



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

ANÁLISIS Y REFORMULACIÓN RED DE MONITOREO DE LAGOS REGIÓN DE LOS RÍOS

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

**CENTRO EULA, UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN**

S.I.T. N°395

SANTIAGO, Enero de 2017

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas (T.P.)

Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe de Dpto. de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

Sra. Mónica Musalem Jara

Inspector Fiscal

Sra. Viviana Bustos Contreras

NOMBRE CONSULTORES:

Director del Proyecto

Sr. Roberto Urrutia (Biólogo, Dr. en Ciencias Ambientales)

Profesionales:

Sr. Alberto Araneda (Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Ambientales)

Sr. Oscar Parra (Licenciado en Biología, Dr. Recursos Naturales)

Sra. Alejandra Stehr (Ingeniero Civil, Dr. en Ciencias Ambientales)

Sr. Ricardo Figueroa (Biólogo, Dr. en Ciencias Biológicas)

Sr. Jorge Feléz (Licenciado en Geografía, MsC. SIG y Teledetección)

Sr. Pablo Pedreros (Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Ambientales)

Sra. Viviana Almanza (Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Ambientales)

Srta. Niela Araneda (Ingeniero Ambiental)

Srta. María Elisa Díaz (Biólogo, Dr. (c) en Ciencias Ambientales)

INDICE.....	III
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. METODOLOGÍA.....	4
3.1 Calidad de agua y sedimentos.....	4
3.1.1 Ubicación de estaciones.....	4
3.1.2 Obtención de muestras de agua	11
3.1.3 Análisis de laboratorio.....	15
3.1.4 Análisis de fitoplancton.....	16
3.1.5 Muestreo de sedimentos	19
3.1.6 Medición de caudales.....	21
3.2 Estado Trófico.....	23
3.3 Identificación y cuantificación de usos de suelo.....	24
3.3.1 Estimación de áreas de drenaje	25
3.3.2 Tratamiento de información relativa a usos de suelo.....	25
3.4 Balance de nutrientes	26
3.4.1 Balance a escala anual.....	28
3.4.2 Balance a escala mensual (lago Neltume).....	28
3.4.3 Análisis de Sensibilidad	28
3.4.4 Cargas puntuales y difusas	29
3.4.5 Balance hídrico	32
3.5 Determinación de Carga Crítica	48
3.6 Determinación de Carga Actual	50
3.7 Análisis de datos.....	50
3.8 Servicios Ecosistémicos	52
3.8.1 Delimitación del Socio-ecosistema.....	52
3.8.2 Identificación de las Unidades Suministradoras de los SE	54
3.8.3 Identificación de los SE.....	55
3.8.4 Identificación de los beneficiarios de los SE.....	56

3.8.5	Cuantificación de la tendencia de los SE	58
4	RESULTADOS	59
4.1	LAGO CALAFQUÉN.....	59
4.1.1	Batimetría.....	59
4.1.2	Parámetros físicos-químicos	59
4.1.3	Fitoplancton	67
4.1.4	Calidad del agua tributarios	82
4.1.5	Caudales	84
4.1.6	Estado trófico	86
4.1.7	Balance de nutrientes	87
4.1.8	Determinación de carga crítica	93
4.1.9	Sedimentos.....	94
4.2	LAGO NELTUME.....	97
4.2.1	Batimetría.....	97
4.2.2	Parámetros físico-químicos.....	97
4.2.3	Fitoplancton	105
4.2.4	Calidad del agua tributarios	118
4.2.5	Caudales	121
4.2.6	Estado trófico	122
4.2.7	Balance de nutrientes	123
4.2.8	Determinación de carga crítica	130
4.2.9	Sedimentos.....	131
4.3	LAGO PIREHUEICO.....	135
4.3.1	Batimetría.....	135
4.3.2	Parámetros físico-químicos.....	135
4.3.3	Fitoplancton	143
4.3.4	Calidad del agua tributarios	158
4.3.5	Caudales	160
4.3.6	Estado trófico	161
4.3.7	Balance de nutrientes	162
4.3.8	Determinación de carga crítica	168

4.3.9	Sedimentos.....	169
4.4	LAGO PANGUIPILLI	173
4.4.1	Batimetría.....	173
4.4.2	Parámetros físico-químicos	173
4.4.3	Fitoplancton	181
4.4.4	Calidad del agua tributarios	194
4.4.5	Caudales	196
4.4.6	Estado trófico	197
4.4.7	Balance de nutrientes	198
4.4.8	Determinación de carga crítica	205
4.4.9	Sedimentos.....	206
4.5	LAGO RIÑIHUE	210
4.5.1	Batimetría.....	210
4.5.2	Parámetros físico-químicos	210
4.5.3	Fitoplancton	218
4.5.4	Calidad del agua tributarios	230
4.5.5	Caudales	232
4.5.6	Estado trófico	232
4.5.7	Balance de nutrientes	233
4.5.8	Determinación de carga crítica	240
4.5.9	Sedimentos.....	241
4.6	LAGO PUYEHUE	244
4.6.1	Batimetría.....	244
4.6.2	Parámetros físico-químicos	244
4.6.3	Fitoplancton	252
4.6.4	Calidad del agua tributarios	265
4.6.5	Caudales	267
4.6.6	Estado trófico	268
4.6.7	Balance de nutrientes	269
4.6.8	Determinación de carga crítica	276
4.6.9	Sedimentos.....	278

4.7	ANÁLISIS INTEGRADO CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS.....	282
4.7.1	Calidad del agua	282
4.7.2	Sedimentos.....	287
4.8	SERVICIOS ECOSISTEMICOS.....	302
4.8.1	Identificación de servicios ecosistémicos y presiones actuales	302
4.8.2	Caracterización Socio ecosistema 1: Calafquén-Pirehueico-Riñihue.	304
4.8.3	Caracterización Socio ecosistema 2: Puyehue	325
4.8.4	Análisis integrado de los servicios ecosistémicos	350
5	PLAN DE GESTIÓN	353
5.1	Objetivos de la propuesta de gestión	354
5.2	Diagnóstico participativo	354
5.2.1	Identificación de actores	355
5.2.2	Usos actuales y potenciales identificados por los participantes de los talleres	355
5.2.3	Problemáticas ambientales identificados por los participantes de los talleres	356
5.2.4	Propuesta de integrantes para formar el futuro Comité de Gestión para la implementación del plan de gestión.....	357
5.3	Programas específicos de gestión	358
5.3.1	PROGRAMA DE GESTIÓN EN TURISMO Y RECREACIÓN	362
5.3.2	PROPUESTA DE UNA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DEL AGUA.	364
5.3.3	PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL	367
5.3.4	PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN	369
5.3.5	PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN.....	372
5.3.6	PROGRAMA DE CONTROL DE ESPECIES INVASORAS.....	375
5.3.7	PROGRAMA DE PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS DE LAGOS Y RÍOS.....	377
6	PROGRAMA DE MONITOREO	380
6.1	Objetivo general.....	380
6.2	Objetivos específicos.....	380
6.3	Actividades	380
7	CONCLUSIONES GENERALES	395
8	EQUIPO DE TRABAJO	398
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	400
10	GLOSARIO LIMNOLOGICO	411

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Coordenadas de los puntos de muestreo en lagos.	4
Tabla 3.2. Coordenadas de los puntos de muestreo en los afluentes y efluentes de los lagos en estudio.	5
Tabla 3.3. Monitoreo de los lagos a estudiar para calidad de agua.	12
Tabla 3.4. Monitoreo de afluentes y efluentes de los lagos.	12
Tabla 3.5. Fechas de las campañas de muestreo realizadas durante el año 2015.	12
Tabla 3.6. Listado de parámetros considerados en el estudio de calidad de agua. Para cada uno se indica el tipo de envases empleado para su transporte, el método de almacenamiento/preservación y su tiempo crítico de almacenamiento. Además se señala el método analítico empleado y su correspondiente límite de detección.	13
Tabla 3.7. Listado de parámetros considerados en el estudio de sedimentos. Para cada uno se indica el tipo de envases empleado para su almacenamiento/preservación. Además se señala el método analítico empleado y su correspondiente límite de detección. (*) Parámetros medidos <i>in situ</i>	19
Tabla 3.8. Valores límites para la clasificación trófica de lagos (OCDE, 1982).	23
Tabla 3.9. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua.	24
Tabla 3.10. Parámetros morfométricos básicos de las áreas de drenaje.	25
Tabla 3.11. Coeficientes de exportación.	31
Tabla 3.12. Estaciones meteorológicas consideradas consistentes (WGS 84, Huso 18). ...	35
Tabla 3.13. Estaciones fluviométricas consideradas consistentes (WGS 84, Huso 18). ...	35
Tabla 3.14. Área de influencia de los Polígonos de Thiessen (WGS 84, Huso 18).	37
Tabla 3.15. Estaciones fluviométricas con influencia en los espejos de agua y el área de cada polígono sobre los lagos.	37
Tabla 3.16. Área de las cuencas de drenaje de los principales afluentes de cada lago. ...	38
Tabla 3.17. Radiación extraterrestre (Ra) diaria para diferentes latitudes para el día 15 de cada mes ¹ valores en (MJm ⁻² día ⁻¹)	46
Tabla 3.18. Valores de curva número CN.	47
Tabla 3.19. Tiempo de renovación teórico (Tw) y profundidad media (z) estimados para los lagos.	49
Tabla 3.20. Cantidad de datos históricos brutos (n) y <i>outliers</i> identificados de nitrógeno total, fósforo total y clorofila a para los seis lagos estudiados.	51
Tabla 3.21. Tabla de usos de suelo artificiales y/naturales de las áreas de drenaje de los lagos en estudio.	54
Tabla 3.22. Indicadores propuestos para la caracterización de los servicios suministrados por los lagos en estudio.	55
Tabla 3.23. Área (Ha) de cobertura de municipalidades para cada socio ecosistema, según la injerencia que tiene la presencia del cuerpo lacustre en el área respectiva.	58
Tabla 4.1. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Calafquén de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	64
Tabla 4.2. Listado de especies presentes en el Lago Calafquén.	68
Tabla 4.3. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Calafquén por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver, 1-Lambda= Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.	71
Tabla 4.4. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Calafquén. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver, 1-Lambda= Índice Simpson.	72

Tabla 4.5. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.	76
Tabla 4.6. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Calafquén.	79
Tabla 4.7. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Calafquén.	81
Tabla 4.8. Estado trófico del lago Calafquén según clasificación de la OCDE (1982).	86
Tabla 4.9. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	88
Tabla 4.10. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Calafquén (2005 – 2013).	89
Tabla 4.11. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Calafquén.	90
Tabla 4.12. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.	92
Tabla 4.13. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	93
Tabla 4.14. Resultados de los análisis de calidad de nutrientes para el lago Calafquén durante el año 2015.	95
Tabla 4.15. Concentración de fósforo total (mg kg ⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	96
Tabla 4.16. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	96
Tabla 4.17. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	97
Tabla 4.18. Valores promedio (x y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO ₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Neltume de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	102
Tabla 4.19. Listado de especies presentes en el Lago Neltume.	106
Tabla 4.20. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Neltume por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson . V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.	107
Tabla 4.21. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Neltume. S=Riqueza específica , N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson	109
Tabla 4.22. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos. Número de taxa reportados por clase.	113
Tabla 4.23. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Neltume.	116
Tabla 4.24. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Neltume.	118
Tabla 4.25. Estado trófico del lago Neltume según clasificación de la OCDE (1982).	122
Tabla 4.26. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	124
Tabla 4.27. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Neltume (2005 – 2013).	125
Tabla 4.28. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).	125
Tabla 4.29. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/mes) estimadas para el lago Neltume.	126
Tabla 4.30. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	130
Tabla 4.31. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Neltume durante el año 2015.	133
Tabla 4.32. Concentración de fósforo total (mg kg ⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	134

Tabla 4.33. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	134
Tabla 4.34. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	134
Tabla 4.35. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO ₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Pirehueico de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	140
Tabla 4.36. Listado de especies presentes en el Lago Pirehueico.	144
Tabla 4.37. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Pirehueico. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.	146
Tabla 4.38. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Pirehueico. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.	148
Tabla 4.39. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.	152
Tabla 4.40. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Pirehueico.	154
Tabla 4.41. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Pirehueico.	156
Tabla 4.42. Estado trófico del lago Pirehueico según clasificación de la OCDE (1982). .	161
Tabla 4.43. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	163
Tabla 4.44. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Pirehueico (2005 - 2013).	164
Tabla 4.45. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Pirehueico.	165
Tabla 4.46. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.	167
Tabla 4.47. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	168
Tabla 4.48. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Pirehueico durante el año 2015.	170
Tabla 4.49. Concentración de fósforo total (mg kg ⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	171
Tabla 4.50. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	171
Tabla 4.51. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	172
Tabla 4.52. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO ₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Panguipulli de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	178
Tabla 4.53. Listado de especies presentes en el Lago Panguipulli.	182
Tabla 4.54. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Panguipulli por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.	184
Tabla 4.55. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Panguipulli. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.	185
Tabla 4.56. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.	188
Tabla 4.57. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Panguipulli.	191
Tabla 4.58. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Panguipulli.	192

Tabla 4.59. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Panguipulli.....	193
Tabla 4.60. Estado trófico del lago Panguipulli según clasificación de la OCDE (1982)..	197
Tabla 4.61. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	199
Tabla 4.62. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Panguipulli (2005 – 2013).	200
Tabla 4.63. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).....	200
Tabla 4.64. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Panguipulli.	202
Tabla 4.65. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.	204
Tabla 4.66. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	205
Tabla 4.67. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Panguipulli durante el año 2015.	208
Tabla 4.68. Concentración de fósforo total (mg kg ⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	209
Tabla 4.69. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	209
Tabla 4.70. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	209
Tabla 4.71. Valores promedio (X) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO ₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Riñihue de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	215
Tabla 4.72. Listado de especies presentes en el Lago Riñihue.....	219
Tabla 4.73. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Riñihue por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H´(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson . V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.	221
Tabla 4.74. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Riñihue. S=Riqueza específica , N=número de células por litro , d=Margalef , J'=índice de Pielou's , H´(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson	222
Tabla 4.75. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.....	225
Tabla 4.76. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Riñihue.....	228
Tabla 4.77. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Riñihue.	229
Tabla 4.78. Estado trófico del lago Riñihue según clasificación de la OCDE (1982).	233
Tabla 4.79. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	235
Tabla 4.80. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Riñihue (2005 – 2013).	235
Tabla 4.81. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Riñihue.	236
Tabla 4.82. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.	239
Tabla 4.83. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	240
Tabla 4.84. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Riñihue durante el año 2015.....	242
Tabla 4.85. Concentración de fósforo total (mg kg ⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	243
Tabla 4.86. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.	243

Tabla 4.87. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	243
Tabla 4.88. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO ₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Riñihue de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.	249
Tabla 4.89. Listado de especies presentes en el Lago Puyehue.	253
Tabla 4.90. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Puyehue por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson . V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera	255
Tabla 4.91. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Puyehue. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's , H'(loge)=Shannon- Weaver , λ = Índice Simpson	256
Tabla 4.92. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.....	259
Tabla 4.93. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Puyehue.	262
Tabla 4.94. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Puyehue.	264
Tabla 4.95. Estado trófico del lago Puyehue según clasificación de la OCDE (1982).	268
Tabla 4.96. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.	270
Tabla 4.97. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Puyehue (2005 - 2013).	271
Tabla 4.98. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).	272
Tabla 4.99. Aporte de fósforo y nitrógeno (ton/año) por centros de cultivo en el lago Puyehue durante 2005-2012.	273
Tabla 4.100. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Puyehue.	273
Tabla 4.101. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.	276
Tabla 4.102. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.	277
Tabla 4.103. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Puyehue durante el año 2015.	279
Tabla 4.104. Concentración de fósforo total de los afluentes y efluente del lago Puyehue durante los monitoreos realizados el año 2015.	280
Tabla 4.105. Contenido de materia orgánica de los afluentes y efluente del lago Puyehue durante los monitoreos realizados el año 2015.	280
Tabla 4.106. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	281
Tabla 4.107. Derechos de agua para lagos en estudio (Fuente: DGA 2016).	305
Tabla 4.108. Sistema de Agua Potable Rural (APR) en las comunas del socio ecosistema 1 (Fuente: MOP 2014).	306
Tabla 4.109. Superficie (ha) por grupo de cultivo en comunas del socio ecosistema 1. (Fuente: Censo Agropecuario, 2007).	307
Tabla 4.110. Explotaciones agropecuarias (Fuente: INIA, Valdivia).	307
Tabla 4.111. Pisciculturas presentes en el socio ecosistema 1 (Fuente: SEA, 2016).	308
Tabla 4.112. Industrias forestales en Panguipulli (Fuente: Diagnóstico del capital territorial de Panguipulli, 2007).	309
Tabla 4.113. Empresas que extraen áridos en el socio ecosistema 1. Fuente: Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2016)	310
Tabla 4.114. Principales actividades recreativas de las comunas en estudio (Fuente: Programa Eco Región Agenda Local 21 y Municipios).	314

Tabla 4.115. Atractivos y actividades de interés recreativo para el socio ecosistema 1.	315
Tabla 4.116. Aguas termales en Panguipulli (Fuente: Departamento de Turismo, Municipalidad de Panguipulli, 2016).	317
Tabla 4.117. Antecedentes demográficos de las comunas del socio ecosistema 1. (CENSO 2002).	317
Tabla 4.118. Toponimias asociadas a las áreas de estudio.	320
Tabla 4.119. Celebraciones tradicionales locales	321
Tabla 4.120. Especies de plantas medicinales de uso frecuente en la comunidad Inalafken (Humedal Lago Neltume).	322
Tabla 4.121. Número de artículos científicos, relacionados a los lagos pertenecientes al socio ecosistema 1.	323
Tabla 4.122. Sistema de Agua Potable Rural (APR) en las comunas del socio ecosistema 2 (Fuente: MOP 2014).	326
Tabla 4.123. Centrales hidroeléctricas socio ecosistema 2: Puyehue.	327
Tabla 4.124. Superficie (ha) por grupo de cultivo en comunas del socio ecosistema 2. (Fuente: Censo Agropecuario 2007).	327
Tabla 4.125. Pisciculturas presentes en el socio ecosistema 2 (Fuente: SEA, 2016).	328
Tabla 4.126. Principales actividades recreativas de las comunas en estudio (Fuente: Programa Eco Región Agenda Local 21 y Municipios).	333
Tabla 4.127. Atractivos turísticos comuna de Puyehue.	335
Tabla 4.128. Antecedentes demográficos de las comunas del socio ecosistema 2. (CENSO 2002).	335
Tabla 4.129. Significancia cultural y sagrada Comuna Río Bueno. Fuente: Municipalidad de Río Bueno.	336
Tabla 4.130. Antecedentes de los grupos faunísticos identificados para la zona de estudio y su estado de conservación según diversos criterios.	339
Tabla 4.131. Resumen Tendencias de los servicios ecosistémico para socio ecosistemas 1 y 2.	352
Tabla 5.1. Actores relevantes que debieran conformar el Comité de Plan de Gestión para los lagos en estudio.	357
Tabla 5.2. Problemas ambientales y programas específicos asociados a cada uno de ellos.	359
Tabla 5.3. Cronograma de actividades.	364
Tabla 5.4. Cronograma de actividades.	366
Tabla 5.5. Cronograma de actividades.	369
Tabla 5.6. Cronograma de actividades.	371
Tabla 5.7. Cronograma de actividades.	375
Tabla 5.8. Cronograma de actividades.	377
Tabla 5.9. Cronograma de actividades.	379
Tabla 6.1. Estado actual de las estaciones meteorológicas y fluviométricas en las cuencas de los lagos en estudio.	381
Tabla 6.2. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.	382
Tabla 6.3. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.	384
Tabla 6.4. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.	386
Tabla 6.5. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.	388
Tabla 6.6. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.	390

Tabla 6.7. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos. 392

Tabla 6.8. Propuesta de costos por actividad..... 394

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Estaciones de muestreo en el lago Calafquén y sus principales afluentes y efluente.....	6
Figura 3.2. Estaciones de muestreo en el lago Neltume y sus principales afluentes y efluente.....	7
Figura 3.3. Estaciones de muestreo en el lago Panguipulli y sus principales afluentes y efluente.....	8
Figura 3.4. Estaciones de muestreo en el lago Pirehueico y sus principales afluentes y efluente.....	9
Figura 3.5. Estaciones de muestreo en el lago Puyehue y sus principales afluentes y efluente.....	10
Figura 3.6. Estaciones de muestreo en el lago Riñihue y sus principales afluentes y efluente.....	11
Figura 3.7. Equipos utilizados en el muestreo de calidad de agua.	15
Figura 3.8. Red de arrastre de fitoplancton de 20 micras.	16
Figura 3.9. Equipos utilizados en el muestreo de sedimentos.	20
Figura 3.10. Equipos utilizados para la medición de caudales.	22
Figura 3.11. Coordenadas de los puntos de muestreo en lagos.	26
Figura 3.12. Representación general del balance de nutrientes.....	27
Figura 3.13. Flujos de nitrógeno (kg/año) producidos por tonelada de cultivo de salmón en Noruega (Wang et al., 2012).....	30
Figura 3.14. Flujos de fósforo (kg/año) producidos por tonelada de cultivo de salmón en Noruega (Wang et al., 2012).....	30
Figura 3.15. Balance hídrico en un sistema lacustre.	32
Figura 3.16. Estaciones fluviométricas y meteorológicas de la Dirección General de Aguas pertenecientes a las cuencas en estudio.	34
Figura 3.17. Estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas consistentes, con sus respectivos polígonos de Thiessen.	36
Figura 3.18. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Calafquén. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, su cuenca de drenaje se muestra en color verde. El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación Río Liquiñe en Liquiñe. Los puntos amarillos corresponden a los puntos de muestreo del centro EULA el año 2015.	40
Figura 3.19. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Neltume. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, el polígono naranja es la cuenca hidrográfica de la estación de referencia (Río Liquiñe en Liquiñe).....	41
Figura 3.20. Estación fluviométrica con influencia sobre el Lago Pirehueico (naranja), el punto azul indica la entrada al lago donde se estimó el caudal y el polígono color azul corresponde a su cuenca hidrográfica.....	42
Figura 3.21. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Panguipulli. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, el polígono naranja es la cuenca hidrográfica de la estación de referencia (Río Liquiñe en Liquiñe). Los puntos amarillos en la figura (a) corresponden a datos de caudales que componen el caudal de entrada al lago, mientras que en la figura (b) corresponden a puntos utilizados para relacionar caudales.	43
Figura 3.22. Estaciones fluviométricas con influencia sobre el Lago Riñihue. Los polígonos de color gris corresponden a las cuencas de drenaje de los afluentes en donde se estimó el caudal (puntos azules). El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación fluviométrica Río Liquiñe en Liquiñe.....	44

Figura 3.23. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Puyehue. Los puntos azules corresponden a los lugares donde se estimó el caudal, mientras que los polígonos de color morado corresponden sus respectivas cuencas de drenaje. El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación fluviométrica de referencia Río Gol Gol en puente N°2.....	45
Figura 3.24. Socio ecosistemas en estudio a) Calafquén-Pirehueico-Riñihue b) Puyehue	53
Figura 3.25. Comunas de las cuales obtuvimos información para caracterizar el socio ecosistema 1: Calafquén-Pirehueico-Riñihue.	57
Figura 3.26. Comunas de las cuales obtuvimos información para caracterizar el socio ecosistema 2: Puyehue.	57
Figura 4.1. Batimetría del Lago Calafquén.....	61
Figura 4.2. Distribución espacial de la concentración de Clorofila a, fósforo total y nitrógeno total durante las épocas de verano, invierno y primavera del año 2015.	62
Figura 4.3. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, nitrato, nitrógeno total y fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	63
Figura 4.4. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m ³ o µg/L) del lago Calafquén durante el periodo de estudio (2015).	66
Figura 4.5. Abundancia relativa de grupos o clases de microalgas en Calafquén. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	69
Figura 4.6. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Calafquén, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae.	70
Figura 4.7. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Calafquén, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria y DINO: Dinophyceae.	71
Figura 4.8. Número de células de clases de microalgas en Calafquén, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria y DINO: Dinophyceae.	72
Figura 4.9 a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Calafquén. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.9b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Calafquén.	73
Figura 4.10. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.....	74
Figura 4.11. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Calafquén a. <i>A. granulata</i> , b. <i>F. crotonensis</i> , c. <i>A. formosa</i> d. <i>F. pulchella</i> , e. <i>C. hirundinella</i>	75
Figura 4.12. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Calafquén.....	77
Figura 4.13. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Calafquén.	78
Figura 4.14. Caracterización de los parámetros de calidad de agua medidos durante el año 2015, en los afluentes Nilfe, Comonahue, Diuco y Coñaripe y efluente Canal Hueinica del Lago Calafquén. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.....	83
Figura 4.15. Hidrogramas de los afluentes (azul) y efluente (celeste) del Lago Calafquén medidos durante el año 2015.	85
Figura 4.16. Variación temporal (1997-2015) del estado trófico del Lago Calafquén según el índice de Carlson.....	86

Figura 4.17. (a) Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. (b) Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.	87
Figura 4.18. Comparación de flujos anuales.	88
Figura 4.19. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Calafquén.	90
Figura 4.20. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).	91
Figura 4.21. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	92
Figura 4.22. Carga crítica histórica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	93
Figura 4.23. Batimetría lago Neltume.	99
Figura 4.24. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Neltume durante el año 2015.	100
Figura 4.25. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	101
Figura 4.26. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{L}$) del lago Neltume durante el periodo de estudio (2015).	104
Figura 4.27. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Neltume. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	105
Figura 4.28. Abundancia relativa de clases de microalgas en Neltume, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	108
Figura 4.29. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Neltume, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	108
Figura 4.30. Número de células de clases de microalgas en Neltume, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	109
Figura 4.31a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Neltume. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.31b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Neltume.	110
Figura 4.32. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.	111
Figura 4.33. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 4 especies más abundantes en el lago Neltume a. <i>A. granulata</i> , b. <i>R. lacustris</i> , c. <i>F. crotonensis</i> , d. <i>G. dichotomum</i>	112
Figura 4.34. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia.	114
Figura 4.35. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Neltume.	115
Figura 4.36. Parámetros de calidad de agua medidos durante el año 2015, en los afluentes (Estero Huechulafquén, río Cua Cua y Chan Chan) y efluente (río Neltume) del Lago Neltume. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total	120

Figura 4.37. Hidrograma del estero Huenchulafquén y los ríos Cua Cua, Chan Chan y Neltume medidos durante el año 2015. En azul se muestran los afluentes y en celeste el efluente del Lago Neltume.	121
Figura 4.38. Variación temporal del estado trófico del Lago Neltume.	122
Figura 4.39a. Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.39b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.	123
Figura 4.40. Comparación de flujos anuales.	124
Figura 4.41. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en la cuenca del lago Neltume.	126
Figura 4.42. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Neltume.	127
Figura 4.43. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).	128
Figura 4.44. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	129
Figura 4.45. Balance mensual de fósforo (a) y nitrógeno (b) para el monitoreo del 2015.	130
Figura 4.46. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	131
Figura 4.47. Batimetría del lago Pirehueico.	137
Figura 4.48. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Pirehueico durante el año 2015.	138
Figura 4.49. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	139
Figura 4.50. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{L}$) del lago Pirehueico durante el periodo de estudio (2015).	142
Figura 4.51. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Pirehueico. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLENO: Euglenophyceae.	143
Figura 4.52. Abundancia relativa de clases de microalgas en Pirehueico, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLENO: Euglenophyceae.	145
Figura 4.53. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Pirehueico, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	147
Figura 4.54. Número de células de clases de microalgas en Pirehueico, por los estratos de profundidad (promedio entre las estaciones del año y sitios de muestreo).	147
Figura 4.55a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Pirehueico. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.55b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Pirehueico.	149
Figura 4.56. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.	150
Figura 4.57. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Pirehueico a. <i>D. divergens</i> b. <i>T. fenestrata</i> c. <i>F. crotonensis</i> d. <i>A. formosa</i> , e. <i>A. granulata</i>	151
Figura 4.58. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia.	153

Figura 4.59. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Pirehueico.	157
Figura 4.60. Parámetros de calidad de agua monitoreados en los afluentes (ríos Hua Hum, Lipinza y Las Estacas) y efluente (río Fuy) del Lago Pirehueico durante el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total	159
Figura 4.61. Hidrogramas de los afluentes (azul) y efluente (celeste) del Lago Pirehueico medidos durante el año 2015.	160
Figura 4.62. Variación temporal histórica del estado trófico del Lago Pirehueico.....	161
Figura 4.63a. Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.63b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.....	162
Figura 4.64. Comparación de flujos anuales.	163
Figura 4.65. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Pirehueico.	165
Figura 4.66. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).....	166
Figura 4.67. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	167
Figura 4.68. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).....	168
Figura 4.69. Batimetría del lago Panguipulli.	175
Figura 4.70. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Panguipulli durante el año 2015.	176
Figura 4.71. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	177
Figura 4.72. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{L}$) del lago Panguipulli durante el periodo de estudio.	180
Figura 4.73. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Panguipulli. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	181
Figura 4.74. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	183
Figura 4.75. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	184
Figura 4.76. Número de células de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.	185
Figura 4.77a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Panguipulli. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.77b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Panguipulli.	186
Figura 4.78. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.....	187

Figura 4.79. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Panguipulli a. <i>T. fenestrata</i> , b. <i>F. crotonensis</i> , c. <i>A. granulata</i> d. <i>R. lacustris</i> .	187
Figura 4.80. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Panguipulli.	189
Figura 4.81. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Panguipulli.	189
Figura 4.82. Parámetros de calidad de agua registrados en los ríos Huenehue y Llanquihue, afluentes al Lago Panguipulli, durante el monitoreo 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.	195
Figura 4.83. Hidrogramas de los ríos Huenehue y Llanquihue, afluentes al Lago Panguipulli, medidos durante el monitoreo 2015.	196
Figura 4.84. Variación temporal del estado trófico del Lago Panguipulli.	197
Figura 4.85a. Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen en. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 4.85b Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.	198
Figura 4.86. Comparación de flujos anuales.	199
Figura 4.87. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en la cuenca del lago Panguipulli.	201
Figura 4.88. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Panguipulli.	202
Figura 4.89. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).	203
Figura 4.90. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	205
Figura 4.91. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	206
Figura 4.92. Batimetría del lago Riñihue.	212
Figura 4.93. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Riñihue durante el año 2015.	213
Figura 4.94. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	214
Figura 4.95. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{L}$) del lago Riñihue durante el periodo de estudio (2015).	217
Figura 4.96. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Riñihue. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.	218
Figura 4.97. Abundancia relativa de clases de microalgas en Riñihue, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.	220
Figura 4.98. Abundancia relativa de clases de microalgas en Riñihue, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.	221
Figura 4.99. Número de células de clases de microalgas en Riñihue, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.	222
Figura 4.100. a) Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Riñihue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos	

a este nivel (prueba SIMPROF 95%). b) MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año.	223
Figura 4.101. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.	224
Figura 4.102. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Riñihue a. <i>T. fenestrata</i> , b. <i>A. granulata</i> , c. <i>F. crotonensis</i> d. <i>R. lacustris</i>	224
Figura 4.103. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Riñihue.	226
Figura 4.104. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Riñihue.	227
Figura 4.105. Parámetros de calidad de agua de los ríos Enco y San Pedro medidos durante el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.	231
Figura 4.106. Hidrogramas de los ríos Enco y San Pedro, afluente (azul) y efluente (celesté) del Lago Riñihue, medidos durante el año 2015.	232
Figura 4.107. Variación temporal del estado trófico del Lago Riñihue.	233
Figura 4.108. a) Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. b) Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.	234
Figura 4.109. Comparación de flujos anuales.	234
Figura 4.110. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Riñihue.	237
Figura 4.111. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).	238
Figura 4.112. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	239
Figura 4.113. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	240
Figura 4.114. Batimetría del lago Puyehue.	246
Figura 4.115. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Puyehue durante el año 2015.	247
Figura 4.116. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.	248
Figura 4.117. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m ³ o µg/L) del lago Puyehue durante el periodo de estudio (2015).	251
Figura 4.118. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Puyehue. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.	252
Figura 4.119. Abundancia relativa de clases de microalgas en Puyehue, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, EUGLE: Euglenophyceae y KLEBSO: Klebsormidiophyceae.	254
Figura 4.120. Abundancia relativa de clases de microalgas en Puyehue, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.	255
Figura 4.121. Número de células de clases de microalgas más abundantes en Puyehue, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.	256
Figura 4.122a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Puyehue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos	

a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.122b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Puyehue.	257
Figura 4.123. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.	258
Figura 4.124. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Puyehue a. <i>F. crotonensis</i> , b. <i>A. formosa</i> , c. <i>A. granulata</i> , d. <i>R. lacustris</i>	258
Figura 4.125. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Puyehue.	260
Figura 4.126. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Puyehue.	261
Figura 4.127. Caracterización de los parámetros de calidad de agua medidos en los afluentes (ríos Gol Gol, Chanlelfu y Licán) y efluente (río Pilmaiquén) del Puyehue, en los monitoreos desarrollados el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.	266
Figura 4.128. Hidrogramas de los ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán y Pilmaiquén medidos durante el año 2015. En azul se muestran los afluentes y en celeste el efluente del Lago Puyehue.	267
Figura 4.129. Variación temporal del estado trófico del Lago Puyehue.	268
Figura 4.130a. Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.130b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.	269
Figura 4.131. Comparación de flujos anuales.	270
Figura 4.132. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en el lago Puyehue (rojo) y en sus tributarios (amarillo).	272
Figura 4.133. Cargas de fósforo total (a) y nitrógeno total (b) según usos de suelo al lago Puyehue.	274
Figura 4.134. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).	275
Figura 4.135. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	276
Figura 4.136. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).	277
Figura 4.137. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Calafquén.	284
Figura 4.138. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Neltume.	284
Figura 4.139. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Pirehueico.	285
Figura 4.140. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Panguipulli.	285
Figura 4.141. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Riñihue.	286
Figura 4.142. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Puyehue.	286
Figura 4.143. Concentración de fosforo total en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.	290
Figura 4.144. Contenido de materia orgánica en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.	291
Figura 4.145. Valores de pH en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.	292
Figura 4.146. Valores de potencial redox en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.	293
Figura 4.147. Concentración de Sílice biogénico en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.	294

Figura 4.148. Comparativa de las concentraciones de P-total en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando la distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).....	295
Figura 4.149. Contenido de materia orgánica en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).295	295
Figura 4.150. Valores de pH en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).	296
Figura 4.151. Valores de potencial redox en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).296	296
Figura 4.152. Concentración de sílice biogénica en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).297	297
Figura 4.153. Matriz de correlación de las variables ambientales medidas en los sedimentos de los lagos en estudio.	298
Figura 4.154. Porcentajes de facies texturales en los sedimentos de los tributarios. Se presenta un promedio de estos valores, en los siete monitoreos realizados.	300
Figura 4.155. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados	300
Figura 4.156. Concentración de fósforo total en los sedimentos de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.	301
Figura 4.157. Tendencia de la producción de astillas en la región de Los Ríos.....	308
Figura 4.158a. Tendencia nutrientes Lago Riñihue b. Lago Panguipulli c. Lago Calafquén d. Lago Neltume.....	311
Figura 4.159. Parque Nacional Villarrica.....	313
Figura 4.160. Fundación Huilo-Huilo.....	313
Figura 4.161. Tendencia del número de visitas a Reservas Nacionales de la región de Los Ríos	313
Figura 4.162. Termas El Rincón. Localidad de Coñaripe	316
Figura 4.163. Localidad de Panguipulli.....	316
Figura 4.164. Localidad de Choshuenco	316
Figura 4.165. Localidad de Neltume	316
Figura 4.166. Trabajos en textilera. Comuna de Los Lagos.....	318
Figura 4.167. Trabajos en madera. Localidad de Antilhue.	318
Figura 4.168. Ruta del vapor, Antilhue.	319
Figura 4.169. Estación de trenes Antilhue.	319
Figura 4.170. Localidad de Neltume.	319
Figura 4.171. Museo de la Memoria. Localidad de Neltume.	319
Figura 4.172. Plaza de Panguipulli que destaca la pendiente, piedra volcánica y arquitectura inclusiva.....	319
Figura 4.173. Paradero elaborado en madera nativa y piedra volcánica.	319
Figura 4.174. Tendencia conocimiento científico Lago Calafquén.....	324
Figura 4.175. Tendencia conocimiento científico Lago Riñihue	324
Figura 4.176. Tendencia conocimiento científico Lago Panguipulli.....	324
Figura 4.177. Tendencia conocimiento científico Lago Pirehueico	324
Figura 4.178. Evolución del número de captura de alimentos bajo pesca artesanal y tecnificada (Elaboración propia, utilizando datos de SERNAPESCA).	329
Figura 4.179. Tendencia de los nutrientes en el Lago Puyehue.	330
Figura 4.180. Evolución de la precipitación en la comuna de Puyehue como indicador del servicio de regulación hídrica.	331
Figura 4.181. Tendencia del número de visitantes a Parque Nacional Puyehue, Región de los Lagos (Fuente: INE 2014).....	333
Figura 4.182. Lago Puyehue.....	334
Figura 4.183. Pueblito Artesanal de Entre Lagos.	334

Figura 4.184. Aumento en el conocimiento científico del Lago Puyehue (Elaboración propia con datos extraídos sobre base de datos SCOPUS).....	337
Figura 4.185. Exposición educativa Plaza de Puyehue.....	337
Figura 5.1. Propuesta de comité de gestión local (modificado de PEDAL, 2010).	373
Figura 6.1. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Calafquén y sus tributarios.....	383
Figura 6.2. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Neltume y sus tributarios.....	385
Figura 6.3. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Pirehueico y sus tributarios.....	387
Figura 6.4. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Panguipulli y sus tributarios.....	389
Figura 6.5. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Riñihue y sus tributarios.....	391
Figura 6.6. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Puyehue y sus tributarios.....	393

1. INTRODUCCIÓN

Los lagos se originan principalmente por la obstrucción del drenaje superficial debido particularmente a procesos morfológicos, conformando una estructura temporal, en la historia erosional de los sistemas geográficos (Bellair & Pomeroy, 1977; Mosetti, 1977). Ellos reciben aportes sólidos y líquidos de su cuenca de drenaje, mediante escurrimiento lineal, laminar y subterráneo, razón por la cual las características de la calidad del agua y de las comunidades biológicas allí presentes, reflejan los efectos acumulados de todos los aportes de agua y materiales procedentes del entorno.

Debido a la acumulación gradual de nutrientes en los sistemas acuáticos, se va produciendo de manera paulatina una degradación en estos sistemas, caracterizándose por incrementos de la biomasa algal, pérdida de biodiversidad (reducido número de especies con una proporción de cianobacterias superior a la de las aguas oligotróficas) y la generación o establecimiento de condiciones de hipoxia y/o anoxia en la columna de agua y sedimentos (Rabalais et al. 2009), conociéndose esta condición eutrofización.

Desde un punto de vista geológico, el cambio de trofia de un cuerpo de agua es un proceso natural, pero puede verse acelerado, por la intervención antrópica, principalmente a través de cambios de uso del suelo (ej. desforestación por expansión agrícola), incremento de asentamientos humanos y expansión de actividades industriales (por la descarga de aguas servidas e industriales a los cuerpos receptores), produciendo un decrecimiento de la calidad de las aguas naturales de los lagos (Smith 2003) a través de aportes difusos y puntuales de nutrientes (Stoate et al. 2009).

La calidad de agua de un lago (aquí usado como sinónimo para trofia) depende principalmente de los ingresos de nutrientes (N, P) provenientes de la cuenca hidrográfica, y debido al mayor tiempo de recambio del agua en los lagos se necesita más tiempo para llegar a un equilibrio de ingreso y egreso de las sustancias (aproximadamente el periodo de tiempo de renovación de nutrientes correspondiente a 4-5 veces el tiempo de renovación de la masa del agua).

La evaluación cuantitativa del estado trófico y el grado de contaminación de los sistemas lacustres es de gran trascendencia en gestión ambiental territorial, ya que permite determinar restricciones de usos de estos recursos (e.g. abastecimiento de agua para consumo humano, recreación), y orientar medidas de recuperación y mitigación cuando corresponda (e.g. colectores de aguas lluvia, tratamiento adecuado, forestación, etc.).

A nivel general, los lagos y embalses pueden ser clasificados en ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos o hipereutróficos, en función de la concentración de nutrientes en la masa de agua y/o en base a las manifestaciones ecológicas de la carga de nutrientes, principalmente de fósforo y nitrógeno. Por lo general, los lagos oligotróficos se caracterizan por poseer bajos niveles de éstos nutrientes, baja productividad primaria, gran transparencia de sus aguas y una biota diversa (Informe técnico NSCA lago Villarica).

Sin embargo, en las últimas décadas, esta aproximación ha sido motivo de discusión en la literatura científica (Tundisi et al., 1997), sugiriendo la utilización de un mayor número de indicadores ambientales, no sólo del cuerpo de agua en sí, sino también de las relaciones con su cuenca de drenaje y con una escala temporal más amplia, que permitan explicar en el tiempo las acciones y los procesos que determinaron las condiciones actuales.

Un escaso o nulo manejo de las actividades productivas y de habitabilidad que se emplazan en las cuencas de drenaje de lagos, necesitan una especial atención, tanto de la comunidad científica, servicios públicos, empresarios y de la comunidad local, entre otros. Se hace necesario generar el conocimiento de base para decidir acciones de protección ambiental que permitan el control de la trofía de los lagos y su uso sustentable.

Un cuerpo de agua en proceso de eutrofización requiere planes de acción a mediano y largo plazo, que incluyan un monitoreo permanente de toda la masa de agua, sedimentos y una estimación de balance de masas y nutrientes. Por esta razón, la Dirección General de Aguas (DGA) ha llamado a licitación el siguiente estudio técnico "ANÁLISIS y REFORMULACIÓN DE RED DE MONITOREO DE LAGOS REGION DE LOS RIOS", la cual está orientada a diagnosticar el estado actual de trofía en seis lagos de la región de los Ríos, a saber, Panguipulli, Riñihue, Calafquén, Neltume, Pirehueico y Puyehue.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar el estado trófico actual y su evolución en el tiempo de los lagos Panguipulli, Riñihue, Calafquén, Neltume, Pirehueico y Puyehue e implementar medidas de gestión a mediano plazo en cada uno de los lagos descrito.

2.2 Objetivos específicos

- Disponer de información limnológica histórica en los lagos Panguipulli, Riñihue, Calafquén, Neltume, Pirehueico y Puyehue.
- Determinar el balance anual de nutrientes y el estado trófico actual de los lagos Panguipulli, Riñihue, Calafquén, Neltume, Pirehueico y Puyehue, analizando los resultados obtenidos e integrando la información histórica.
- Disponer de una propuesta para la gestión de cada cuerpo lacustre de acuerdo a la legislación vigente y ejemplos de gestión de cuencas lacustres a nivel internacional, de tal forma de obtener directrices para el seguimiento de estas cuencas, enfocándose en las actividades predominantes de cada una de ellas.

3 METODOLOGÍA

3.1 Calidad de agua y sedimentos

3.1.1 Ubicación de estaciones

Para la ubicación de las estaciones de muestreo tanto para los lagos como a los afluentes y efluentes, se consideró en la mayoría de los casos, el sitio previamente definido en las minutas de los Programas de Monitoreo de Lagos (PML) y en los que no existían puntos preestablecidos, fueron definidas por Centro EULA (Tabla 3.1 y Tabla 3.2). Las ubicaciones definitivas (Figura 3.1 -Figura 3.2) fueron georreferenciadas en terreno considerando los siguientes criterios:

1. Morfología del lago o río.
2. Presencia de tributarios (Alejado de su influencia).
3. Presencia de efluentes industriales o descargas urbanas.
4. Profundidad.
5. Acceso (en el caso de los tributarios).

Tabla 3.1. Coordenadas de los puntos de muestreo en lagos.

Lago	Coordenadas (Huso 18; Datum WGS 1984)		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Panguipulli	747759 - 5587222	736336 - 5603785	730761 - 5607720
Riñihue	736289 - 5581971	729721 - 5587640	721818 - 5591792
Calafquén	754395 - 5616346	745438 - 5621507	737824 - 5621224
Neltume	757369 - 5589302	758372 - 5590718	759627 - 5591848
Pirehueico	773820 - 5575400	768947 - 5579988	778359 - 5568811
Puyehue	708109 - 5495298	713888 - 5494053	721966 - 5495555

Tabla 3.2. Coordenadas de los puntos de muestreo en los afluentes y efluentes de los lagos en estudio.

Lago	Ríos/esteros/canal	Coordenadas (Huso 18; Datum WGS 1984)
Panguipulli	Río Llanquihue	749057 - 5587519
	Río Huanehue	738051 - 5610474
Riñihue	Río Enco	741366 - 5577373
	Río San Pedro	717800 - 5594011
Calafquén	Río Pellaifa	755490 - 5614371
	Estero Diuco	756389 - 5616793
	Estero Nilfe	751362 - 5621656
	Estero Comonahue	752895 - 5618623
	Canal Hueinica	748724 - 5618307
Neltume	Río Neltume	756483 - 5588431
	Río Chan	758628 - 5589488
	Río Cua	760158 - 5592810
	Estero Huechulafquén	760469 - 5592579
Pirehueico	Río Fuy	766004 - 5581536
	Estero Las Estacas	774338 - 5575645
	Río Lipinza	779522 - 5565223
	Río Hua Hum	779486 - 5565057
Puyehue	Ríos Pilmaiquén	702624 - 5494113
	Río Licán	718796 - 5497190
	Río Chanlelfu	724863 - 5493468
	Río Gol Gol	724960 - 5493820



Figura 3.1. Estaciones de muestreo en el lago Calafquén y sus principales afluentes y efluente.

