos a los periodos que cubrían la mayor variación, estacional, hidrológica e hidrodinámica e incluso la variación de la columna de agua por la operación de los embalses.

5.4.2 Estaciones de monitoreo.

Hubo disminuciones y aumentos del número de estaciones de monitoreo en los lagos y embalses de la RML en esta redefinición (**Tabla 54**). Disminuyó el número en los cuerpos de agua de la Clase 4 (laguna Grande de San Pedro, lago Lanalhue y laguna Aculeo) pero en la mayoría se mantuvo o aumentó, ello debido a un reemplazo de estaciones o a un mayor esfuerzo de monitoreo asignado en la redefinición, principalmente a los cuerpos de agua de la Clase 1 (Embalses La Paloma y Rapel) y de la Clase 2 (Caburgua, Villarrica, Calafquén, Riñihue y Ranco).

5.4.3 Número de muestras.

El número de muestras propuesto en la redefinición de la RML disminuyó en todos los cuerpos de agua (**Tabla 54**), lo cual fue significativo en los cuerpos de agua de la Clase 4 (laguna Grande de San Pedro, lago Lanalhue y laguna Aculeo) en los que se disminuyó el esfuerzo de monitoreo. En general, hubo una disminución significativa del número total de muestras que actualmente se están tomando en la RML cuyo porcentaje es de aproximadamente un 60 % de disminución.

5.4.4 Número de afluentes y efluentes.

El número de afluentes y efluentes aumentó en la redefinición en comparación de los afluentes y efluentes actualmente monitoreados (**Tabla 54**), esto debido a que actualmente casi no se monitorean los afluentes y efluentes de lagos y embalses. En la redefinición se propone el monitoreo de afluentes y se excluyen los efluentes.

5.4.5 Profundidad máxima de muestreo.

La profundidad máxima de muestreo aumentó en la mayoría de los lagos, principalmente en los lagos Araucanos (Clase 2 y Clase 3) (**Tabla 54**). El aumento de la profundidad máxima de muestreo se debe a que se recomienda un muestreo a mayor profundidad, de tal modo de detectar variaciones de calidad de agua en los estratos más profundos e idealmente cercanos a los sedimentos.

5.4.6 Número de parámetros de calidad de agua.

El número de parámetros de calidad de agua que se recomienda monitorear en general disminuyó a 17 parámetros (**Tabla 54**), los cuales se recomienda monitorear en todos los lagos y embalses de la RML y corresponden a parámetros físico-químicos medidos *in situ* y a compuestos nitrogenados y fosforados.

5.4.7 Número de parámetros biológicos.

El número de parámetros biológicos que se recomienda monitorear aumentó de 1 (*Clorofila a*) a 3 parámetros (*Clorofila a*, Macrófitas y Fitoplancton) (**Tabla 54**), los cuales se recomienda monitorear en todos los lagos y embalses de la RML.

Tabla 54. Análisis comparativo del diseño de monitoreo actual (RML) y la redefinición del diseño (PROP) mediante parámetros indicadores.

Sistema	<u>N° Campañas RML</u> N° Campañas PROP	<u>N° Estaciones RML</u> N° Estaciones PROP	<u>N° Muestras RML</u> N° Muestras PROP	<u>N° Aflu-Eflu RML</u> N° Aflu-Eflu PROP	<u>ZMAX RML</u> ZMAX PROP	<u>N° Par.Cal RML</u> N° Par.Cal. PROP	<u>N° Par.Biol RML</u> N° Par.Biol. PROP
Embalse La Paloma	4 / 3	3 / 5	72 / 30	0 / 2	30 m / 50 m	24 / 17	1 / 3
Laguna Aculeo	4 / 2	3 / 1	48 / 4	0 / 0	5 m / 4 m	24 / 17	1 / 3
Embalse Rapel	4 / 3	3 / 6	60 / 30	0 / 3	30 m / >15 m	24 / 17	1 / 3
Laguna Grande de San Pedro	4 / 2	3 / 1	72 / 6	0 / 0	15 m / >10 m	29 / 17	1 / 3
Laguna del Laja	4 / 2	5 / 3	80 / 15	1 / 2	30 m / 100 m	15 / 17	1 / 3
Lago Lanalhue	4 / 2	4 / 1	64 / 6	0 / 0	10 m / 15 m	28 / 17	1 / 3
Lago Caburgua	4 / 3	3 / 4	48 / 32	0 / 1	80 m / 150 m	15 / 17	1 / 3
Lago Villarrica	4 / 3	4 / 5	76 / 40	0 / 1	80 m / 100 m	24 / 17	1 / 3
Lago Calafquen	4 / 3	5 / 8	80 / 64	2 / 5	45 m / 190 m	19 / 17	1 / 3
Lago Panguipulli	4 / 2	5 / 3	100 / 15	2 / 2	> 35 m / 150 m	19 / 17	1 / 3
Lago Riñihue	4 / 3	3 / 5	48 / 40	0 / 1	> 30 m / 180 m	26 / 17	1 / 3
Lago Ranco	4 / 3	3 / 6	48 / 48	0 / 2	80 m / 100 m	24 / 17	1 / 3
Lago Maihue	4 / 2	2 / 4	40 / 20	0 / 3	60 m / 160 m	15 / 17	1 / 3
Lago Llanquihue	4 / 2	4 / 5	96 / 25	0 / 4	80 m / 150 m	26 / 17	1 / 3
Lago Todos Los Santos	4 / 2	3 / 3	48 / 15	0 / 2	80 m / 280 m	15 / 17	1 / 3
Lago Chapo	4 / 2	3 / 3	36 / 15	0 / 2	30 m / 160 m	15 / 17	1 / 3
TOTAL	64 / 39	56 / 63	1016 / 405	5 / 30	-	15 – 26 / 17	1 / 3