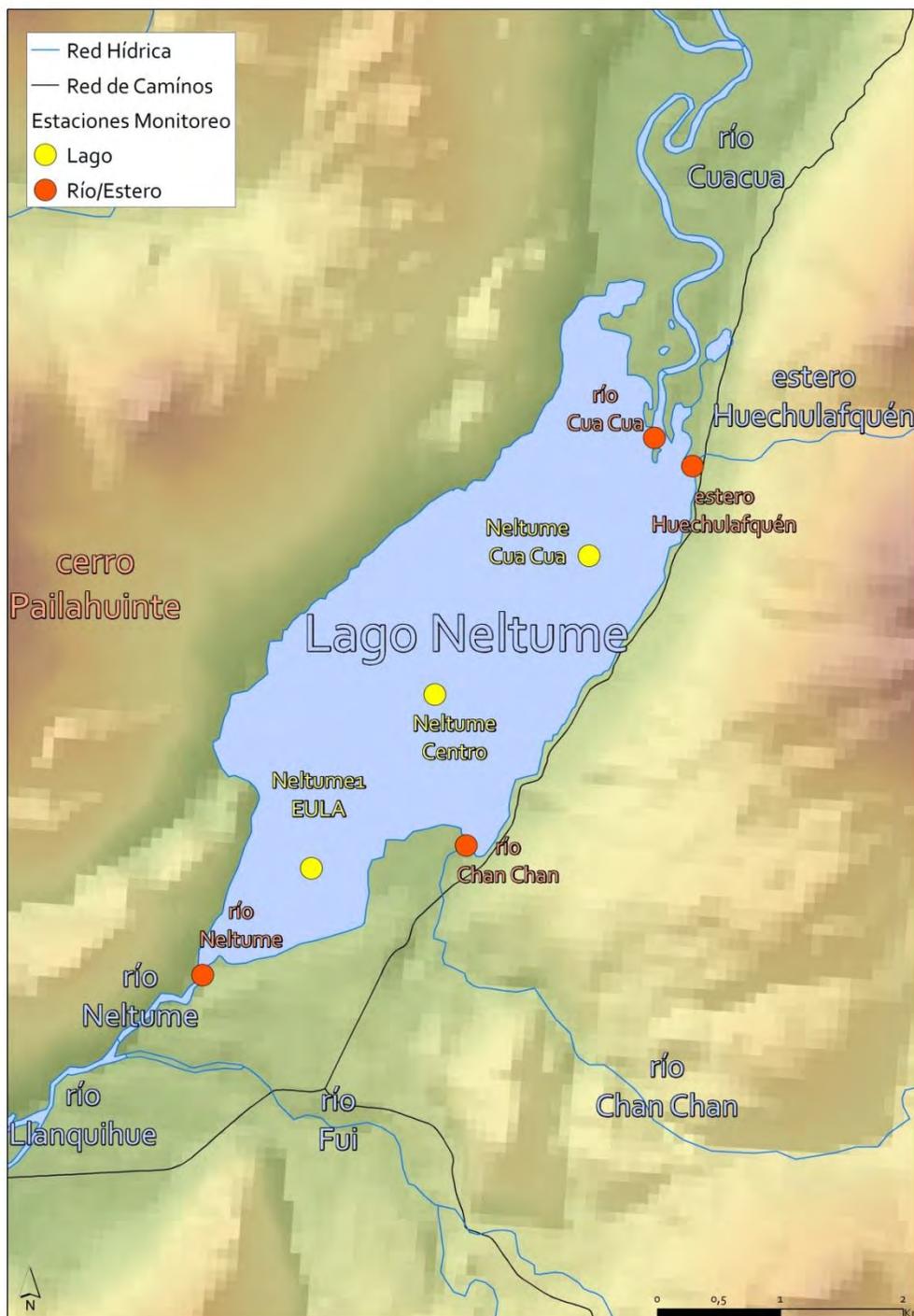


Figura 3.2. Estaciones de muestreo en el lago Neltume y sus principales afluentes y efluente.



Figura 3.3. Estaciones de muestreo en el lago Panguipulli y sus principales afluentes y efluente.

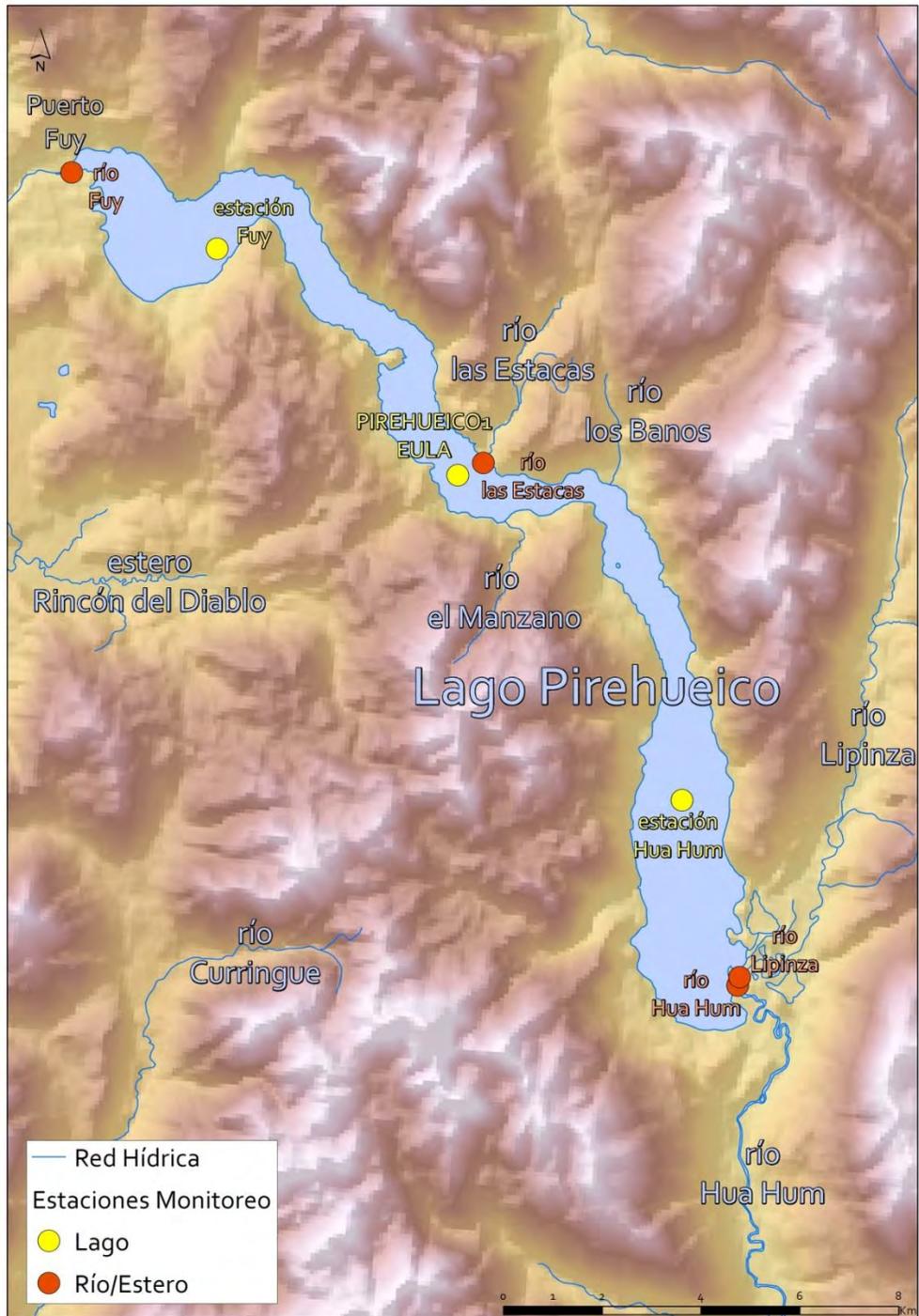


Figura 3.4. Estaciones de muestreo en el lago Pirehueico y sus principales afluentes y efluente.



Figura 3.5. Estaciones de muestreo en el lago Puyehue y sus principales afluentes y efluente.



Figura 3.6. Estaciones de muestreo en el lago Riñihue y sus principales afluentes y efluente.

3.1.2 Obtención de muestras de agua

En cada una de las estaciones de los lagos se colectaron muestras de agua a 5 profundidades, mediante la utilización de una botella muestreadora Niskin de 5L de capacidad (Figura 3.7a). La profundidad de cada una de las muestra se definió en función del Programa de Monitoreo de Lagos (PML) que la DGA tiene para cada uno de los lagos y otros estudios técnicos (Tabla 3.3). En el caso de los ríos y esteros (Tabla 3.4), las muestras fueron tomadas superficialmente utilizando un envase plástico de 5 litros, a partir del cual se procedió posteriormente a llenar los respectivos envases. Las muestras fueron almacenadas y transportadas en cajas termoaisladas, debidamente refrigeradas con hielo a una temperatura aproximada de 5°C. La información sobre métodos de almacenamiento, preservación y tiempo de conservación de las muestras por parámetro se presenta en la Tabla 3.6.

Tabla 3.3. Monitoreo de los lagos a estudiar para calidad de agua.

Lago	Panguipulli	Riñihue	Calafquén	Neltume	Pirehueico	Puyehue
Profundidades	5	5	5	5	5	5
Temporalidad del muestreo	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre y diciembre de 2015.					
N° de estaciones	3	3	3	3	3	3
Profundidades de toma de muestra	0-10-30-50-70 m	0-10-30-50-70 m	0-10-30-50-70 m	0-10-30-50-80 m	0-20-40-70-80 m	0-10-20-50-80 m
Parámetros monitoreados	Temperatura, pH, conductividad, fósforo total, fosfato, amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, clorofila a, transparencia, fitoplancton, perfiles de oxígeno, clorofila, temperatura y sedimentos.					

Tabla 3.4. Monitoreo de afluentes y efluentes de los lagos.

Lago	Panguipulli	Riñihue	Calafquén	Neltume	Pirehueico	Puyehue
Profundidad	1 superficial	1 superficial	1 superficial	1 superficial	1 superficial	1 superficial
Temporalidad del muestreo	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre y diciembre de 2015.					
Afluentes y efluentes muestreados	Ríos: Llanquihue y Huenehue	Ríos: Enco y San Pedro	Ríos: Pellaifa Esteros: Diuco, Nilfe, Comonahue y canal Hueínica	Ríos: Neltume, Chan Chan, Cua Cua y estero Huechulafquén	Ríos: Fuy, Lipinza y Hua Hum Estero Las Estacas	Ríos: Pilmaiquén, Licán, Chanlelfu y Gol Gol
N° de estaciones	1	1	1	1	1	1
Profundidades de toma de muestra	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Parámetros monitoreados	Temperatura, pH, conductividad, fósforo total, fosfato, amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, clorofila a, transparencia, fitoplancton, perfiles de oxígeno, clorofila, temperatura y sedimentos.					

Las campañas de muestreo fueron realizadas en las fechas señaladas en la Tabla 3.5

Tabla 3.5. Fechas de las campañas de muestreo realizadas durante el año 2015.

Campaña 1:	18 – 24 de enero de 2015.
Campaña 2:	24 febrero – 01 de marzo de 2015
Campaña 3:	17 - 21 marzo de 2015
Campaña 4:	09 - 14 junio y 14 - 18 julio de 2015
Campaña 5:	08 -13 agosto de 2015
Campaña 6:	19 -25 octubre de 2015
Campaña 7:	30 noviembre - 05 diciembre de 2015

Tabla 3.6. Listado de parámetros considerados en el estudio de calidad de agua. Para cada uno se indica el tipo de envases empleado para su transporte, el método de almacenamiento/preservación y su tiempo crítico de almacenamiento. Además se señala el método analítico empleado y su correspondiente límite de detección.

Parámetro	Envase	Almacenamiento / Preservación	Tiempo (días)	Método analítico	Límite de detección
Temperatura (°C)	*	*	*	2250 B Standard Methods 22 Ed. Termometría (Método utilizado como referencia para el análisis de temperatura según compendio de NCh2313).	0,1
pH	*	*	*	4500-H B Standard Methods 22 Ed. Electrometría	0,1
Conductividad (µS/cm)	*	*	*	2510 B Standard Methods 22 Ed. Electrometría.	0,1
Fósforo total (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4500 P B Standard Methods 22 Edit. EAM	0,01
Fosfato (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4110 B Standard Methods 22 Edit. Determinación de aniones por cromatografía iónica con supresión química	0,04
Amonio (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4500-NH3 F Standard Methods 22th Edit. EAM	0,02
Nitrito (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4110 B Standard Methods 22 Edit. Determinación de aniones por cromatografía iónica con supresión química	0,015
Nitrato (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4110 B Standard Methods 22 Edit. Determinación de aniones por cromatografía iónica con supresión química	0,005
Nitrógeno Total (mg/L)	Plástico	Refrigeración a 5°C	1	4500-N C Standard Methods 22 Edit-EAM	0,01
Clorofila a (µg/L)	Ambár	Refrigeración a 5°C	1	Método Fluorométrico. Sonda FluoroProbe	0,1
Transparencia (m)	*	*	*	Disco Secchi	-
Fitoplancton	Plástico	Lugol	-	Uthermohl, 1958	-
Perfiles de oxígeno, clorofila y temperatura	*	*	*	Sonda multiparamétrica (Seabird 18)	-

(*) Parámetros medidos *in situ*.

- **Mediciones “in situ”**

En cada uno de los lagos se realizaron perfiles limnológicos verticales mediante un sonda multiparamétrica (CTD Seabird 19) con sensores para temperatura, pH, conductividad,

oxígeno disuelto, clorofila *a* y profundidad (200 m) (Figura 3.7c). Además se realizaron perfiles verticales con una sonda FluoroProbe bbe, la cual es altamente sensible para el análisis de clorofila y permite la identificación de varios tipos de algas. Durante las mediciones, se tomaron perfiles individuales de algas verdes, algas verde-azules/cianobacterias, diatomeas y criptofitas. Los patrones especiales de fluorescencia de **estas algas, conocidos como “huellas digitales”, se utilizarán en esta sonda para cuantificar** las diferentes especies de algas.

En los afluentes y efluentes se efectuaron mediciones *in situ* en una muestra de agua superficial colectada en un envase plástico de 1 litro, dentro de los primeros cinco minutos de obtenida. La temperatura fue medida con un termómetro de mercurio (graduación de 0,1 °C), la conductividad se determinará mediante un conductivímetro HANNA modelo HI 9835 y el pH con un pH-metro HANNA modelo HI 1230 (Figura 3.7b).

a)



Botella Niskin de 5L de capacidad

b)



Conductivímetro HANNA modelo HI 9835 y
pHímetro HANNA modelo HI 1230

c)



Sonda multiparamétrica (CTD)

Figura 3.7. Equipos utilizados en el muestreo de calidad de agua.

3.1.3 Análisis de laboratorio

Los análisis químicos, fueron realizados en el laboratorio de Química del Centro EULA-Chile, siguiendo las metodologías indicadas en la Tabla 3.6. Este laboratorio se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Normalización para la Norma Chilena NCh ISO 17.025 of 2005.

3.1.4 Análisis de fitoplancton

3.1.4.1 Recolección y tratamiento de las muestras

Se colectaron muestras cuantitativas de fitoplancton en los seis lagos estudiados con una botella Niskin de 5 L en cinco diferentes profundidades de la columna de agua, en los efluentes y afluentes más importantes de cada sistema, siguiendo el mismo procedimiento descrito en el punto 2.1.2. del presente informe.

Se realizó un arrastre con red de fitoplancton de 20 micras (Figura 3.8) en los sitios muestreados de cada lago. Cada muestra fue guardada en frascos plásticos de 250 ml debidamente rotulados y conservados en fresco a 4 ° C, posteriormente se preservaron con solución lugol 1 % hasta su observación en el laboratorio.



Figura 3.8. Red de arrastre de fitoplancton de 20 micras.

3.1.4.2 Análisis cualitativo e identificación taxonómica

Para identificar las especies de microalgas presentes en las muestras de agua se realizó un análisis cualitativo de la muestra, mediante la observación en un microscopio Carl Zeiss Axioplan en los objetivos 20 x y 40 x, realizando un inventario de todos los taxa presentes. Para la clasificación e identificación de las algas verdes se utilizó Buchheim et al. (2005), Bock et al. (2011), Leliaert et al. (2012), para Cyanophyceae Komárek (2013), Komárek et al. (2014), Chrysophyceae y Synurophyceae Andersen (2007), para Bacillariaceae se utilizó Rumrich et al. (2000). Finalmente para todos los grupos algales se consultó Parra et al. (1982-1983).

3.1.4.3 Análisis cuantitativo y aplicación de índices comunitarios

El análisis cuantitativo de las muestras se realizó con microscopio invertido de marca Zeiss, siguiendo la técnica de Utermöhl (1958). Antes de realizar la sedimentación, las muestras fueron agitadas vigorosamente, para lograr la homogeneización y disgregación de las masas celulares. El volumen de las cámaras utilizadas dependió de la densidad del fitoplancton (concentración de células por ml de muestra) (Alveal, 1995). A mayor concentración de células se ocuparon cámaras de menor volumen para sedimentar las muestras.

La cuantificación de células se realizó por transectas donde se contabilizan todos los individuos (células) encontrados. Se contabilizó al menos 100 individuos de la especie más frecuente (Elosegi & Sabater, 2009) y/o un mínimo 400 células por muestra. Los resultados fueron reportados a través del número de células por litro (cél l⁻¹) (Hötzel & Croome, 1999).

Todos los datos tomados fueron agrupados por lago, sitio de muestreo, profundidad y estación del año, los muestreos realizados durante enero y febrero se agruparon en verano, el de marzo en otoño, junio, julio y agosto como invierno y octubre y diciembre como primavera. Los datos fueron analizados con estadística descriptiva (mínimo, máximo, promedio).

La comunidad de fitoplancton se describió en términos de la abundancia relativa (aporte porcentual de los principales grupos), riqueza de taxa (número de taxa presentes en una unidad de muestreo definida), diversidad (índice de diversidad de Shannon & Weaver e índice de Margalef, para definir la variedad de taxa en cada lago), uniformidad (índice de equidad de Pielou, indica la regularidad o uniformidad con que los individuos están distribuidos) y dominancia (Índice de Simpson, probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie). La determinación de los índices se realizó en el programa PRIMER 6 de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Riqueza (S):

Número total de especies. La Riqueza (S) se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta sus valores de importancia.

Diversidad de Margalef (d):

$$D = (S-1)/\text{Log}(N)$$

Donde:

S = número de especies registradas

N = número total de individuos detectados

Diversidad de Shannon– Weaver (H’):

El mismo se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum (P_i * \text{Log} (P_i))$$

Donde,

P_i = n_i/N (valor de importancia)

N = Total de todas las especies

n_i = Abundancia para la especie i

El valor del índice de Shannon (H) va entre 1,5 y 3,5 y sólo raramente sobrepasa 4,5.

Índice de equidad de Pielou (J'):

La medida de uniformidad (también llamada equitatividad) de una comunidad se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pielou } J' = H'/\text{Log}(S)$$

Donde,

H' = índice de diversidad de Shannon

S = número de especies (o riqueza).

Al igual que con la diversidad el índice de uniformidad considera que todas las especies de la comunidad están representadas en la muestra. Pielou adopta valores entre 0 y 1, el número 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad.

Índice de Simpson (λ):

$$\lambda = \sum (P_i)^2$$

Donde

P_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir n_i/N .

Se realizaron análisis estadísticos no paramétricos de ANOVA Kruskal Wallis para identificar diferencias entre los parámetros de la comunidad, considerando los factores (sitio de muestreo, profundidad y estación del año).

Con el fin de determinar diferencias entre las comunidades presentes en y entre lagos y a nivel temporal, se realizó un análisis de conglomerados y de ordenamiento multidimensional no-métrico (MDS). Previamente, los datos de abundancia fueron transformados a $\text{Log} (n+1)$ y se utilizó el índice de Bray Curtis (Clarke & Warwick, 2001). Diferencias significativas entre los sitios de muestreo del lago y las estaciones del año fueron determinadas con el análisis ANOSIM a dos vías. Se identificaron los taxones que determinaron diferencias a nivel espacial y temporal con el análisis de SIMPER. Los datos

fueron analizados usando el programa PRIMER. Se identificaron los parámetros ambientales que mejor explican el patrón de la comunidad fitoplanctónica en el lago mediante un análisis de redundancia (RDA) en el programa R.

3.1.5 Muestreo de sedimentos

Para determinar el estado y calidad de los sedimentos lacustres y fluviales, se tomaron muestras en tres estaciones en cada lago y en cada uno de los afluentes y efluentes. El muestreo de los lagos se realizó mediante la utilización de una draga Van Veen (Figura 3.9a) y en los ríos mediante una pala de plástico. Una vez obtenidas las muestras estas fueron depositadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas para su transporte. El traslado de las muestras se realizó en cajas termoaisladas, debidamente refrigeradas a 5°C para evitar la degradación del contenido de materia orgánica. En la Tabla 3.7 se indican los parámetros y metodologías utilizadas para el análisis y preservación de los sedimentos

Tabla 3.7. Listado de parámetros considerados en el estudio de sedimentos. Para cada uno se indica el tipo de envases empleado para su almacenamiento/preservación. Además se señala el método analítico empleado y su correspondiente límite de detección. (*) Parámetros medidos *in situ*.

Parámetro	Almacenamiento / Preservación	Método analítico	Límites de detección
pH	In situ *	pH-metro Hanna®, equipado con un sensor HI 10530	0,1
Eh (Potencial Redox)	In situ *	pH-metro marca Hanna®, con un sensor de ORP modelo HI 3620D	
Materia orgánica total (LOI)	Bolsa tipo ziploc o papel alusa. A 4°C	Pérdida de Peso por Ignición (LOI; Loss-On-Ignition) Boyle (2002).	1%
Sílice biogénico	Bolsa tipo ziploc o papel alusa. A 4°C	Mortlok & Froelich (1989)	
Fósforo Total	Bolsa tipo ziploc o papel alusa. A 4°C	Jackson (1976)	5 mg/kg
Granulometría	Bolsa tipo ziploc o papel alusa. A 4°C	McManus, 1988	

- Medición “*in situ*”

Algunas variables ambientales de los sedimentos, como la capacidad de óxido reducción y el pH, deben ser necesariamente medidos en terreno debido a que se alteran durante su transporte al laboratorio. Así entonces, la capacidad de óxido-reducción de los sedimentos

(REDOX), se midió en terreno utilizando un pH-metro marca Hanna®, con un sensor de ORP modelo HI 3620D. Por su parte el pH del sedimento se determinó con un pH-metro Hanna®, equipado con un sensor HI 10530, especialmente diseñado para la medición de semi-sólidos (Figura 3.9b).

a)

Draga Van Veen

b)

pH-metro Hanna® con sensor ORP modelo HI 3620D y HI 10530

Figura 3.9. Equipos utilizados en el muestreo de sedimentos.

- Contenido de materia orgánica

La materia orgánica se determinó mediante la técnica de Pérdida de Peso por Ignición (LOI; Loss-On-Ignition), utilizando aproximadamente 1 g de sedimento seco después de 24 horas a 105°C, luego de lo cual la muestra se llevó a 550°C por 4 horas siguiendo el método descrito por Boyle (2002).

- Sílice biogénico

La determinación de sílice biogénico se realizó siguiendo una metodología modificada de Mortlok & Froelich (1989). Esta metodología consiste primero en eliminar la materia orgánica de la muestra con HCl y H₂O₂, luego de lo cual se realiza una extracción con NaOH (2 M), para disolver todo el sílice, solución de la cual, el sobrenadante fue posteriormente medido mediante espectrofotometría a 810 nm de longitud de onda.

- Fósforo total

Los análisis de fósforo total (P-tot) fueron realizados en el Laboratorio de Química Ambiental del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, de acuerdo con la metodología expuesta por Jackson (1976). Esta metodología consiste en tomar una submuestra de 0,5 g de

sedimento húmedo, la cual es digerida con 10 ml de ácido sulfúrico al 30% y 15 ml de persulfato de potasio (K₂S₂O₈), se autoclava por 30 min a 10 psi, luego **se neutralizó con NaOH a 6N y fenoftaleína para finalmente filtrar con Wattman N°40 a un matraz de 100 ml. Su lectura se realizó por medio de absorbancia atómica en un espectrofotómetro 440 marca Perkin Elmer.**

- Granulometría

Para estimar el tamaño de los sedimentos, se procedió a coleccionar una submuestra de la original. Esta submuestra se pasó por un tamiz de 0,0 phi (1,0 mm), para separar la fracción gruesa de la fina. La fracción gruesa fue llevada a un tubo de decantación digital (tipo Emery), para estimar la composición de tamaños de la muestra mediante una medición de peso. Una vez obtenidos los pesos de cada muestra, los valores fueron expresados en porcentaje diferencial respecto del peso total. Posteriormente, se estimó el diámetro medio (tamaño medio) y los parámetros de dispersión (selección y asimetría) utilizando el método de momento (McManus, 1988). Los datos fueron representados en la escala logarítmica phi (ϕ) con el propósito de realizar la descripción de los datos mediante numeración entera, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\phi = - \log_2 D$$

Donde, D es el diámetro de la partícula en mm.

Para la fracción inferior a 1,0 mm de diámetro, las partículas fueron analizadas en un difractómetro laser Malvern Mastersizer, el cual a través de difracción laser, obtiene una medición del volumen de las partículas de sedimento, permitiendo obtener todo el espectro de tamaño de partícula entre 0,1 y 1000 μ m. Una vez obtenido el porcentaje de volumen de cada fracción de tamaños, estas fueron analizadas a través del programa Gradistat, para obtener los parámetros granulométricos que definen la muestra.

3.1.6 Medición de caudales

La metodología utilizada en la medición de caudales (aforo) correspondió a la de Área-Velocidad (DGA, 1978), donde el caudal (Q) es igual al Área (A) por la Velocidad del flujo (V). La metodología consta de los siguientes pasos: (a) selección de la sección transversal al flujo, (b) definición de sub-secciones verticales según ancho del cauce; (c) medición de la velocidad media en la sub-sección vertical y (d) cálculo del caudal en cada sub-sección y del caudal total. Para ello, se utilizó el correntómetro Modelo Gurley 622 para ríos con profundidad mayor a 0,5 m y Modelo Gurley 625 para ríos con una profundidad menor (Figura 3.10 a y b).

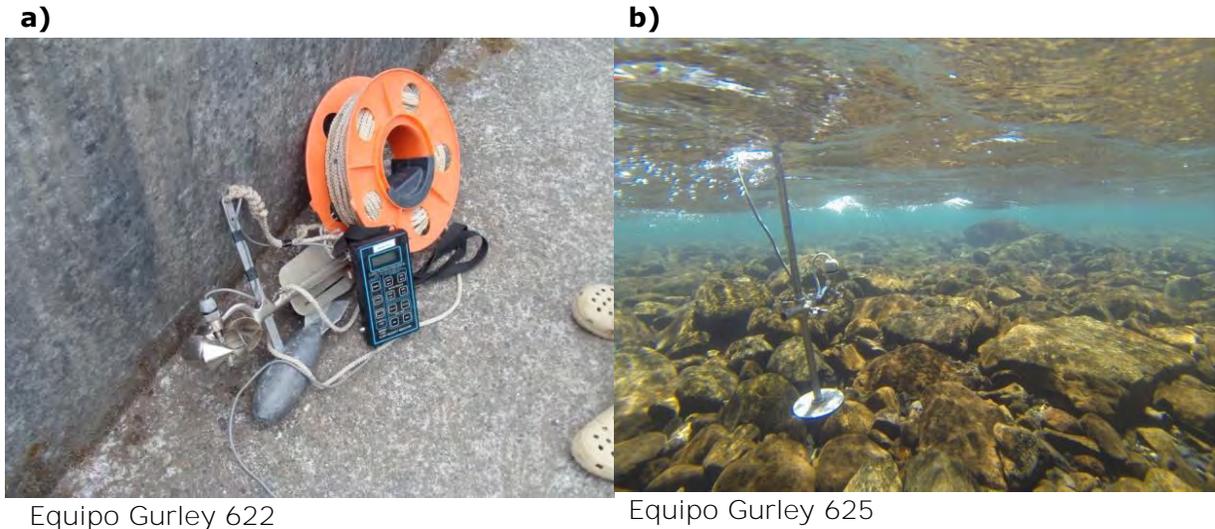


Figura 3.10. Equipos utilizados para la medición de caudales.

- Selección de la sección transversal al flujo

La sección transversal debe cumplir una serie de requisitos, entre los cuales destacan:

- Sección uniforme y pendiente tal que asegure un flujo paralelo y no turbulento
- Lejana de cualquier influencia (mareas, embalses, etc.)
- Profundidad y velocidad deben garantizar uso de los instrumentos
- Se debe asegurar que no cambie la sección (sin lecho móvil)
- Buena accesibilidad

- Definición de sub-secciones verticales según ancho del cauce.

El criterio de selección para definir el número de secciones verticales va a depender del ancho total del cauce.

- Medición de la velocidad media en la sub-sección vertical

Se ha comprobado teórica y experimentalmente que la velocidad medida a una profundidad de $0.6h$ (h : profundidad total en una sección transversal) coincide con la velocidad media en esa sección. De esta forma, sólo es necesario medir la velocidad en este punto para calcular el caudal en cada sub-sección. También se puede usar la media entre $V(0.8h)$ y $V(0.2h)$.

- Cálculo del caudal en cada sub-sección y caudal total

Primero se calcula el caudal en cada sub-sección mediante la siguiente ecuación $q_i = V_i A_i$ y posteriormente el caudal total (Q) como: $Q = \sum V_i A_i$.

3.2 Estado Trófico

En términos generales, los lagos y embalses pueden clasificarse como oligotróficos (del griego "poco alimento") o eutróficos (del griego "bien alimentado"), además de un término que indica una transición entre ambos estados, mesotrófico. A pesar de que estas descripciones tróficas no tienen significado absoluto alguno, son utilizadas de forma general para denotar la situación de la cantidad de nutrientes en una masa de agua (Ryding & Rast, 1992). Para definir el estado trófico de un cuerpo de agua se utilizan diferentes índices de estado trófico calculados a partir de distintos parámetros. Normalmente se basan en la **determinación del contenido de clorofila a en la columna de agua y además, se evalúa el contenido del nutriente limitante, que en la mayor parte de los casos corresponde a fósforo.** El grado de eutrofización también se puede determinar a través de la transparencia del agua.

Aunque, numerosos métodos se han desarrollado para medir el estado trófico de los lagos, en este estudio se utilizó el Índice de Estado Trófico de Carlson (1977), por tratarse de uno de los más importantes y utilizados en el mundo. Este índice se basa en la relación entre **la transparencia del agua (Ds), la concentración de clorofila a (Chl a), fósforo total (Pt) y su rango de valores fluctúa entre 0 a 100, siendo el primero un estado oligotrófico y el último hipereutrófico.**

En el presente estudio se utilizan las clasificaciones propuestas por la OCDE (1982) y Carlson (1977) para la clasificación trófica del sistema en estudio (Tabla 3.8 y Tabla 3.9).

Tabla 3.8. Valores límites para la clasificación trófica de lagos (OCDE, 1982).

Categoría trófica	P-total (µg /L)	Clorofila a media (µg/L)	Clorofila a máxima (µg/L)	Prof. Secchi media (m)
Ultraoligotrófico	< 4,0	< 1,0	< 2,5	> 12
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	> 6
Mesotrófico	10 - 35	2,5-8	8 - 25	6 - 3
Eutrófico	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5
Hipereutrófico	> 100	> 25	> 75	< 1,5

Tabla 3.9. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua.

Grado de Trofía	TSI	Ds (m)	Pt (mg/m ³)	Chl a (mg/m ³)
Oligotrófico TSI < 30	0	64	0,75	0,04
	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Mesotrófico 30 < TSI < 60	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
Eutrófico 60 < TSI < 90	70	0,5	96	56
	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
Hipereutrófico 90 < TSI < 100	100	0,06	768	427
Relación de los parámetros de eutrofización	$\frac{TSI_{Ds}}{2}$		$2 \times TSI_{Pt}$	$\sqrt{7.8} TSI_{Chl a}$

Las siguientes ecuaciones fueron aplicadas para estimar el estado trófico de lagos a través del Índice de Carlson (1977):

Transparencia del agua (Ds) (m):	$TSI_{Ds} = 60 - 14.41 \ln Ds$
Fósforo total (Pt) (mg/m ³):	$TSI_{Pt} = 14,42 \ln Ft + 4,15$
Clorofila a (Chl a) (mg/m ³):	$TSI_{Chl a} = 9,81 \ln Chl a + 30,6$

3.3 Identificación y cuantificación de usos de suelo.

El proceso de análisis de la cobertura de usos de suelo parte por una etapa de recopilación de diferentes conjuntos de información espacial relativas al área de estudio, en esta fase temprana se revisaron e integraron un conjunto de información relativos a:

- Organización administrativa del área de estudio (límites comunales y distritos).
- Bases Dirección General de Aguas (delimitación sub/subsubcuencas y red hidrométrica).
- Inventario Nacional de Humedales (delimitación hidrografía).
- Batimetría (SHOA y publicaciones varias).
- Catastro de Vegetación Nativa (CONAF, 2013/2014).
- Red De caminos (MOP 2015).
- Imágenes satelitales (Landsat 8, 2015).
- Modelo Digital de Elevaciones (ASTER GDEM 30 metros).

Toda esta información fue agrupada en una Geodatabase y se vinculó a las diferentes cartografías desarrolladas. En un formato de coordenadas acorde a los requerimientos de

la Infraestructura de Datos Espaciales, y habiendo sido poblada con los metadatos correspondientes.

3.3.1 Estimación de áreas de drenaje

A partir del Modelo Digital de Elevación ASTER GDEM, de 30 metros de resolución espacial, **y mediante el uso de las herramientas de análisis espacial e hidrología de "ArcGis" (en su versión 10.2)**, se calculó la extensión de las cuencas aportantes de cada una de las unidades, obteniendo una cobertura poligonal que define el área de drenaje de cada uno de los elementos, y generando los parámetros morfométricos básicos que se plantean en la Tabla 3.10

Tabla 3.10. Parámetros morfométricos básicos de las áreas de drenaje.

Unidad	Área (Km²)	Perímetro (Km)
Riñihue	3716,62	587,431
Panguipulli	3236,53	527,91
Puyehue	1303,265	212,72
Pirehueico	816,61	265,7
Neltume	767,65	213,84
Calafquén	733,14	217,39

3.3.2 Tratamiento de información relativa a usos de suelo

El apartado previo a la generación de los indicadores de distribución de usos de suelo se vincula con el tratamiento de la información base generada por CONAF, el Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile.

Este insumo fue obtenido desde el Sistema de Información Territorial de la Corporación Nacional Forestal, tanto para la XIV región de los Ríos, como para la X región de los Lagos y la IX región de la Araucanía. Los tres conjuntos de información fueron actualizados a fecha de 2013, y el motivo de integrar también las regiones limítrofes está directamente vinculado a la extensión de las áreas de drenaje de varias de las unidades, las cuales exceden los límites administrativos asociados a la región de los Ríos.

Una vez integrados a la base de datos espacial del proyecto, el proceso de trabajo parte con una fusión de todos los productos, levantando un archivo único sobre el que centralizar los procesos de trabajo. Posteriormente se desarrolló un proceso de agrupamiento a partir del campo de la tabla de atributos que da cuenta de la tipología de uso de suelo (codificada **originalmente como "uso de la tierra"**), **para después extraer la** cobertura de usos relativa a cada una de las áreas de drenaje e implementar los procesos de cálculo de distribución de tipos de uso de suelo.

3.4 Balance de nutrientes

Los balances de nutrientes en cuerpos de agua se basan en las siguientes tres leyes fundamentales de conservación: energía, materia y momentum. Para la determinación del balance de nutrientes en los lagos en estudio se utilizó la ley de conservación de masas, es decir, para un volumen finito sobre un periodo de tiempo unitario la acumulación en el sistema será igual a las entradas menos las salidas. En este caso para el balance de nutrientes, el lago se consideró completamente mezclado (Figura 3.11).

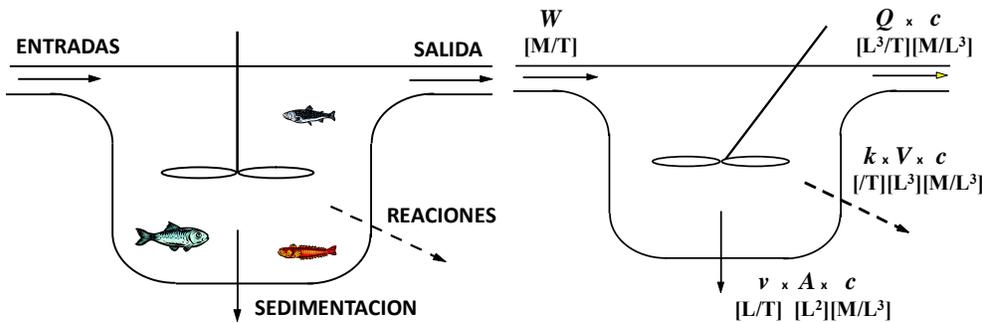


Figura 3.11. Coordenadas de los puntos de muestreo en lagos.

Matemáticamente la ecuación anterior se puede expresar como:

$$V \frac{dC}{dt} = W - QC \pm kVC - vAC$$

Donde:

V: Volumen del lago (L^3)

C: Concentración de la sustancia en el lago (ML^{-3})

W: Carga de entrada al lago de la sustancia (M/T)

Q: Caudal de salida del lago (L^3/T)

k: tasa de reacción de la sustancia en el Lago ($1/T$)

vAC: tasa de sedimentación de la sustancia en el lago (L/T)

A: Área del lago (L^2)

Específicamente, en el caso de las cargas de entrada al lago estas fueron estimadas dependiendo de su tipo, es decir, puntual o difusas:

- Fuentes puntuales: se obtuvieron a partir de un valor promedio anual desde datos informados a la SISS.
- Fuentes no puntuales: la carga se estimó considerando la precipitación sobre la cuenca, los tipos y usos del suelo.

- Afluentes al lago: se consideró la concentración promedio en ellos y el caudal promedio anual de ingreso al lago (para los datos del año 2015).

La tasa de reacción de nitrógeno y fósforo total k fue estimada a través de la fórmula $k = \frac{10}{H}$ (Chapra, 2008), donde H corresponde a la profundidad media (m). Por otro lado, la tasa de sedimentación que se utilizó es la obtenida por Bertrand (2005) para el lago Puyehue y se consideró válida para el resto de los lagos en estudio.

Para calibrar el modelo se utilizó la medida de bondad de ajuste PBIAS, el que indicó la tendencia de los valores simulados a ser sistemáticamente mayores o menores que los datos observados, a través de la siguiente ecuación:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)}{\sum_{i=1}^n Oi} \right] * 100$$

Donde Si corresponde a los valores simulados y Oi a los valores observados. Su valor óptimo es 0, valores positivos indican sobreestimación mientras que valores negativos indican subestimación.

La Figura 3.12 muestra el esquema general del balance de nutrientes, con los datos de entrada necesarios y la información generada.

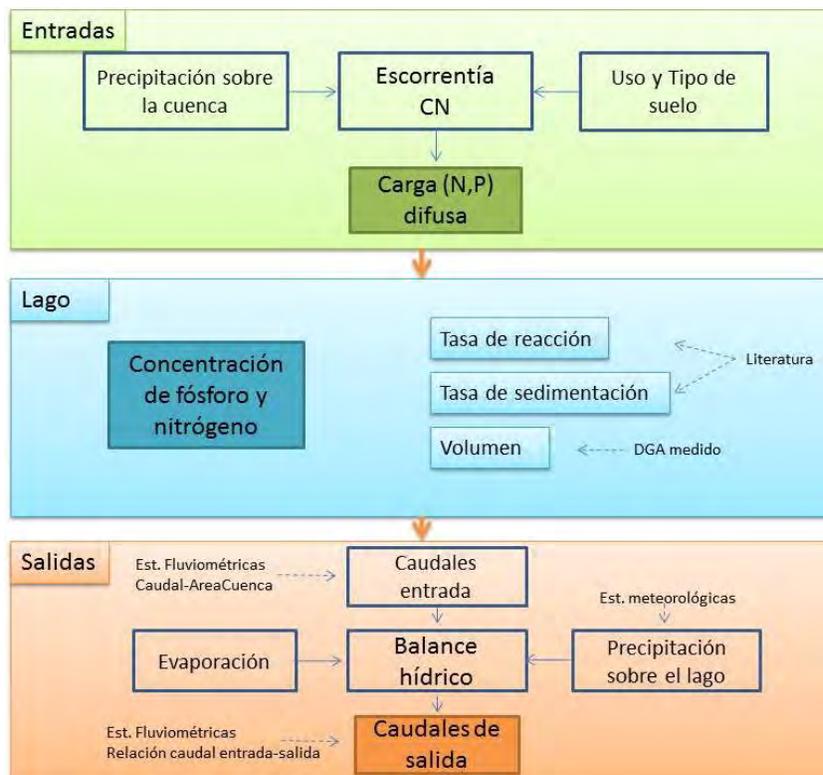


Figura 3.12. Representación general del balance de nutrientes

3.4.1 Balance a escala anual

El balance a escala anual de fósforo y nitrógeno se realizó con toda la información histórica de nutrientes para cada lago. A continuación se indican algunos alcances de la simulación:

- Se promediaron las concentraciones de fósforo y nitrógeno total de los sitios y las profundidades por cada año de muestreo. Se asumió que este valor corresponde al promedio anual de cada nutriente.
- La carga de fósforo y nitrógeno total que ingresó al lago durante el año 2015 se calculó multiplicando la concentración medida en las campañas realizadas para cada nutriente por el caudal de sus afluentes también medido en esa oportunidad. Se asumió que cada valor calculado corresponde a la condición anual que ingresó al lago.
- Para los años anteriores, las cargas de nutrientes se determinaron a través de los coeficientes de exportación según uso de suelo de cada cuenca de drenaje.

3.4.2 Balance a escala mensual (lago Neltume)

Debido a las características particulares del lago Neltume, se realizó un balance mensual de nutrientes. A continuación se indican algunos alcances de la simulación:

- Se promediaron las concentraciones de fósforo y nitrógeno total de los sitios y las profundidades por cada mes de muestreo. Se asumió que este valor corresponde al promedio mensual de cada nutriente.
- La carga puntual de fósforo y nitrógeno total que ingresó al lago se calculó multiplicando la concentración medida en las campañas realizadas para cada nutriente por el caudal de sus afluentes también medido en esa oportunidad. Se asumió que cada valor calculado corresponde a la condición mensual que ingresa al lago.
- La carga difusa se determinó sólo para la cuenca directa de drenaje, sin considerar las micro-cuencas de los tributarios que se utilizaron como carga puntual, para evitar sobreestimar el aporte de nutrientes al lago.
- La concentración de nutrientes medida en enero se utilizó para inicializar la simulación, y se destaca con un cuadro rojo.

3.4.3 Análisis de Sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad del coeficiente de exportación y el valor curva número para evaluar la influencia de estos parámetros en el resultado del balance de nutrientes de los lagos estudiados. Se ejecutó el modelo para diversos valores del parámetro a evaluar ($\pm 10\%$, $\pm 30\%$, $\pm 50\%$) dejando fijos todos los demás.

3.4.4 Cargas puntuales y difusas

3.4.4.1 Fuentes Puntuales

La identificación de las fuentes puntuales se realizó utilizando la información obtenida desde la Superintendencia del Medio Ambiente (www.sma.gob.cl), el Servicio de Evaluación Ambiental (www.sea.gob.cl), y la Superintendencia de Servicios Sanitarios (www.siss.gob.cl). A partir de la información recopilada se procedió a seleccionar las instalaciones, que de acuerdo a su ubicación, tuvieran influencia directa sobre los lagos. Para este ejercicio de modelación no se consideraron las fuentes puntuales ubicadas en los tributarios ya que no se tiene certeza de su real influencia en el lago. Una vez determinadas las empresas, se descargaron los informes de fiscalización que se realizaron mensualmente hasta el año 2013, para obtener una caracterización del tipo de descarga.

Estimación del aporte de fósforo por centros de cultivo

Para estimar el aporte de los centros de cultivo acuícola a los sistemas acuáticos fue necesario conocer la producción anual de peces y la carga de fósforo y nitrógeno por tonelada de producción. El aporte hipotético de fósforo y nitrógeno se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por Wang et al. (2012), para una salmonicultura noruega, mientras que la producción anual de peces se obtuvo del estudio "Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur Austral de Chile", realizado por la Universidad Austral el año 2013.

El modelo de Wang asume que para producir una tonelada de salmón se requieren 1,16 toneladas de alimento, de las cuales 80 kg corresponden a nitrógeno y 13,3 kg a fósforo. Considerando que los peces asimilan y liberan nutrientes, se estimó que el aporte de nitrógeno al ambiente es de 50 kg, mientras que el de fósforo corresponde a 9,3 kg por tonelada de peces producidos. Detalles de los flujos de nitrógeno y fósforo se muestran en las Figura 3.13 y Figura 3.14, respectivamente.

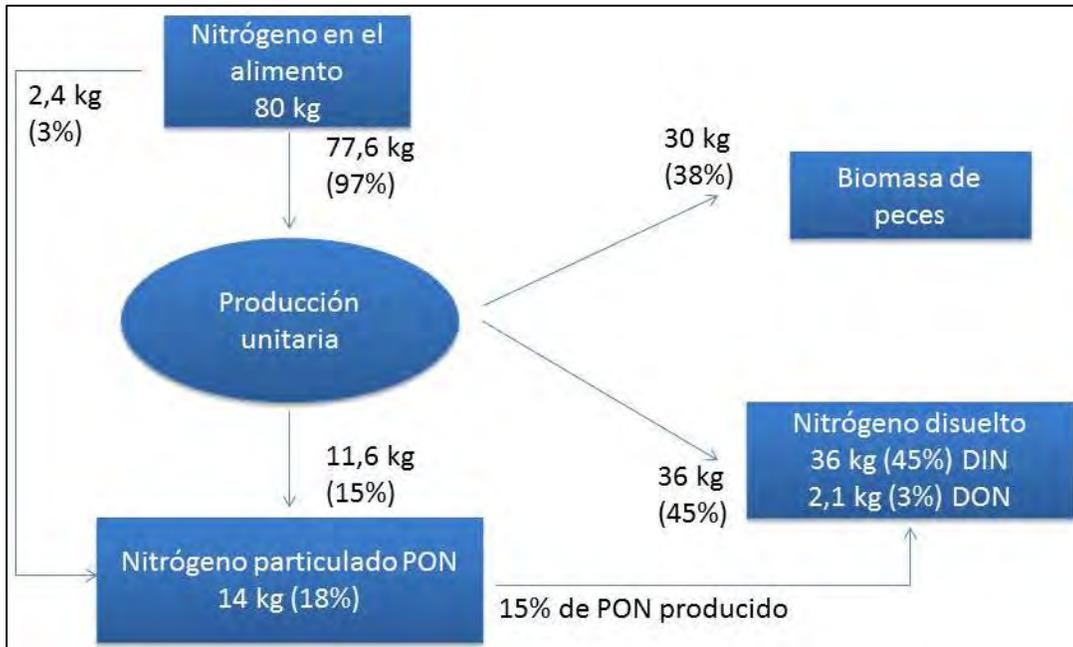


Figura 3.13. Flujos de nitrógeno (kg/año) producidos por tonelada de cultivo de salmón en Noruega (Wang et al., 2012).

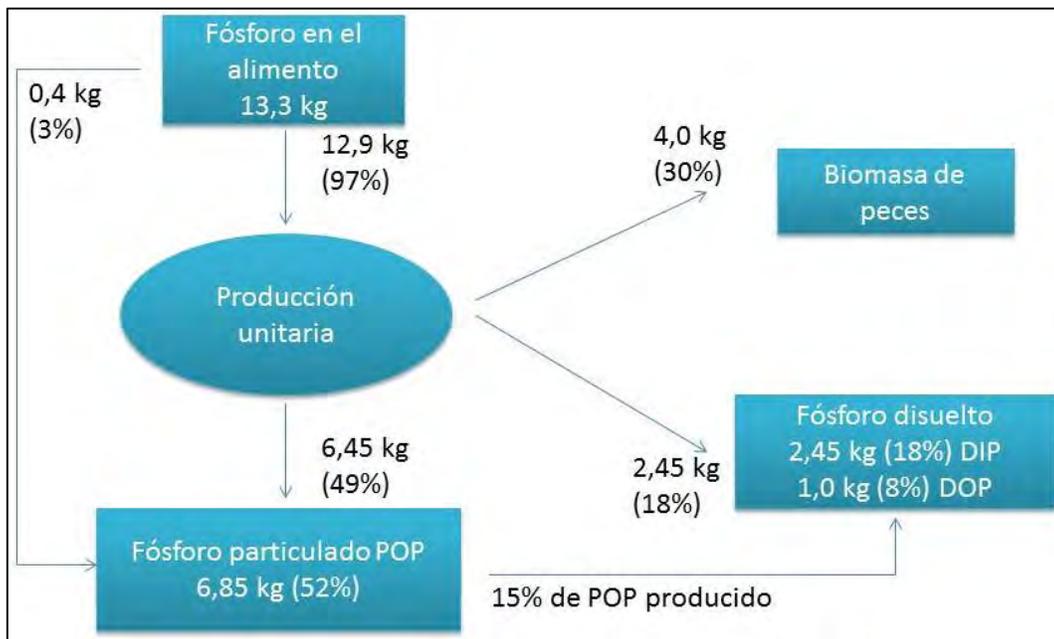


Figura 3.14. Flujos de fósforo (kg/año) producidos por tonelada de cultivo de salmón en Noruega (Wang et al., 2012).

3.4.4.2 Fuentes Difusas

La estimación de las cargas difusas se realizó considerando los diferentes usos del suelo, el coeficiente de exportación de nutrientes según uso de suelo y la precipitación sobre la cuenca.

Exportación de nutrientes según usos de suelo

Se obtuvieron los usos del suelo para dos periodos 2006 – 2007 y 2013 – 2014, los que fueron considerados representativos para determinar las cargas de nutrientes para los periodos 2005 – 2009 y 2010 – 2013.

Los coeficientes de exportación de nitrógeno y fósforo total, se ponderaron según el porcentaje de cobertura de cada tipo de uso de suelo. Los coeficientes de exportación son **los mismos utilizados en el estudio “Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile” (2013), realizado por la Universidad Austral para la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.** La Tabla 3.11 muestra estos valores.

Tabla 3.11. Coeficientes de exportación.

Uso del suelo	N-tot (µg/l)	P-tot (µg/l)
Agricultura	314,7	28,7
Bosque nativo	67,3	4,9
Cuerpos de agua	95,6	8,6
Humedales	95,6	8,6
Matorral	180,0	15,1
Nieve	67,8	67,3
Plantación	225,8	12,0
Praderas	318,6	27,4
Suelo desnudo	67,8	67,3
Urbano	452,0	

Las cargas de nitrógeno y fósforo se calcularon a través de la siguiente ecuación:

$$C_{(N-P)} = Q_e * CE_{(N-P)}$$

Donde:

$C_{(N-P)}$ = carga de nutrientes

Q_e = caudal de entrada

$CE_{(N-P)}$ = coeficientes de exportación ponderado

3.4.5 Balance hídrico

El balance hídrico de un lago se determina mediante la ecuación hidrológica básica, donde el cambio de volumen de agua almacenada en un área determinada (ΔS), por unidad de tiempo, es igual a la cantidad de agua que entra por todos los orígenes posibles (P : precipitación; Q_{isup} : aportes superficiales; Q_{isub} : aportes subterráneos) menos la cantidad de agua que sale del sistema (E : Evaporación; Q_{osup} : caudal superficial de salida; Q_{osub} : caudal subterráneo de salida) (Figura 3.15).

Sokolov *et al.* (1974) propone una ecuación general de balance hídrico, en donde considera como flujos aportantes a la precipitación (P), flujos superficiales (Q_{isup}) y subsuperficiales (Q_{isub}) de entrada. Las salidas de agua corresponden a evaporación (E), evapotranspiración (EVP), flujos superficiales (Q_{osup}) y subsuperficiales (Q_{osub}) de salida (Figura 3.16), como se muestra a continuación:

$$P + Q_{isup} + Q_{isub} = EVP + E + Q_{osup} + Q_{osub} + \Delta S$$

La ecuación posee además un término que indica el cambio de almacenamiento (ΔS) que representa el cambio de volumen (ΔV) medido en cada lago, es decir, mientras más cercanos los valores ($\Delta S \approx \Delta V$), mejor el ajuste del balance hídrico.

En este estudio los flujos subsuperficiales no fueron considerados, pues no existen datos históricos medidos en la zona. El balance se aplicó sólo en el lago, por lo que la evapotranspiración se marginó de la ecuación, ya que, se asume que no hay vegetación que la provoque. De esta manera llegamos a una versión simplificada de Sokolov, en la forma:

$$P + Q_{isup} = E + Q_{osup} + \Delta S$$

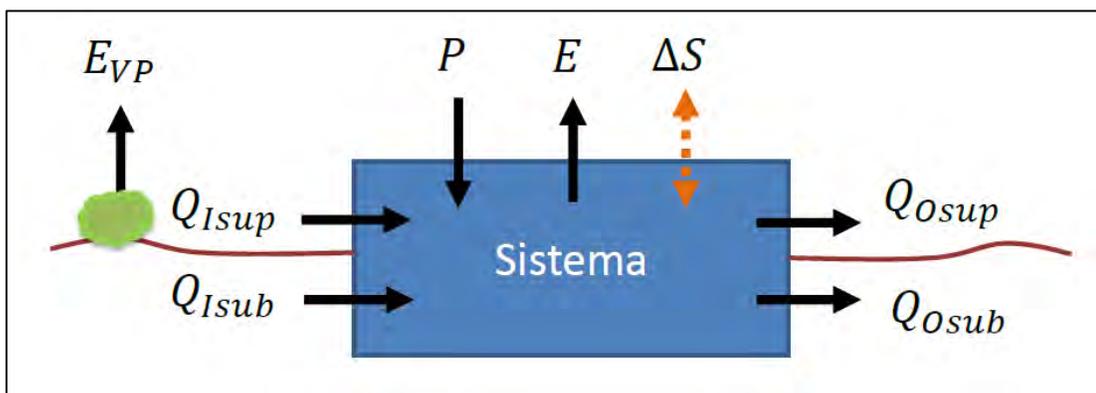


Figura 3.15. Balance hídrico en un sistema lacustre.

3.4.5.1 Datos y estaciones

Los datos de precipitaciones fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (www.dga.cl). Para esto se identificaron todas aquellas que estuvieran dentro de un radio de ~50 km desde las cuencas en estudio. A continuación, fueron seleccionadas las estaciones consideradas consistentes, es decir, poseían sobre un 70% de los datos durante el período 1984 – 2013 (Tabla 3.12).

Los datos de caudales, representando la medición del flujo superficial, fueron obtenidos desde las estaciones fluviométricas de la DGA. Se identificaron aquellas que se encontraran dentro de las subcuencas hidrográficas, es decir, que pertenezcan a la red hídrica que alimenta – desagua los lagos en estudio. El criterio de selección de estaciones consideró consistentes sólo las estaciones que registraron datos (Tabla 3.13).

A continuación se presentan las estaciones meteorológicas y fluviométricas ubicadas en el área de estudio.

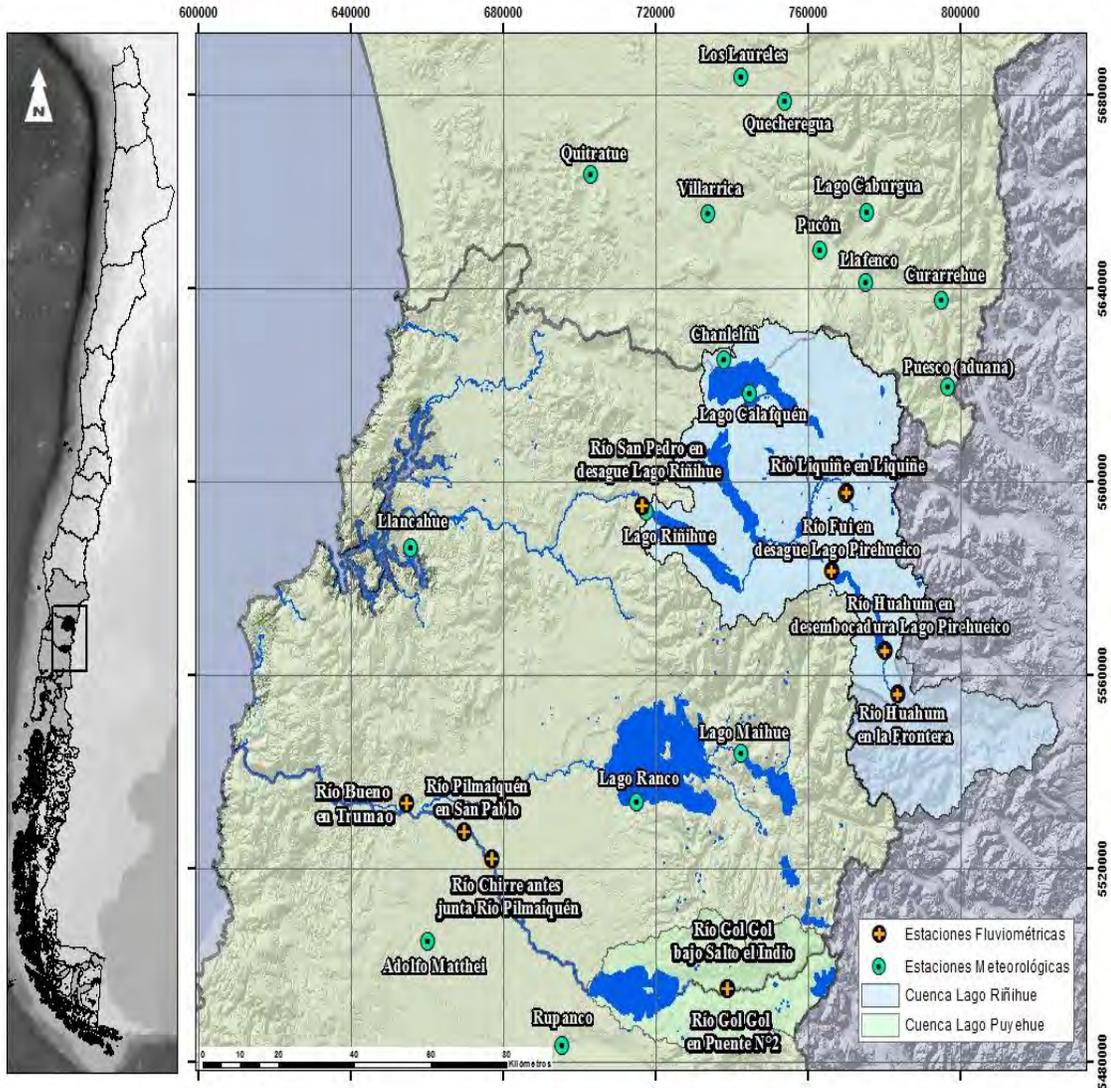


Figura 3.16. Estaciones fluviométricas y meteorológicas de la Dirección General de Aguas pertenecientes a las cuencas en estudio.

Tabla 3.12. Estaciones meteorológicas consideradas consistentes (WGS 84, Huso 18).

Código BNA	Estaciones Meteorológicas	Este	Norte	Fecha Inicio
10307001-5	Lago Ranco	714807	5533605	1958
10304002-7	Lago Maihue	742358	5543879	1976
10102002-9	Liquiñe	769695	5597418	1992
10111002-8	Lago Riñihue	717477	5593984	1985
10340002-3	Rupanco	695230	5483470	1992
10106002-0	Lago Calafquén	744495	5618295	1970
09414002-1	Llafenco	774874	5641232	1965
09412003-9	Puesco (aduana)	796540	5619559	1987
09420004-0	Chanlelfu	737655	5625113	1987

Tabla 3.13. Estaciones fluviométricas consideradas consistentes (WGS 84, Huso 18).

Código BNA	Estaciones Fluviométricas	Este	Norte	Fecha Inicio
10100002-8	Río Fui en desagüe lago Pirehueico	765983	5581441	1926
10100006-0	Río Hua Hum en la frontera	783364	5556141	2002
10102001-0	Río Liquiñe en Liquiñe	769988	5597759	
10322003-3	Río Gol Gol en Puente N°2	738640	5495044	1999

Para la obtención de la evaporación se utilizaron datos de temperaturas máximas y mínimas, de una estación ubicada en la ciudad de Valdivia. A pesar de estar más lejos que el resto de las estaciones, estos datos fueron útiles para su objetivo. Por otro lado, para realizar las comparaciones de los resultados se utilizaron series de altura de los lagos, obtenidos desde la DGA y la información batimétrica para el cálculo de volumen.

Finalmente, para cálculo de errores y métodos de obtención de caudales se utilizaron las mediciones en las entradas y salidas de los lagos, realizadas por el Centro EULA durante el año 2015.

3.4.5.2 Interpolación espacial de la precipitación

Para la realización del balance hídrico se consideró la precipitación caída sobre cada lago y para la estimación de escorrentía se utilizó la precipitación caída sobre sus respectivas cuencas de drenaje. Para ello, se utilizó el método de interpolación espacial de Polígonos de Thiessen, que es considerado más simple de aplicar y con resultados similares a otros más complejos (Pizarro *et al.*, 2003). Este método entregó el área de influencia de cada estación meteorológica y de esta forma se obtuvo la precipitación sobre el área de interés. A continuación, la Figura 3.17 muestra cada estación con su respectivo polígono, la Tabla

2.13 presenta el área de influencia de cada cuenca, mientras que la Tabla 3.15 muestra el área de influencia sobre cada espejo de agua.

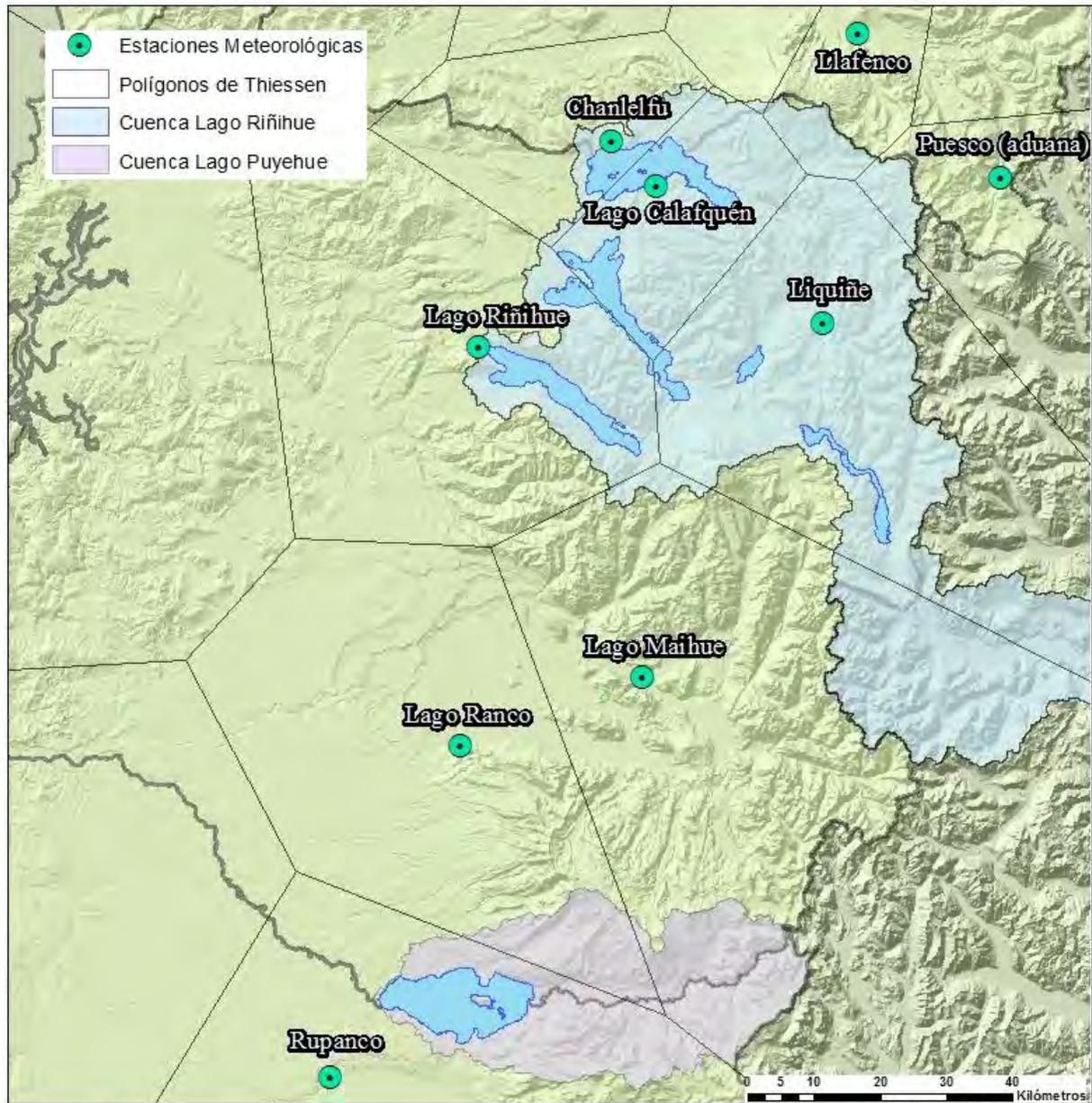


Figura 3.17. Estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas consistentes, con sus respectivos polígonos de Thiessen.

Tabla 3.14. Área de influencia de los Polígonos de Thiessen (WGS 84, Huso 18).

Código BNA	Nombre	Este	Norte	Área (m²)
10307001-5	Lago Ranco	714807	5533605	2863487269,7
10304002-7	Lago Maihue	742358	5543879	6625942748,1
10102002-9	Liquiñe	769695	5597418	2836213709,8
10111002-8	Lago Riñihue	717477	5593984	2810546532,2
10340002-3	Rupanco	695230	5483470	3063794519,0
10106002-0	Lago Calafquén	744495	5618295	775127040,0
09414002-1	Llafenco	774874	5641232	519990796,0
09412003-9	Puesco (aduana)	796540	5619559	1074208938,7
09420004-0	Chanlelfu	737655	5625113	937418128,1

Tabla 3.15. Estaciones fluviométricas con influencia en los espejos de agua y el área de cada polígono sobre los lagos.

Lago	Estaciones meteorológicas	Área sobre el lago (m²)
Neltume	Liquiñe	9500000
Riñihue	Lago Riñihue	77500000
Pirehueico	Liquiñe	30450000
Calafquén	Lago Calafquén	77826126
	Chanlelfu	39448357
Panguipulli	Lago Riñihue	29366988
	Lago Calafquén	66798693
	Liquiñe	18042998
Puyehue	Rupanco	157000000

3.4.5.3 Estimación de Caudales

En cuanto a los datos de caudales en afluentes, las estaciones fluviométricas no se encuentran precisamente en las entradas o salidas de los lagos, por lo que fue necesario estimar estos caudales a partir de otros afluentes medidos en la misma red hídrica.

Como las redes hídricas que alimentan un caudal de entrada son diferentes a las redes que son alimentadas por un caudal de salida (por el tiempo de residencia que poseen las aguas en el lago), los métodos utilizados en este estudio se pueden dividir en dos grupos: Métodos para estimar el caudal de entrada en un lago y los métodos para estimarlo en la salida del lago.

• **Cálculo de caudales de entrada**

Para determinar el cauce que alimenta a cada lago, se aplicó el método de estimación de Relación Caudal – Área Cuenca Hidrográfica, el cual se expresa en la forma:

$$Q_1A_1 = Q_2A_2$$

Donde Q_1 es el caudal de entrada que se quiere estimar, Q_2 el caudal de alguna estación que sea consistente y que pertenezca a la misma red hídrica que alimenta al caudal de entrada. Y finalmente, A_1 y A_2 el área de sus respectivas cuencas hidrográficas. Las áreas de drenaje de los principales afluentes de cada lago se muestran en la Tabla 3.16.

Además del método anterior se estimó la escorrentía anual aportada por la cuenca mediante el método de curva número, este valor se utilizó para la obtención del aporte de nutrientes por carga difusa.

Tabla 3.16. Área de las cuencas de drenaje de los principales afluentes de cada lago.

Lago	Río/estero	Área (m²)
Calafquén	Comonahue	8290411
	Coñaripe	276454929
	Diuco	49879596
	Nilfe	33067906
Neltume	Cua Cua	42726213
	Huechulafquén	608260873
	Chan Chan	71084918
Panguipulli	Huenehue	951035409
	Llanquihue	2398714294
Pirehueico	Las Estacas	18695751
	Hua Hum	1127154588
	Lipinza	135986904
Riñihue	Énco	3996244869
Puyehue	Chanlelfu	116357736
	Gol Gol	723960348
	Licán	99606928

• **Cálculo de caudal de salida**

Para los cauces de salida del lago, se deben utilizar métodos que se asocian a la red hídrica que es alimentada por el caudal de salida, los métodos utilizados en este estudio son:

- Relación entre el caudal de entrada y salida: consiste en encontrar el valor del caudal de salida en base a caudales medidos en la entrada del lago.

- Composición de caudales: consiste en obtener el caudal de salida componiendo (sumando) o descomponiendo (restando) otros caudales que interfieren en la red hídrica de salida. Este método también puede ser utilizado para encontrar entradas de caudal, pero sólo en casos en que no se pueda usar el método de relación Caudal - Área Cuenca Hidrográfica.

- **Estimación de caudales por cada lago**

- I. Lago Calafquén

No existen mediciones de caudal en la entrada ni en la salida del lago, por lo que realizaron estimaciones para cada uno de ellos:

Para estimar los principales cauces de entrada al lago, se utilizó el método de obtención Caudal - Cuenca Área Hidrográfica, considerando como caudal de referencia el medido en la estación Río Liquiñe en Liquiñe. El cauce de salida del lago se obtuvo a través de una relación lineal entre el caudal de entrada (Pellaifa) y de salida (Hueinica), utilizando los datos de los muestreos realizadas por el Centro EULA el año 2015. En la Figura 3.18 se muestran los puntos de entrada al lago con sus respectivas áreas de drenaje y las estaciones fluviométricas utilizadas como referencia.

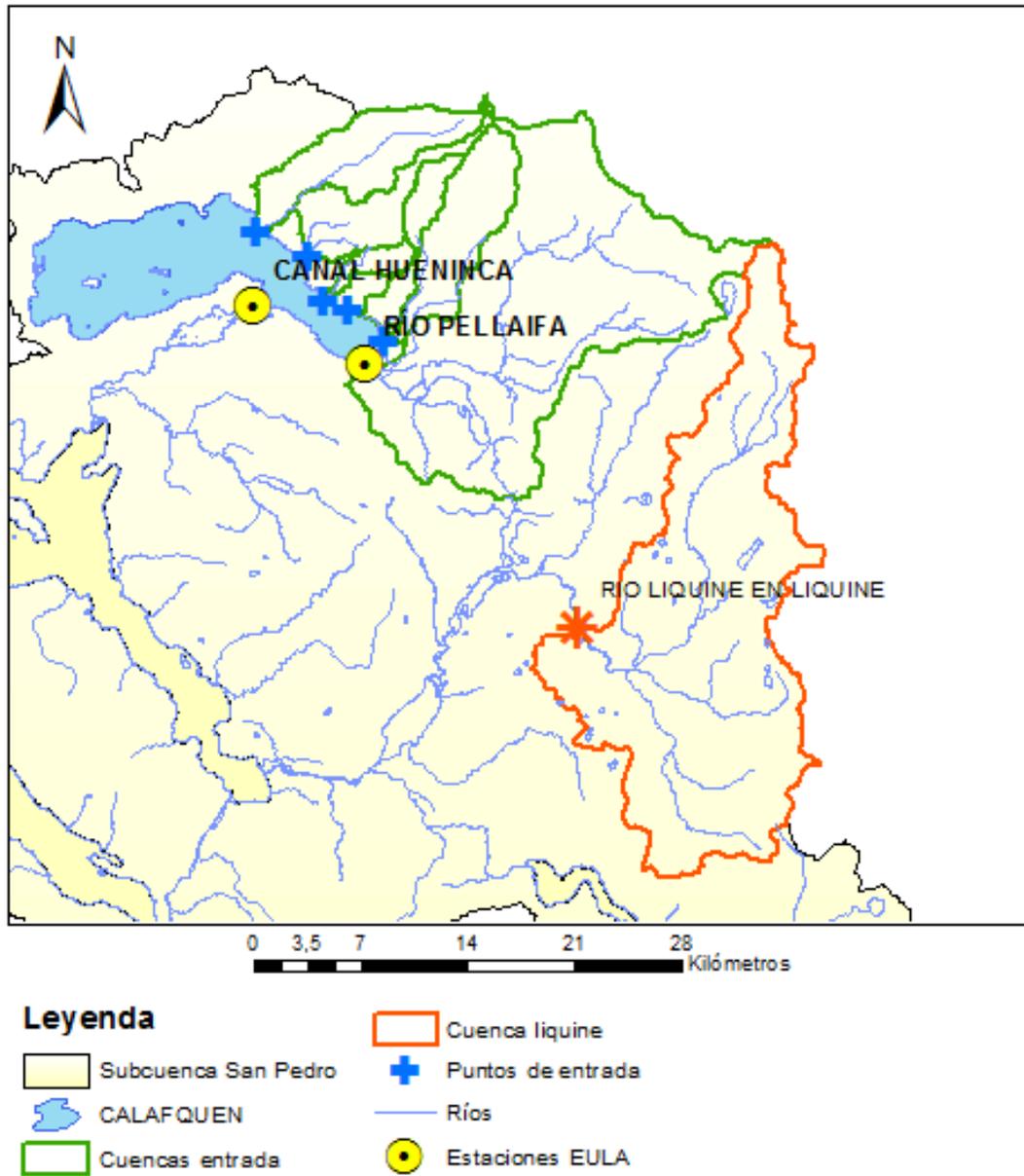


Figura 3.18. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Calafquén. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, su cuenca de drenaje se muestra en color verde. El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación Río Liqueñe en Liqueñe. Los puntos amarillos corresponden a los puntos de muestreo del centro EULA el año 2015.

II. Lago Neltume

El río Cua Cua no cuenta con estación fluviométrica en la entrada al lago, por esto se utilizó la estación existente aguas arriba del río (Río Liquiñe en Liquiñe) para estimar el caudal de entrada a través del método de Caudal - Cuenca Área Hidrográfica (Figura 3.19a). El caudal de salida fue obtenido desde la misma estación fluviométrica (Figura 3.19b).

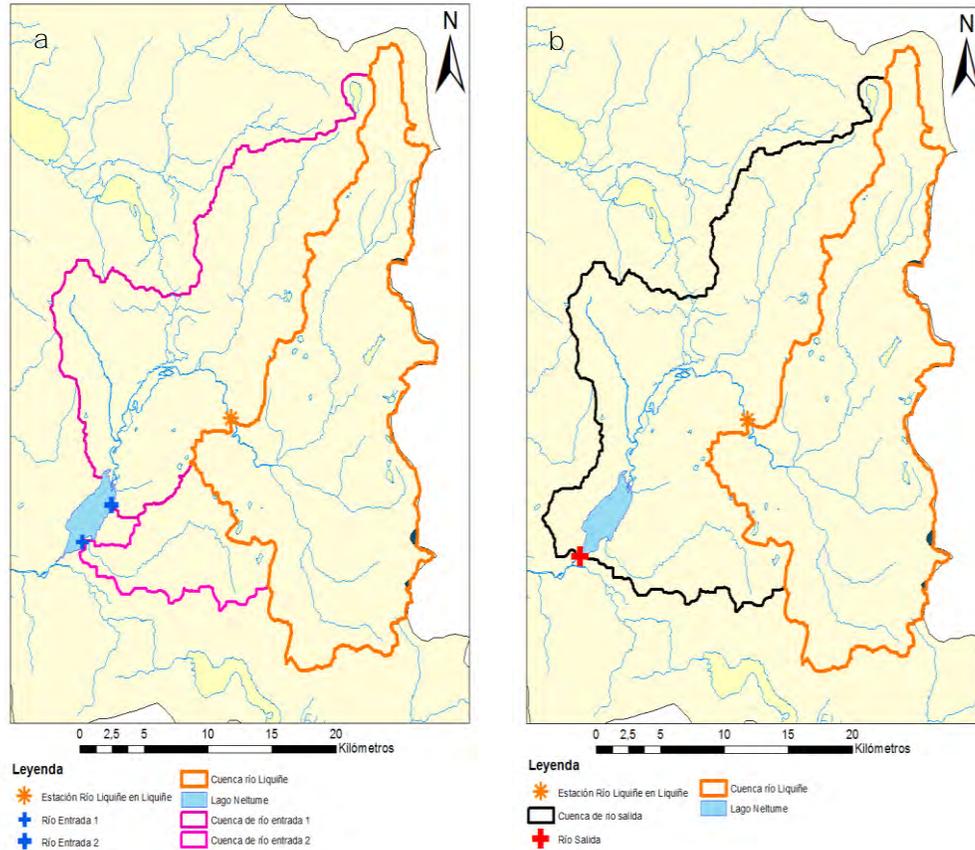


Figura 3.19. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Neltume. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, el polígono naranja es la cuenca hidrográfica de la estación de referencia (Río Liquiñe en Liquiñe).

III. Lago Pirehueico

El río Hua Hum no cuenta con estación fluviométrica en la entrada al lago, por esto se utilizó la estación existente aguas arriba del río (Río Hua Hum en la frontera) para estimar el caudal de entrada a través del método de Caudal - Cuenca Área Hidrográfica (Figura 3.20). El caudal de salida fue obtenido desde la estación fluviométrica Río Fui en desagüe Pirehueico.

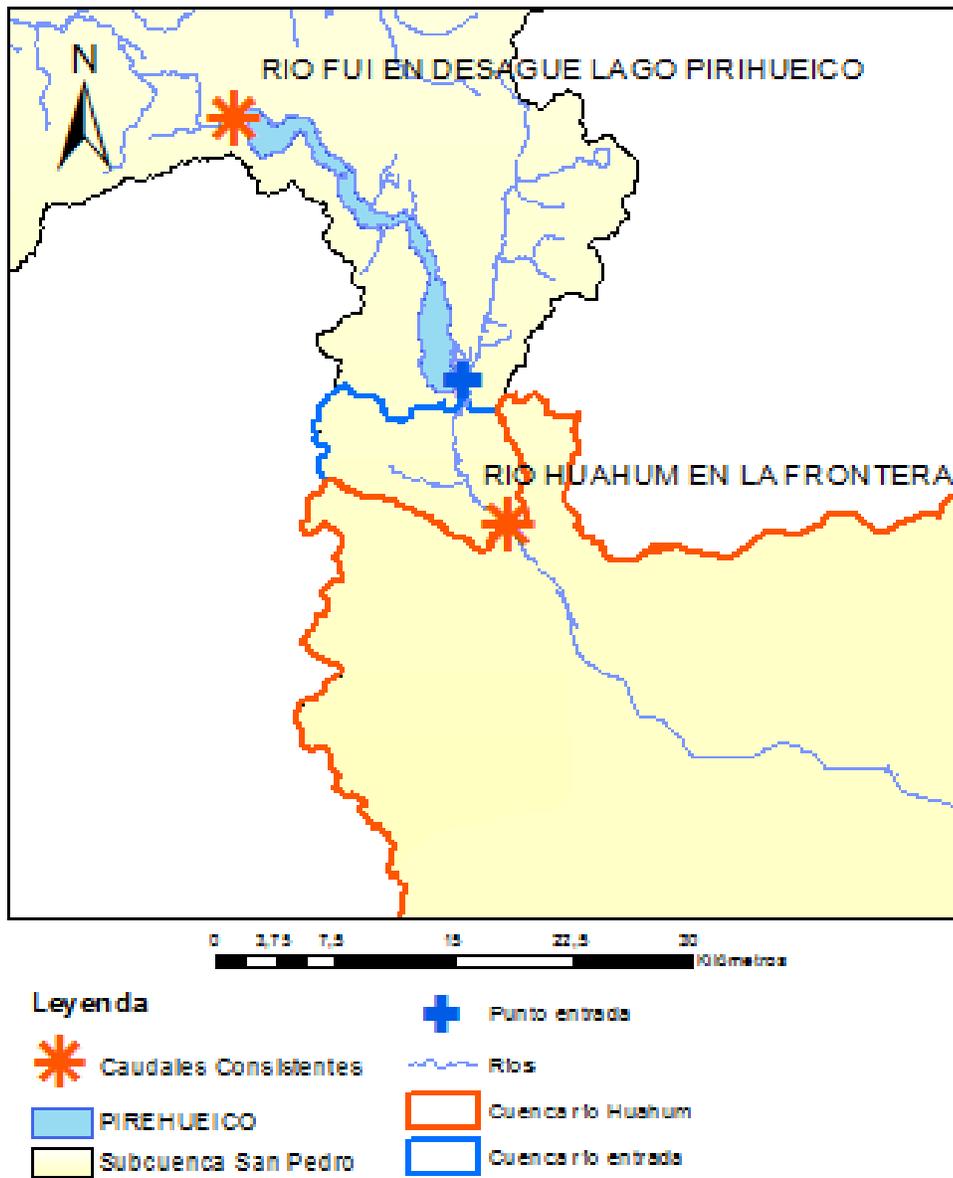


Figura 3.20. Estación fluviométrica con influencia sobre el Lago Pirehueico (naranja), el punto azul indica la entrada al lago donde se estimó el caudal y el polígono color azul corresponde a su cuenca hidrográfica.

IV. Lago Panguipulli

En este caso, no existen caudales medidos en las entradas o salidas del lago, por lo que se encontraron relaciones para estimarlos:

Para estimar el caudal de entrada de cuatro afluentes (puntos azules) se utilizó el método de relación Caudal - Área Cuenca Hidrográfica, cuyo caudal de referencia fue el de la estación Río Liquiñe en Liquiñe. El método de composición de caudales fue utilizado para obtener el caudal del río Nadis (punto amarillo), a partir de la composición de los caudales canal Hueinica y río Pellaifa (Figura 3.21a).

El caudal de salida del lago se estimó descomponiendo los datos medidos en Enco salida (estación centro EULA), restándole los caudales entre río Enco entrada y río Enco salida, los cuales a su vez se obtuvieron por relación Caudal - Área Cuenca Hidrológica utilizando como caudal de referencia al de la estación Río Liquiñe en Liquiñe. Luego de esto, se encontró una relación lineal entre el caudal en Enco entrada y Enco salida, para finalmente obtener el caudal de salida del lago Panguipulli. Este tipo de relaciones induce errores de cálculo en la obtención de los cauces (Figura 3.21b).

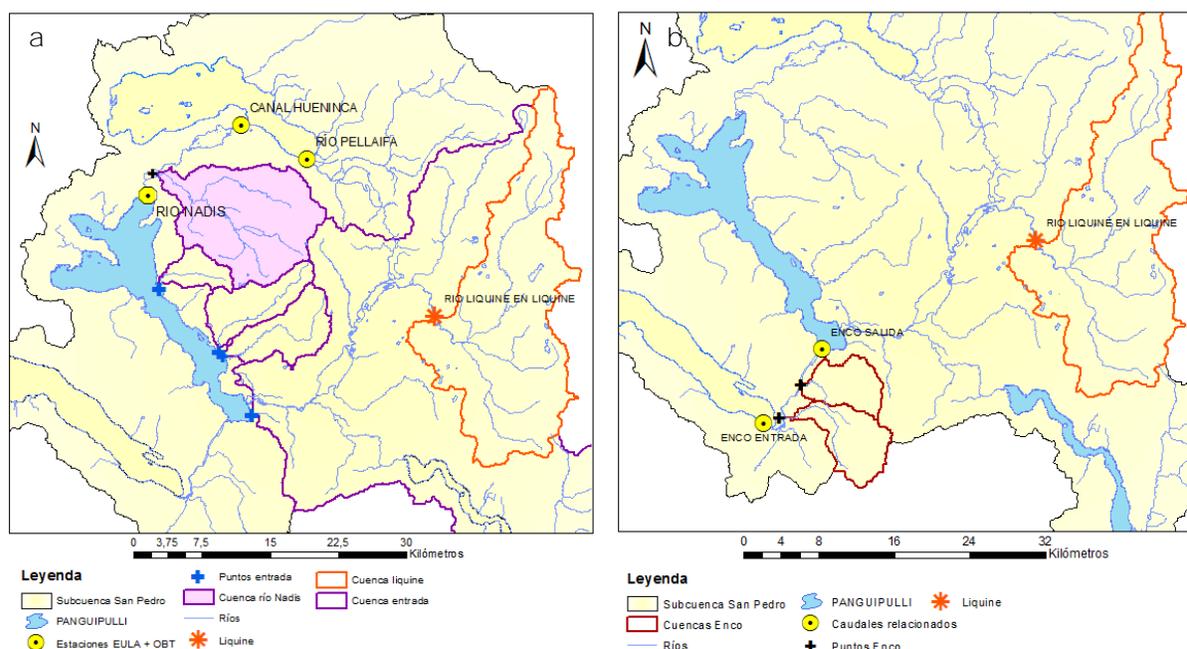


Figura 3.21. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Panguipulli. Los puntos azules indican los lugares donde se estimó el caudal, el polígono naranja es la cuenca hidrográfica de la estación de referencia (Río Liquiñe en Liquiñe). Los puntos amarillos en la figura (a) corresponden a datos de caudales que componen el caudal de entrada al lago, mientras que en la figura (b) corresponden a puntos utilizados para relacionar caudales.

V. Lago Riñihue

En este caso, los cinco los flujos superficiales que aportan masa hídrica al lago fueron estimados con el método Caudal - Área Cuenca Hidrográfica, utilizando como caudal de referencia el medido en la estación Río Liquiñe en Liquiñe (Figura 3.22). El caudal de salida fue obtenido de la estación fluviométrica Río San Pedro ubicada en la salida del lago.

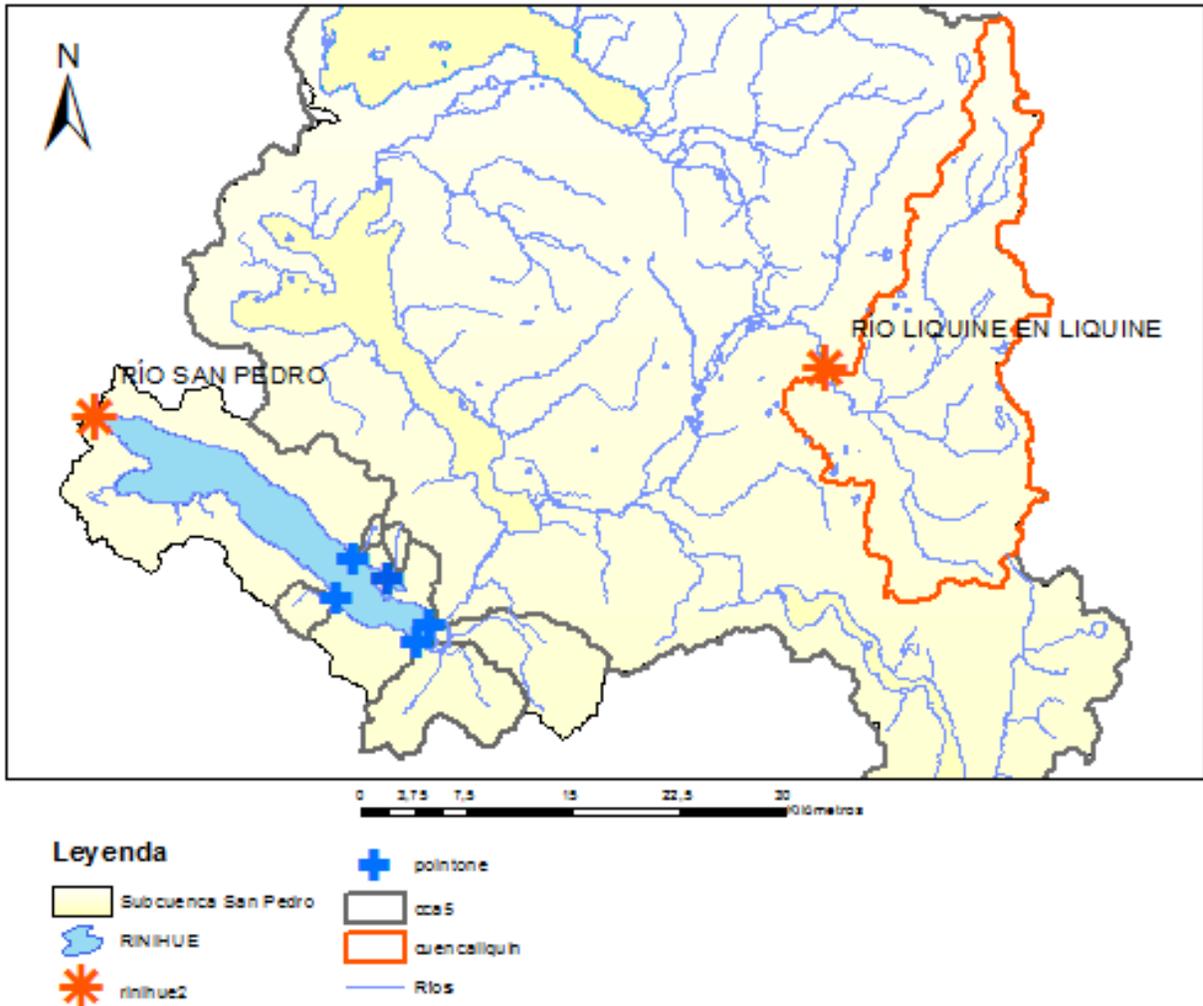


Figura 3.22. Estaciones fluviométricas con influencia sobre el Lago Riñihue. Los polígonos de color gris corresponden a las cuencas de drenaje de los afluentes en donde se estimó el caudal (puntos azules). El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación fluviométrica Río Liquiñe en Liquiñe.

VI. Lago Puyehue

Para estimar los cauces de entrada al lago se utilizó el método de obtención Caudal - Cuenca Área Hidrográfica, considerando como caudal de referencia el medido en la estación Río Gol Gol en puente N°2 (Figura 3.23). El caudal de salida medido en el río Pilmaiquén corresponde a los registros de la Planta Pilmaiquén (Empresa Eléctrica Panguipulli S.A.) entregado por la Dirección General de Aguas.