N° Campañas RML / N° Campañas PROP = Número de campañas realizadas en la RML / Número de campañas propuestas en la redefinición

N° Estaciones RML / N° Estaciones PROP = Número de estaciones monitoreadas en la RML / Número de estaciones de monitoreo propuestas en la redefinición

N° Muestras RML / N° Muestras PROP = Número de muestras tomadas en la RML / Número de muestras propuestas en la redefinición

N° Aflu-Eflu RML / N° Aflu-Eflu PROP = Número afluentes y efluentes monitoreados en la RML / Número de afluentes y efluentes propuestos en la redefinición

ZMAX RML / ZMAX PROP = Profundidad máxima de muestreo en la RML / Profundidad máxima de muestreo propuesta en la redefinición

N° Par.Cal RML / N° Par.Cal. PROP = Número de parámetros de calidad de agua monitoreados en la RML / Número de parámetros de calidad de agua propuestos en la redefinición

N° Par.Biol RML / N° Par.Biol. PROP = Número de parámetros biológicos monitoreados en la RML / Número de parámetros biológicos propuestos en la redefinición

6 INCORPORACIÓN DE LAGOS A LA RED MÍNIMA DE LAGOS DE LA DGA

6.1 Diseño de muestreo

Al conjunto de lagos que actualmente es monitoreado por la DGA se recomienda incluir los lagos Budi, Colico, Neltume, Pirehueico, Puyehue y Rupanco, ello debido a los crecientes centros poblados y a la actividad económica y turística que está desarrollando en estos sistemas. El diseño de muestreo propuesto para estos lagos debería ser desarrollado durante al menos 2 años consecutivos y posteriormente debería ser redefinido en base a los resultados que se obtengan.

Las estaciones de monitoreo se presentan en la **Tabla 55** y desde la **Figura 49** hasta la **Figura 54**. En la **Tabla 56** se indica el periodo, la frecuencia, el número de estaciones y la profundidad de muestreo para estos lagos.

Tabla 55. Estaciones de monitoreo en lagos que se recomienda incluir a la RML.

Lago	Nº	Estaciones	Tipo
Budi	1	Bahía principal	Lago-Pelágico
	2	Sector Sur	Lago-Pelágico
	3	Sector descarga río Curileufu	Lago-Pelágico
	4	Río Budi	Efluente
	A	Río Curileufu	Afluente
	B	Afluente cercano a Puerto Domínguez	Afluente
Colico	1	Puerto Colico	Lago-Pelágico
	2	Sector Centro	Lago-Pelágico
	3	Bahía río Trafampulli	Lago-Pelágico
	A	Río Trafampulli	Afluente
	B	Río Curaco	Efluente
Neltume	1	Sector Centro	Lago-Pelágico
	A	Río Neltume	Afluente
	B	Río Llanquihue	Efluente
Pirehueico	1	Bahía Puerto Pirehueico	Lago-Pelágico
	2	Bahía Puerto Fui	Lago-Pelágico
	A	Río Lipinza	Afluente
	B	Río Huahum	Afluente
	C	Río Triful	Efluente
Puyehue	1	Bahía sector Este	Lago-Pelágico
	2	Sector Centro	Lago-Pelágico
	A	Río Lican	Afluente
	B	Río Gogol	Afluente
	C	Río Chanleufu	Afluente
	D	Río Pilmaiquen	Efluente

Lago	Nº	Estaciones	Tipo
Rupanco	1	Bahía sector Poniente	Lago-pelágico
	2	Sector Centro	Lago-pelágico
	A	Río Puleufu	Afluente
	B	Río Aguas Malas	Afluente
	C	Río Blanco	Afluente
	D	Río Frutillar	Afluente
	E	Río Negro	Afluente
	F	Río Rahue	Efluente

Tabla 56. Diseño de muestreo para lagos sin monitoreo actual por la DGA.