Figura 3.23. Estaciones fluviométricas que influyen sobre el Lago Puyehue. Los puntos azules corresponden a los lugares donde se estimó el caudal, mientras que los polígonos de color morado corresponden sus respectivas cuencas de drenaje. El polígono naranja corresponde a la cuenca hidrográfica de la estación fluviométrica de referencia Río Gol Gol en puente N°2.

3.4.5.4 Estimación de la evaporación sobre el lago

Para la estimación de la evaporación (E) sobre un lago, se utilizó el Método del balance de energía (Chow *et al.* 1988):

$$E = Rn * lv * \rho w$$

En donde, *Rn* es la radiación solar neta, *lv* es calor latente de vaporización y *ρw* es la densidad del agua del lago.

La radiación solar neta es un término del que no se poseen bases de datos históricos en el lugar, pero Samani, 2000 sugiere calcularla en la forma:

$$Rn = Ra * KT * (tmax - tmin) * 0.5$$

Donde, *Ra* es la radiación extraterrestre y se encuentra tabulada en función de la latitud y el mes (Tabla 3.17); *KT* es un coeficiente empírico, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda utilizar un valor de 0,162 para regiones del interior y 0,19 para regiones costeras, en este caso se utilizó *KT*=0.162, pues todos los lagos se encuentran relativamente fuera de la influencia marítima, y por último *tmax* y *tmin* son las temperaturas máximas y mínimas.

Tabla 3.17. Radiación extraterrestre (*Ra*) diaria para diferentes latitudes para el día 15 de cada mes¹ valores en (MJm⁻²día⁻¹)

Lat S (°)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
38	43,4	38,5	31,7	23,3	16,9	13,9	15,1	20,2	28,0	35,8	41,9	44,5
40	43,4	38,1	30,9	22,3	15,8	12,8	13,9	19,1	27,1	35,3	41,8	44,6
42	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	12,8	18,0	26,2	34,7	41,6	44,6

¹Los valores de *Ra* para el día 15 del mes dan una buena estimación (< 1%) para *Ra* promedio mensual, solo para latitudes sobre los 55° (N o S) puede ser más que 1% durante los meses de invierno.

3.4.5.5 Escorrentía mediante Modelo Curva-Número

Las entradas de agua provenientes de las laderas y pequeños esteros para cada cuenca de los seis lagos estudiados se estimaron a través del método de Curva Número (CN).

El método CN entrega como resultado el volumen de precipitación que escurre desde una superficie con un cierto uso y tipo de suelo. Este último parámetro fue obtenido a partir de **la base de datos "Harmonized World Soil Database" (HWSD) del International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)** (http://web.archive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/HWSD_Data.html?sb=4).

Los efectos del tipo y uso de suelo se expresan a través del valor curva número CN, los que se presentan en la Tabla 3.18 (US-SCS 1986). El valor de curva número se mueve entre 0 y 100, a mayor CN mayor impermeabilidad del suelo.

Tabla 3.18. Valores de curva número CN.

Uso de suelo	Clase	Grupo de suelo hidrológico				Notas
		A	B	C	D	
1	AGRF	62	73	81	84	Agricultura, terreno forestal convertido, uso de trigo como indicador.
2	AGRL	31	59	72	79	Agricultura, áreas con cultivo de arroz, base sobre alfalfa como sustituto.
3	CMCL	50	58	62	65	Mosaico de cultivos, área de cultivo > 30%
4	DECD	45	66	77	83	Bosque caduco
5	EHCD	25	55	70	77	Bosque perenne, densidad de cobertura alta.
6	EMLD	26	61	77	85	Bosque perenne, densidad de cobertura media
7	GRAS	49	69	79	84	Área de pastoreo, pastizales
8	MEDM	40	66	80	87	Bosque mixto (perenne y caduco, densidad media a baja)
9	MXMS	43	72	88	95	Mosaico Mixto
10	PLAN	45	66	77	83	Plantaciones
11	WSEV	39	61	74	80	Perenne, bosque y matorrales

Fuente: US-SCS 1986

La retención potencial de agua en el suelo se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$S_{retention} = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

Donde:

$S_{retention}$: retención potencial de agua en el suelo
 CN: valor curva número calculado

Finalmente, la escorrentía superficial se calcula como:

$$R = \begin{cases} \frac{(R_{fall} - 0.2S_{retention})^2}{R_{fall} + 0.8S_{retention}}, & R_{fall} > 0.2S_{retention} \\ 0, & R_{fall} \leq 0.2S_{retention} \end{cases}$$

Donde:

R: escorrentía superficial
 R_{fall}: lluvia caída
 S_{retention}: retención potencial de agua en el suelo.

3.5 Determinación de Carga Crítica

Entenderemos como "capacidad de carga crítica", como la cantidad total máxima de carga (masa/tiempo) de una cierta sustancia (fósforo o nitrógeno) que puede existir en un cuerpo receptor sin que se alteren las características ecológicas de éste (estado trófico).

- **Fósforo**

La mayor parte de los estudios realizados en los lagos del sur de Chile se enfocan en hacer un balance de fósforo y nitrógeno, utilizando la metodología de Vollenweider (1976) adaptada por Dillon y Rigler (1978). La carga crítica de fósforo total puede ser calculada de la siguiente forma:

$$Lc = [P/N] * \left(\frac{z}{(1-R)Tw} \right)$$

Donde:

Lc: carga crítica de nutriente por área del lago por año (mg/m²*año)
 Z: profundidad media (volumen/área) del lago (m²)
 Tw: tiempo de renovación del agua (años)
 R: coeficiente de retención
 [P/N]: concentración máxima de nutriente para mantener el estado oligotrófico

La concentración máxima de fósforo, según la OCDE, para mantener el estado oligotrófico de los lagos es de 10 µg/L. El tiempo de renovación teórico (Tw) y la profundidad media (z) estimados para los lagos en estudio se muestra en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Tiempo de renovación teórico (T_w) y profundidad media (z) estimados para los lagos.

	Calafquén	Neltume	Pirehueico	Panguipulli	Riñihue	Puyehue
T_w (años)	2,9	0,2	1,0	1,4	1,4	3,0
z (m)	115	62	61	127	160	61

La tasa de retención R en lagos con hipolimnion oxigenado depende principalmente de T_w , y se calculó como se observa en la ecuación a continuación:

$$R = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{1}{\sqrt{T_w}}\right)\right)}$$

El tiempo de renovación del agua (T_w , años) está relacionado con el volumen (V) y el caudal de salida (Q_s) del lago a través de la siguiente ecuación (Kalff, 2003):

$$T_w = \frac{V}{Q_s}$$

El caudal de salida utilizado para cada lago corresponde al estimado a través del balance hídrico.

- **Nitrógeno**

El caso del nitrógeno es más complicado de poder determinar la carga crítica, debido a que se desconocen aspectos relacionados con la dinámica de los procesos de nitrificación y/o denitrificación. Por ello, en la mayoría de estos estudios realizados en Chile, se ha sugerido utilizar la metodología propuesta por Jorgensen & Vollenweider (1989), en la cual se modifica la capacidad de retención del nutriente en un 16% menos que el determinado para el fósforo. Además, se utilizó como concentración máxima de nitrógeno la propuesta por Burns et al. (1999) para mantener el estado oligotrófico de los lagos (157 mg N/m^3).

3.6 Determinación de Carga Actual

La carga actual (Ca) para el periodo histórico 2005-2014 se obtuvo a partir de la sumatoria de las cargas puntuales y difusas utilizadas para el cálculo del balance de nutrientes de cada lago, como se indica en el Capítulo 2.4 del presente informe. En cambio, la carga actual para el año 2015 fue estimada con la información de las campañas de monitoreo del mismo año (n : número de campañas; en este caso $n=7$), calculando una carga mensual promedio multiplicando el caudal de entrada (Qe_i) por la concentración del nutriente (fósforo o nitrógeno total) de cada afluente (C_i) para cada campaña, la que luego se multiplicó por 12 meses. Es importante destacar que esto es una aproximación a la carga real, ya que para obtenerla se debería monitorear en forma continua tanto el caudal como la concentración de nutrientes.

$$Ca = 12 * \frac{\sum_{i=1}^n Qe_i * C_i}{n}$$

Debido a que no existen estaciones fluviométricas en todos los afluentes de los lagos, se consideró el caudal medido en forma puntual en cada campaña, como constante durante todo el mes.

3.7 Análisis de datos

La información histórica proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), se basó fundamentalmente en: publicaciones científicas, estudios técnicos realizados por universidades y monitoreos periódicos realizados por la DGA para los lagos en estudio Calafquén, Pirehueico, Neltume, Panguipulli, Riñihue y Puyehue (Anexo 1b). Previo a la realización del balance de nutrientes y análisis histórico de los datos de calidad de agua para cada lago, fue necesario efectuar una evaluación de la información con el objetivo de identificar *outliers*.

- **Identificación de Valores Atípicos (*Outliers*)**

La detección de *outliers* es uno de los primeros pasos para obtener un análisis coherente de datos, ya que indican desviaciones marcadas del resto de las observaciones. Estos valores son a menudo considerados como erróneos, sin embargo, pueden aportar información relevante sobre acontecimientos puntuales, por lo que es necesario evaluar si la información corresponde a errores de procedimiento, observaciones extraordinarias sin explicación o valores fuera de rango que no son significativos.

En este caso, se diseñaron procedimientos para detectar valores atípicos, mediante la utilización de fórmulas y el uso de formato condicional a partir del siguiente criterio:

$$\text{Si } |x_k - \bar{x}| > t\sigma \Rightarrow x_k \text{ es outlier}$$

Donde x_k : es el valor a probar

\bar{x} : es la media del conjunto de datos

t : es un intervalo

σ : es la desviación típica del conjunto

Si los valores se encuentran entre los límites de control, se considera que no hay valores atípicos. En la distribución normal el intervalo a 1, 2, 3 y 4 sigmas (σ) incluye el 68,3%, 95,5%, 99,7%, 99,9% de los valores, respectivamente. En el presente estudio se fijó un sigma (σ) de 2 desviaciones típicas como criterio de evaluación, la

Tabla 3.20 muestra la cantidad total de datos históricos y los *outliers* identificados para los parámetros clorofila a, nitrógeno y fósforo total.

Tabla 3.20. Cantidad de datos históricos brutos (n) y *outliers* identificados de nitrógeno total, fósforo total y clorofila a para los seis lagos estudiados.

Lagos	Nitrógeno total		Fósforo total		Clorofila a	
	n	Outlier	n	Outlier	n	Outlier
Riñihue	178	4	322	18	281	15
Panguipulli	185	5	242	16	215	14
Calafquén	205	16	265	10	285	17
Neltume	80	4	106	1	96	4
Pirehueico	65	2	65	0	49	1
Puyehue	45	1	150	3	80	4

• Análisis de datos del monitoreo EULA (agua y sedimentos)

El análisis de los parámetros físico-químico de la columna de agua de los lagos en estudio, considero una revisión de la distribución de los datos de cada parámetro. Esto incluyó realizar análisis exploratorio de los datos para detectar la existencia de valores atípicos (*outliers*) y para definir qué posible transformación de los datos pudiera disminuir el sesgo en las distribuciones. Un análisis de componentes principales (PCA) fue realizado para determinar cuál o cuáles variables contribuyen a la variación entre los distintos meses y estaciones (E1, E2 y E3) de muestreo. Previo a este análisis, las variables ambientales analizadas fueron transformadas a logaritmo natural y posteriormente normalizadas, con la finalidad de hacerlas comparables independiente de su unidad de medida. Adicionalmente, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) para establecer diferencias significativas entre meses y sitios de monitoreo. Todos los análisis fueron realizados utilizando el paquete estadístico *vegan* y *Hmisc* del software R (Oksanen et al. 2005, Borcard et al 2011).

3.8 Servicios Ecosistémicos

El estudio comprende las áreas correspondientes a los lagos Calafquén, Neltume, Pirehueico, Panguipulli, Riñihue y Puyehue; denominados también Lagos Araucanos o Nordpatagónicos.

Este trabajo se desarrolla bajo la propuesta de la Evaluación de los Ecosistemas de Milenio (<http://millenniumassessment.org/es/index.html>), programa desarrollado en el marco de las Naciones Unidas, el cual propone para la identificación y evaluación de los SE los siguientes pasos:

3.8.1 Delimitación del Socio-ecosistema

Los socio-ecosistemas fueron previamente definidos utilizando el área de drenaje de las cuencas en estudio, utilizando cartografía obtenida desde el Sistema de Información Territorial de la Corporación Nacional Forestal, actualizados a la fecha de 2013 y trabajados **en los software comerciales “ArcGis 10.2” y “Google Earth Pro”**. Debido a la **superposición** de las cuencas de drenaje de los lagos en estudio se consideraron 2 grandes socio-ecosistemas; 1) Calafquén-Pirehueico-Riñihue y 2) Puyehue (Figura 3.24).

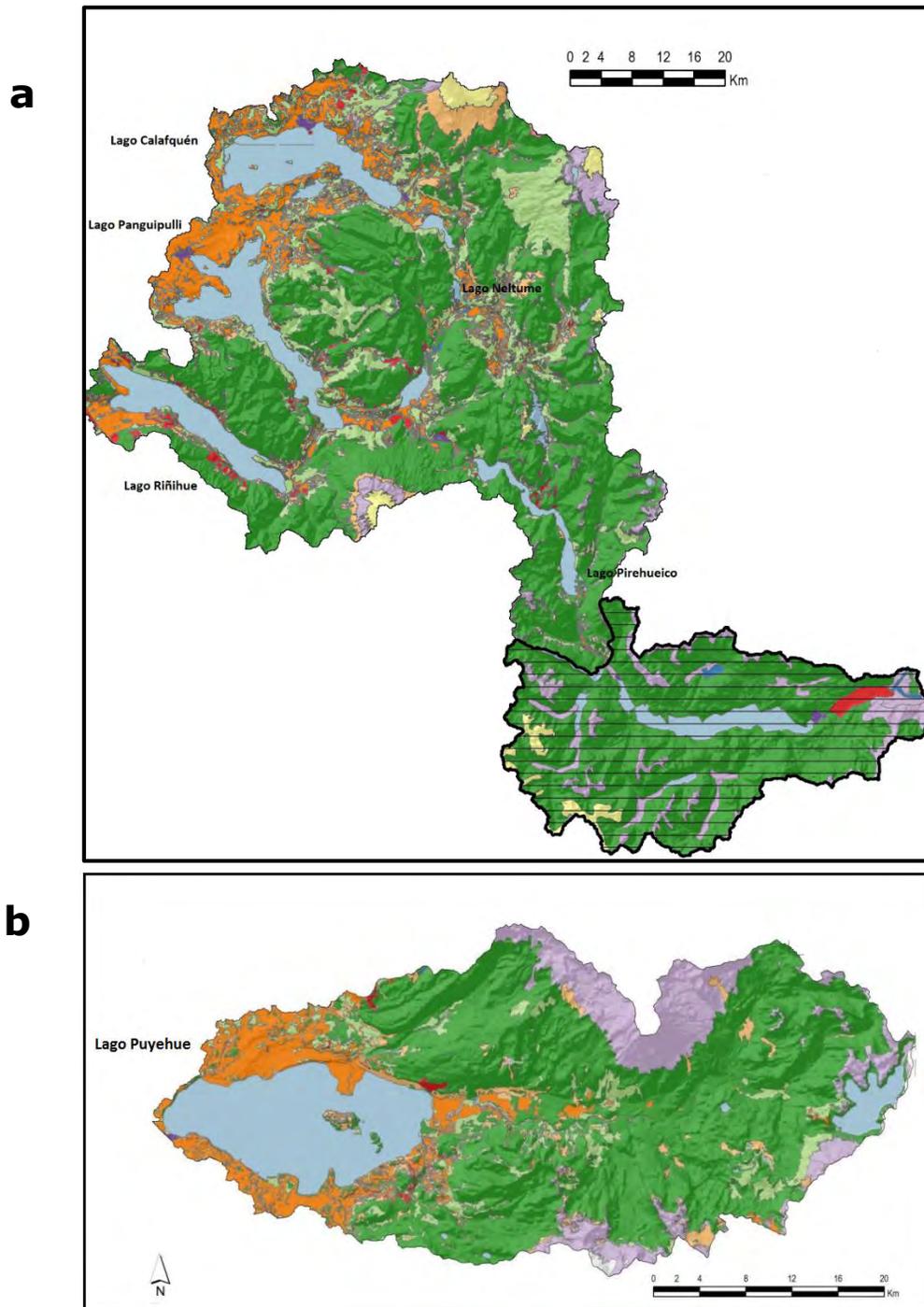


Figura 3.24. Socio ecosistemas en estudio a) Calafquén-Pirehueico-Riñihue b) Puyehue

3.8.2 Identificación de las Unidades Suministradoras de los SE

Descriptivamente y de acuerdo a la información disponible para cada uno de los 6 lagos en estudio, se evaluaron los componentes que son capaces de generar funciones ecosistémicas capaces de proveer SE, para lo cual se identificaron los usos naturales y artificiales de cada uno de los lagos (expresados en %). De acuerdo a las áreas obtenidas en el apartado anterior, la Tabla 3.21 resume los diversos usos de suelo (natural y/o artificial) de las áreas de drenaje de los cuerpos lacustres, al respecto es interesante evidenciar que en todos ellos existen áreas de provisión hídrica (lagos, ríos, agua-nieve), de uso silvoagropecuario, forestal y bosque nativo. Este último de gran importancia, ya que supera el 50% de la superficie total de cada cuenca, adquiriendo un gran valor en la provisión de servicios ecosistémicos.

Tabla 3.21. Tabla de usos de suelo artificiales y/naturales de las áreas de drenaje de los lagos en estudio.

Tipo-Usos Lago/ Área (%)	Calafquén	Neltume	Pirehueico	Panguipulli	Riñihue	Puyehue
Territorio Argentino	0	0	70,3	27	24	0
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	16,1	1,9	2,2	7,3	8,6	13,8
Áreas Sobre Limite Vegetación	0,8	3,3	0,5	1	0,9	0
Nieves	2,8	1,7	0,1	0,9	0,9	0,2
Ríos	1	1,7	0,1	0,6	0,5	0,2
Corridos de Lava y Escoriales	1,2	0	0,1	0,4	0,6	6,8
Afloramientos Rocosos	0	0,1	0,8	0,3	0,3	4
Terrenos de Uso Agrícola	0	0,5	0	0,2	0,2	0
Otros Terrenos Húmedos	0	0,3	0	0,1	0,1	0
Derrumbes Sin Vegetación	0	0,1	0	0,1	0	0
Rotación Cultivo-Pradera	0,3	0	0	0	0	0,1
Estepa Patagónica	0,1	0	0	0	0	0
Glaciares	0	0	0	0	0,1	0
Minería Industrial	0	0	0	0	0	0
Vegetación Herbácea en Orilla	0	0	0	0	0	0
Playas y Dunas	0	0	0	0	0	0
Cajas de Ríos	0	0	0	0	0	0
Vegas	0	0	0	0	0	0
Protección	0	0	0	0	0	0
Otros Terrenos Sin Vegetación	0	0	0	0	0	0,6
Ñadis Herbáceos y Arbustivos	0	0	0	0	0	0
Bosque nativo	51,8	82,4	25,3	50,5	51,6	61
Praderas	16,6	0	0	0	0	0
Matorrales	7,9	2,4	0	2,4	2,8	3,9
Plantación	0,8	0,4	0,3	0,5	0,9	0,4
Ciudades-Pueblos-ZI	0,5	0,1	0	0,2	0,2	0,1
Praderas Perennes	0	5,1	0,2	8,2	8,1	8,9
Praderas anuales	0	0	0	0,1	0,1	0
Total	100	100	100	100	100	100

3.8.3 Identificación de los SE

Se relacionaron cada uno de los usos de suelo de las áreas de drenaje de los lagos en estudio (usos naturales y artificiales) con la provisión de SE. Los usos de suelo se determinaron mediante información biofísica que fue clasificada siguiendo a CICES (2010) y MA (2005).

De acuerdo a los diferentes usos de suelo que se logró evidenciar en el apartado anterior, se realizó un listado de los posibles servicios ecosistémicos a considerar para las áreas de estudio (Tabla 3.22). Del mismo modo, se lograron proponer una serie de indicadores que buscan dar cuenta de la presencia de estos servicios, seleccionando solo aquellos indicadores donde se pudo reunir la mayor cantidad de información.

Tabla 3.22. Indicadores propuestos para la caracterización de los servicios suministrados por los lagos en estudio.

TIPO	SUBTIPO	INDICADOR
Abastecimiento	Agua	Disminución de la superficie ocupada por los lagos
		Abastecimiento de agua potable
		Abastecimiento de agua para riego
		Abastecimiento de agua para la industria
	Alimentos	Productividad de tierras aledañas
		Productos agrícolas asociados a los lagos
		Producción forraje, pasto
		Capturas de caza
		Pesca artesanal
		Acuicultura/salmonicultura
	Materias primas de origen biótico	Producción de madera
		Extracción de leña zonas aledañas
	Materias primas de origen abiótico	Extracción de áridos
	Fuentes de energía	Producción de energía eléctrica en centrales asociadas a lagos
	Recursos genéticos	Biodiversidad de invertebrados
Especies en categorías de conservación		
Medicina, Farmacia y cosmética natural	Termalismo natural	
Regulación	Regulación ciclos biogeoquímicos	Reducción de materia orgánica
	Almacenamiento de carbono	Balance de carbono en masas de agua
	Regulación hídrica/Amortiguación perturbaciones	Recurrencia de inundaciones
		Humedad del suelo
	Mantenimiento de la diversidad	Especies endémicas
		Especies amenazadas
Especies invasoras		

TIPO	SUBTIPO	INDICADOR
Culturales	Conocimiento científico	Publicaciones científicas relacionadas con los lagos
		Proyectos de investigación
		Inversión Pública
		Referencias de los lagos en base de datos científica “Scopus”
	Actividades recreativas	Caza y Pesca
		Turismo
		Nº visitantes
	Educación ambiental	ONGs, asociaciones culturales
	Conocimiento tradicional	Usos tradicionales
		Especies singulares (animales, vegetales)
	Disfrute estético y espiritual	Lugares míticos o religiosos
		Calidad visual
	Identidad cultural y sentido de pertenencia	Edad media de la población que vive en torno a los lagos
		Actividades tradicionales

3.8.4 Identificación de los beneficiarios de los SE

Por medio de la delimitación del socio-ecosistema y de la relación con la información administrativa se identificaron los beneficiarios directos de los servicios en estudio, reconociendo las comunas que tienen injerencia sobre los cuerpos de agua (cuencas afluentes a cada lago), de las cuales obtuvimos información de la provisión de servicios ecosistémicos (Figura 3.25 y Figura 3.26).



Figura 3.25. Comunas de las cuales obtuvimos información para caracterizar el socio ecosistema 1: Calafquén-Pirehueico-Riñihue.



Figura 3.26. Comunas de las cuales obtuvimos información para caracterizar el socio ecosistema 2: Puyehue.

No obstante, estas fuentes se complementaron con información de las bases de datos de organismos e instituciones públicas, privadas, investigaciones científicas e investigación para cada una de las comunas pertenecientes a cada socio ecosistema (Tabla 3.23) y se apoya en antecedentes aportados por expertos locales (Anexo 4), especialmente funcionarios municipales y representantes de instituciones públicas (INDAP, PRODESAL, entre otros) durante dos salidas a terreno y un taller, que consideraron las siguientes fechas:

1° Terreno: 15-16-17 - marzo de 2016.

2° Terreno: 16-17-18 - junio de 2016.

Taller participativo: 25-26 - mayo de 2016.

Tabla 3.23. Área (Ha) de cobertura de municipalidades para cada socio ecosistema, según la injerencia que tiene la presencia del cuerpo lacustre en el área respectiva.

SOCIO ECOSISTEMA	CUERPO LACUSTRE	COMUNA (MUNICIPALIDAD)	ÁREA (HA)
1: Calafquén-Pirehueico-Riñihue	Calafquén	Panguipulli	57348,5
		Villarrica	15866,6
	Neltume	Panguipulli	76204,1
	Pirehueico	Panguipulli	43823,2
	Panguipulli	Panguipulli	269215,9
Villarrica		15866,6	
Riñihue	Panguipulli	286116,2	
	Los Lagos	31117,5	
2: Puyehue	Puyehue	Puyehue	65861,5
		Río Bueno	64108,7

3.8.5 Cuantificación de la tendencia de los SE

Una vez seleccionados los indicadores a utilizar, la cuantificación de la tendencia se realizó sólo con aquellos indicadores en los que se obtuvo una serie temporal adecuada (mayor a tres años) (Vidal-Abarca et al., 2013). Esta tendencia se calculó sobre la base de la pendiente de la regresión lineal. Dichas tendencias se clasifican en cinco clases siguiendo las indicaciones de Santos-Martín et al., (2013). Esto permitirá a posteriori relacionar los indicadores con los impulsores de cambio que estén ejerciendo una presión sobre los ecosistemas en estudio.

4 RESULTADOS

4.1 LAGO CALAFQUÉN

4.1.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.1, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 214 m y un volumen de 13,3 km³.

4.1.2 Parámetros físicos-químicos

En esta sección se describen los parámetros de calidad de agua de los diferentes sistemas lénticos y lóticos (afluentes y efluentes) presentes en el área de estudio. El ortofosfato, amoníaco y nitrito siempre presentaron concentraciones bajo el límite de detección de las técnicas analíticas utilizadas (<0,040 mg/L; <0,02 mg/L y <0,015 mg/L, respectivamente), por lo tanto, no fueron considerados en esta caracterización. En el Anexo N° 1a del presente informe, se entrega el listado completo con todos resultados de calidad de agua obtenidos durante la ejecución del proyecto.

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias para las tres estaciones durante el periodo estudiado fluctuaron entre 9 y 18°C, registrándose la máxima en febrero y la mínima en agosto (Figura 4.2, Tabla 4.1). La tendencia durante el año muestra un incremento de temperaturas en periodo de verano y hasta principios de otoño, con una alta desviación estándar en todas estas estaciones, indicativo de una heterogeneidad de las temperaturas a lo largo de la columna de agua generado por la presencia de termoclina. Durante el periodo de invierno, las estaciones tienden a tener una distribución vertical más homogénea de temperaturas sugiriendo la mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 31 µS/cm a 80 µS/cm, registrándose la máxima en junio y la mínima en diciembre (Figura 4.2, Tabla 4.1). Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose que desde mediados del periodo estival y hasta principios de otoño la conductividad se mantuvo con altos valores y una mayor heterogeneidad a lo largo de la columna de agua que tendió a decrecer durante el periodo de invierno y hasta principios del verano.

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración promedio de nitrógeno total en las tres estaciones tuvo una alta variabilidad fluctuando de 0,01 mg/L a 0,16 mg/L, observándose la mínima en enero y la máxima en junio. Las diferentes concentraciones medias de nitrógeno para las 3 estaciones durante todo el año (Figura 4.2, Tabla 4.1), evidencian una distribución heterogénea en el

cuerpo de agua. De igual forma, la distribución vertical de las concentraciones de nitrógeno total sugiere una alta heterogeneidad, particularmente desde los meses de verano hasta invierno.

- **pH**

La concentración promedio de pH mostró poca variabilidad durante todo el periodo estudiado, con valores que fluctuaron entre 6 y 8, siendo cercanos a la neutralidad. La distribución vertical de pH en el lago fue homogénea, lo cual es evidenciado por una baja desviación estándar (ver Tabla 4.1). Las estaciones presentaron valores muy similares durante todo el año.

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato en las tres estaciones durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,01 mg/L y 0,35 mg/L, registrándose la mínima en octubre y la máxima en junio. La distribución vertical de nitrato en la columna de agua es muy variable durante el año en las tres estaciones, sin un patrón determinado. Se observa que las estaciones presentan diferencias en las concentraciones promedio de nitrato en cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante todo el periodo estudiado variaron de 3 µg/L a 12 µg/L, observándose una mayor concentración en enero y en los meses de invierno (junio-agosto), donde además se registra una distribución vertical con concentraciones heterogéneas de fosforo. Durante el resto del año los valores de fosforo total fueron cercanos a 3 µg/L con un perfil vertical con poca variación.

En la Figura 4.2 entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

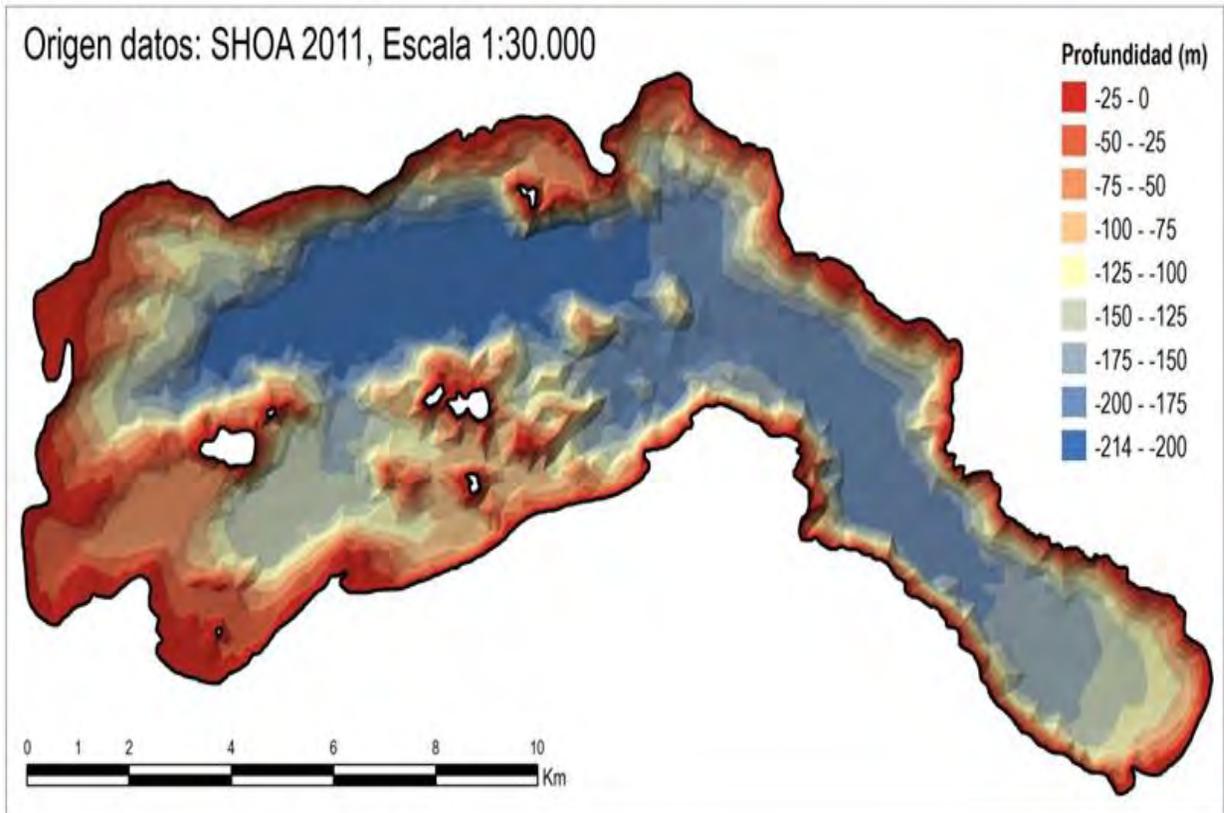


Figura 4.1. Batimetría del Lago Calafquén

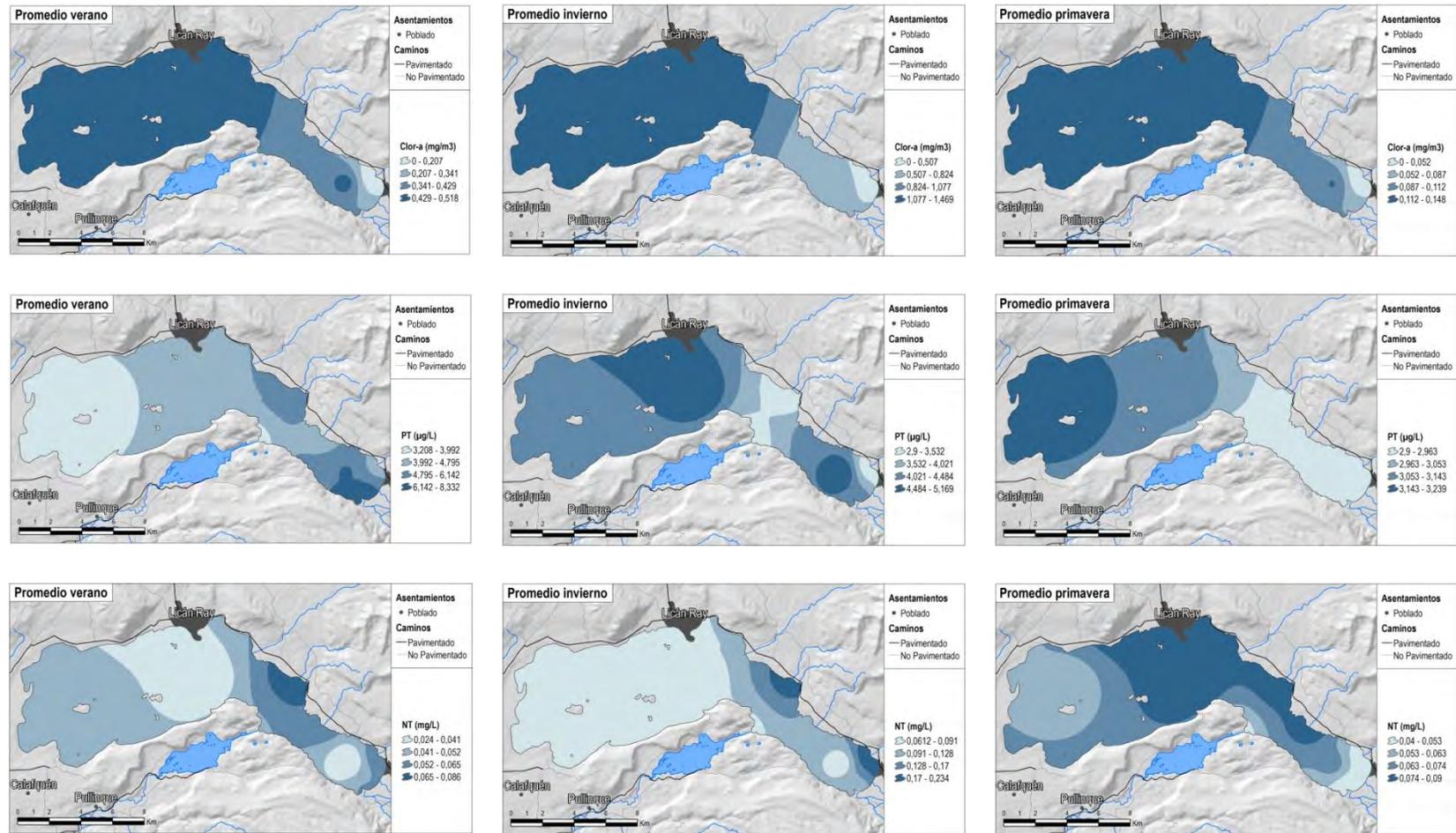


Figura 4.2. Distribución espacial de la concentración de Clorofila a, fósforo total y nitrógeno total durante las épocas de verano, invierno y primavera del año 2015.

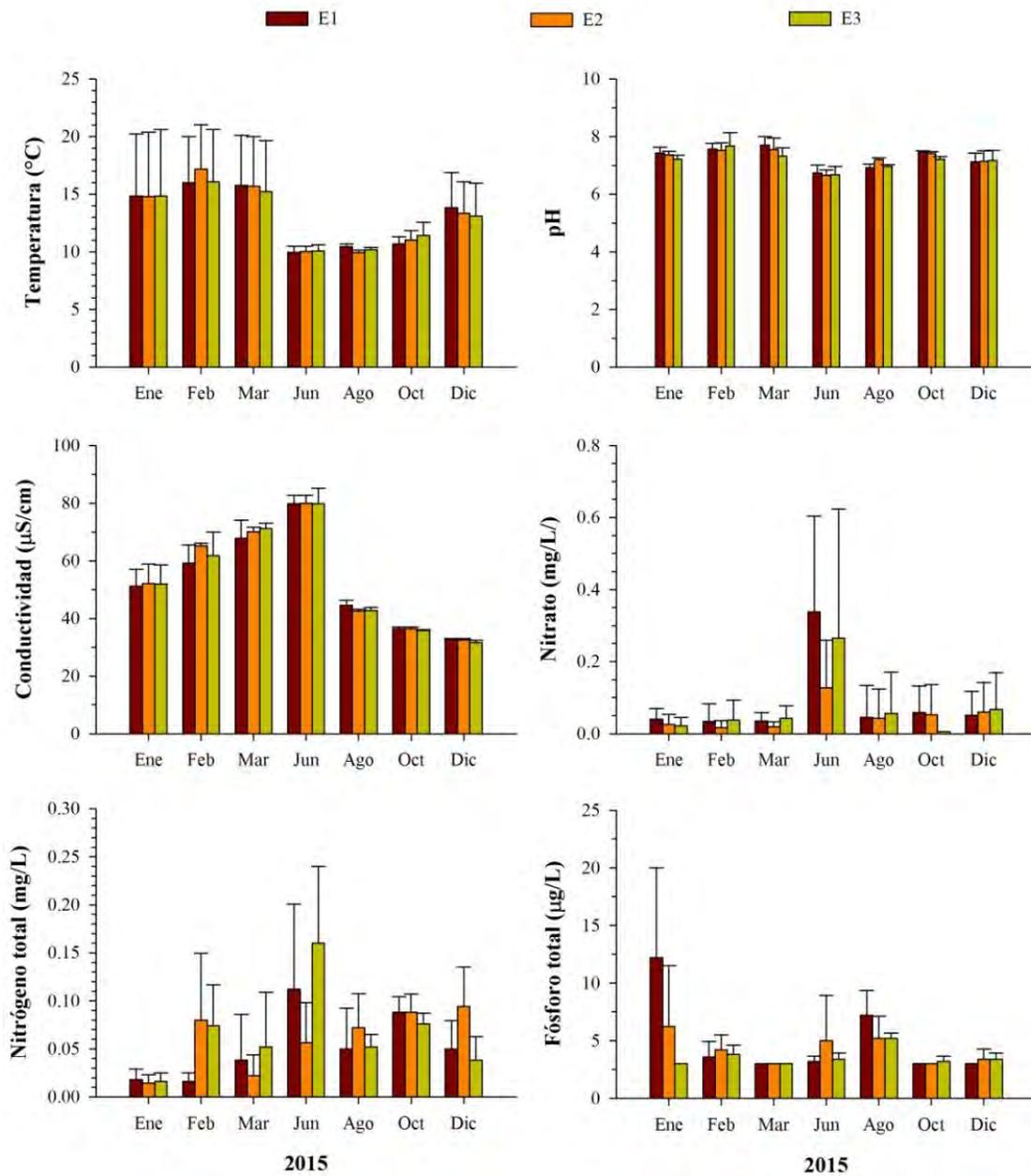


Figura 4.3. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, nitrato, nitrógeno total y fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.1. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Calafquén de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	de	x	de	x	de	x	de	x	de	x	de
Enero	E1	14,8	5,4	51,2	5,8	0,02	0,01	7,4	0,2	0,04	0,03	12,2	7,8
	E2	14,8	5,6	52,1	6,7	0,01	0,01	7,4	0,1	0,03	0,03	6,3	5,3
	E3	14,8	5,8	52,0	6,6	0,02	0,01	7,2	0,1	0,02	0,02	3,0	0,0
Febrero	E1	16,0	4,0	59,2	6,3	0,02	0,01	7,6	0,2	0,03	0,05	3,6	1,3
	E2	17,2	3,9	65,1	0,9	0,08	0,07	7,5	0,3	0,02	0,02	4,2	1,3
	E3	16,1	4,5	61,7	8,1	0,07	0,04	7,7	0,5	0,04	0,06	3,8	0,8
Marzo	E1	15,8	4,3	67,8	6,3	0,04	0,05	7,7	0,3	0,03	0,02	3,0	0,0
	E2	15,7	4,3	70,1	1,5	0,02	0,02	7,6	0,4	0,02	0,01	3,0	0,0
	E3	15,2	4,4	71,1	1,9	0,05	0,06	7,3	0,3	0,04	0,03	3,0	0,0
Junio	E1	10,0	0,5	79,8	2,8	0,11	0,09	6,7	0,3	0,34	0,27	3,2	0,4
	E2	10,0	0,4	79,9	2,7	0,06	0,04	6,7	0,2	0,13	0,13	5,0	3,9
	E3	10,1	0,5	79,9	5,4	0,16	0,08	6,7	0,3	0,27	0,36	3,4	0,5
Agosto	E1	10,4	0,2	44,5	1,7	0,05	0,04	6,9	0,1	0,04	0,09	7,2	2,2
	E2	9,9	0,2	42,6	0,6	0,07	0,04	7,2	0,1	0,04	0,08	5,2	1,9
	E3	10,2	0,2	42,7	1,0	0,05	0,01	7,0	0,1	0,06	0,11	5,2	0,4
Octubre	E1	10,7	0,6	36,4	0,5	0,09	0,02	7,5	0,0	0,06	0,07	3,0	0,0
	E2	11,0	0,8	36,4	0,6	0,09	0,02	7,4	0,1	0,05	0,08	3,0	0,0
	E3	11,4	1,1	35,8	0,3	0,08	0,01	7,2	0,1	0,01	0,00	3,2	0,4
Diciembre	E1	13,8	3,1	32,7	0,3	0,05	0,03	7,1	0,3	0,05	0,07	3,0	0,0
	E2	13,3	2,7	32,5	0,5	0,09	0,04	7,1	0,4	0,06	0,08	3,4	0,9
	E3	13,1	2,9	31,6	0,9	0,04	0,02	7,2	0,4	0,07	0,10	3,4	0,5

- **Perfiles limnológicos**

La temperatura superficial del lago Calafquén fluctuó entre 10°C y 21°C durante el periodo de estudio, registrándose la mínima en agosto y la máxima en enero (Figura 4.4). Según el régimen térmico observado este lago se clasifica como monomítico temperado, con estratificación térmica estival y con mezcla completa en invierno. La termoclina se ubica entre los 10 y los 30 metros de profundidad, con una amplitud de 12°C.

Los perfiles de oxígeno disuelto mostraron diferencias durante el periodo estudiado, observándose un aumento de las concentraciones entre los 20 y 30 metros de profundidad en los meses de Enero, Febrero y Marzo, mientras que desde Junio a Diciembre las concentraciones fueron más homogéneas y cercanas a los 8 mg O₂/L (Figura 3.4). Durante el periodo estival y hasta principios de otoño, los perfiles de oxígeno tuvieron un comportamiento ortógrado que fue inverso al perfil de temperatura. La clorofila en todos los perfiles tendió a incrementar alrededor de los 30 metros de profundidad y a disminuir posteriormente con la profundidad, sin observarse ningún patrón determinado.

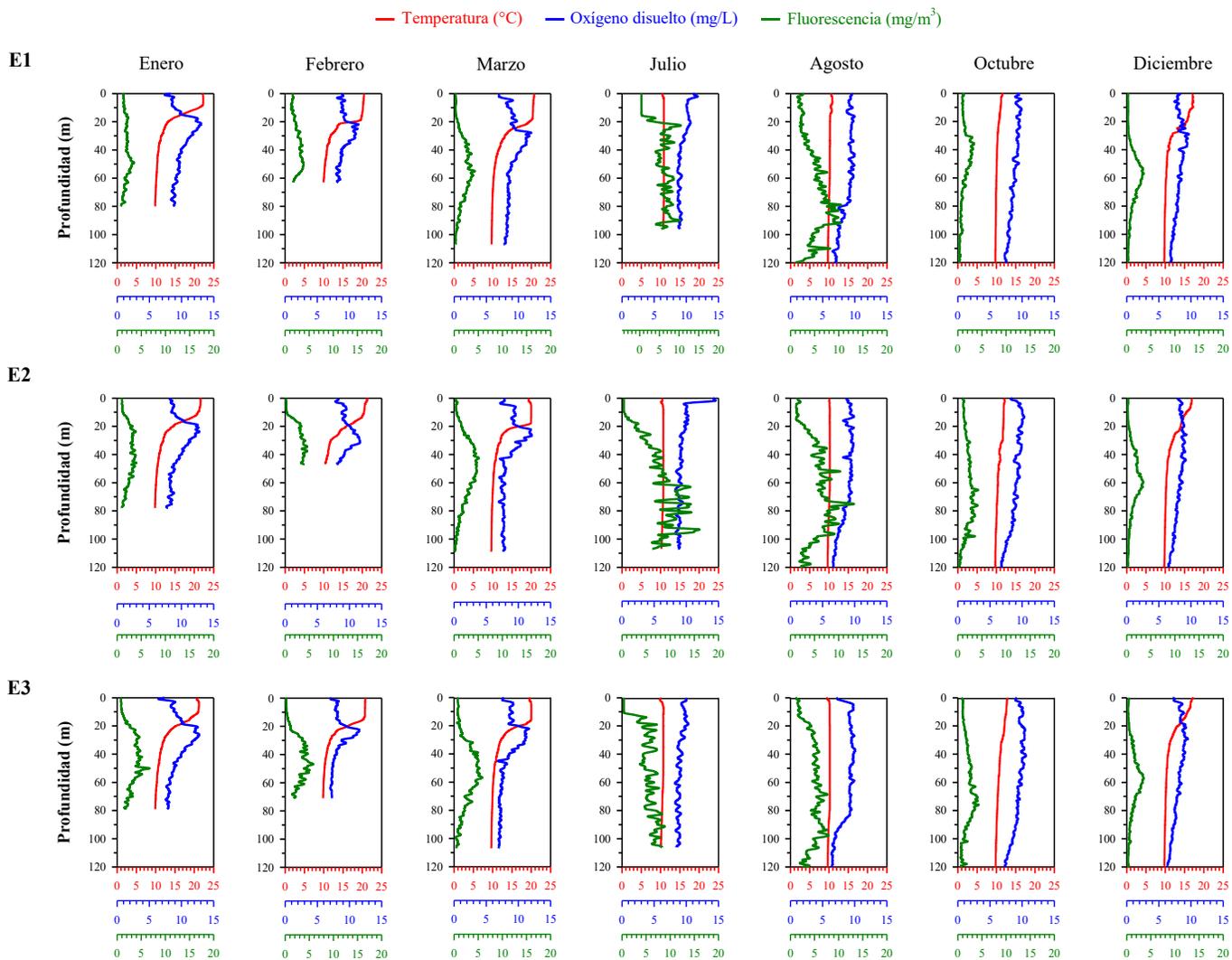


Figura 4.4. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Calafquén durante el periodo de estudio (2015).

4.1.3 Fitoplancton

4.1.3.1 Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Calafquén está compuesta por 10 clases (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae) en las que se registraron 110 taxones (Tabla 4.2). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 89 % de la abundancia de taxa en la comunidad, los otros grupos o clases estuvieron presentes con una muy baja abundancia (Figura 4.5). Este grupo fue el más diverso con 60 taxa, seguido de las algas verdes Chlorophyceae y Zygnematophyceae con 14 y 11 taxa, respectivamente.

Tabla 4.2. Listado de especies presentes en el Lago Calafquén.

Clase/género/especie	Clase/género/especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Closterium aciculare</i> T.West
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Closterium kuetzingii</i> Brébisson
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Coelastrum microporum</i> Naegeli
<i>Caloneis</i> sp.	<i>Cosmarium aff depressum</i> (Nägeli) Lund
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Cosmarium</i> sp.
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Cosmocladium</i> sp.
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) K
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	<i>Eudorina cylindrica</i> Korshikov
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
<i>Diatoma</i> sp.	<i>Gonatozygon monotaenium</i> De Bary
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Gonatozygon</i> sp.
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	<i>Gonium aff pectorale</i> O.F.Müller
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	<i>Quadrigula closterioides</i> (Bohlin) Printz
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) C.
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébi
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	<i>Scenedesmus</i> sp.
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Scenedesmus spinosus</i> Chodat
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	<i>Selenastrum</i> sp.
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	<i>Sphaerosozoma aubertianum</i> W. West
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	<i>Staurastrum aff planctonicum</i> Teiling
<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Staurodesmus lobatus</i> (Børgesen) Bourre
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	<i>Tetraëdron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey	CHRYSOPHYCEAE
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	<i>Synura uvella</i> Ehrenberg
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	CRYPTOPHYCEAE
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Navicula</i> sp.	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	CYANOBACTERIA
<i>Nitzschia aff linearis</i> W.Smith	<i>Dolichospermum aff constricta</i>
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	<i>Dolichospermum</i> sp.
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	<i>Dolichospermum aff spiroides</i>
<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Microcystis incerta</i> (Lemm.) Lemmermar.
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat
<i>Nitzschia subrostratoides</i> Chohnoky	DINOPHYCEAE
<i>Pinnularia</i> sp.	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujard
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias	<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrer
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
<i>Stauroneis</i> sp.	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Surirella aff linearis</i> W.Smith	
<i>Surirella ovata</i> Kützing	
<i>Surirella</i> sp.	
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	

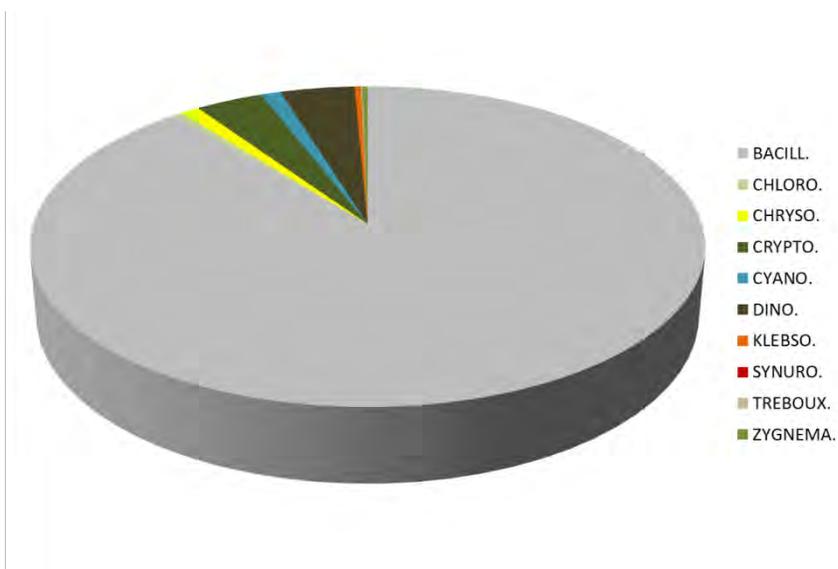


Figura 4.5. Abundancia relativa de grupos o clases de microalgas en Calafquén. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

4.1.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

La comunidad presentó una diversidad (H' loge) de 1,9 y una equidad de $J' = 0,4$. La dominancia ($\Lambda = 0,7$) indicó que la comunidad está dominada por pocas especies, principalmente por las diatomeas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Fragilaria crotonensis* Kitton y *Asterionella formosa* Hassall. Espacialmente, la estructura de la comunidad fue similar entre los sitios o estaciones E1, E2 y E3 en donde predominan las diatomeas (Figura 4.6). Los índices comunitarios de abundancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 2,3$; $p > 0,05$), riqueza ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,3$; $p > 0,05$) y diversidad (H' loge) ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,3$; $p > 0,05$), no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4.3).

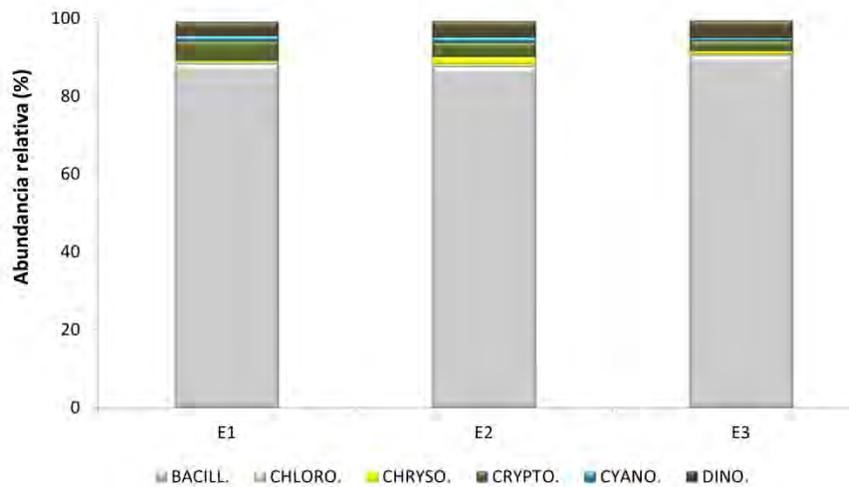


Figura 4.6. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Calafquén, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae.

La densidad de fitoplancton varió estacionalmente, siendo mayor durante el verano, invierno y primavera y menor durante el otoño (Figura 4.6), estas diferencias fueron estadísticamente significativas (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,9$; $p < 0,05$). La máxima abundancia celular fue de $413.696 \text{ cél L}^{-1}$ causada por el aumento de la abundancia de *A. granulata* en el mes de agosto (ver Anexo 2). Las diatomeas predominan principalmente en otoño e invierno, las criptofíceas, cianofíceas y crisofíceas, aumentaron su abundancia durante primavera. Los dinoflagelados, con la especie *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin presentaron un aumento en el verano.

La mayor abundancia de células se registró a los 30 m de profundidad, mientras que, la mayor riqueza y diversidad se presentó en la superficie del lago (Tabla 4.3). Las diatomeas fueron abundantes en todos los estratos de profundidad, lo que se puede explicar por la presencia de frústulos que sedimentan desde la superficie y se pueden encontrar en toda la columna de agua (Figura 4.7).

Tabla 4.3. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Calafquén por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon-Weaver, 1-Lambda= Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.

Sitio/Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	Lambda
E1V	49	649.712	3.6	0,6	2,5	0,9
E2V	47	1.131.789	3.3	0,5	1,9	0,8
E3V	41	2.242.245	2.7	0,5	1,8	0,8
E1O	28	629.332	2.0	0,1	0,5	0,2
E2O	27	1.132.086	1.9	0,2	0,5	0,2
E3O	26	917.747	1.8	0,1	0,4	0,1
E1I	21	1.352.139	1.4	0,1	0,4	0,1
E2I	24	1.202.123	1.6	0,1	0,4	0,2
E3I	24	1.293.181	1.6	0,2	0,6	0,2
E1P	53	916.350	3.8	0,6	2,2	0,8
E2P	50	1.046.072	3.5	0,6	2,2	0,8
E3P	49	979.876	3.5	0,5	2,1	0,8

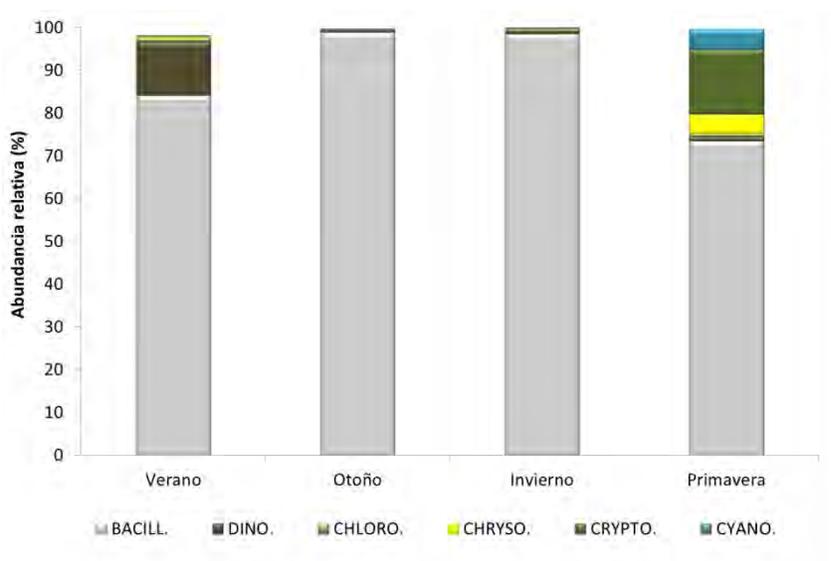


Figura 4.7. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Calafquén, según las estaciones del año. BACILL.: Bacillariophyceae, CHLORO.: Chlorophyceae, CHRYSO.: Chrysophyceae, CRYPTO.: Cryptophyceae, CYANO.: Cyanobacteria y DINO.: Dinophyceae.

Tabla 4.4. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Calafquén. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, 1-Lambda= Índice Simpson.

Estrato	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	64	3.244.123	4,68	0,50	2,09	0,76
10	71	3.406.492	5,18	0,45	1,93	0,73
30	71	3.702.961	5,15	0,38	1,62	0,66
50	20	376.670	1,68	0,42	1,26	0,59
70	56	1.992.484	4,24	0,35	1,44	0,56
100	43	769.921	3,49	0,33	1,26	0,50

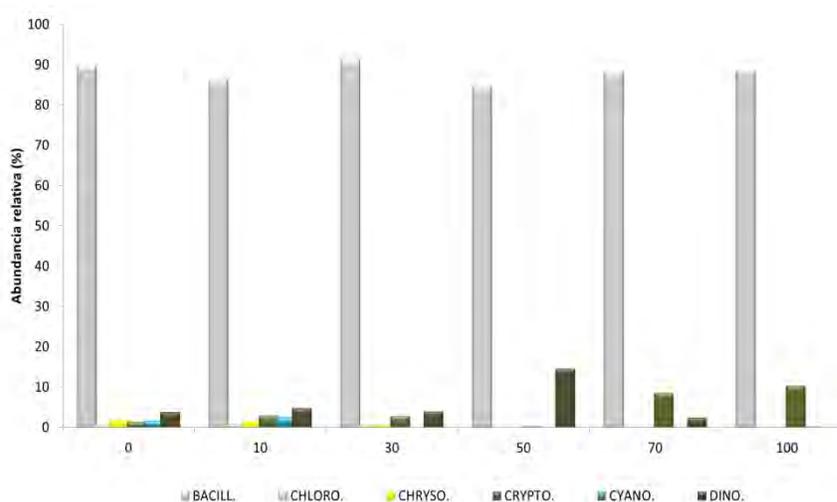


Figura 4.8. Número de células de clases de microalgas en Calafquén, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria y DINO: Dinophyceae.

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 50 % de similitud se diferencia un grupo formado por los sitios muestreados en la estación de verano y primavera, otro con los sitios de otoño y un tercero con los sitios en la estación de invierno (Figura 4.9a y Figura 4.9b). Estas diferencias están determinadas por la abundancia de *A. granulata* la que alcanzó un peak de abundancia en invierno en los tres sitios monitoreados, la densidad disminuyó significativamente en verano y primavera.

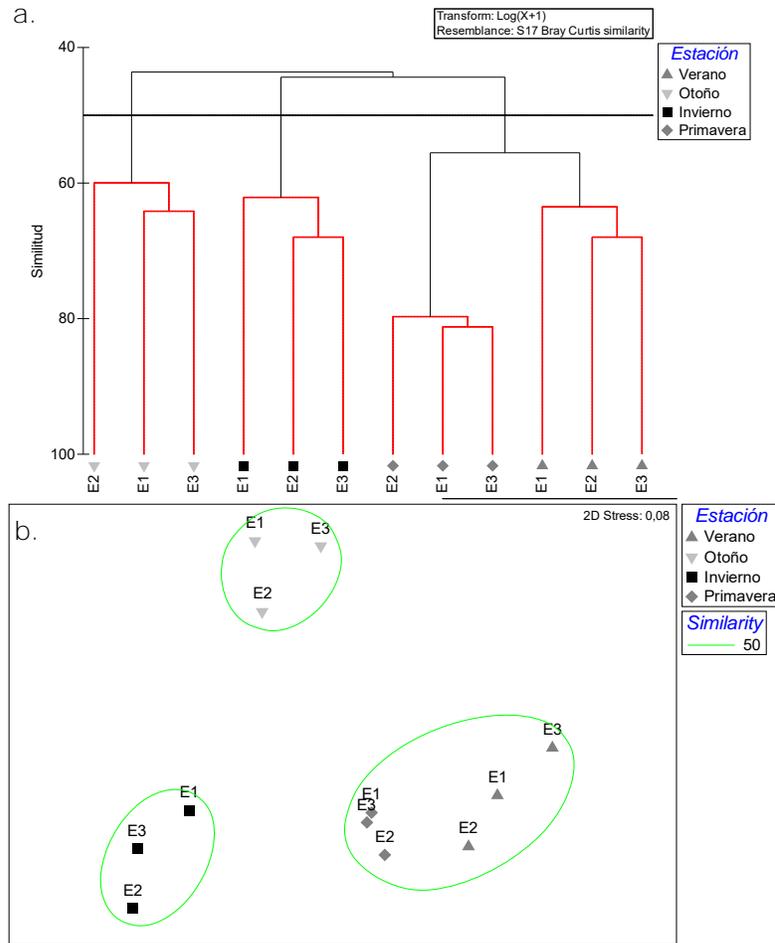


Figura 4.9 a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Calafquén. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.9b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Calafquén.

4.1.3.3 Especies más abundantes

En la Figura 4.10, se presentan las 10 especies más abundantes de la comunidad I, las que representan en su conjunto un 93 % de toda la abundancia anual. Las diatomeas: *A. granulata*, *F. crotonensis*, *A. formosa*, *Fragilaria pulchella* (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot, y el dinoflagelado *C. hirundinella*, dominaron la comunidad.

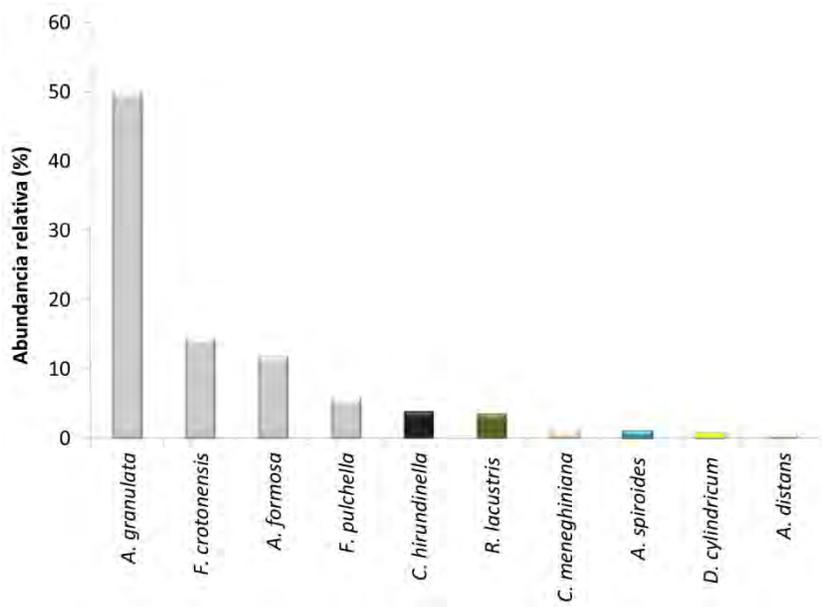


Figura 4.10. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

Las diatomeas *F. crotonensis*, *A. formosa*, *F. pulchella* y *C. hirundinella* fueron comunes en verano y primavera en los tres sitios de muestreo (Figura 4.11). Mientras que *A. granulata* fue abundante en invierno y otoño. Esto generó las diferencias en la estructura de la comunidad fitoplanctónica durante el verano - primavera en comparación con el invierno y otoño.

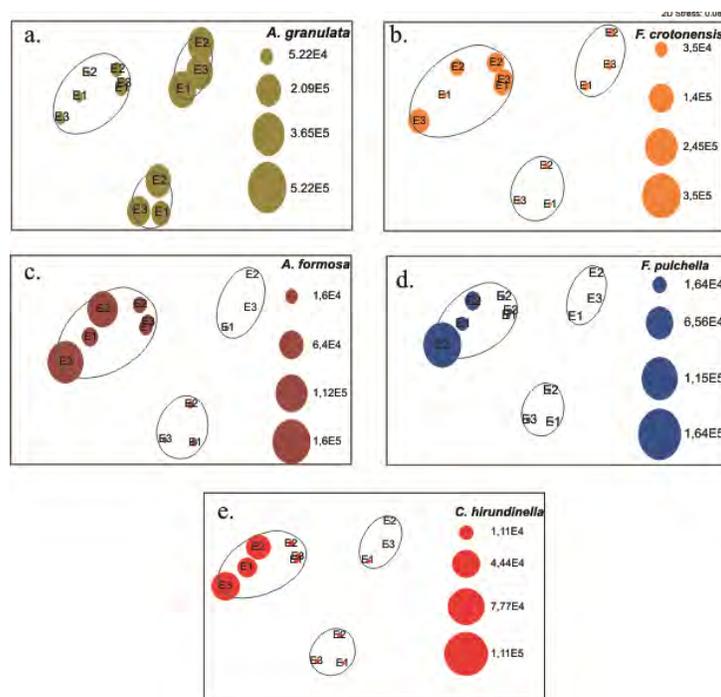


Figura 4.11. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Calafquén a. *A. granulata*, b. *F. crotonensis*, c. *A. formosa* d. *F. pulchella*, e. *C. hirundinella*.

4.1.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Con respecto al estudio, realizado por la DGA en 2011-2012, las diatomeas siguen siendo el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, durante ese año el 52% de los taxa reportados correspondieron a diatomeas, seguido por las clorofíceas (18%) y dinoflagelados (5%) (Tabla 4.5). Las especies más abundantes fueron las diatomeas *F. crotonensis*, *A. granulata*, *A. distans*, *A. Formosa* y *S. schroeteri*. Al igual que en el presente estudio, las diatomeas *F. crotonensis*, *A. granulata*, fueron las más abundantes.

Tabla 4.5. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.

Clase	2011-2012	2015
Bacillariophyceae	35	61
Chlorophyceae	18	30
Dinophyceae	5	
Chrysophyceae	2	5
Cryptophyceae	4	4
Cyanobacteria	2	4
Xanthophyceae	1	6
Riqueza	67	110
Diversidad(H')	1,3	1,9
Especies más abundantes	<i>F. crotonensis</i> , <i>A. distans</i> , <i>A. granulata</i> , <i>A. formosa</i> , <i>S. schroeteri</i>	<i>A. granulata</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>A. formosa</i> , <i>F. pulchella</i> , <i>C. hirundinella</i>
Referencia	DGA	Actual

4.1.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 31% de la variabilidad de los datos, la temperatura y el pH se relacionan con los dinoflagelados, siendo abundantes durante la época de verano cuando la temperatura aumenta. El fósforo total y la conductividad explicados por el 16% de la variabilidad (eje II), se asocian con las diatomeas que fueron más abundantes durante el invierno (Figura 4.12).

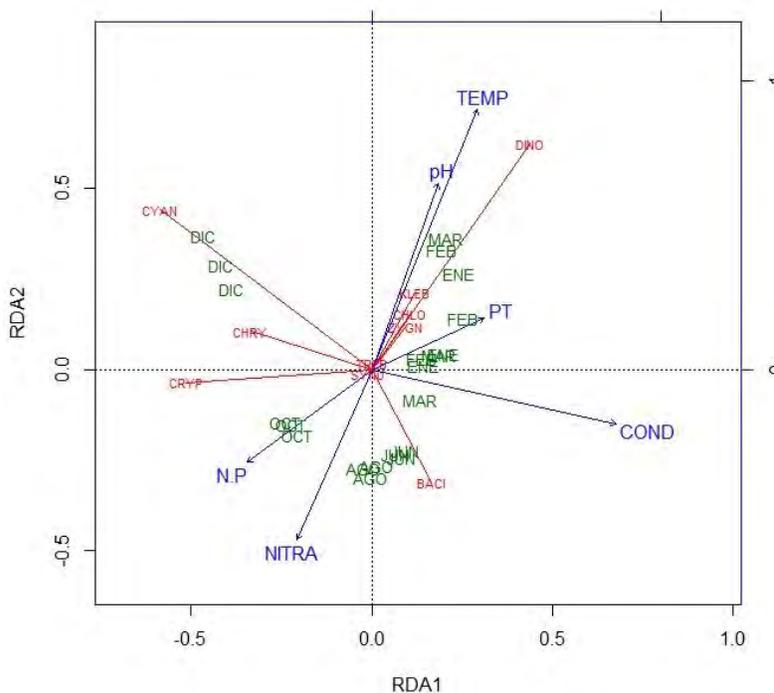


Figura 4.12. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Calafquén.

4.1.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios del Lago Calafquén

Los resultados de la comunidad fitoplanctónica asociada a los ríos afluentes (Comonahue, Coñaripe, Diuco y Nife) y a los efluentes (río Hueninca) del lago, se muestran en la Tabla 4.6. Las diatomeas constituyeron el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, principalmente *A. granulata* en el efluente y en los tres afluentes *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot (Figura 4.13).

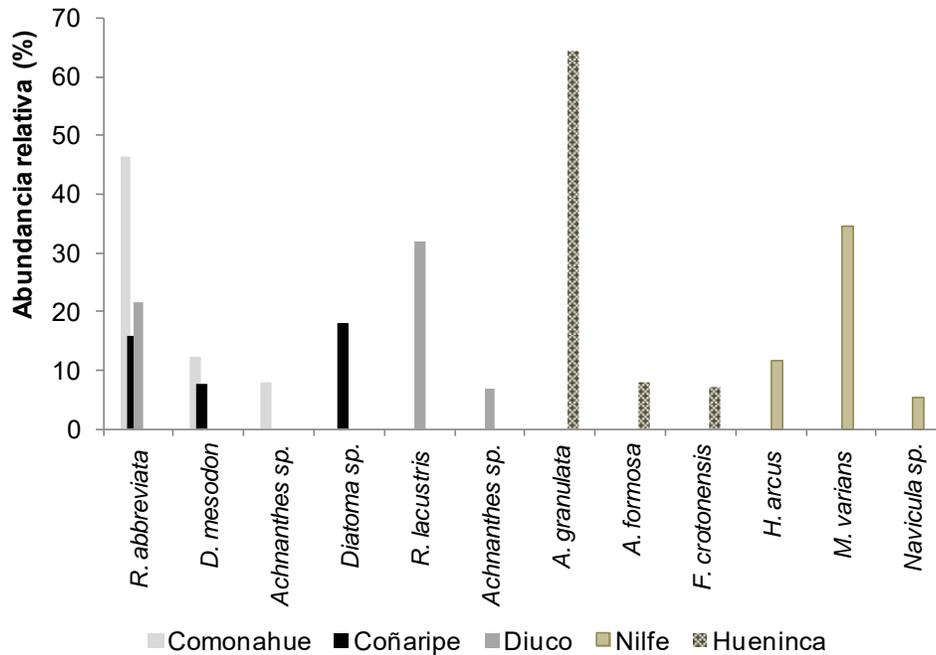


Figura 4.13. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Calafquén.

El río Coñaripe, afluente del lago, presentó la mayor diversidad y riqueza de taxa (51 de 5 clases diferentes). La menor riqueza se reportó en el río Diuco (27 de 3 clases). El efluente, Hueninca, presentó 48 taxones de 9 clases en donde se registró la menor diversidad de taxa (Tabla 4.6). En el Río Comonahue las diatomeas fue el grupo más diverso con 28 taxa diferentes, las más abundantes fueron *R. abbreviata*, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Achnanthes* sp. En el Río Coñaripe las algas diatomeas constituyeron el 93 % de la abundancia de microalgas, *R. abbreviata* y dos especies del género *Diatoma*, constituyeron el 42 % de la abundancia de las taxa presentes en el río (ver Anexo 2).

En el río Diuco se observaron 27 taxones de 3 clases diferentes (Bacillariophyceae, Cryptophyceae y Zygnematophyceae). Las diatomeas (66 %) y criptofíceas (33 %), constituyeron el 99 % de la abundancia de microalgas. La comunidad está dominada por tres especies, las diatomeas *R. abbreviata*, *Achnanthes* sp. y la criptofíceas *R. lacustris*.

Tabla 4.6. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Calafquén.

Taxa	Efluente		Afluentes		
	Hueninca	Diuco	Coñaripe	Comonahue	Niife
BACILLARIOPHYCEAE	+	+	+	+	+
<i>Achnanthes aff brevipis C.Agardh</i>	+				
<i>Achnanthes exigua Grunow</i>			+	+	
<i>Achnanthes lanceolata (Brébisson ex Kützing) Grunow</i>			+		
<i>Achnanthes sp.</i>		+	+	+	+
<i>Amphora sp.</i>	+		+		
<i>Asterionella formosa Hassall</i>	+		+		+
<i>Aulacoseira distans (Ehrenberg) Simonsen</i>	+				
<i>Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen</i>	+	+	+		+
<i>Aulacoseira italica (Ehrenberg) Simonsen</i>					+
<i>Caloneis sp.</i>		+			
<i>Cocconeis placentula Ehrenberg</i>	+	+	+	+	+
<i>Cyclotella meneghiniana Kützing</i>	+				
<i>Cymbella affinis Kützing</i>	+	+	+	+	+
<i>Cymbella lanceolata (C.Agardh) Kirchner</i>		+			
<i>Cymbella minuta Hilse</i>			+		+
<i>Cymbella naviculiformis Auerswald ex Heiberg</i>			+	+	
<i>Cymbella sp.</i>	+				
<i>Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kützing</i>	+	+	+	+	+
<i>Diatoma sp.</i>	+		+	+	+
<i>Diatoma vulgare Bory</i>	+	+	+		+
<i>Epithemia adnata (Kützing) Brébisson</i>			+		
<i>Epithemia sorex Kützing</i>	+				
<i>Eunotia sp.</i>					+
<i>Fragilaria capucina Desmazières</i>		+	+	+	+
<i>Fragilaria construens (Ehrenberg) Grunow</i>			+		+
<i>Fragilaria crotonensis Kitton</i>	+	+	+	+	+
<i>Fragilaria pulchella (Ralfs ex Kützing) Lange-Bert</i>	+				+
<i>Fragilaria sp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Fragilaria ulna (Nitzsch) Lange-Bertalot</i>	+		+	+	+
<i>Frustulia rhomboides (Ehrenberg) De Toni</i>			+	+	+
<i>Gomphoneis minuta (Stone) Kociolek & Stoermer</i>	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst</i>		+	+	+	+
<i>Gomphonema dichotomum Kützing</i>	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema intricatum Kützing</i>	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema sp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema truncatum Ehrenberg</i>			+	+	+
<i>Gyrosigma spenceri (W.Smith) Griffith & Henfrey</i>				+	
<i>Hannaea arcus (Ehrenberg) R.M.Patrick</i>	+	+	+	+	+
<i>Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow</i>					+
<i>Melosira varians C.Agardh</i>		+	+	+	+
<i>Meridion circulare (Greville) C.Agardh</i>			+		+
<i>Navicula aff radiosa Kützing</i>			+		+
<i>Navicula cryptocephala Kützing</i>			+		
<i>Navicula dicephala Ehrenberg</i>	+	+	+	+	+
<i>Navicula lanceolata Ehrenberg</i>				+	
<i>Navicula sp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Navicula viridula (Kützing) Ehrenberg</i>	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia acicularis (Kützing) W.Smith</i>			+		+
<i>Nitzschia aff subrostratoides Cholnoky</i>			+		
<i>Nitzschia dissipata (Kützing) Rabenhorst</i>					+
<i>Nitzschia kuetzingiana Hilse</i>	+		+	+	+
<i>Nitzschia sp.</i>	+		+	+	+
<i>Nitzschia sublinearis Hustedt</i>		+		+	+
<i>Rhizosolenia eriensis H.L.Smith</i>	+				
<i>Rhizosolenia longiseta O.Zacharias</i>	+				
<i>Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Ber</i>	+	+	+	+	+
<i>Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Müller</i>	+		+		
<i>Surirella tenera W.Gregory</i>					+
<i>Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing</i>	+	+	+		+
<i>Tabellaria flocculosa (Roth) Kützing</i>			+		

Tabla 3.6. Continúa. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Calafquén.

Taxa	Efluente		Afluentes		
	Hueninca	Diuco	Coñaripe	Comonahue	Nilfe
CHLOROPHYCEAE	+		+	+	+
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	+		+		
<i>Coelastrum microporum</i> Naegeli			+		
<i>Monoraphidium</i> sp.				+	+
<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerová					+
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen			+		
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	+				
<i>Scenedesmus</i> sp.	+				
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	+				
CHRYSOPHYCEAE	+				
<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	+				
CRYPTOPHYCEAE	+	+	+	+	+
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg		+	+		+
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	+		+	+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	+	+	+	+	+
CYANOBACTERIA	+				
<i>Dolichospermum aff constricta</i>	+				
<i>Dolichospermum aff spiroides</i>	+				
DINOPHYCEAE	+				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+				
<i>Gymnodinium</i> sp.	+				
<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas	+				
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	+				
KLEBSORMIDIOPHYCEAE	+				
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	+				
SYNUROPHYCEAE			+		
<i>Mallomonas</i> sp.			+		
TREBOUXIOPHYCEAE	+				
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	+				
ZYGNEMATOPHYCEAE	+	+	+		+
<i>Cosmarium aff depressum</i> (Nägeli) Lundell	+		+		
<i>Gonatozygon</i> sp.		+			
<i>Mougeotia</i> sp.			+		
<i>Staurastrum punctulatum</i> Brébisson					+

En el Río Nilfe, las diatomeas constituyeron el 96 % de la abundancia de microalgas, con 40 taxa. Las especies más abundantes fueron las diatomeas *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick, *Melosira varians* C. agardh y *Navicula* sp. las que contribuyeron con el 51 % de la abundancia total.

Tabla 4.7. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Calafquén.

Clase	Afluyente				Efluente
	Comonahue	Coñaripe	Diuco	Nilfe	Hueninca
Bacillariophyceae	28	42	24	40	32
Chlorophyceae	1	3	0	2	4
Klebsormidiophyceae	0	0	0	0	1
Trebouxiophyceae	0	0	0	0	1
Ulvophyceae	0	0	0	0	0
Zygnematophyceae	0	2	1	1	1
Chrysophyceae	0	0	0	0	1
Synurophyceae	0	1	0	0	0
Cryptophyceae	2	3	2	3	2
Cyanobacteria	0	0	0	0	2
Dinophyceae	0	0	0	0	4
Riqueza (S)	31	51	27	46	48
Diversidad Shannon H'(loge)	2,1	3	2,3	2,4	1,6
Índice de dominancia (Lambda)	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6
Uniformidad de Pielou (J')	0,6	0,8	0,7	0,6	0,4

En el efluente Río Hueninca las diatomeas (86%) y criptoficeas (5%) constituyeron el 91% de la abundancia de microalgas en el río. Las diatomeas también representaron el grupo con mayor número de taxa (32), las más abundantes fueron *A. granulata* y *A. formosa* predominan en la comunidad.

4.1.3.7 Especies invasoras

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella* constituyó una de las cinco especies más abundantes presentes en el lago. Nuestros resultados muestran un aumento en la densidad del dinoflagelado de 2.922 cél l⁻¹ en 2011-2012 a 44.519 cél l⁻¹ en el sitio E3 durante la campaña de enero. En el río Hueninca *C. hirundinella* alcanzó una abundancia máxima de 29.864 cél l⁻¹. En los otros ríos no fue registrado.

4.1.4 Calidad del agua tributarios

La ausencia de valores en el río Diuco en los meses de enero, febrero, marzo y diciembre se debió a que dicho cuerpo de agua se encontraba seco. En general, la temperatura mostró una tendencia estacional con mayores valores durante el verano, menores en invierno, para posteriormente incrementar en los meses de primavera. La temperatura media registrada por los afluentes Nilfe, Comonahue, Diuco y Coñaripe fue de $13,68 \pm 5,13$ °C, $10,12 \pm 2,82$ °C, $8,51 \pm 2,59$ °C, $11,67 \pm 3,54$ °C, respectivamente. En tanto el efluente, Canal Hueinica, registró una media de $15,53 \pm 4,97$ °C. Valores máximos de temperatura se registraron en el Canal Hueinica (21,6 °C; efluente) y estero Nilfe (21,5 °C), durante los meses de enero y febrero, mientras que la mínima se registró en el estero Comonahue (6,0 °C) el mes de julio. La conductividad de los afluentes Nilfe, Comonahue y Coñaripe mostró una tendencia al aumento durante el verano; en el caso del efluente esta tendencia se extendió hasta el invierno; para posteriormente disminuir en época de invierno y primavera. En el caso del río Diuco se observó que este parámetro tiende a incrementar en invierno y a medida que el río se comienza a secar la conductividad disminuye. Los valores medios registrados fueron de $45,07 \pm 9,47$ µS/cm, $46,21 \pm 9,60$ µS/cm, $45,27 \pm 9,87$ µS/cm, $64,91 \pm 19,74$ µS/cm y $56,43 \pm 15,02$ µS/cm para Nilfe, Comonahue, Diuco, Coñaripe y Canal Hueinica. El pH no presentó grandes diferencias entre los cuerpos de agua, registrándose valores próximos a la condición neutra durante todos los meses de estudio.

Contrariamente a los parámetros ya descritos, el nitrógeno total mostró menores concentraciones en verano y mayores en invierno. En promedio la concentración de este parámetro fue más alta en el río Diuco con $0,16 \pm 0,15$ mg/L, seguido de los esteros Nilfe y Comonahue con $0,12 \pm 0,08$ mg/L y $0,08 \pm 0,04$ mg/L, mientras que el Canal Hueinica registró un valor $0,05 \pm 0,04$ mg/L. Similar tendencia se registró en la concentración de nitrato, altos valores en invierno y una media más alta en los afluentes; Diuco $0,52 \pm 0,68$ mg/L, Nilfe $0,25 \pm 0,26$ mg/L y Comonahue $0,10 \pm 0,12$ mg/L; y baja en el efluente $0,02 \pm 0,01$ mg/L. Finalmente el fósforo total presentó mayores fluctuaciones entre enero y julio, ya que de agosto a diciembre sus valores se mantuvieron constantes tanto en los afluentes como efluente (< 3 µg/L). La concentración media de fósforo más alta se registró en el río Coñaripe con $5,71 \pm 3,9$ µg/L, mientras que la más baja la presentó el río Diuco con valores < 3 µg/L.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Calafquén.

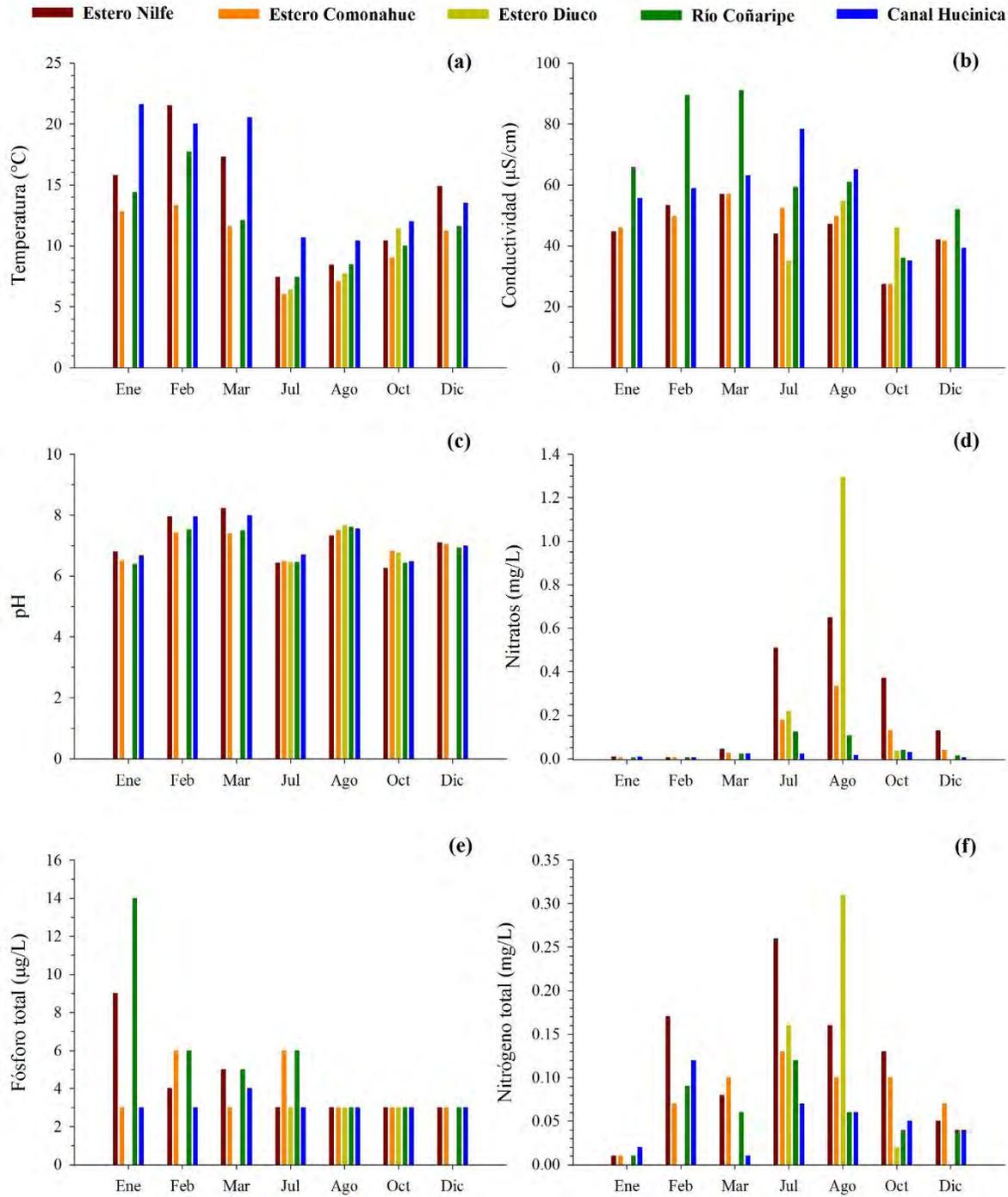


Figura 4.14. Caracterización de los parámetros de calidad de agua medidos durante el año 2015, en los afluentes Nilfe, Comonahue, Diuco y Coñaripe y efluente Canal Hueinica del Lago Calafquén. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total

4.1.5 Caudales

En general, los caudales de los afluentes y efluente mostraron una marcada estacionalidad con bajos valores durante la época estival, altos en invierno para disminuir nuevamente en los meses de primavera (Tabla 4.15). El **peak** máximo de todos los cuerpos de agua se alcanzó el mes de agosto con valores de 1,68 m³/s, 0,36 m³/s, 0,04 m³/s, 47,59 m³/s y 161,21 m³/s para el estero Nilfe, estero Comonahue, río Diuco, río Coñaripe y Canal Hueinica, respectivamente. En particular el río Diuco se comportó como un sistema fluvial intermitente, seco en verano y con caudal en invierno y primavera. Los esteros Nilfe y Comonahue no superaron los 2,0 m³/s y 0,5 m³/s, mientras que el río Coñaripe fue el sistema fluvial que contribuyó con la mayor entrada de agua al lago Calafquén y sus valores fluctuaron entre 5,60 – 47,59 m³/s durante el periodo de monitoreo. En tanto el Canal Hueinica (efluente) mostró valores que fluctuaron entre 21,80 – 161,21 m³/s.

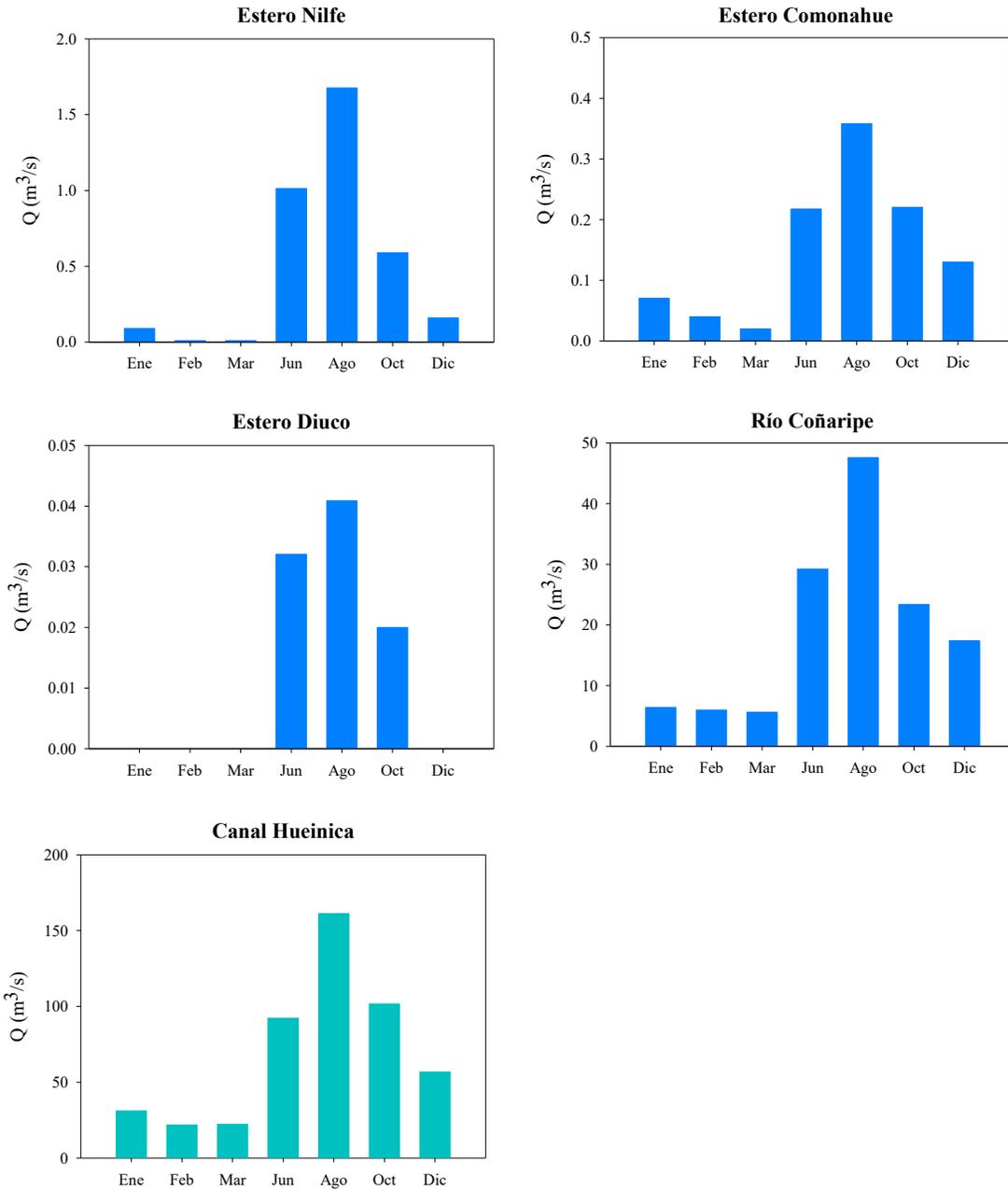


Figura 4.15. Hidrogramas de los afluentes (azul) y efluente (celeste) del Lago Calafquén medidos durante el año 2015.