Lagos	Periodo	Frecuencia	Estaciones de muestreo		Profundidad de muestreo		Número de parámetros	
	años	(Campañas/año)	lago	Afluentes	Muestras/ estación de lago	Muestras/e estación de río	Columna de agua	Sedimento
Budi	2	4	4	2	3	1	19	3
Colico	2	4	3	1	3	1	19	3
Neltume	2	4	1	2	3	1	19	3
Pirehueico	2	4	2	2	3	1	19	3
Puyehue	2	4	2	3	3	1	19	3
Rupanco	2	4	2	5	3	1	19	3

6.2 Parámetros de calidad de agua y biológicos

En la columna de columna de agua y en el sedimento (*) de los lagos que serán incorporados a la RML se recomienda medir los siguientes parámetros de importancia limnológica:

6.2.1 Parámetros de calidad de agua (*medición en sedimento)

- Temperatura (°C)
- Conductividad específica (uSims/cm)
- pH (unidades)
- Oxígeno disuelto (mg/l)
- Porcentaje de saturación de oxígeno (%)
- Transparencia (Disco Secchi, m)
- Nitrógeno de Nitrato (N-NO₃, ug/l)
- Nitrógeno de Nitrito (N-NO₂, ug/l)
- Nitrógeno de Amonio (N-NH₄, ug/l)
- Nitrógeno kjehldal (ug/l)
- Nitrógeno total (ug/l)
- Fósforo de Ortofosfato (P-PO₄, ug/l))
- Fósforo total (ug/l)
- Sílice (SiO₂, mg/l)
- Demanda química de oxígeno (DQO, mg/l)
- Fósforo total (mg/kg)*
- Nitrógeno total (mg/kg)
- Materia Orgánica (mg/kg)*
- Perfiles de CTD (perfiles verticales de temperatura)

6.2.2 Parámetros biológicos

- Clorofila a (ug/l)
- Macrófitas (m² o %)
- Fitoplancton (cel/ml)

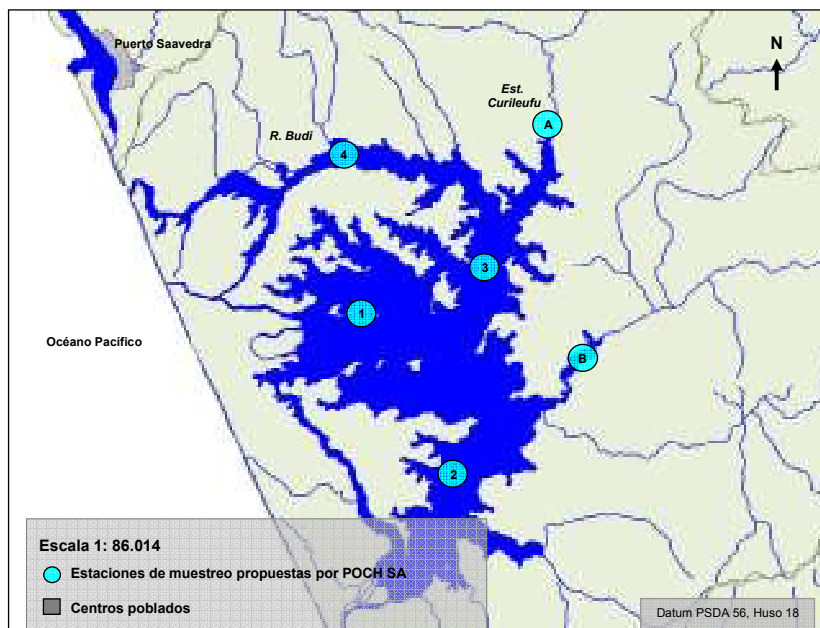


Figura 49. Lago Budi. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Bahía principal, **2:** Sector Sur, **3:** Sector de descarga río Curileufu, **4:** Río Budi, **A:** Río Curileufu, **B:** Afluente cercano a Puerto Domínguez.