4.1.6 Estado trófico

La evaluación histórica del estado trófico mediante el índice de Carlson, considerando fósforo total (TSI Pt), transparencia (TSI Ds) y clorofila a (TSI Clor a), mostró que el lago Calafquén ha mantenido una condición de oligotrofia a través del tiempo (Tabla 4.16). Sin embargo durante los años 1997, 1998, 2003 y 2004 se observó que el índice de clorofila superó levemente la condición de oligotrofia, clasificando al lago en estado mesotrófico. Paralelamente, el estado trófico determinado a través de la clasificación de la OCDE (1982), clasificó a este sistema lacustre como oligotrófico de acuerdo a sus niveles promedio de transparencia y fósforo total, mientras que la concentración media de clorofila a lo catalogó como ultraoligotrófico (Tabla 4.8).

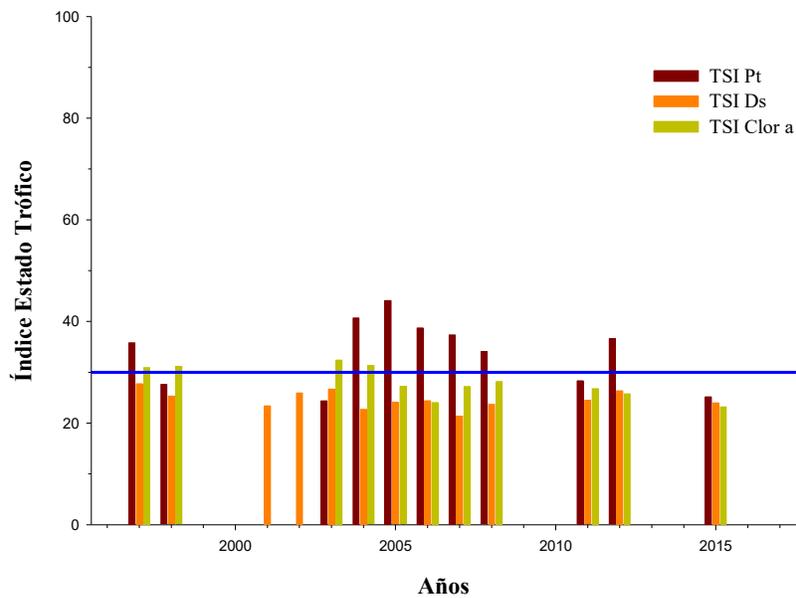


Figura 4.16. Variación temporal (1997-2015) del estado trófico del Lago Calafquén según el índice de Carlson.

Tabla 4.8. Estado trófico del lago Calafquén según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	4,2	Oligotrófico
Transparencia (m)	12,0	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,6	Ultraoligotrófico

4.1.7 Balance de nutrientes

4.1.7.1 Balance hídrico

La comparación de los cambios de volumen (ΔV) con el almacenamiento (ΔS) estimado para el periodo de simulación se muestra en la Figura 4.17a. En ella se observa que los cambios de volumen se mantienen cercanos a cero, lo que se considera un estado normal en la dinámica de un lago. En tanto, el flujo de almacenamiento anual mostró una sobreestimación de la pérdida de masa hídrica. Estas diferencias podrían estar relacionadas a la falta de información fluviométrica en las entradas y salidas del lago, por lo que fue necesario utilizar métodos de extrapolación desde la misma red hídrica. De la misma forma, la inexistencia de mediciones de flujos subsuperficiales en el área de estudio podría estar afectando el balance hídrico final. Al comparar el volumen con el almacenamiento obtenido, ambos en forma de anomalía estandarizada, se observó una covariación negativa de los datos (Figura 4.17b).

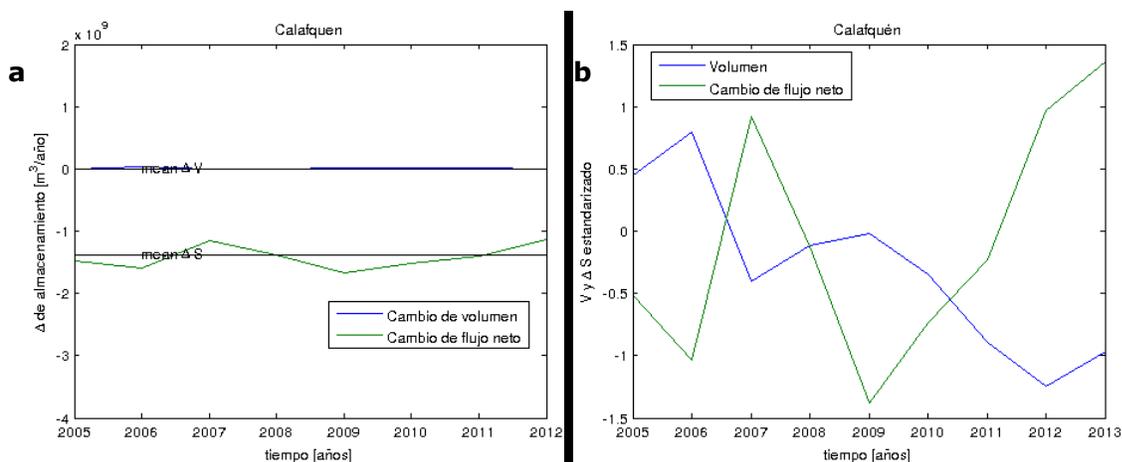


Figura 4.17. (a) Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. (b) Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

Por otro lado, al comparar los distintos flujos que participan en el balance hídrico se puede observar que el almacenamiento (ΔS) es dominado por el caudal primario de entrada (río Coñaripe) y el caudal de salida (canal Hueinica) (Figura 4.18), lo que indica un comportamiento normal del balance hídrico. Los caudales secundarios corresponden al estero Diuco, Nilfe y Comonahue (Tabla 4.9).

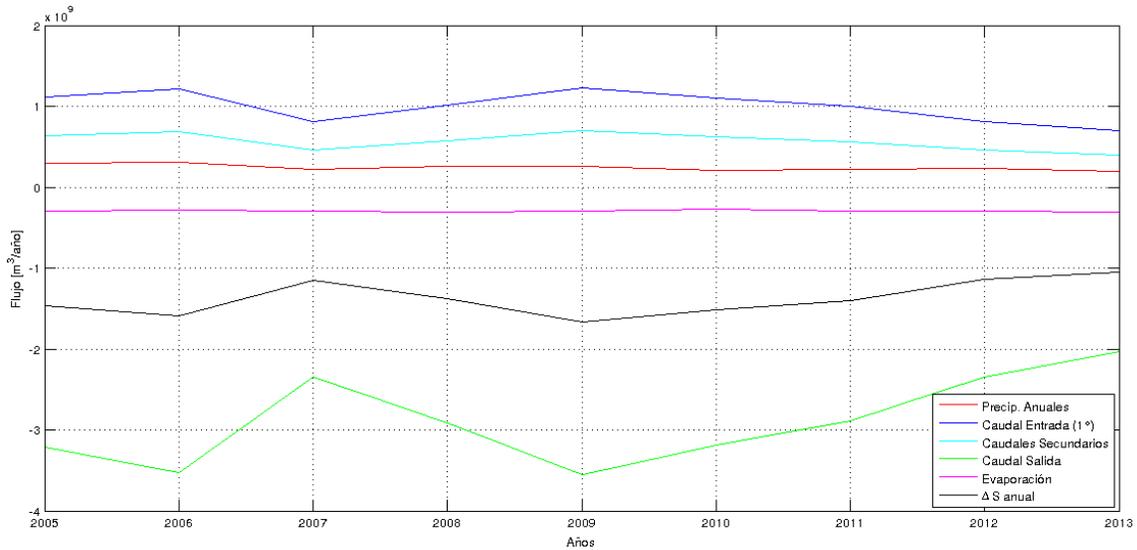


Figura 4.18. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.9. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 1° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 2° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal salida (m ³ /año)x10 ⁶	Evaporación (m ³ /año)x10 ⁶
2005	300	1111	630	3218	293
2006	313	1216	690	3522	286
2007	225	811	460	2349	293
2008	263	1007	571	2917	307
2009	258	1226	696	3553	294
2010	209	1099	624	3184	268
2011	215	995	565	2884	297
2012	233	810	459	2346	292
2013	191	700	397	2028	307

• **Escorrentía**

Los resultados de la estimación de escorrentía, precipitación y volumen para el periodo de simulación (2005-2013) se muestran en la Tabla 4.10. En ella se observa una disminución de la precipitación desde el año 2010 en adelante, mientras que el volumen se ha mantenido relativamente constante a lo largo del tiempo (ver Figura 4.16). Por su parte, la relación escorrentía/precipitación indica que más del 90% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago Calafquén.

Tabla 4.10. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Calafquén (2005 – 2013).

Años	Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/año)	Escorrentía (mm/año)
2005	7788	2868	2791
2006	7799	3044	2966
2007	7762	2011	1934
2008	7771	2511	2434
2009	7774	2587	2510
2010	7764	2024	1927
2011	7746	2064	1967
2012	7736	2176	2079
2013	7744	1916	1819

4.1.7.2 Cargas puntuales y difusas

- **Fuentes Puntuales**

Luego de la revisión de la información obtenida de los distintos servicios ambientales y sanitarios, no se determinaron fuentes puntuales que descarguen al Lago Calafquén.

- **Fuentes Difusas**

La variación temporal de las cargas de fósforo y nitrógeno al lago Calafquén mostró una tendencia la disminución entre los años 2005-2013 (Tabla 4.11). Esta disminución podría atribuirse a una reducción de las precipitaciones durante ese periodo, siendo más notorio desde el año 2010 en adelante (ver Tabla 4.11). En cuanto a la contribución de nutrientes según el tipo de uso de suelo se observó que durante los años 2005-2009 los principales aportes de fósforo provienen de los suelos sin vegetación y uso agrícola (Figura 4.19a). No obstante, entre los años 2010-2013 hubo un cambio en la distribución de las cargas de fósforo, siendo el bosque nativo en conjunto con el uso agrícola las entradas más relevantes. En relación a las cargas de nitrógeno, las coberturas de bosque nativo y uso agrícola fueron las principales fuentes aportantes entre los años 2005-2013 (Figura 4.19b).

Tabla 4.11. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Calafquén

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carga fósforo (Ton/año)	27	29	19	23	24	15	15	16	14
Carga nitrógeno (Ton/año)	296	315	205	258	266	209	214	226	198

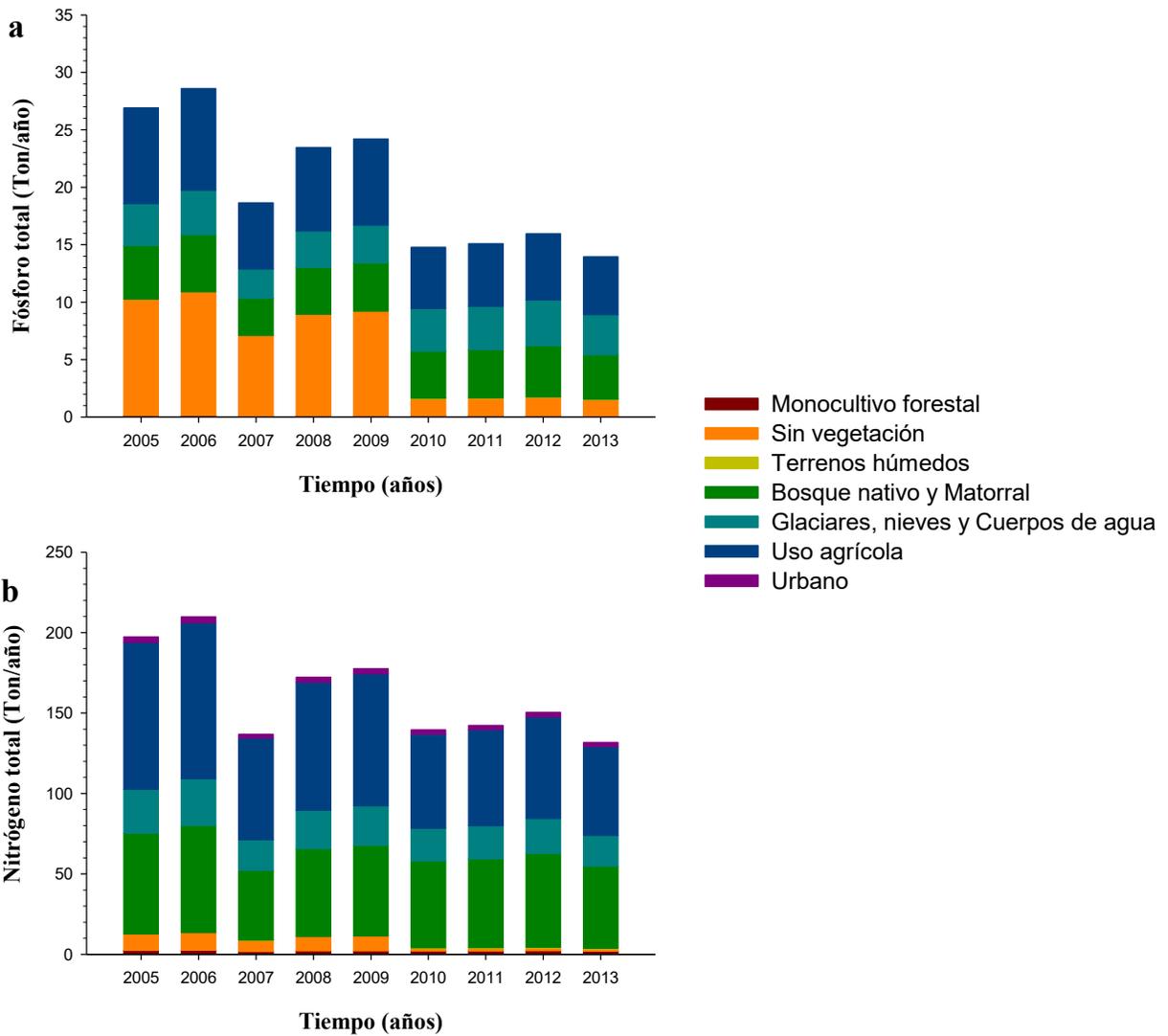


Figura 4.19. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Calafquén.

4.1.7.3 Estimación del balance de nutrientes

• Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad permitió determinar que el balance de fósforo y nitrógeno total es altamente sensible al coeficiente de exportación, no así al valor Curva número (Figura 4.20 a, b). Por lo que es importante tener presente que cualquier cambio de este coeficiente podría generar diferencias en el resultado de la simulación.

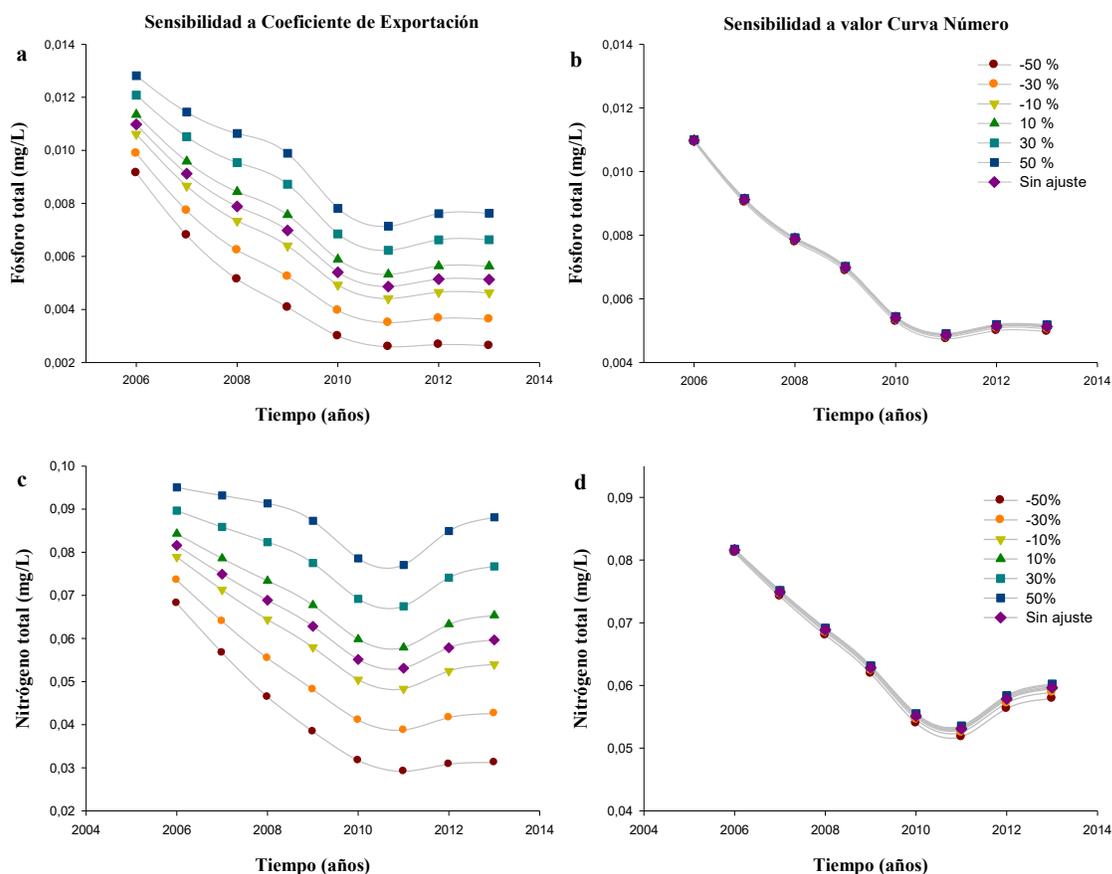


Figura 4.20. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

• Balance de nutrientes

Los resultados del balance de fósforo y nitrógeno se muestran en las Figura 4.21 y Figura 4.22. La concentración de fósforo total de los datos observados como simulados fluctuó entre 0,004 y 0,011 mg/L, mientras que el índice de ajuste PBIAS fue de -0,12, lo que indica que el modelo subestima en un 12% los valores observados. En tanto las concentraciones de nitrógeno total presentaron un bajo ajuste, debido a que sólo existían

datos para dos años del período de simulación. Esta limitada cantidad de datos implicó que el índice de ajuste PBIAS subestimara en un 38% a las concentraciones reportadas para el lago. En relación al monitoreo realizado por el Centro EULA el año 2015 se pudo observar que los datos simulados por el modelo se ajustan a los datos medidos en terreno, principalmente en las concentraciones de fósforo (Tabla 4.12).

Por otra parte, se pudo observar que los datos simulados de fósforo y nitrógeno no necesariamente coincidieron con los datos medidos en el lago. Estas diferencias podrían atribuirse a la escasa cantidad de datos históricos anuales disponibles para contrastar con el modelo, ya que se está comparando concentraciones promedio anuales (simulados) con concentraciones puntuales (observados), disminuyendo así la correlación entre los datos.

Tabla 4.12. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.

Año	Fósforo total (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)	
	Datos medidos	Datos simulados	Datos medidos	Datos simulados
2005	0,016	0,016	0,10	0,10
2006	0,011	0,011	0,17	0,10
2007	0,010	0,009		0,09
2008	0,008	0,008		0,09
2009		0,007		0,09
2010		0,005		0,08
2011	0,005	0,005		0,08
2012	0,010	0,005	0,19	0,08
2013		0,005		0,09
2015	0,004	0,004	0,06	0,08

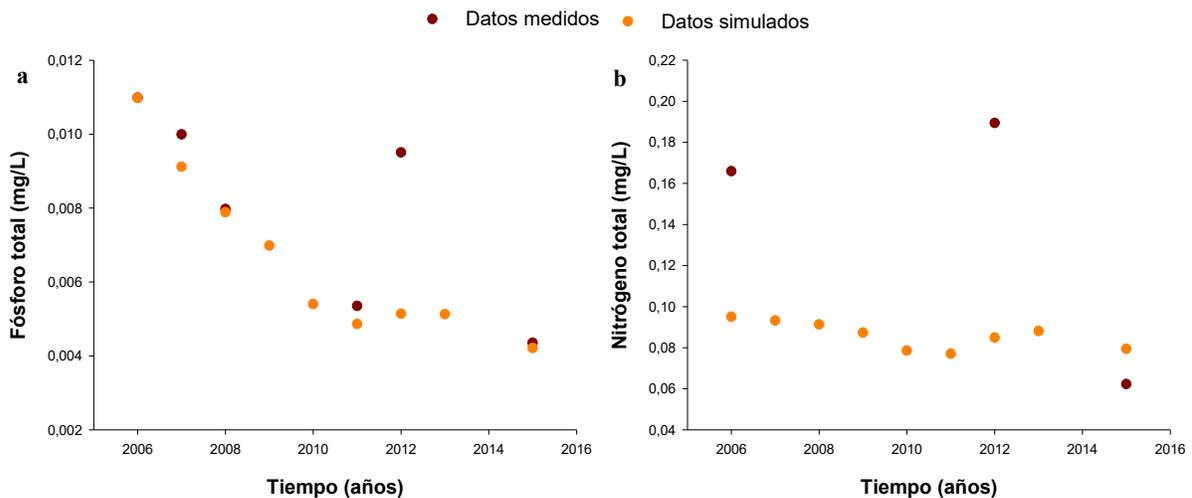


Figura 4.21. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.1.8 Determinación de carga crítica

La Figura 4.21 compara la carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo. En la Tabla 4.13 se observa que la carga actual de fósforo del lago fluctuó entre 9 y 29 Ton P/año, la que es mucho menor que la carga crítica estimada la cual fluctuó entre 103 y 150 Ton P/año durante el periodo de análisis. Del mismo modo la carga actual de nitrógeno fue aproximadamente cinco veces menor que la carga crítica, fluctuando entre 198 y 315 Ton N/año.

Tabla 4.13. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	141	27	1770	296
2006	150	29	1899	315
2007	114	19	1383	205
2008	132	23	1640	258
2009	142	24	1789	266
2010	140	15	1759	209
2011	131	15	1629	214
2012	107	16	1293	226
2013	103	14	1233	198
2015	114	9	1384	289

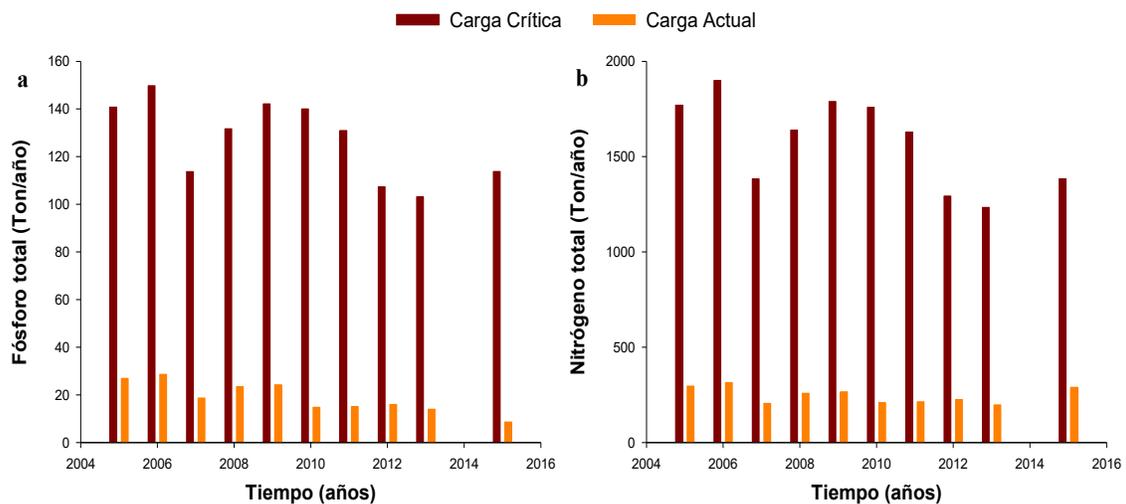


Figura 4.22. Carga crítica histórica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.1.9 Sedimentos

4.1.9.1 Lagos

- **Fósforo total**

El comportamiento de este parámetro en los sedimentos del lago Calafquén presentó variaciones más importantes entre estaciones que entre época del año. La estación que presentó los valores más altos fue la estación E2, que es la más cercana al poblado de Licanray. Durante el monitoreo de otoño, se registraron los valores más altos muestreos en este lago con casi 3000 mg kg⁻¹. La estación E1 por su parte, fue la que presentó los valores más estables durante todos los monitoreos y en el caso de la estación E3, se observa una disminución en el contenido de fósforo a medida que se avanza en los monitoreos (Tabla 4.14).

- **Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica de los sedimentos de este lago, siguen la tendencia identificada en la concentración de fósforo. Esto es, que las concentraciones más altas se registraron en la estación E2, la más cercana a Licanray, con valores que se elevaron por sobre el 15% durante el verano. El resto de las estaciones presentó concentraciones por debajo del 10%, excepto por un pequeño peak ocurrido durante la primavera en la estación E3 (Tabla 4.14).

- **pH**

El nivel de pH en los sedimentos del lago Calafquén se mantuvo estable en todas las estaciones y durante todos los monitoreos realizados, estando la mayoría de los valores cercanos al valor de neutralidad. Se observó un leve incremento en la estación E3 durante el muestreo de otoño, no obstante no se aleja de forma considerable del valor medio (Tabla 4.14).

- **Potencial redox**

Este parámetro se mantuvo prácticamente estable entre las estaciones muestreadas y las épocas del año. Se detectó sin embargo, los valores negativos más altos en la estación E3 durante la época de otoño. La mayoría de los valores registrados en este lago, se encuentran por sobre los -60 mV de potencial redox. Exceptuando por el nivel registrado en la estación E1 durante la primavera, que fue levemente superior a cero (Tabla 4.14).

- **Sílice biogénica**

La concentración de sílice en este lago, presentó diferencias notables entre estaciones y épocas del año. El valor más alto se registró en la estación E1 durante el verano,

alcanzándose un valor de 7,3 mg l-1, mientras que las concentraciones más bajas se detectaron en la estación E3, durante el otoño (Tabla 4.14).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Calafquén.

Tabla 4.14. Resultados de los análisis de calidad de nutrientes para el lago Calafquén durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	583,4	2,0	7,4	-115,9	7,5
Estación 2	1966,3	19,0	7,4	-516,0	0,3
Estación 3	1463,1	2,8	6,8	-75,0	4,9
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	1228,6	6,5	7,0	---	7,6
Estación 2	1557,3	11,6	6,8	---	4,2
Estación 3	1713,0	6,1	7,1	---	4,4
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	920,6	3,1	7,3	-126,5	0,3
Estación 2	2984,5	13,8	7,1	-96,8	1,9
Estación 3	1343,0	1,4	7,7	-145,5	0,1
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	897,4	3,5	7,4	-103,0	0,6
Estación 2	1069,8	7,2	7,1	-148,0	0,5
Estación 3	1579,0	6,6	7,6	-62,0	3,4
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	646,2	1,3	7,5	-19,3	0,2
Estación 2	3370,4	2,6	7,4	-31,3	0,5
Estación 3	1020,7	9,2	7,3	-42,4	4,3
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	1144,1	2,9	7,1	143,7	0,2
Estación 2	1494,0	11,7	7,2	-76,7	1,0
Estación 3	490,5	9,8	6,7	-6,8	3,0
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	492,5	3,2	7,5	-135,8	0,5
Estación 2	1170,5	12,7	7,4	-71,6	2,0
Estación 3	348,6	10,1	7,4	-37,8	3,0

4.1.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.15 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Calafquén.

Tabla 4.15. Concentración de fósforo total (mg kg⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Coñaripe	176,9	252,7	402,4	1345,7	419,3	301,3	155,4
Estero Nilfe	382,8	189,6	407,8	-	254,0	121,1	75,6
Estero Comonahue	523,3	382,2	499,6	774,7	-	262,2	393,4
Río Diuco	Seco	Seco	Seco	920,3	276,1	159,5	Seco
Canal Hueinica	-	-	-	-	-	-	-

- **Materia orgánica**

En la Tabla 4.16 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Calafquén.

Tabla 4.16. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Canal Hueinica	-	-	-	-	-	-	-
Río Coñaripe	0,40	0,30	0,50	0,70	0,90	1,20	0,80
Estero Nilfe	1,10	0,50	1,40	0,30	0,40	0,20	-
Estero Comonahue	1,60	1,90	1,80	2,90	-	1,00	-
Río Diuco	Seco	Seco	Seco	0,50	0,80	0,30	Seco

- **Facies texturales**

En la Tabla 4.17 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Calafquén.

Tabla 4.17. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Canal Hueinica	-	-	-
Estero Nilfe	10,3	88,5	1,20
Estero Comolahue	10,0	88,5	1,30
Río Diuco	2,90	92,3	4,80
Río Coñaripe	6,60	92,8	0,60

4.2 LAGO NELTUME

4.2.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.23, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 90 m y un volumen de 0,6 km³.

4.2.2 Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias para las tres estaciones durante el periodo estudiado fluctuaron entre 7 y 15°C, registrándose la mínima en agosto y la máxima en marzo (Figura 4.24, Tabla 4.15). La tendencia durante el año muestra un incremento de temperaturas en periodo de verano y hasta principios de otoño, con una alta desviación estándar en todas las estaciones, indicativo de una heterogeneidad de las temperaturas a lo largo de la columna de agua generado por la presencia de termoclina. Durante el periodo de invierno, las estaciones tienden a tener una distribución vertical más homogénea de temperaturas sugiriendo la mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 21 µS/cm a 54 µS/cm, registrándose la mínima en octubre y la máxima en marzo. Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose que durante periodo estival y hasta principios de otoño, la conductividad se mantuvo con altos valores y fue heterogénea a lo largo de la columna de agua. Durante el periodo de invierno y hasta principios de verano, los valores promedios y la desviación estándar tendieron a decrecer (Figura 4.24, Tabla 4.15), indicando una homogeneidad de la conductividad.

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración promedio de nitrógeno total en las tres estaciones tuvo una alta variabilidad fluctuando de 0,04 a 0,17 mg/L, con una tendencia a presentar bajas concentraciones entre agosto y octubre, mientras que mayores concentraciones fueron observadas entre febrero y junio (Figura 4.24, Tabla 4.15). Las diferentes concentraciones medias de nitrógeno para las 3 estaciones durante todo el año, evidencian una distribución heterogénea en el cuerpo de agua. De igual forma, la distribución vertical de las concentraciones de nitrógeno total sugiere una alta heterogeneidad, particularmente desde los meses de verano hasta invierno.

- **pH**

La concentración promedio de pH mostró poca variabilidad durante todo el periodo estudiado, con valores que fluctuaron entre 6 y 8 y que fueron cercanos a la neutralidad. La distribución vertical de pH en el lago fue homogénea, lo cual es evidenciado por una baja desviación estándar (Figura 4.24, Tabla 4.15). Las estaciones presentaron valores muy similares en cada mes muestreado.

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato en las tres estaciones durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,01 mg/L y 0,40 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en junio. La distribución vertical de nitrato en la columna de agua es muy variable durante el año en las tres estaciones, sin un patrón determinado. Se observa que las estaciones presentan diferencias en las concentraciones promedio de nitrato en cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante todo el periodo estudiado variaron de 3 µg/L a 7 µg/L, observándose las mayores concentraciones en verano e invierno, donde además se registra una distribución vertical con concentraciones heterogéneas de fósforo. El resto de los meses muestreados presentaron valores de fósforo total cercanos a 3 µg/L con un perfil vertical homogéneo.

En la Figura 4.24 se entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

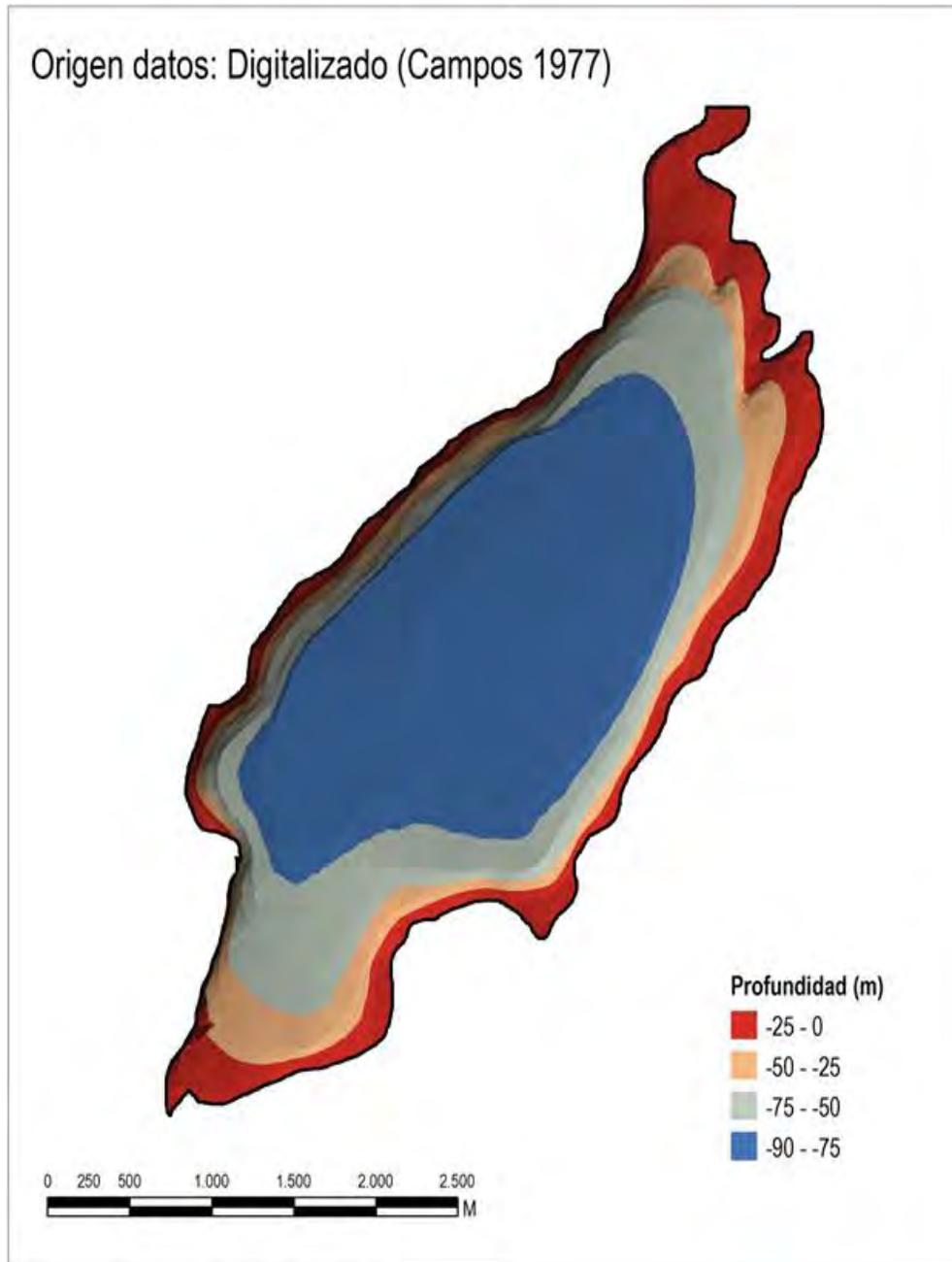


Figura 4.23. Batimetría lago Neltume

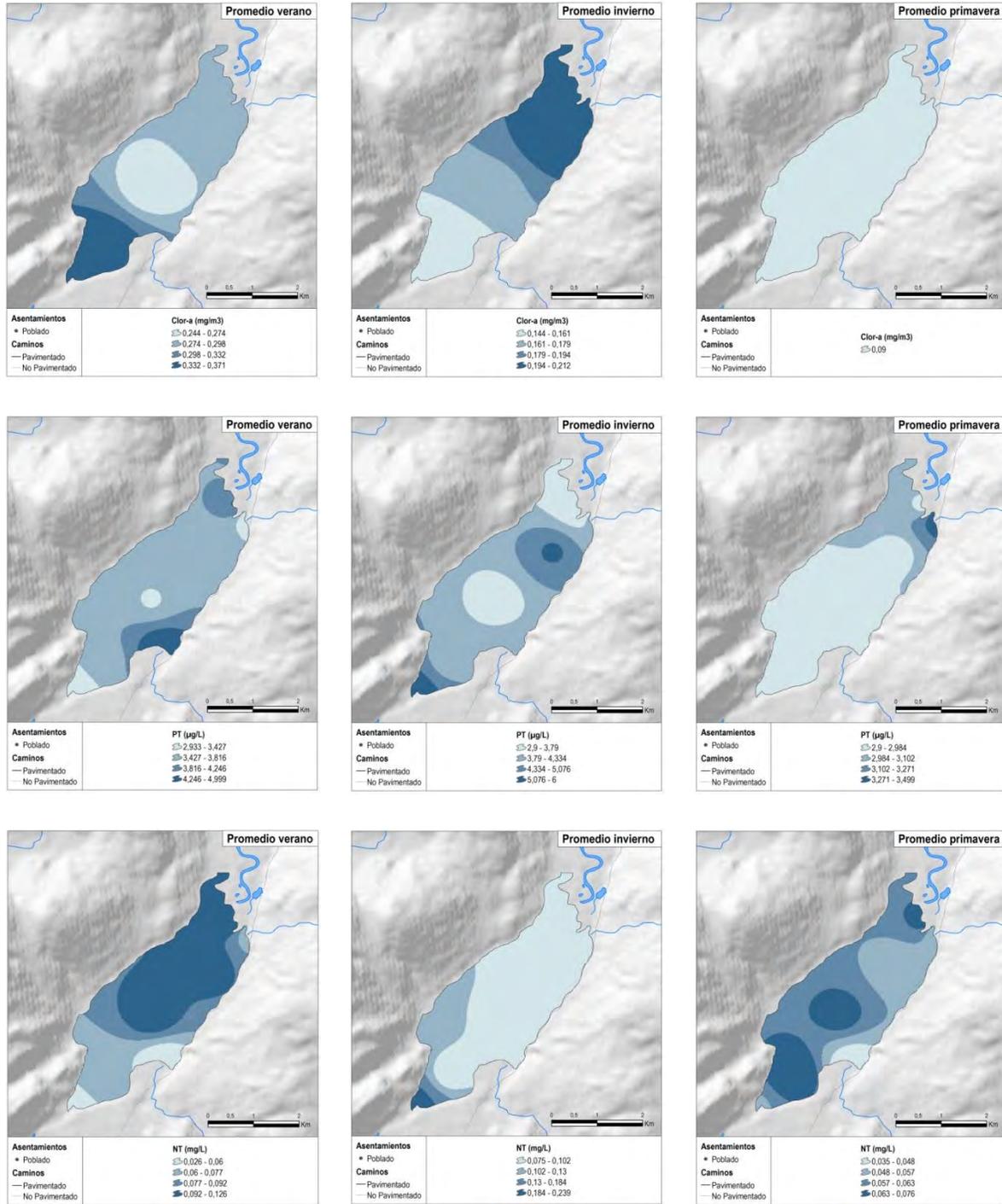


Figura 4.24. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Neltume durante el año 2015.

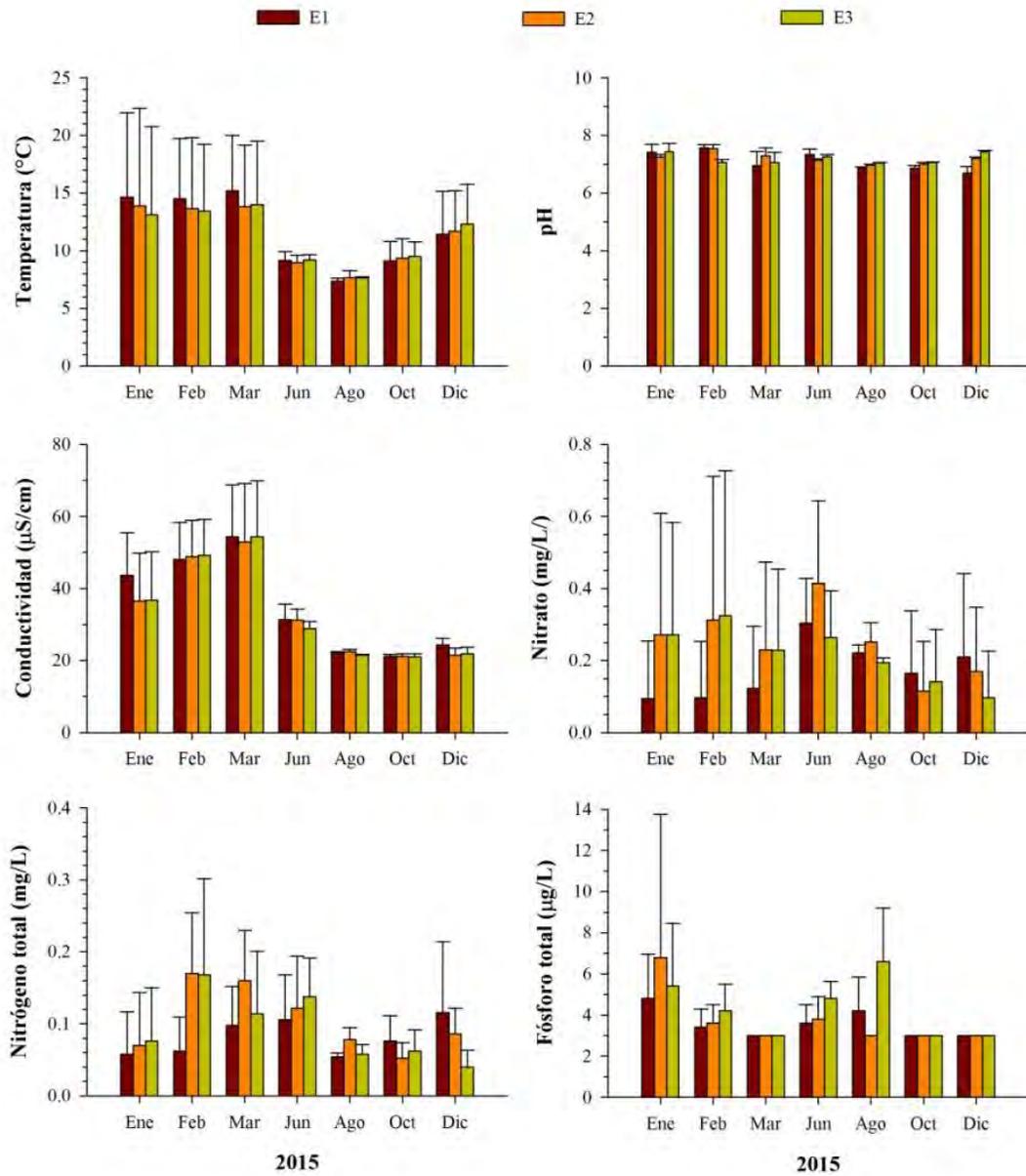


Figura 4.25. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.18. Valores promedio (x y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Neltume de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE
Enero	E1	13,1	7,6	36,8	13,5	5,4	3,0	7,4	0,3	0,27	0,31	5,4	3,0
	E2	13,9	8,5	36,6	13,2	6,8	6,9	7,2	0,1	0,27	0,34	6,8	6,9
	E3	14,7	7,3	43,7	11,8	4,8	2,2	7,4	0,3	0,09	0,16	4,8	2,2
Febrero	E1	13,4	5,8	49,2	9,9	4,2	1,3	7,1	0,1	0,32	0,40	4,2	1,3
	E2	13,7	6,1	48,8	10,1	3,6	0,9	7,5	0,1	0,31	0,40	3,6	0,9
	E3	14,5	5,2	48,1	10,2	3,4	0,9	7,6	0,1	0,10	0,16	3,4	0,9
Marzo	E1	14,0	5,5	54,4	15,5	3,0	0,0	7,1	0,4	0,23	0,22	3,0	0,0
	E2	13,8	5,4	52,9	16,3	3,0	0,0	7,3	0,3	0,23	0,24	3,0	0,0
	E3	15,2	4,8	54,4	14,4	3,0	0,0	7,0	0,5	0,12	0,17	3,0	0,0
Junio	E1	9,2	0,8	31,4	4,2	3,6	0,9	7,3	0,2	0,30	0,12	3,6	0,9
	E2	8,9	0,7	31,2	3,1	3,8	1,1	7,1	0,0	0,41	0,23	3,8	1,1
	E3	9,2	0,4	28,9	1,9	4,8	0,8	7,3	0,1	0,26	0,13	4,8	0,8
Agosto	E1	7,3	0,3	22,1	0,4	4,2	1,6	6,9	0,0	0,22	0,02	4,2	1,6
	E2	7,7	0,6	22,4	0,7	3,0	0,0	7,0	0,0	0,25	0,05	3,0	0,0
	E3	7,6	0,1	21,5	0,3	6,6	2,6	7,0	0,0	0,19	0,01	6,6	2,6
Octubre	E1	9,1	1,7	21,1	0,7	3,0	0,0	6,9	0,1	0,16	0,17	3,0	0,0
	E2	9,3	1,7	21,1	0,7	3,0	0,0	7,0	0,1	0,12	0,14	3,0	0,0
	E3	9,5	1,3	21,1	0,8	3,0	0,0	7,1	0,0	0,14	0,15	3,0	0,0
Diciembre	E1	11,4	3,8	24,3	1,9	3,0	0,0	6,8	0,1	0,21	0,23	3,0	0,0
	E2	11,7	3,5	21,5	2,0	3,0	0,0	7,2	0,0	0,17	0,18	3,0	0,0
	E3	12,3	3,5	21,8	1,8	3,0	0,0	7,4	0,1	0,10	0,13	3,0	0,0

- **Perfiles limnológicos**

Durante el periodo de estudio la temperatura del lago Neltume fluctuó entre 7 °C y 24°C, registrándose la mínima en agosto y la máxima en enero (Figura 4.26). Según el régimen térmico observado este lago se clasifica como monomíctico temperado, con estratificación térmica estival y con mezcla completa en invierno. La termoclina se ubica entre los 10 y los 30 metros de profundidad, con una amplitud de 13°C.

Los perfiles de concentración de oxígeno disuelto presentaron diferencias durante el periodo de muestreo observándose una tendencia a la disminución de las concentraciones alrededor de los 40 metros de profundidad entre los meses de Enero a Julio (Figura 4.26), alcanzando concentraciones menores a 5 mg/L. Este comportamiento está asociado a la estratificación térmica estival y al mayor consumo de oxígeno para la degradación del alto porcentaje de materia orgánica registrado en los sedimentos. La tendencia del perfil de oxígeno disuelto en Enero, Febrero y Marzo fue inversa a la de la temperatura, siendo característico de una distribución ortógrada. Durante los meses de Agosto, Octubre y Diciembre, las concentraciones fueron más estables fluctuando entre 6 y 11 mg O₂/L. En general, se observó que la mayor concentración de clorofila se presentó entre los 20 y 40 metros de profundidad, excepto en el mes de Junio, donde no se registraron variaciones a lo largo del perfil.

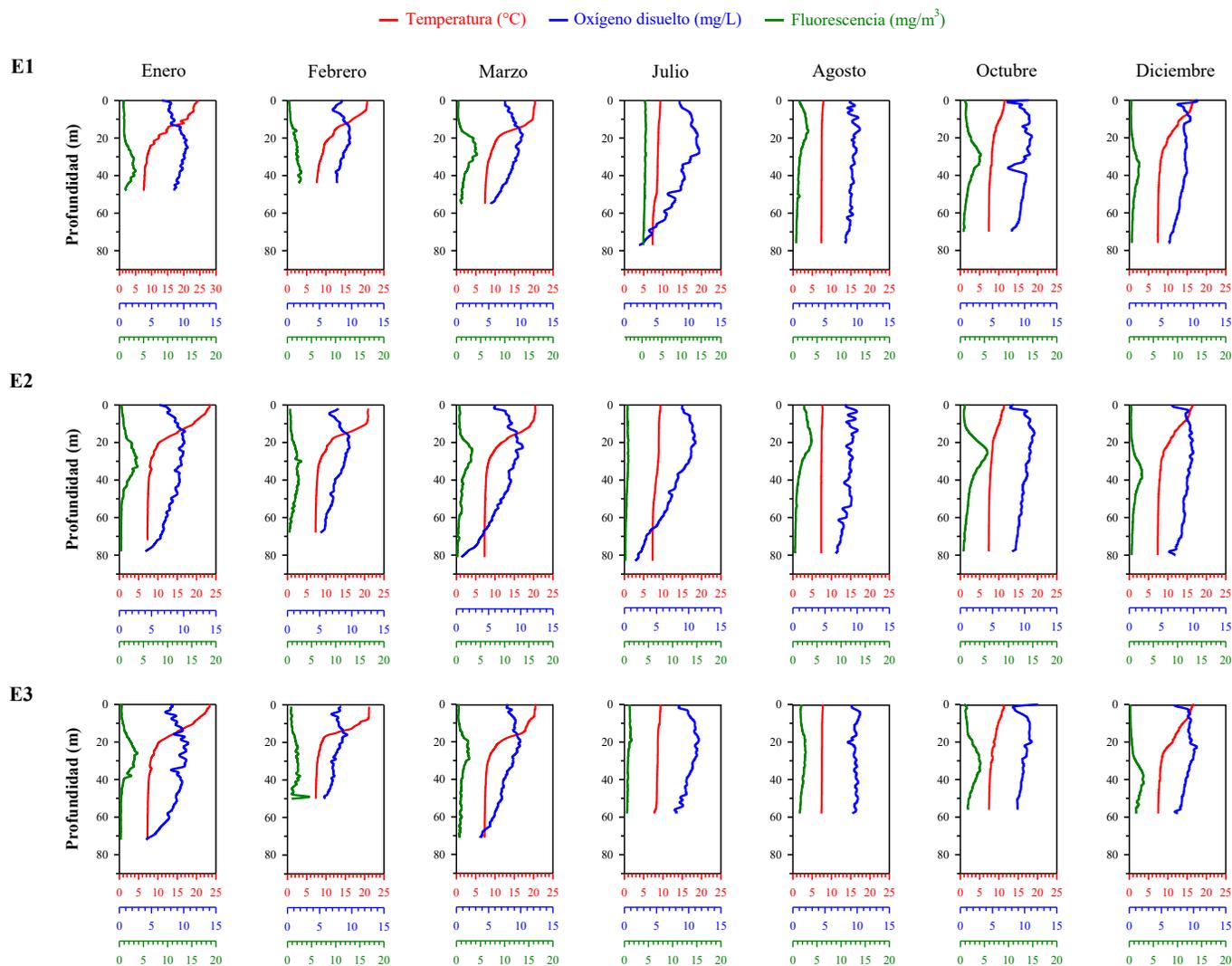


Figura 4.26. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Neltume durante el periodo de estudio (2015).

4.2.3 Fitoplancton

4.2.3.1 Composición específica y abundancia relativa.

La comunidad fitoplanctónica en el lago Neltume está compuesta por 11 clases diferentes (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae y Zygnematophyceae) en donde se registraron 108 taxones (Tabla 4.19). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 72 % de la abundancia de taxa en la comunidad, este grupo fue el más diverso con 66 taxa, seguido de las algas verdes Chlorophyceae y Zygnematophyceae con 13 y 7 taxa respectivamente. Los otros grupos estuvieron presentes con una muy baja abundancia (Figura 4.27).

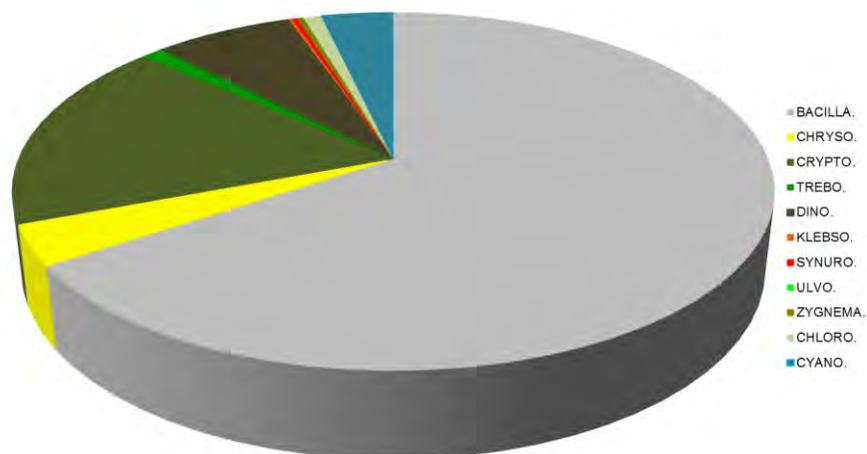


Figura 4.27. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Neltume. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

Tabla 4.19. Listado de especies presentes en el Lago Neltume.

Clase/Género/Especie	Clase/Género/Especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes aff hauckiana</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmermann
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Draparnaldia glomerata</i> (Vaucher) C.Agardh
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Komárková-Legnerová
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerová
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Oedogonium</i> sp.
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W.Smith	<i>Scenedesmus aff ovalternus</i> Brébisson
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Scenedesmus ecomis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Scenedesmus</i> sp.
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Diatoma</i> sp.	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	CYANOBACTERIA
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	<i>Dolichospermum aff constricta</i>
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Dolichospermum</i> sp.
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	DINOPHYCEAE
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	KLEBSORMIDIOPHYCEAE
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	SYNUROPHYCEAE
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	TREBOUXIOPHYCEAE
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komárek
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	<i>Dictyosphaerium erhenbergianum</i> Naegeli
<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	<i>Geminella</i> sp.
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	<i>Oocystis</i> sp.
<i>Melosira</i> sp.	ULVOPHYCEAE
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Ulothrix</i> sp.
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	ZYGNEMATOPHYCEAE
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Cosmarium</i> sp.
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	<i>Mougeotia</i> sp.
<i>Navicula rhychocephala</i> Kützing	<i>Pleurotaenium</i> sp.
<i>Navicula</i> sp.	<i>Sphaerosozoma aubertianum</i> W. West
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<i>Spirogyra</i> sp.
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	<i>Staurastrum punctulatum</i> Brébisson
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	
<i>Nitzschia</i> sp.	
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	
<i>Pinnularia aff substomatophora</i> Hustedt	
<i>Pinnularia</i> sp.	
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	
<i>Surirella</i> sp.	
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	

4.2.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

La comunidad presentó una diversidad (H' loge) de 2,8 y una equidad de $J' = 0,6$. La dominancia ($\lambda = 0,9$) indicó que en la comunidad predominan 4 especies; las diatomeas *A. granulata*, *R. lacustris* y *F. crotonensis*. Espacialmente, la estructura de la comunidad fue similar entre los sitios E1, E2 y E3, predominando las diatomeas, las criptofíceas y crisofíceas (Figura 3.29), los índices comunitarios de abundancia ($H_{Kruskal Wallis} = 2,6$; $p > 0,05$), riqueza ($H_{Kruskal Wallis} = 0,2$; $p > 0,05$) y diversidad (H' loge) ($H_{Kruskal Wallis} = 0,1$; $p > 0,05$), no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios muestreados (Tabla 4.20).

Tabla 4.20. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Neltume por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J' =índice de Pielou's, H' (loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera

Estación	S	N	d	J'	H' (loge)	λ
E1V	70	3.647.448	5,7	0,5	2,3	0,8
E1I	37	1.190.322	3,3	0,6	2,3	0,8
E1O	18	111.277	2	0,8	2,3	0,8
E1P	43	2.688.829	3,6	0,6	2,4	0,8
E2V	51	2.048.191	4,4	0,5	2,1	0,8
E2I	36	454.596	3,5	0,8	2,8	0,9
E2O	22	98.188	2,5	0,8	2,4	0,9
E2P	43	3.152.886	3,5	0,5	1,9	0,7
E3V	65	2.688.961	5,5	0,5	2,3	0,8
E3I	33	375.000	3,3	0,7	2,6	0,9
E3O	27	134.657	3	0,7	2,2	0,8
E3P	52	4.436.606	4,2	0,6	2,4	0,8

La mayor densidad de células fitoplanctónicas fue registrada durante verano y primavera, en otoño-invierno la abundancia de microalgas fue menor (Figura 4.29), estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($H_{Kruskal Wallis} = 9,4$; $p < 0,05$). En enero *A. granulata* alcanzó una máxima abundancia de 439.813 cél l^{-1} en la E1 a 10 m de profundidad (ver Anexo 2).

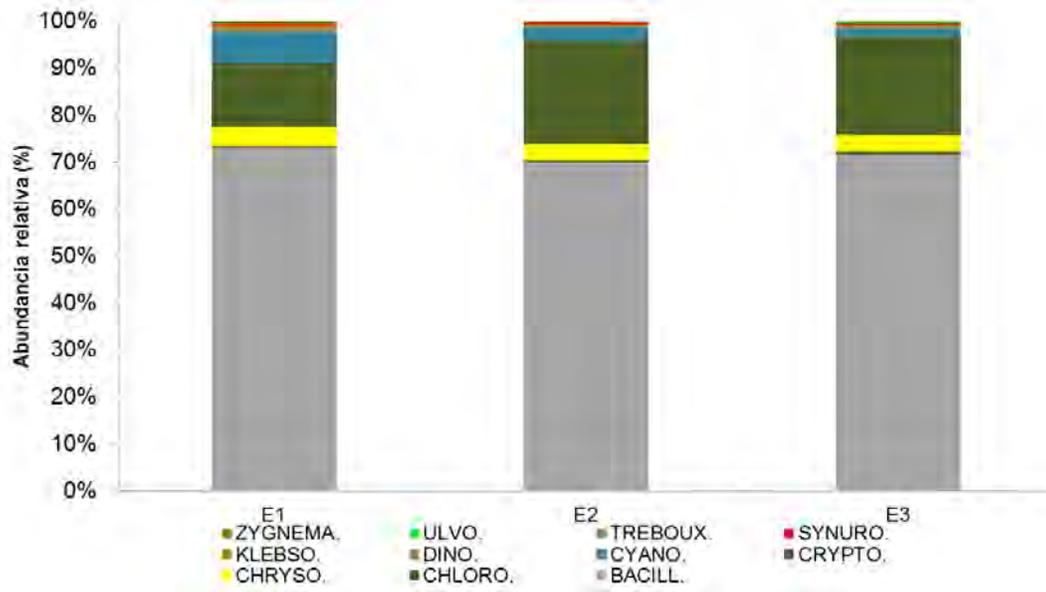


Figura 4.28. Abundancia relativa de clases de microalgas en Neltume, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

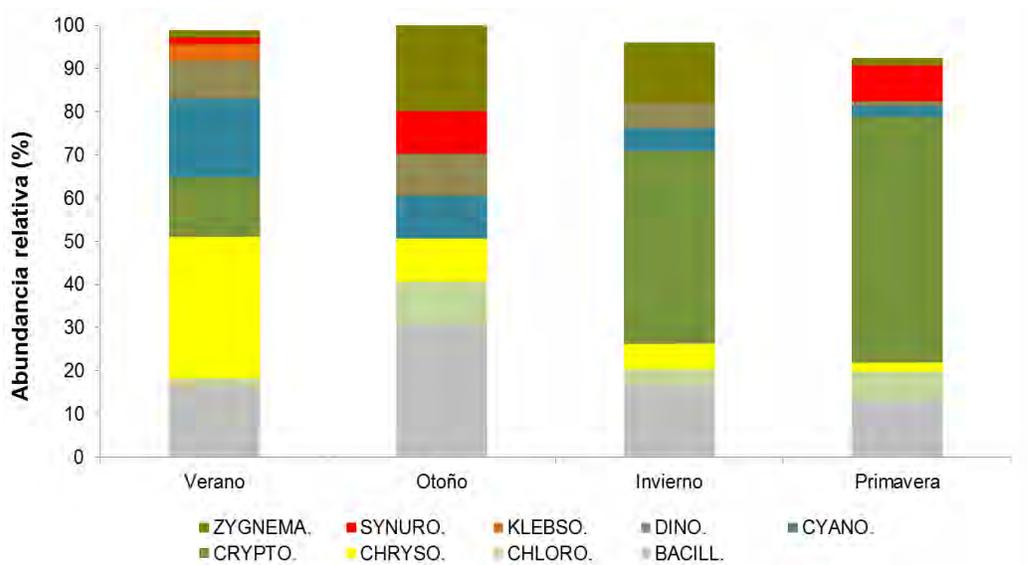


Figura 4.29. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Neltume, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

La mayor abundancia de células, diversidad (d) y riqueza se registró entre los 0 y 10 m de profundidad, se presentó en la superficie del lago (Tabla 4.21). Las diatomeas fueron abundantes en todos los estratos de profundidad (Figura 4.30).

Tabla 4.21. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Neltume. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.

Estrato	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	79	3.571.881	6,5	0,6	2,7	0,8
10	73	4.931.767	5,9	0,6	2,7	0,9
20	47	2.029.336	4	0,6	2,5	0,9
30	64	4.882.563	5,1	0,5	2,3	0,8
50	65	4.115.331	5,3	0,6	2,5	0,9
70	43	1.095.229	3,9	0,7	2,7	0,9
80	34	400.848	3,4	0,5	1,7	0,6

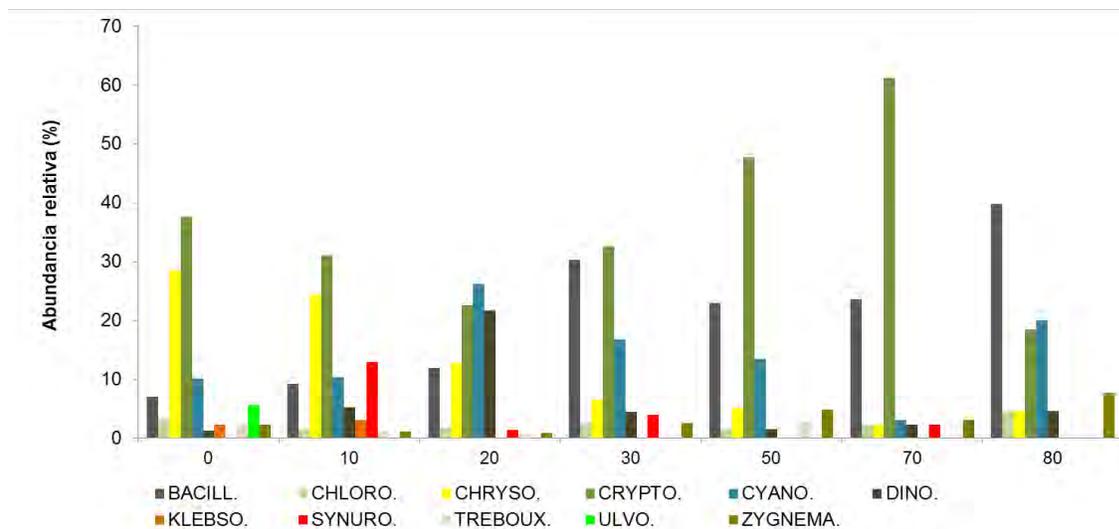


Figura 4.30. Número de células de clases de microalgas en Neltume, por los estratos de profundidad. BACILL.: Bacillariophyceae, CHLORO.: Chlorophyceae, CHRYSO.: Chrysophyceae, CRYPTO.: Cryptophyceae, CYANO.: Cyanobacteria, DINO.: Dinophyceae, KLEBSO.: Klebsormidiophyceae, SYNURO.: Synurophyceae, ULVO.: Ulvophyceae, TREBOUX.: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA.: Zygnematophyceae.

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 50 % de similitud se diferencian dos grupos; un grupo formado por los sitios muestreados en la estación de otoño, en donde se presentó la menor abundancia y riqueza de taxa y otro con los sitios en el resto de las estaciones del año (Figura 4.31a y Figura 4.31b).

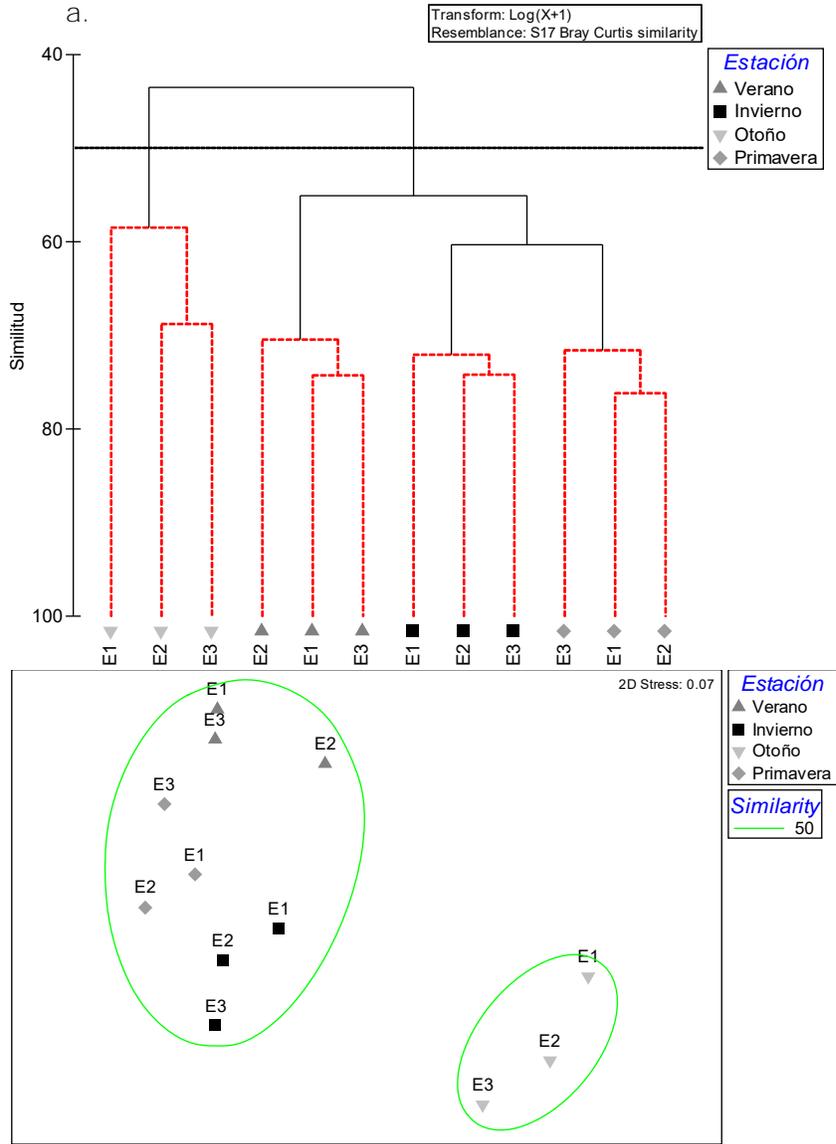


Figura 4.31a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Neltume. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.31b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Neltume.

4.2.3.3 Especies más abundantes

En la Figura 4.32 se muestran las especies más abundantes del lago Neltume, las que representaron el 79 % de la abundancia total de microalgas en el lago en el ciclo anual. Principalmente, diatomeas *A. granulata*, *F. crotonensis* y *Gomphonema dichotomum* Kützing y la criptofíceas *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner fueron las especies más importantes en términos de abundancia de todo el período de estudio.

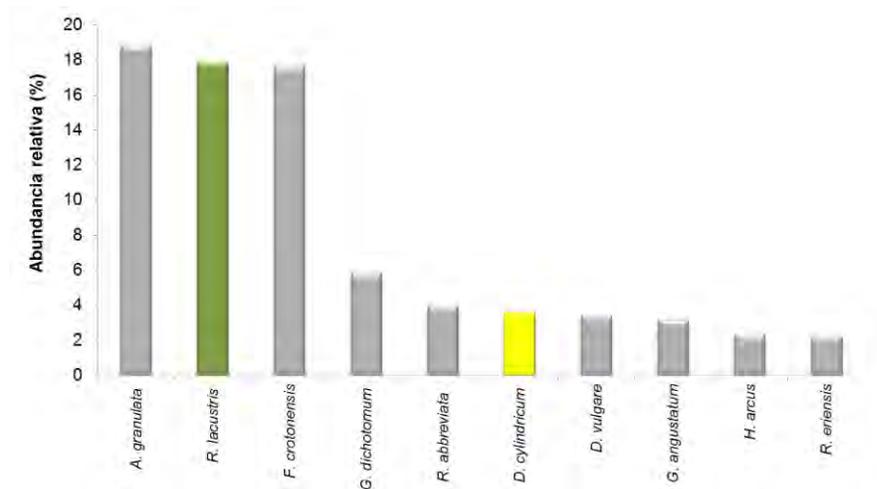


Figura 4.32. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

Las diatomeas *A. granulata* y *F. crotonensis*, fueron abundantes en verano y primavera en los tres sitios de muestreo (Figura 4.33). Mientras que *G. dichotomum* fue abundante en invierno (Tabla 4.22). *R. lacustris* alcanzó la máxima abundancia de 535.415 cél l⁻¹ en el mes de octubre sitio E3.

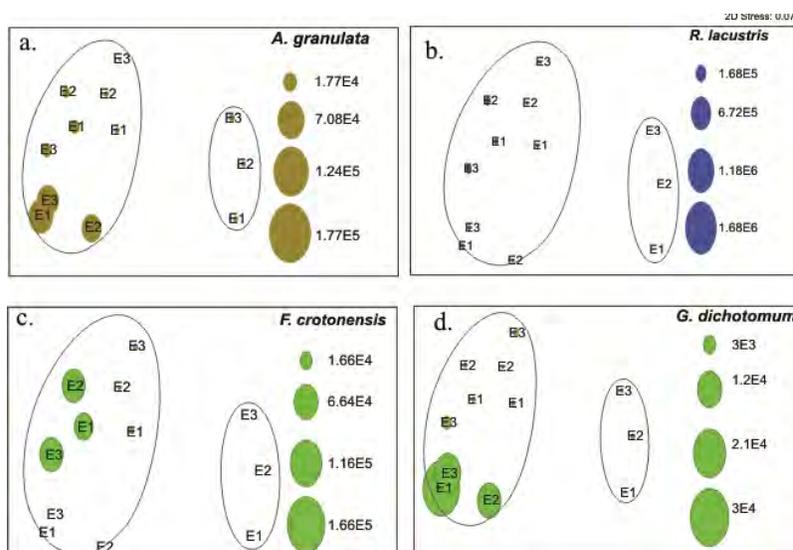


Figura 4.33. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 4 especies más abundantes en el lago Neltume a. *A. granulata*, b. *R. lacustris*, c. *F. crotonensis*, d. *G. dichotomum*.

4.2.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Con respecto a los estudios realizados por Campos et al. (2000) y la DGA en 2013, las diatomeas siguen siendo el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica en el lago Neltume (50% de los taxa reportados correspondieron a diatomeas en 1998-1999 y 76% en el 2013). Con respecto a los años anteriores se reporta un mayor número de taxa en la comunidad, lo que puede ser explicado por un mayor esfuerzo de muestreo. En el año 2013 se reportó una mayor abundancia de células y una menor riqueza de taxa, también se reportan como las especies abundantes la cianobacteria *Dolichospermum spp.*, el dinoflagelado *C. hirundinella*, y la diatomea *A. granulata*, a excepción de esta última, las otras especies no se registran como abundantes en el actual estudio.

Tabla 4.22. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos. Número de taxa reportados por clase.

Clase	1998-1999	2013	2015
Bacillariophyceae	26	18	67
Chlorophyceae	14	5	28
Dinophyceae	4	3	3
Chrysophyceae	3	3	3
Cryptophyceae	2		4
Cyanobacteria	3	1	3
Euglenophyceae		1	
Riqueza	52	31	108
Abundancia máx. (n. cél l ⁻¹)	391.96	171.948	316.692
Diversidad(H')		1,7	2,4
Especies más abundantes	<i>A. granulata</i> , <i>S. schroeteri</i> , <i>D. divergens</i> , <i>R. eriensis</i> , <i>M. distans</i>	<i>Dolichospermum spp.</i> , <i>C. hirundinella</i> , <i>A. granulata</i> , <i>Gomphonema spp.</i> , <i>Zygnema spp.</i>	<i>A. granulata</i> , <i>R. lacustris</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>G. dichotomum</i> , <i>R. abbreviata</i>
Referencia	Campos et al. (2000)	DGA	Centro EULA

4.2.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 28% de la variabilidad de los datos, la temperatura y el fósforo total se relacionan con varios grupos de microalgas como los dinoflagelados, algas verdes, cianobacterias y crisofíceas, las que son abundantes durante los meses de verano (Figura 4.33).

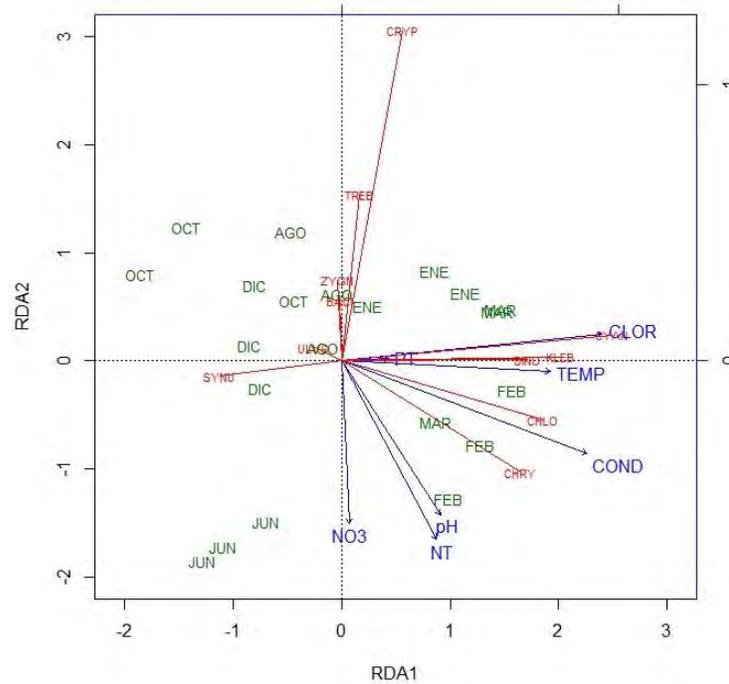


Figura 4.34. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia.

4.2.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios

Los resultados de la comunidad fitoplanctónica asociados a los ríos afluentes (Huenchulafquen, Cua Cua y Chan Chan) y a los efluentes (río Neltume) del lago se muestran en la Tabla 4.23. Las diatomeas constituyeron el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, principalmente *R. abbreviata* en los afluentes y en el efluente *A. granulata*, *Rhizosolenia eriensis* H. L. Smith y *Fragilaria* sp. (Figura 4.35).

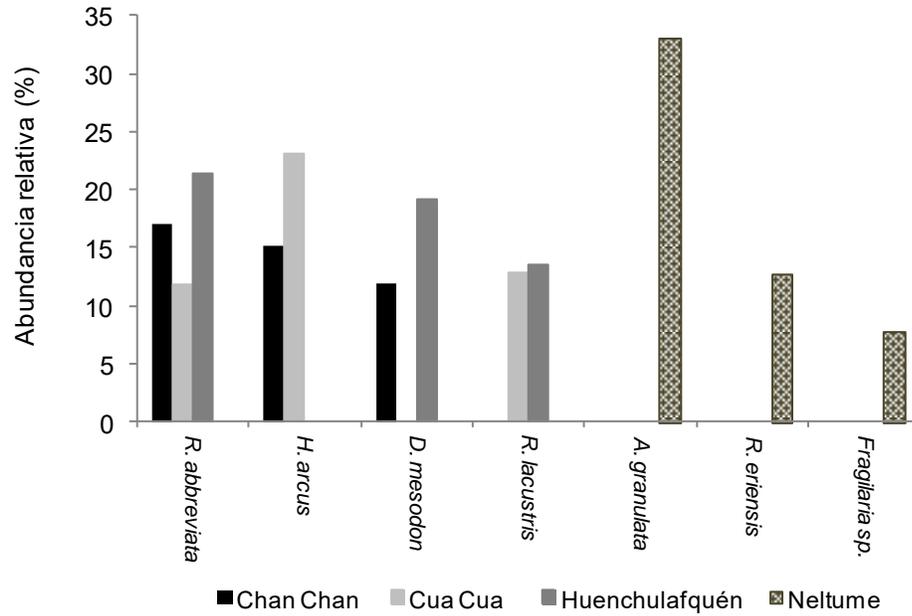


Figura 4.35. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Neltume.

El río Chan Chan, afluente del lago, presentó la mayor riqueza de taxa (55 de 7 clases diferentes) (ver Anexo 2). La menor riqueza se reportó en el río Huenchulafquén (43 de 4 clases). El efluente, Neltume, presentó 53 taxones de 8 clases y registró una diversidad de 2,6, la dominancia de taxa fue similar para todos los ríos (Tabla 4.24).

Tabla 4.23. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Neltume.

Taxa	Afluente			Efluente
	Chan Chan	Cua Cua	Huenchulafquén	Neltume
BACILLARIOPHYCEAE	+	+	+	+
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow			+	
<i>Achnanthes</i> sp.	+		+	+
<i>Amphora</i> sp.	+	+		
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	+	+		+
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+		+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing		+		
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson				+
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	+	+	+	
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) O.Kirchner			+	
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	+	+	+	+
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	+	+		+
<i>Cymbella</i> sp.	+			
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck		+		
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+	+	+
<i>Diatoma</i> sp.			+	
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+		+	
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Schmidt	+			
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	+		+	
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson		+		+
<i>Epithemia zebra</i>				+
<i>Eunotia</i> sp.	+			
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	+	+	+	+
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	+	+		+
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+	+	+	+
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+	+	+	+
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+	+	+	
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs		+		
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	+	+	+	+
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	+	+	+	
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	+		+	+
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	+	+	+	+
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	+			+
<i>Gomphonema</i> sp.	+	+	+	+
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg		+		+
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey			+	
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	+	+	+	+
<i>Melosira</i> sp.	+	+	+	
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	+	+	+	+
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	+		+	+
<i>Navicula aff mutica</i> Kützing	+			
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing			+	+
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing		+		
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	+	+	+	
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	+			
<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith		+	+	
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	+			
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	+	+	+	+
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith				+
<i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt		+		+
<i>Nitzschia substratooides</i> Cholnoky	+			
<i>Pinnularia</i> sp.		+		
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith				+
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias				+
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	+			+
<i>Surirella</i> sp.	+			
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory				+
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+	+	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	+		+	+

Tabla 3.23. Continúa. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Neltume.

Taxa	Afluente			Efluente
	Chan Chan	Cua Cua	Huenchulafquén	Neltume
CHLOROPHYCEAE				
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmermann			+	
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+			
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg				+
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius				+
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	+			
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson			+	
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat				+
CHRYSOPHYCEAE				
<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	+			+
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	+	+	+	+
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja				+
CYANOBACTERIA				
<i>Dolichospermum aff constricta</i>		+		
<i>Dolichospermum</i> sp.	+	+		+
<i>Oscillatoria</i> sp.	+			
<i>Pseudoanabaena</i> sp.		+		
DINOPHYCEAE				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+	+		+
<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas	+			
KLEBSORMIDIOPHYCEAE				
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille				+
TREBOUXIOPHYCEAE				
<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komárek	+			
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood		+		
ZYGNEMATOPHYCEAE				
<i>Closterium acutum</i> Brébisson			+	+
<i>Closterium parvulum</i> Naegeli			+	
<i>Mougeotia</i> sp.				+
<i>Spirogyra</i> sp.		+		
<i>Staurodesmus lobatus</i> (Børgesen) Bourrelly		+		
<i>Zygnema</i> sp.				+

Tabla 4.24. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Neltume.

Clase	Afluente			Efluente
	Huenschulafquén	Cua Cua	Chan Chan	Neltume
Bacillariophyceae	36	39	44	39
Chlorophyceae	2	0	2	3
Klebsormidiophyceae	0	0	0	1
Trebouxiophyceae	0	1	1	0
Ulvophyceae	0	0	0	0
Zygnematophyceae	2	2	0	3
Chrysophyceae	0	0	1	1
Synurophyceae	0	0	0	0
Cryptophyceae	3	3	3	4
Cyanobacteria	0	3	2	1
Dinophyceae	0	1	2	1
Riqueza (S)	43	49	55	53
Diversidad Shannon H'(loge)	2,6	2,9	2,9	2,6
Índice de dominancia (1-Lambda)	0,9	0,9	0,9	0,9
Uniformidad de Pielou (J')	0,7	0,7	0,7	0,7

4.2.3.7 Especies invasoras

La presencia del dinoflagelado invasor *C. hirundinella* fue reportada por primera vez en el lago por Campos et al. (2000), durante el 2013 el dinoflagelado alcanzó una abundancia máxima de 152.441 cél l⁻¹, la que disminuyó a 104.105 cél l⁻¹ durante el presente estudio. En los ríos Neltume, Cua Cua y Chan Chan esta especie también fue encontrada en muy baja abundancia (1.246 cél l⁻¹, 3.718 cél l⁻¹ y 1.850 cél l⁻¹ respectivamente).

De igual forma, la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt fue reportada durante las campañas de febrero y marzo en el río Chan Chan con una abundancia máxima de 11.155 cél l⁻¹.

4.2.4 Calidad del agua tributarios

La variabilidad de los parámetros de calidad de agua monitoreados durante los meses de estudio en los afluentes (estero Huechulafquén, río Cua Cua y río Chan Chan) y efluente (río Neltume) se muestran en la Figura 4.36. La temperatura mostró una clara estacionalidad en todos los cuerpos de agua analizados, con altos valores en verano,

decrecimiento en otoño e invierno, y una tendencia al incremento durante primavera. Esta tendencia siempre registró los mayores valores en el efluente. En promedio se registraron temperaturas de $11,11 \pm 3,93$ °C, $13,30 \pm 4,98$ °C y $11,93 \pm 4,36$ °C para Huechulafquén, Cua Cua y Chan Chan, respectivamente, mientras que Neltume registró una media de $15,49 \pm 5,88$ °C. La máxima temperatura se registró durante enero en el río Neltume ($21,80$ °C), en tanto la mínima fue de $6,10$ °C en agosto y la registró el estero Huechulafquén. La conductividad, mostró una tendencia similar, no obstante los valores más altos siempre se registraron en los afluentes durante todos los monitoreos. El estero Huechulafquén fue el que presentó los niveles más altos de este parámetro, en la mayoría de los meses monitoreados, con un valor medio de $62,63$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, por el contrario, el río Neltume registró los niveles más bajos con una media de $44,06$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. En tanto, el pH reportó niveles medios que fluctuaron entre $6,95 \pm$ (río Cua Cua) y $7,24 \pm$ (río Chan Chan), lo que demuestra que anualmente los afluentes como el efluente se mantienen alrededor de la condición neutra.

En relación a los nutrientes, se observa que el fósforo total en gran parte de los meses y **sitios de muestreo registró concentraciones ≤ 3 $\mu\text{g}/\text{L}$. En promedio los valores fluctuaron** entre $3,43 \pm 0,79$ $\mu\text{g}/\text{L}$ (estero Huechulafquén) y $4,14 \pm 1,07$ $\mu\text{g}/\text{L}$ río Chan Chan). No obstante también se observaron varios *peak*, pero estos no superaron los 6 $\mu\text{g}/\text{L}$. Un comportamiento similar se observó en las concentraciones de nitrógeno total, ya que durante la campaña anual los valores fueron casi siempre inferiores a $0,1$ mg/L . La media mínima fue de $0,044 \pm 0,03$ mg/L (río Chan Chan), mientras que la media máxima fue $0,11 \pm 0,14$ mg/L y la registró el río Neltume. Finalmente, los nitratos mostraron valores bajos en verano y altos en época de invierno, sin embargo, las concentraciones medias de este parámetro no superaron los $0,1$ mg/L en todos los cuerpos de agua monitoreados.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Neltume.

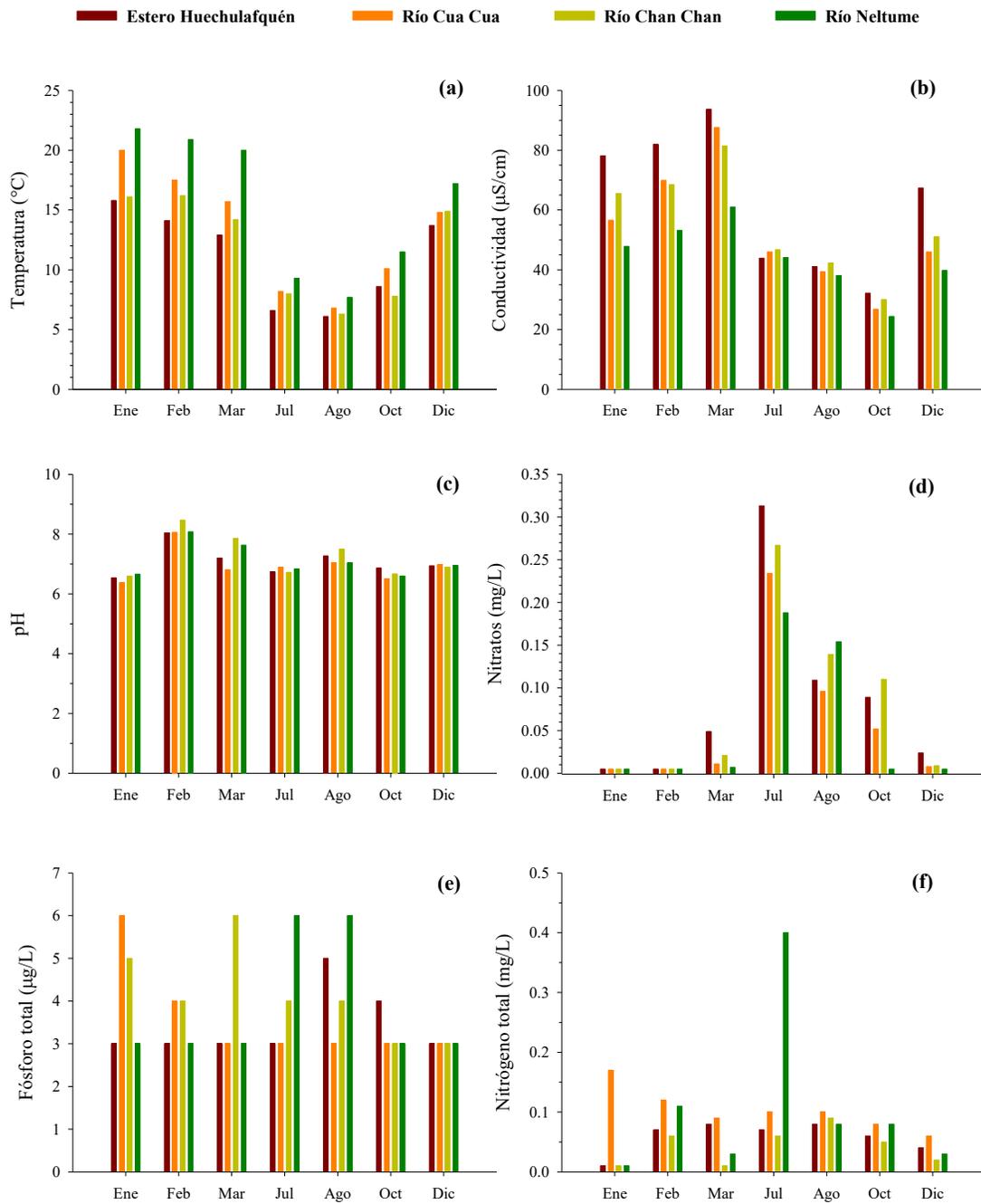


Figura 4.36. Parámetros de calidad de agua medidos durante el año 2015, en los afluentes (Estero Huechulafquén, río Cua Cua y Chan Chan) y efluente (río Neltume) del Lago Neltume. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total

4.2.5 Caudales

La Figura 4.37 muestra las fluctuaciones de caudal de todos los cauces monitoreados. En ella se observa una tendencia estacional con bajos valores en verano y altos en invierno. La fluctuación media de los afluentes fue de $0,25 \pm 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$, $52,66 \pm 60,09 \text{ m}^3/\text{s}$ y $5,75 \pm 6,92 \text{ m}^3/\text{s}$ en el estero Huechulafquén, ríos Cua Cua y Chan Chan, respectivamente. En tanto el efluente registró una media de $85,40 \pm 92,38 \text{ m}^3/\text{s}$. El sistema lótico que más flujo de agua aporta al lago Neltume es el río Cua Cua.

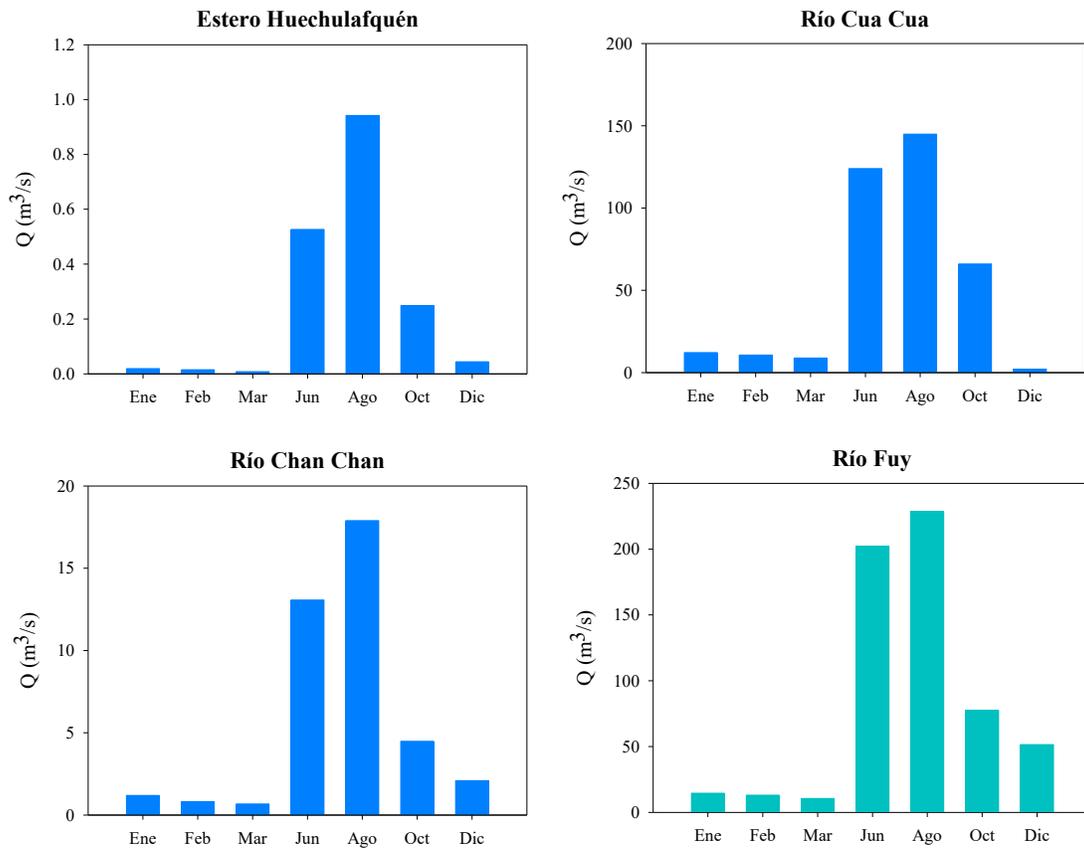


Figura 4.37. Hidrograma del estero Huenchulafquén y los ríos Cua Cua, Chan Chan y Neltume medidos durante el año 2015. En azul se muestran los afluentes y en celeste el efluente del Lago Neltume.