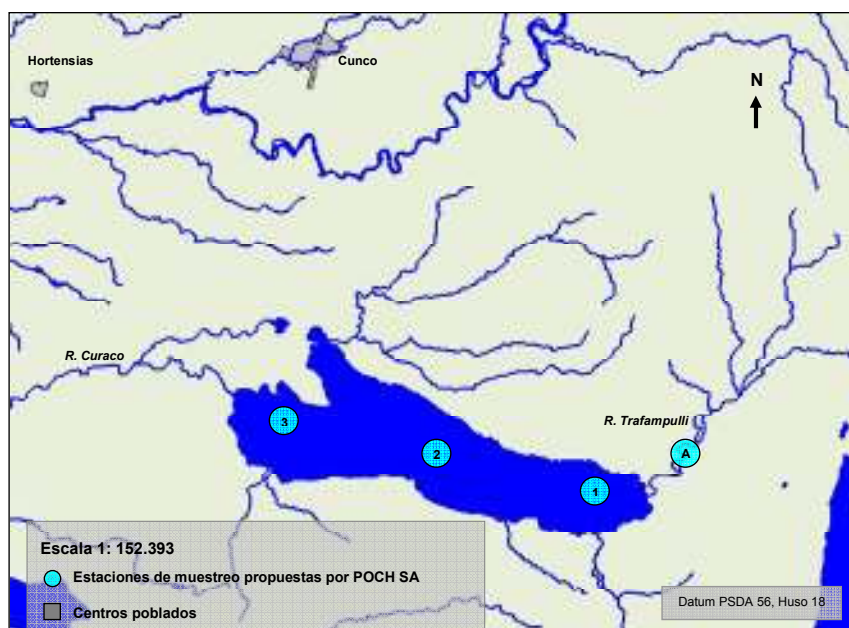


Figura 50. Lago Colico. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Puerto Colico, **2:** Sector Centro, **3:** Bahía río Trafampulli, **A:** Río Trafampulli.

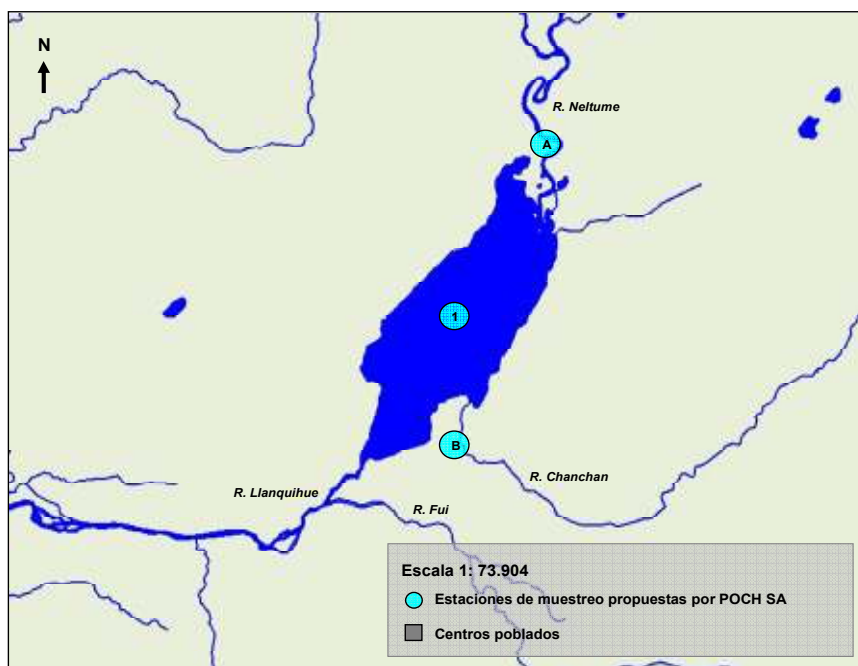


Figura 51. Lago Neltume. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Sector Centro, **A:** Río Neltume, **B:** Río Chanchan.

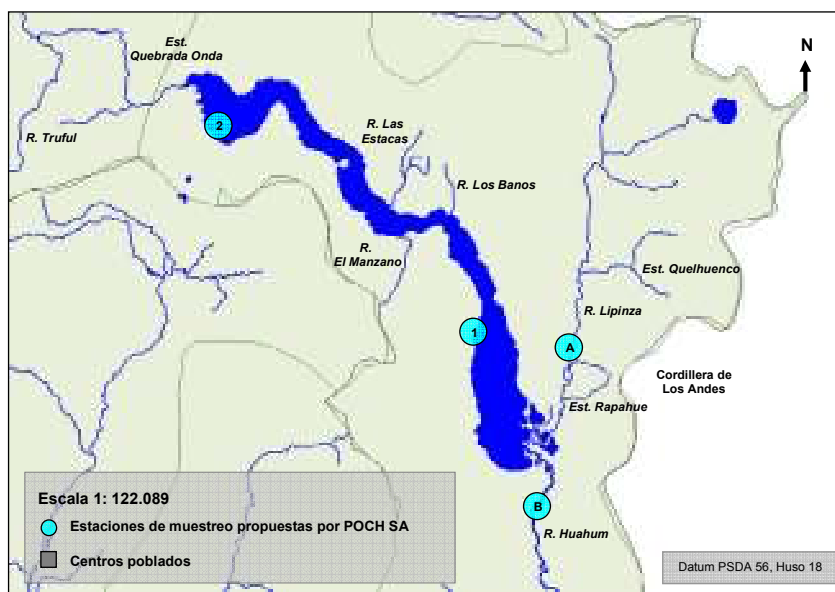


Figura 52. Lago Pirehueico. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Bahía Puerto Pirehueico, **2:** Bahía Puerto Fui, **A:** Río Lipinza, **B:** Río Huahum.

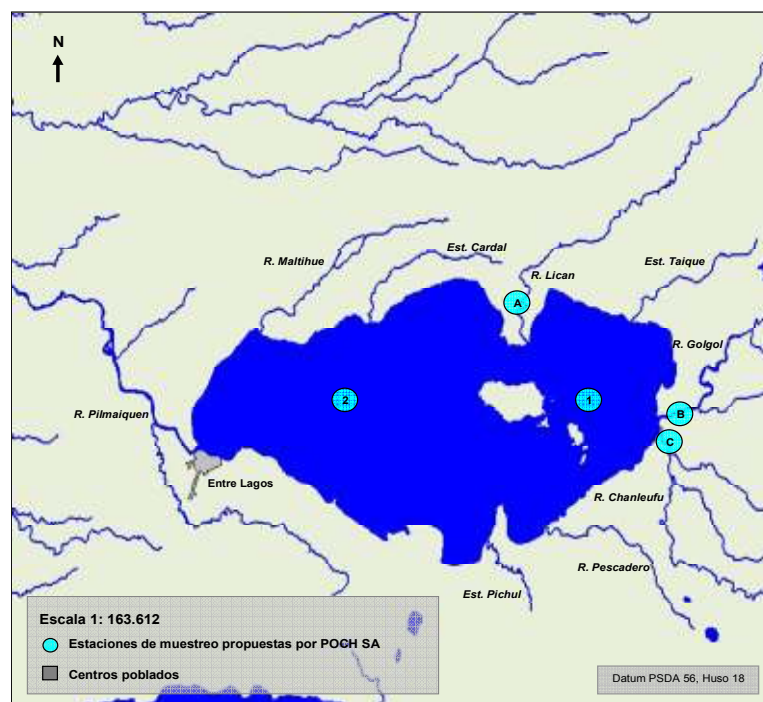


Figura 53. Lago Puyehue. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Bahía sector Este, **2:** Sector Centro, **A:** Río Lican, **B:** Río Gogol, **C:** Río Chanleufu.

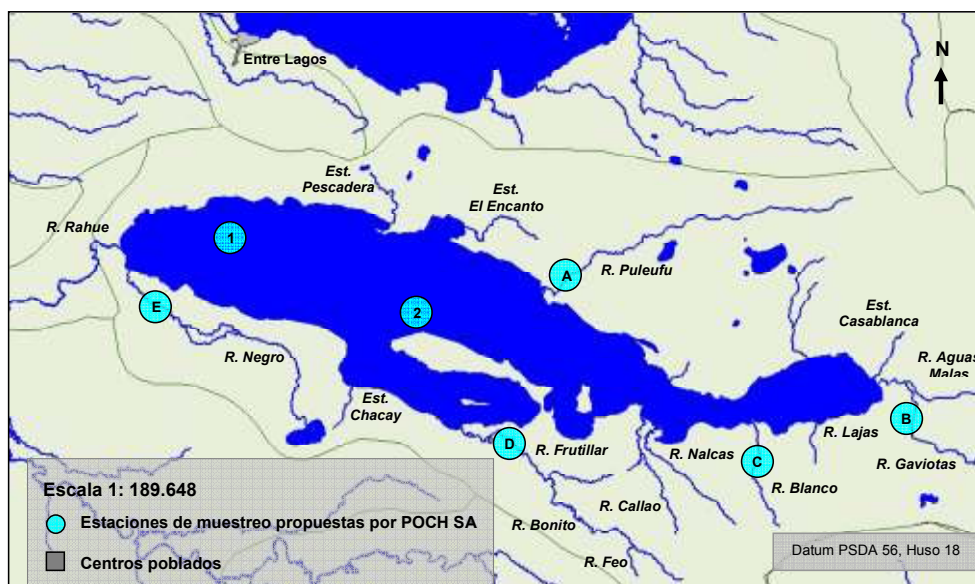


Figura 54. Lago Rupanco. Redefinición del diseño de monitoreo de la Red Mínima de Lagos (RML). Propuesta de estaciones de monitoreo (POCH SA): **1:** Bahía sector Poniente, **2:** Sector Centro, **A:** Río Puleufu, **B:** Río Aguas Malas, **C:** Río Blanco, **D:** Río Frutillar, **E:** Río Negro.

6.3 Costos asociados al muestreo y al análisis de laboratorio.

Los costos asociados al muestreo y análisis de laboratorio de parámetros de calidad de agua para los 6 lagos propuestos están indicados en el **Anexo A**.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan DJ (1995) Stream Ecology: structure and function of running water. Chapman and Hall. New York. U.S.A. 387 pp.
- Brzezinski MA (1985) The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *Journal of Phycology* 21: 347-357.
- Cabrera S & V Montecino (1987) Productividad primaria en ecosistemas límnicos. *Arch. Biol. Med. Exp.* 20: 105-116.
- Campos H, J Arenas, W Steffen & G Agüero (1978) Physical and chemical limnology of lake Riñihue (Valdivia, Chile). *Arch. Hydrobiol.* 84 (4): 405-429.
- Campos H, J Arenas, W Steffen & G Agüero (1980) Limnologische Untersuchungen an den Seen Pellaifa und Calafquén in Chile. *Beiträge Zur Hidrologie* 7: 99-137.
- Campos H, J Arenas, W Steffen & G Agüero (1981) Morphometrical, Physical and chemical limnology of lake Panguipulli (Valdivia, Chile). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 10: 603-625.
- Campos H, J Arenas, W Steffen, C Román & G Agüero (1982) Limnological study of lake Ranco (Chile) Morphometry, physics, chemistry and plankton. *Arch. Hydrobiol.* 94 (2): 137-171.
- Campos H, W Steffen, C Román, Luis Zúñiga & G Agüero (1983) Limnological studies in lake Villarrica. Morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 65. 4: 371-406.
- Campos H (1984) Limnological study of Araucanian lakes (Chile). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22 (1319-1327): 1319-1327.
- Campos H, W Steffen, G Agüero, O Parra & Luis Zúñiga (1987) Limnology of lake Riñihue. *Limnologica* 18 (2): 339-357.
- Campos H, W Steffen, O Parra, P Dominguez & G Agüero (1987) Estudios limnológicos en el lago Caburgua (Chile). *Gayana, Botánica* 44(1-4): 61-84.
- Campos H, W Steffen, G Agüero, O Parra & L Zúñiga (1988) Limnological studies of Lake Llanquihue (Chile), morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity. *Archives für Hydrobiologie* 81: 37- 67.
- Campos H, W Steffen, G Agüero, O Parra & L Zúñiga (1990) Limnological study of lake Todos Los Santos (Chile) Morphometry, physics, chemistry, plankton, and primary productivity. *Arch. Hydrobiol.* 117(4): 453 - 484.

- Campos H, W Steffen, G Agüero, O Parra & L Zúñiga (1992) Limnology of lake Ranco (Chile). *Limnologica* 22: 337 - 353.
- Montecino V (1991) Primary productivity in South American temperate lakes and reservoirs. *Revista Chilena de Historia Natural* (64): 555 - 567.
- Montecino V & S Cabrera (1984) Limnological pilot project for the characterization of temperate lakes in Central Chile. *Verh. Internat. Verein. Limnol* 22: 1332 – 1334.
- Parra O, C Valdovinos, R Urrutia, M Cisternas, E Habit & M Mardones (2003) Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Limnetica* 22: 51–83.
- Redfield AC (1934) On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. En: James Johnstone Memorial Volume (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool. pp. 177-192.
- Smith VH, GD Tilman & JC Nekola (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution* (100):179-196.
- Soto D (2002) Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 377-393.
- Valdovinos C & R Figueroa (2000) Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiologia* 429: 151–156.
- Valdovinos C & P Pedreros (2007) Geographic variations in shell growth rates of the mussel Diplodon chilensis from temperate lakes of Chile: implications for biodiversity conservation *Limnologica* 37: 63–75.
- Vila I, V Montecino, H Mühlhauser & S Cabrera (1986) Diagnóstico y evaluación del potencial biológico de lagos naturales y artificiales de Chile Central. *Ambiente y Desarrollo* 2 (1): 127-137.
- Vila I, M Contreras & J Pizarro (1997) Eutrophication and phytoplankton selective response in a temperate reservoir. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (26): 798-802.
- Vila I, M Contreras, V Montecino, J Pizarro & D Adams (2000) Rapel: A 30 years temperate reservoir. Eutrophication or contamination?. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 55: 31-44.
- Villalobos L, S Woelfl, O Parra & H Campos (2003) Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: II. Biological properties. *Hydrobiologia* 510: 225 - 237.

Wöelfl S, L Villalobos & O Parra (2003) Trophic parameters and method validation in lake Riñihue (North Patagonia; Chile) from 1978 through 1997. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 459-474.

Wöelfl S (2009) Monitoreo complementario de los lagos Ranco y Maihue, Región de los Ríos. Informe técnico. MOP-DGA. 173 páginas.

8 ANEXO A: Análisis de costos de muestreo de los nuevos lagos de la RML

8.1 Introducción

A partir de la década de los 80 hasta el día de hoy, 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 Mínima de Lagos (RML). Actualmente esta red incluye el monitoreo estacional en 16 cuerpos lénticos a lo largo de Chile, los cuales se distribuyen entre la IV Región de Coquimbo y la X Región de Los Lagos.

La ejecución de las campañas de terreno estacionales para la toma de muestras es llevada a cabo por profesionales que conforman el equipo de trabajo del laboratorio ambiental de la DGA.

En junio de 2008, la DGA junto a CONAMA realizaron el Taller denominado “Coordinación para la Sustentabilidad de Cuerpos Lacustres”. Uno de los resultados de dicho taller fue analizar la posibilidad de incluir nuevos lagos, los cuales fueron considerados como prioritarios para su incorporación a la Red Mínima de Lagos. Los cuerpos de agua propuestos corresponden a los lagos Budi, Colico, Neltume, Pirehueico, Puyehue y Rupanco.

Conforme a lo estipulado en las Bases Técnicas del presente contrato, sobre la base del análisis de antecedentes técnicos y especialmente a la experiencia del especialista, se analizará la decisión de ver cuál de ellos serán incluidos en el futuro programa de monitoreo.

8.2 Objetivo

El objetivo del presente capítulo corresponde a la estimación de los costos totales asociados a la incorporación de estos nuevos cuerpos de agua a la Red Mínima de Lagos.

8.3 RESULTADOS

8.3.1 Incorporación de nuevos lagos

En base a los resultados de los análisis realizados en torno a la selección e incorporación de los nuevos lagos propuestos, se sugiere incorporar a todos los lagos, con excepción del lago General Carrera, cuyo monitoreo debe ser analizado por separado, por los motivos que a continuación se señalan.

El lago General Carrera se ubica en la Patagonia a aproximadamente 2000 km al sur de Santiago y es compartido por Chile y Argentina. Este lago tiene una superficie de 1850 km², de los cuales 970 km² están en la chilena XI Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y los restantes 880 km² pertenecen a la provincia argentina de Santa Cruz, lo que lo convierte en el lago más grande del territorio chileno y el cuarto de la Argentina. Este lago de

origen glaciar, rodeado por la cordillera de los Andes desagua en el océano Pacífico a través del río Baker.

El lago tiene una profundidad máxima de 590 metros. El clima de su entorno es frío y muy ventoso, y sus costas generalmente acantiladas, lo que hace difícil el establecimiento humano. La localidad de Chile Chico es el único centro poblado que cuenta con una infraestructura mínima para implementar las operaciones de monitoreo.

La lejanía de este lago, su extensa superficie y la dificultad para la navegación durante casi todo el año hacen que los costos operativos sean bastante más elevados que el resto de los lagos propuestos, por lo que a juicio del consultor, el estudio e implementación de un programa de monitoreo para este lago, sea considerado por separado.

Para el resto de los lagos que se propone sean considerados en el programa de monitoreo de la RML, se ha definido una serie de estaciones de muestreo, cuyo número es variable y específico para cada lago.

Los lagos considerados, así como en número y el tipo de estaciones propuestas para cada uno de ellos se muestra en la Tabla 57.

Tal como se señaló en la propuesta técnica para el muestreo de los lagos a incorporar en la RML se propone tomar muestras en las siguientes áreas:

- Área pelágica de los lagos
- Efluentes y afluentes de los lagos
- Área de sedimento en los lagos

Tabla 57. Estaciones de monitoreo propuestas para la Red Mínima de Lagos (RML).

Lago	Nº	Estaciones	Tipo
Budi	1	Bahía principal	Lago-Pelágico
	2	Sector Sur	Lago-Pelágico
	3	Sector descarga río Curileufu	Lago-Pelágico
	4	Río Budi	Efluente
	A	Río Curileufu	Afluente
	B	Afluente cercano a Puerto Domínguez	Afluente
Colico	1	Puerto Colico	Lago-Pelágico
	2	Sector Centro	Lago-Pelágico
	3	Bahía río Trafampulli	Lago-Pelágico
	A	Río Trafampulli	Afluente
	B	Río Curaco	Efluente
Neltume	1	Sector Centro	Lago-Pelágico
	A	Río Neltume	Afluente
	B	Río Llanquihue	Efluente
Pirehueico	1	Bahía Puerto Pirehueico	Lago-Pelágico
	2	Bahía Puerto Fui	Lago-Pelágico
	A	Río Lipinza	Afluente
	B	Río Huahum	Afluente
	C	Río Triful	Efluente
Puyehue	1	Bahía sector Este	Lago-Pelágico
	2	Sector Centro	Lago-Pelágico
	A	Río Lican	Afluente
	B	Río Gogol	Afluente
	C	Río Chanleufu	Afluente
	D	Río Pilmaiquen	Efluente
Rupanco	1	Bahía sector Poniente	Lago-pelágico
	2	Sector Centro	Lago-pelágico
	A	Río Puleufu	Afluente
	B	Río Aguas Malas	Afluente
	C	Río Blanco	Afluente
	D	Río Frutillar	Afluente
	E	Río Negro	Afluente
	F	Río Rahue	Efluente

8.4 Análisis de costos

La estructura de costos asociados al programa de monitoreo está hecha sobre la base de los siguientes criterios básicos:

Los costos de los diferentes componentes corresponden a la ejecución por campaña de terreno. Se considera 4 campañas al año, con una duración de 10 días cada una y la participación de 3 personas. Se consideran por separado los costos operacionales.

Los costos de los análisis químicos para algunos parámetros son extraídos del documento “Evaluación de Costos del Laboratorio Ambiental DGA”, para aquéllos que no son analizados en su propio laboratorio, los valores se basan en costos de laboratorios externos.

8.4.1 Costos de operación/campaña

Se incluyen aquí todos los ítems involucrados en la ejecución de una campaña de terreno para la toma de las muestras en los 6 lagos considerados.

Tabla 58. Valorización de ítems involucrados en la ejecución de una campaña de terreno.

ITEM	COSTO (UF)
Movilización	21.51
Combustible	8.60
Peajes	3.4
Viáticos	54.0
TOTAL	87.51

8.4.2 Costo de Análisis/campaña

Para calcular los costos de los análisis, se consideran los 6 lagos, que significa un total de 33 estaciones de muestreo, con un total de 59 muestras de agua y 13 de sedimentos. Los parámetros considerados en el análisis son:

8.4.2.1 Columna de agua:

Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH, Oxígeno disuelto, Transparencia (Disco Secchi), Porcentaje de saturación de oxígeno, Nitrógeno de Nitrato (N-NO₃), Nitrógeno de Nitrito (N-NO₂), Nitrógeno de Amonio (N-NH₄), Nitrógeno Kjeldal, Nitrógeno total, Fósforo de Ortofosfato (P-PO₄), Fósforo total, Clorofila a, Sílice (SiO₂), Coliformes fecales y Demanda química de oxígeno (DQO).

Los costos para esta batería de parámetros ascienden a la cantidad de 4,910 Unidades de Fomento

8.4.2.2 Sedimentos:

Fósforo total, Nitrógeno total y Materia orgánica total.

Los costos para esta batería de parámetros ascienden a la cantidad de 1,212 Unidades de Fomento.

Los costos totales de los análisis para una campaña completa se muestran en la Tabla 59.

Tabla 59. Resumen de los costos para el monitoreo de 6 lagos.

Tipo de Muestra	Costo Unitario (UF)	Nº de muestras	Costo Total (UF)
Columna de agua	4,910	59	289,69
Sedimentos	1,212	13	15,756
TOTAL			305,446

8.5 Conclusión

El costo total de una campaña de terreno y el correspondiente análisis es de 392,956 Unidades de Fomento (87,51 UF de gastos de operación + 305,446 de gastos de laboratorio), por lo tanto, el costo anual (4 campañas) por la medición de estos 6 lagos es de 1.571,824 Unidades de Fomento.