4.2.6 Estado trófico

La evaluación histórica del estado trófico mediante el índice de Carlson mostró diferencias en la condición trófica del lago (Figura 4.38). En general, el índice de fósforo (TSI Pt) clasificó a este cuerpo lacustre como mesotrófico, mientras que los niveles de clorofila a (TSI Clor a) y transparencia (TSI Ds) lo clasificaron como oligotrófico. Sin embargo, durante el año 2015 se determinó que el lago se encuentra en un estado de oligotrofia, según el TSI Pt, Clor a y Ds.

Paralelamente, el estado trófico determinado a través de la clasificación de la OCDE (1982), clasificó a este sistema lacustre como oligotrófico de acuerdo al nivel promedio de transparencia, mientras que la concentración media de clorofila a y fósforo total lo catalogan como un lago ultraoligotrófico (Tabla 4.25Figura 4.39).

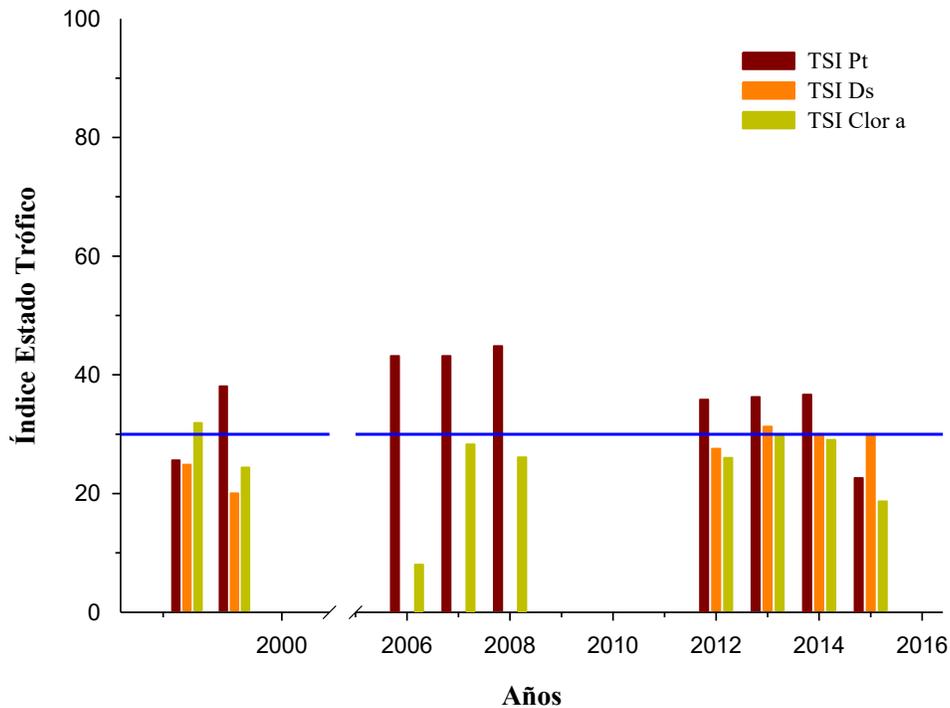


Figura 4.38. Variación temporal del estado trófico del Lago Neltume.

Tabla 4.25. Estado trófico del lago Neltume según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	3,9	Ultraoligotrófico
Transparencia (m)	8,4	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,2	Ultraoligotrófico

4.2.7 Balance de nutrientes

4.2.7.1 Balance hídrico

La Figura 4.39(a) compara el cambio de almacenamiento estimado (ΔS) para el periodo de simulación con los cambios de volumen (ΔV) del lago Neltume. Se observó que los cambios de volumen oscilaron en torno a cero, lo que es considerado un estado normal en la dinámica de un lago. Del mismo modo, los cambios de flujo neto mostraron un buen comportamiento (cercano a cero), debido a la presencia de estaciones fluviométricas y meteorológicas en el principal flujo de entrada al lago, permitiendo una mejor estimación del balance hídrico. En tanto, la Figura 4.39(b) muestra que la anomalía estandarizada del volumen y almacenamiento covarían de manera positiva.

Por otro lado, al comparar los distintos flujos que se incluyen en el balance hídrico se puede observar que el almacenamiento (ΔS) es dominado por el principal afluente (río Cua Cua) y por el caudal de salida (río Neltume) (Figura 4.40), lo que indica un comportamiento normal del balance hídrico. El caudal secundario corresponde al río Chan Chan (Tabla 4.26).

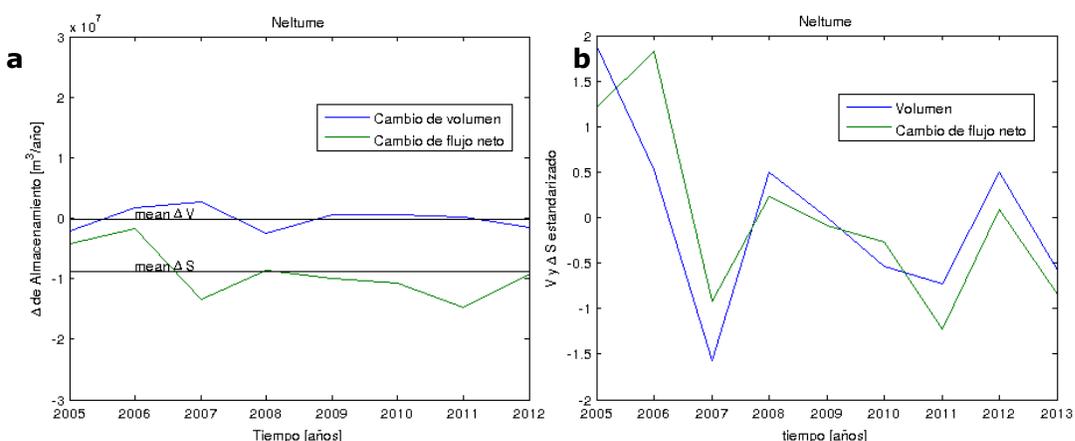


Figura 4.39a. Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.39b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

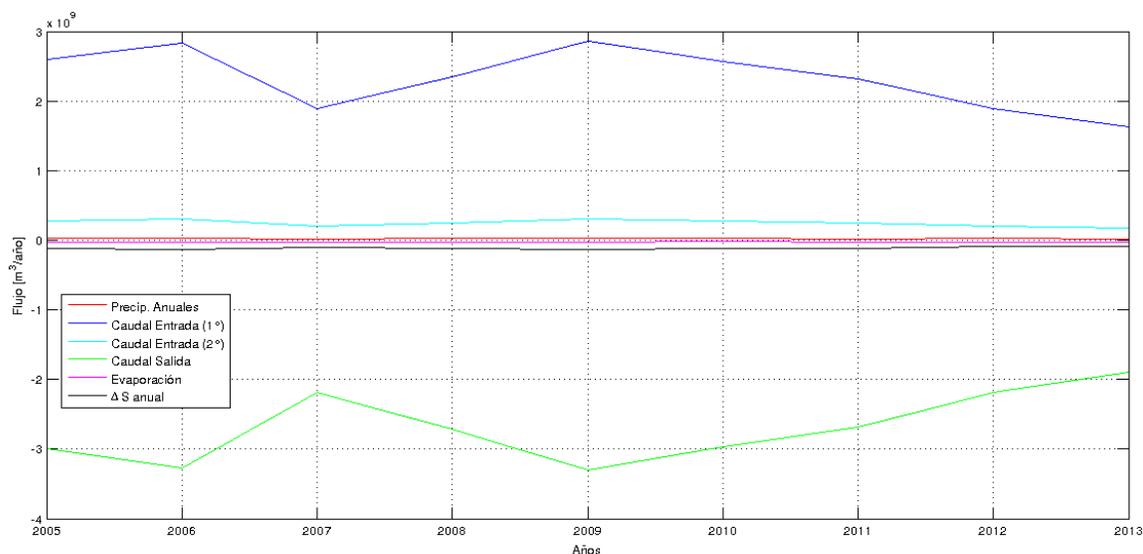


Figura 4.40. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.26. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación ($\text{m}^3/\text{año}$) $\times 10^6$	Caudal entrada 1° ($\text{m}^3/\text{año}$) $\times 10^6$	Caudal entrada 2° ($\text{m}^3/\text{año}$) $\times 10^6$	Caudal salida ($\text{m}^3/\text{año}$) $\times 10^6$	Evaporación ($\text{m}^3/\text{año}$) $\times 10^6$
2005	30	2589	279	2995	24
2006	33	2834	306	3278	23
2007	18	1890	204	2186	24
2008	26	2346	253	2714	25
2009	26	2858	308	3307	24
2010	21	2562	276	2963	22
2011	19	2320	250	2684	24
2012	22	1887	204	2183	24
2013	18	1631	176	1887	25

• Escorrentía

La Tabla 4.27 muestra los resultados de la estimación de escorrentía, precipitación y volumen del lago Neltume para el periodo simulación (2006-2013). En ella se observó que la precipitación mensual osciló entre 43 mm (diciembre de 2007) y 729 mm (agosto de 2008). En tanto, el volumen no presentó marcadas diferencias, manteniéndose relativamente estable a lo largo de los meses. Finalmente, la relación escorrentía/precipitación indicó que en promedio más del 60% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago.

Tabla 4.27. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Neltume (2005 – 2013).

Periodo		Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/mes)	Escorrentía (mm/mes)
2006	dic	591	168,8	127,4
2007	abr	588	251,2	207,4
	jul	601	354,4	309,0
	oct	596	177,4	135,7
	dic	589	43,2	15,9
2008	abr	586	128,5	89,3
	ago	633	729,2	681,6
2012	nov	588	44,5	16,4
2013	mar	585	49,3	19,9
	may	609	330,9	284,5
	oct	588	58,1	26,6

4.2.7.2 Cargas puntuales y difusas

- **Fuentes Puntuales**

Luego de la revisión de la información obtenida desde los distintos servicios ambientales y sanitarios, se determinó que existen dos fuentes puntuales que descargan en la cuenca del lago. Estas corresponden a la piscicultura Liquiñe y río Paimún, como se observa en la Figura 3.41, ambas están ubicadas en los afluentes al lago Neltume. No obstante, las cargas de nutrientes provenientes de dichas pisciculturas no fueron consideradas en el balance final, ya que no ingresan directamente al lago. Los detalles de su localización se muestran en la siguiente Tabla 4.28.

Tabla 4.28. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).

Nombre	Punto de descarga	Comuna	Este	Norte
Piscicultura Liquiñe	Río Reyehueico	Panguipulli	5601442	767085
Piscicultura Río Paimún	Río Paimún	Panguipulli	5598026	777481

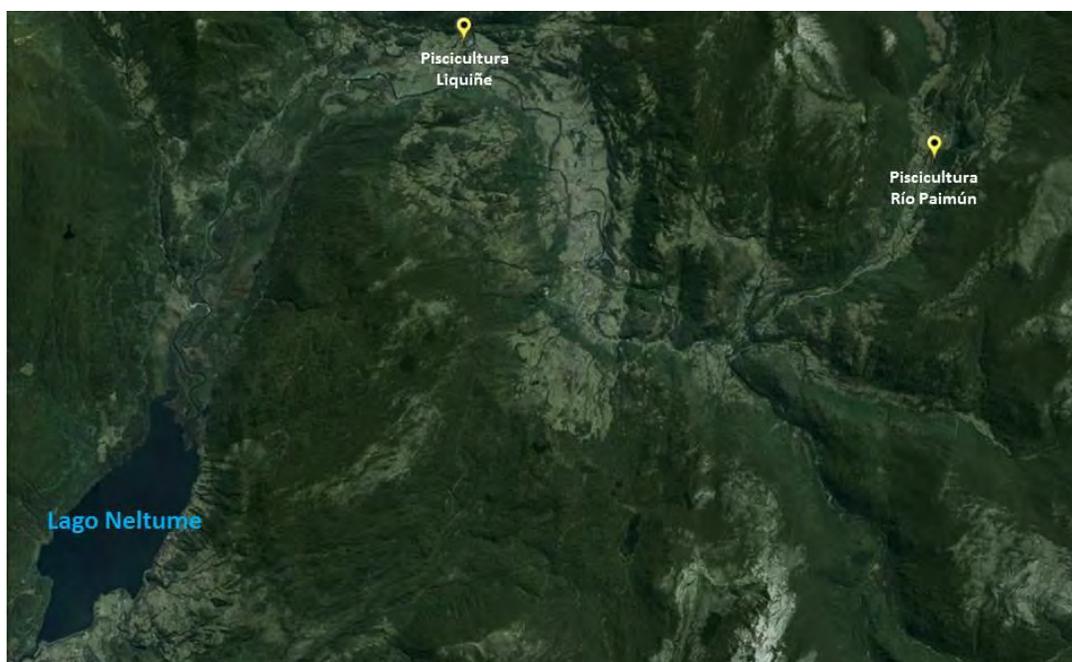


Figura 4.41. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en la cuenca del lago Neltume.

• Fuentes Difusas

Las cargas difusas de fósforo y nitrógeno estimadas para el lago Neltume, a diferencia de los otros lagos en estudio, se realizó para los meses en donde se midieron nutrientes en el periodo de simulación (2006-2013) y se muestran en la Tabla 4.29. En ella es posible observar que los mayores ingresos de nitrógeno y fósforo se registraron en agosto del año 2008, lo que está relacionado con un incremento de las precipitaciones en ese mes (ver Tabla 4.29).

Las principales cargas según uso de suelo, tanto de fósforo como nitrógeno provinieron del bosque nativo y matorral (Figura 4.42a y Figura 4.42b). En el caso del fósforo, los terrenos sin vegetación también son considerados importantes, a pesar que sólo ocupan una pequeña superficie de de la cuenca (4,1%), (ver usos de suelo).

Tabla 4.29. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/mes) estimadas para el lago Neltume.

	2006	2007				2008		2012	2013		
	dic	abr	jul	oct	dic	abr	ago	nov	mar	may	oct
Carga fósforo (Ton/mes)	1,5	2,5	3,7	1,6	0,2	1,1	8,3	0,2	0,2	3,2	0,3
Carga nitrógeno (Ton/mes)	13,0	21,2	31,6	13,9	1,6	9,1	69,8	1,6	2,0	28,1	2,6

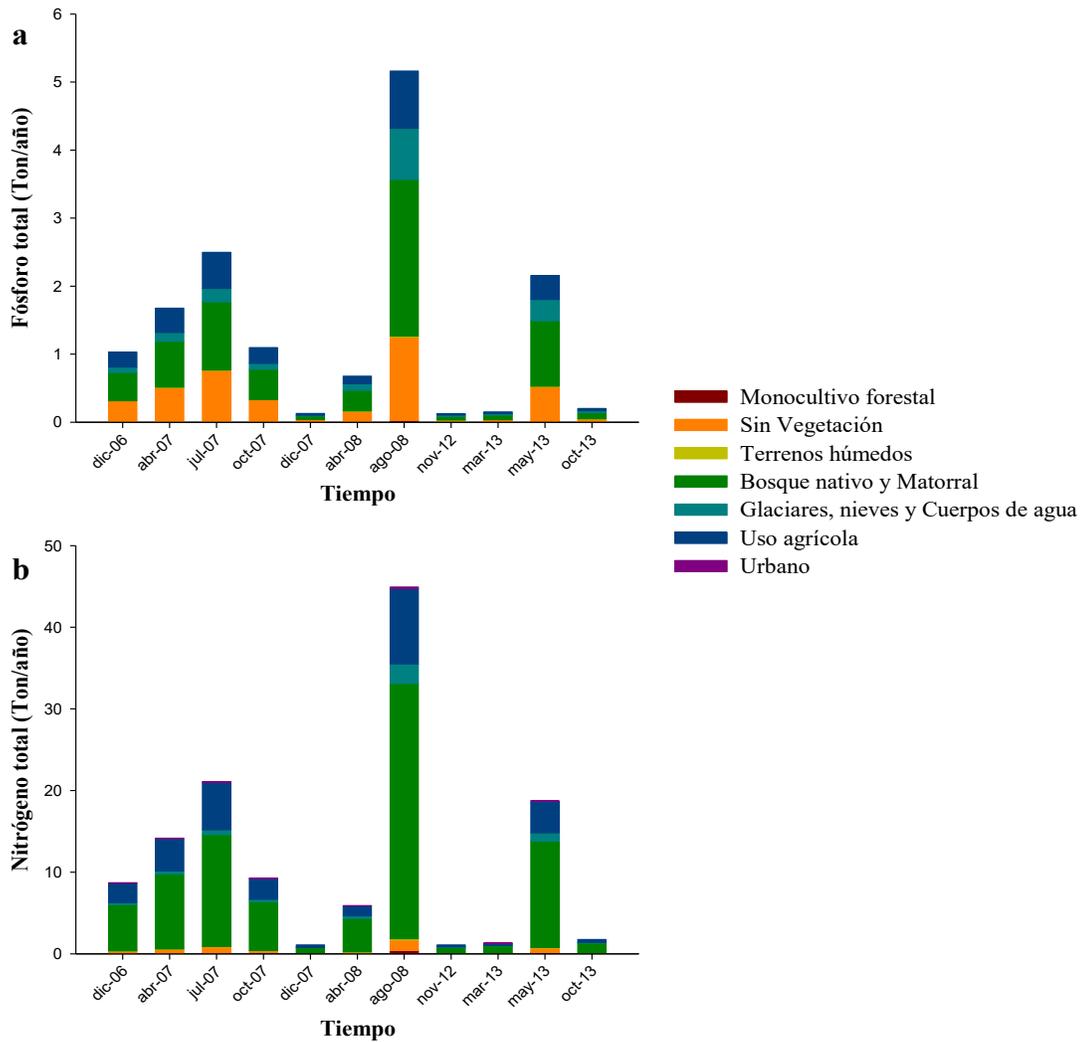


Figura 4.42. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Neltume.

4.2.7.3 Estimación del balance de nutrientes

Uno de los fundamentos en los que se basa el modelo de balance de nutrientes es la ley de conservación de masas, es decir, para un volumen finito sobre un periodo de tiempo unitario la acumulación en el sistema será igual a las entradas menos las salidas. En este caso, el lago Neltume tiene un tiempo de renovación teórico de 0,2 años. Por esta razón, se realizó el balance de nitrógeno y fósforo total en el lago Neltume a escala mensual, lo que permite obtener resultados coherentes con los valores históricos observados.

• **Análisis de Sensibilidad**

Los resultados del análisis de sensibilidad mostraron que el balance de fósforo y nitrógeno a escala mensual, es sensible al coeficiente de exportación, por lo que, cambios de este coeficiente generará diferencias en el resultado de la simulación. Por otro lado, se observó que cuando se trabaja a una escala mensual el modelo presenta una leve sensibilidad al valor Curva número, pero este no generó fluctuaciones importantes respecto del coeficiente de exportación (Figura 4.43).

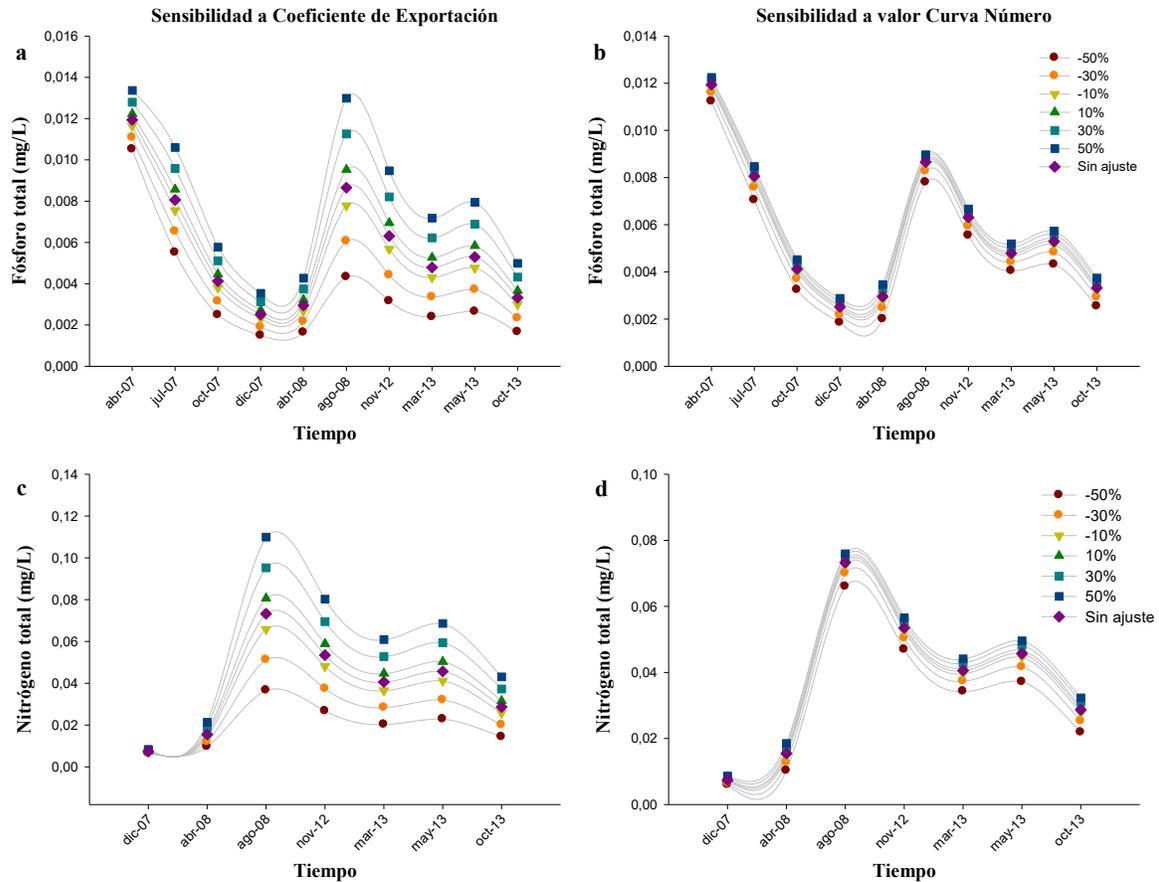


Figura 4.43. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

• **Balance Histórico de nutrientes**

El balance histórico de nitrógeno y fósforo se realizó para los meses en donde hubo mediciones de nutrientes entre diciembre 2006 a agosto 2008 y noviembre 2012 a octubre 2013, como se muestra en la Figura 4.44 y Figura 4.45. En general, se observó que las concentraciones históricas de fósforo y nitrógeno fueron superiores a las obtenidas en el balance, sin embargo los valores simulados se encontraron dentro del rango de los datos históricos (0,004-0,02 mgP/L y 0,01-0,12 mgN/L). En relación al ajuste del modelo, el

índice PBIAS determinó una subestimación de las concentraciones históricas en un 39% para el fósforo y un 10% para el nitrógeno.

En ambos casos se pudo observar que los datos simulados no necesariamente coincidieron con los datos históricos reportados en el lago. Estas diferencias podrían atribuirse a la escasa cantidad de datos históricos mensuales disponibles para contrastar con el modelo, ya que se está comparando concentraciones promedio mensuales (simulados) con concentraciones puntuales (observados), disminuyendo así la correlación entre los datos.

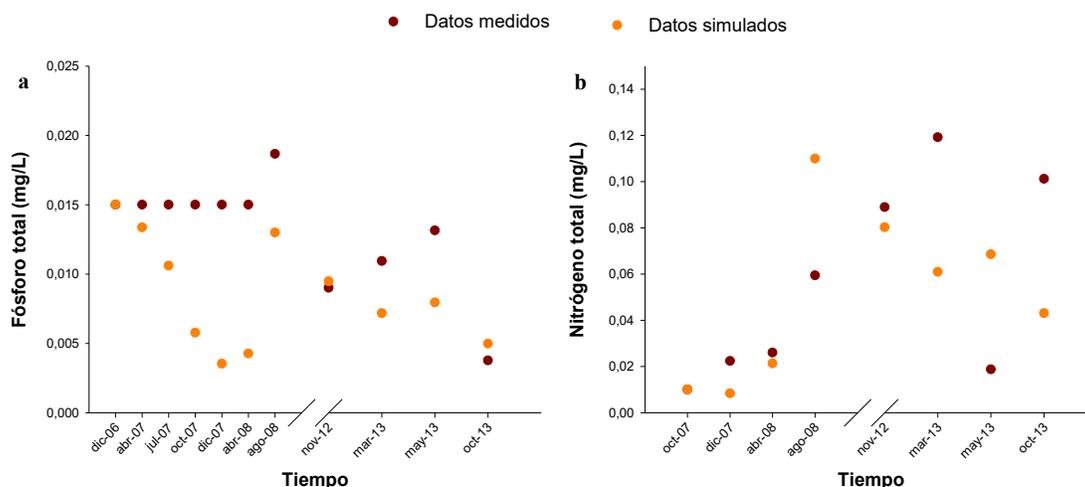


Figura 4.44. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

- **Balance mensual, monitoreo EULA 2015**

En la Figura 4.45 se muestran los resultados del balance de fósforo y nitrógeno en el lago. En relación al fósforo se evidenció que las concentraciones simuladas tienden a disminuir, mientras que las concentraciones de nitrógeno se mantuvieron relativamente constantes durante los meses de estudio. Similar al balance histórico, el índice de ajuste PBIAS tendió a subestimar las concentraciones de fósforo y nitrógeno, en un 7% y 31%, respectivamente. Esta tendencia podría estar relacionada a que el modelo no es capaz de representar los *peaks* de nutrientes, ya que se están comparando datos puntuales medidos en el lago contra el promedio mensual que entrega el balance de nitrógeno y fósforo.

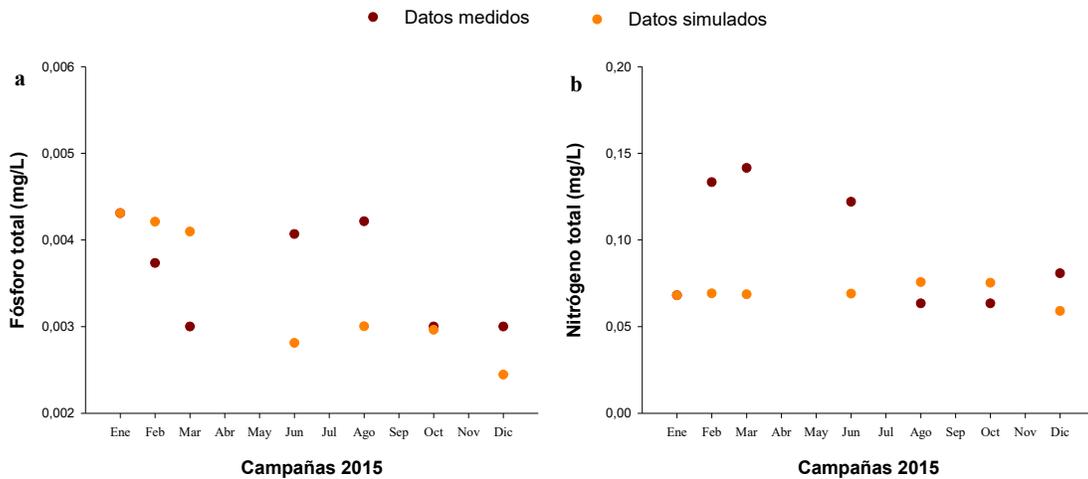


Figura 4.45. Balance mensual de fósforo (a) y nitrógeno (b) para el monitoreo del 2015.

4.2.8 Determinación de carga crítica

La carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo se observan en la Figura 4.46. Los resultados mostraron que la carga actual de fósforo y nitrógeno han fluctuado entre 15-28 Ton P/año y 126-431Ton N/año, las que son menores a la carga crítica estimada para los distintos años. Sin embargo, la carga actual de nitrógeno para el año 2015 es dos órdenes de magnitud mayor que las estimadas en años anteriores (Tabla 4.30).

Tabla 4.30. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	43	26	634	216
2006	47	28	687	234
2007	33	15	482	126
2008	40	22	582	188
2009	44	22	641	188
2010	43	17	628	149
2011	39	15	576	131
2012	31	17	446	151
2013	29	15	424	128
2015	43	20	630	431

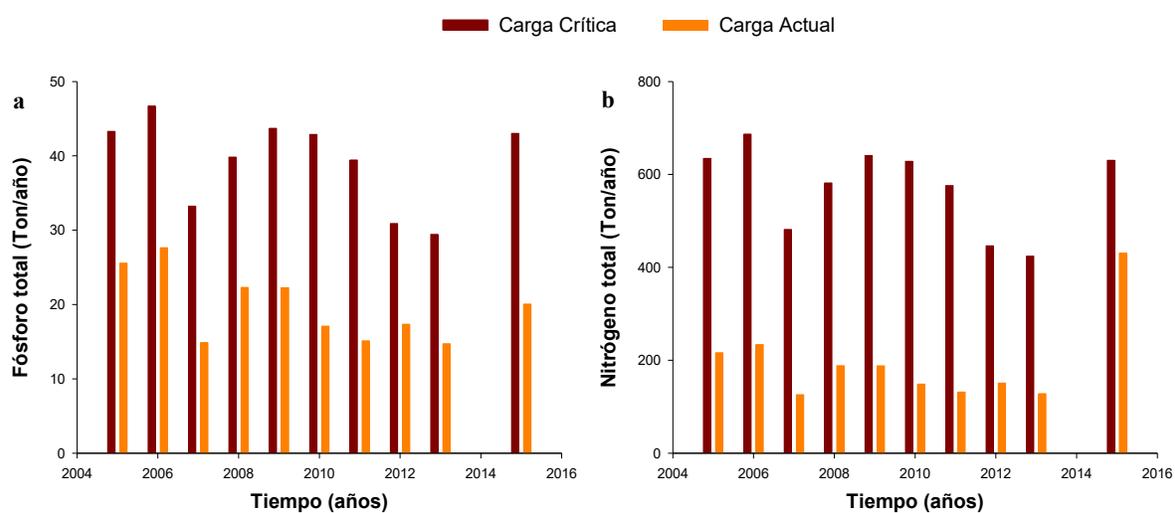


Figura 4.46. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.2.9 Sedimentos

4.2.9.1 Lagos

- **Fósforo total**

Se detectaron diferencias en la concentración de fósforo entre estaciones y épocas del año en este lago. Se encontraron dos niveles casi idénticos en la concentración de fósforo, en la estación E2 durante el verano y en la misma estación durante el invierno. Durante el muestreo realizado en otoño, se registraron las concentraciones más bajas en todos los sitios muestreados (Tabla 4.31).

- **Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica de este lago fue la más alta de todos los lagos muestreados. La estación que presentó los valores más altos fue la estación E3, con valores cercanos casi al 20%, durante invierno y primavera. La estación E1 también registro valores altos, durante los monitoreos de verano y otoño. La estación E2, ubicada en el centro del lago, fue la que presento la mayor estabilidad en las concentraciones, entre los monitores realizados. El hecho que este lago presentara los valores más altos, del set de lagos, puede estar explicado por que es el lago que proporcionalmente presenta la mayor cobertura de bosque nativo.

- **pH**

El nivel de pH en este lago, reportó uno de los valores más bajos de todo el set de lagos estudiados, especialmente en la estación E3 durante el otoño (colocar el valor). El resto de las estaciones muestreadas presentaron valores más estables durante todos los monitoreos realizados, muy cercanos a la normalidad (Tabla 4.31).

- **Potencial redox**

Este parámetro mostró valores negativos en todas las estaciones y monitoreos realizados. La estación E1 presentó los valores negativos más altos durante el monitoreo de verano, mientras que el valor negativo más bajo se reportó en la estación E3 durante el otoño (Tabla 4.31).

- **Sílice biogénica**

El comportamiento de este parámetro mostró grandes diferencias entre los monitoreos realizados. Durante el monitoreo de verano, las tres estaciones mostraron los valores más altos de las mediciones de este lago. Durante el resto de los monitoreos, la concentración de sílice se mantuvo muy estable, no mostrando diferencias entre sitios y monitoreos. La gran diferencia estimada durante el verano, podría estar relacionada a una mayor productividad durante el verano, que incluso es capaz de dejar una clara señal en los sedimentos (Tabla 4.31).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Neltume.

Tabla 4.31. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Neltume durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	1318,7	4,4	7,7	-156,9	0,1
Estación 2	2805,6	22,4	7,2	-121,4	2,5
Estación 3	1831,6	19,0	6,4	-107,3	3,1
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	1409,5	6,7	6,2	---	7,8
Estación 2	2021,2	0,8	6,7	---	7,5
Estación 3	2048,3	17,7	6,6	---	8,3
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	1183,2	3,4	7,3	-138,5	0,4
Estación 2	1856,8	13,6	6,5	-95,6	0,2
Estación 3	1479,5	17,8	6,3	-68,5	0,2
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	2324,7	18,8	6,9	-120,8	0,3
Estación 2	2963,8	19,6	7,2	-175,5	0,2
Estación 3	1447,0	6,3	7,3	-151,9	0,2
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	2071,6	17,7	6,8	-62,0	0,3
Estación 2	1873,1	3,3	7,4	-117,3	0,2
Estación 3	2513,9	11,8	7,3	-98,8	0,3
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	991,6	18,2	6,8	-78,5	0,2
Estación 2	2613,8	15,4	7,0	-98,2	0,2
Estación 3	1634,7	17,9	6,9	-130,2	0,4
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	863,5	17,7	6,9	-141,0	0,1
Estación 2	826,2	9,7	7,7	-162,0	0,4
Estación 3	462,3	5,5	7,4	-153,4	0,4

4.2.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.32 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Neltume.

Tabla 4.32. Concentración de fósforo total (mg kg^{-1}) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Neltume	811,4	941,1	857,7	479,7	3546,7	640,4	689,5
Río Chan Chan	1120,5	852,4	1593,7	228,6	1258,5	910,7	509,4
Río Cua Cua	779,0	943,8	882,0	1468,5	-	523,8	805,1
Estero Huenchulafquén	-	1083,5	987,0	841,3	963,1	448,7	423,1

- Materia orgánica**

En la Tabla 4.33 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Neltume.

Tabla 4.33. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Río Neltume	1,10	11,6	1,70	-	9,70	1,50	-
Río Chan Chan	2,20	1,50	0,90	2,60	3,30	2,30	3,10
Río Cua Cua	0,90	0,80	0,80	-	-	5,70	2,40
Estero Huenchulafquén	-	8,10	1,80	1,30	2,00	1,40	1,40

- Facies texturales**

En la Tabla 4.34 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Neltume.

Tabla 4.34. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Río Neltume	15,0	78,9	6,10
Río Chan Chan	15,8	82,8	1,40
Río Cua Cua	13,4	76,3	10,3
Estero Huenchulafquén	25,2	73,2	1,50

4.3 LAGO PIREHUEICO

4.3.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.47, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 150 m y un volumen de 1,9 km³.

4.3.2 Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias para las tres estaciones durante el periodo estudiado fluctuaron de 6°C a 16°C, observándose la mínima en agosto y la máxima en Febrero (Figura 4.48, Tabla 4.35). La desviación estándar que aumenta notoriamente en periodo estival en las tres estaciones indica una distribución vertical heterogénea de temperaturas debido a las diferentes temperaturas registradas a lo largo de la columna de agua generada por la presencia de termoclina. Contrariamente, durante junio a octubre, la homogeneidad de los valores de temperatura sugiere una mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 30µS/cm a 65µS/cm, registrándose la mínima en octubre y la máxima en junio. Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose altos valores entre enero y junio que tienden a decrecer desde agosto a diciembre. La conductividad a lo largo de la columna de agua en general se mantuvo homogénea, lo cual es evidenciado por una baja desviación estándar en las tres estaciones (Figura 4.48, Tabla 4.35).

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración media de nitrógeno total durante todo el periodo de estudio fue variable fluctuando de 0,01 mg/L a 0,09 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en marzo (Figura 4.48, Tabla 4.35). Las concentraciones de nitrógeno fueron variables a lo largo de la columna de agua, particularmente entre febrero y marzo, mientras que en los restantes meses las concentraciones en el perfil tendieron a ser más homogéneas. Se observaron diferencias entre las estaciones durante todos los meses muestreados sin un patrón determinado.

- **pH**

La concentración promedio de pH fue cercana a la neutralidad, con valores que fluctuaron entre 6 y 8 en las tres estaciones durante todo el periodo de estudio, registrándose la

mínima en agosto y la máxima en marzo. Los valores de pH fueron homogéneos en la columna de agua, lo cual es evidenciado por una baja desviación estándar. Las estaciones presentaron valores muy similares para cada mes muestreado (Figura 4.48, Tabla 4.35).

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,01 mg/L y 0,08 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en octubre. La distribución vertical de nitrato es variable durante el año, encontrando mayores diferencias en junio y octubre (invierno- primavera), mientras que en enero y agosto estas son menores. Se observa que las estaciones presentan distintas concentraciones de nitrato para cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante todo el periodo muestreado variaron de 3 µg/L a 6 µg/L, observándose las mayores concentraciones en invierno y a mediados del periodo estival (enero), donde además se registra una distribución vertical con una alta heterogeneidad de sus concentraciones. El resto de los meses muestreados presentaron valores de fósforo total cercanos a 3 µg/L con un perfil vertical homogéneo (Figura 4.48, Tabla 4.35).

En la Figura 4.48 se entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

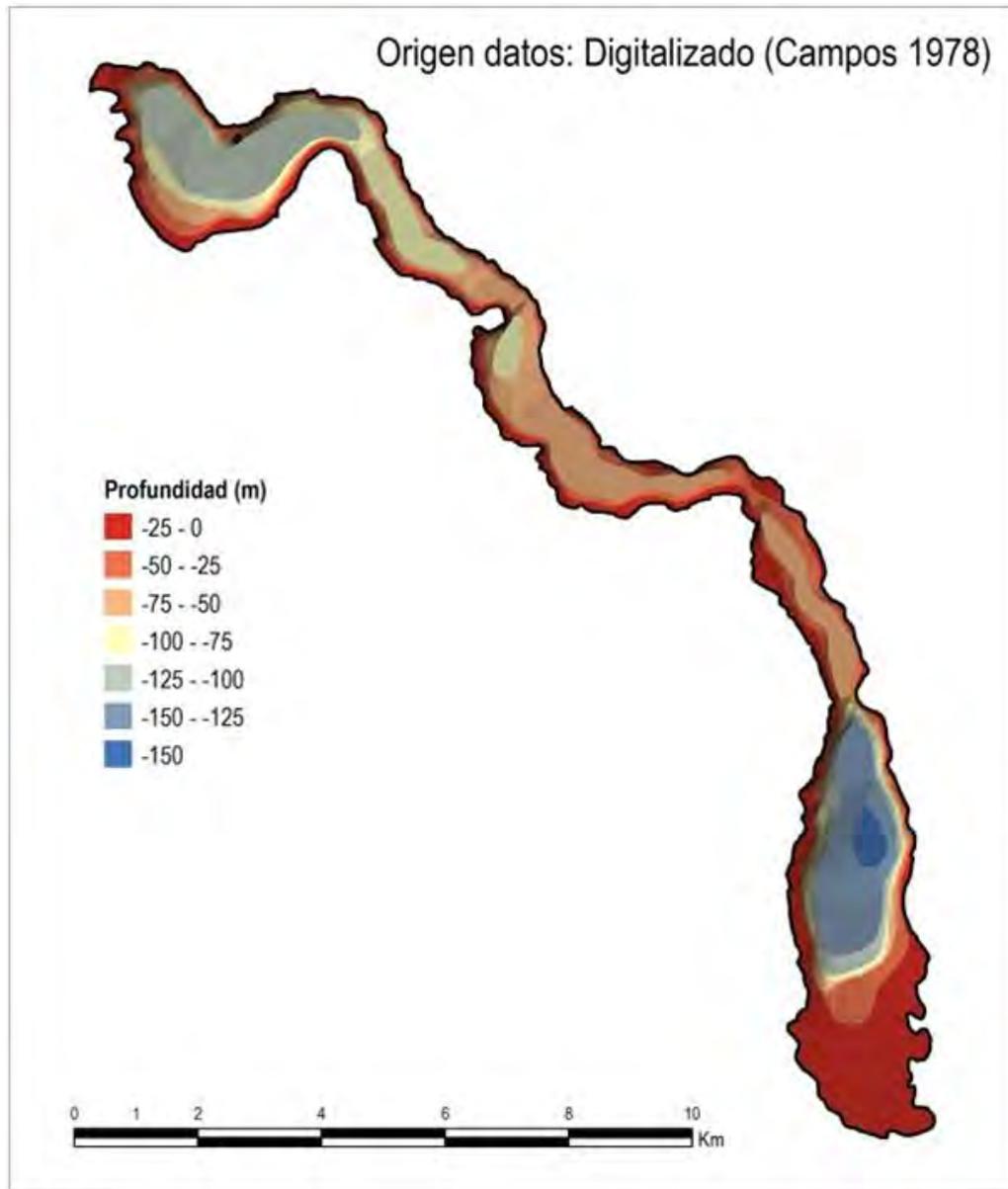


Figura 4.47. Batimetría del lago Pirehueico.

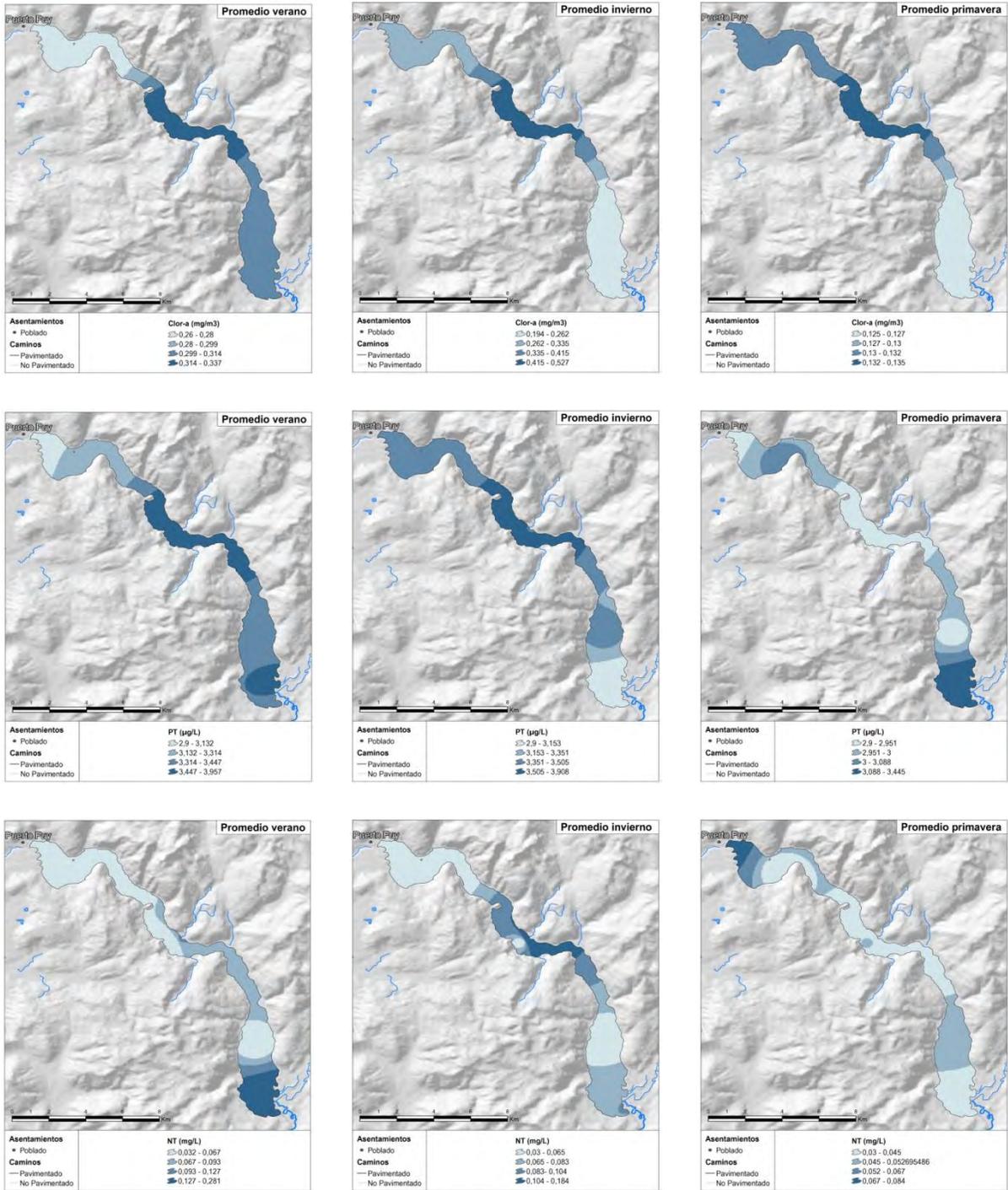


Figura 4.48. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Pihueico durante el año 2015.

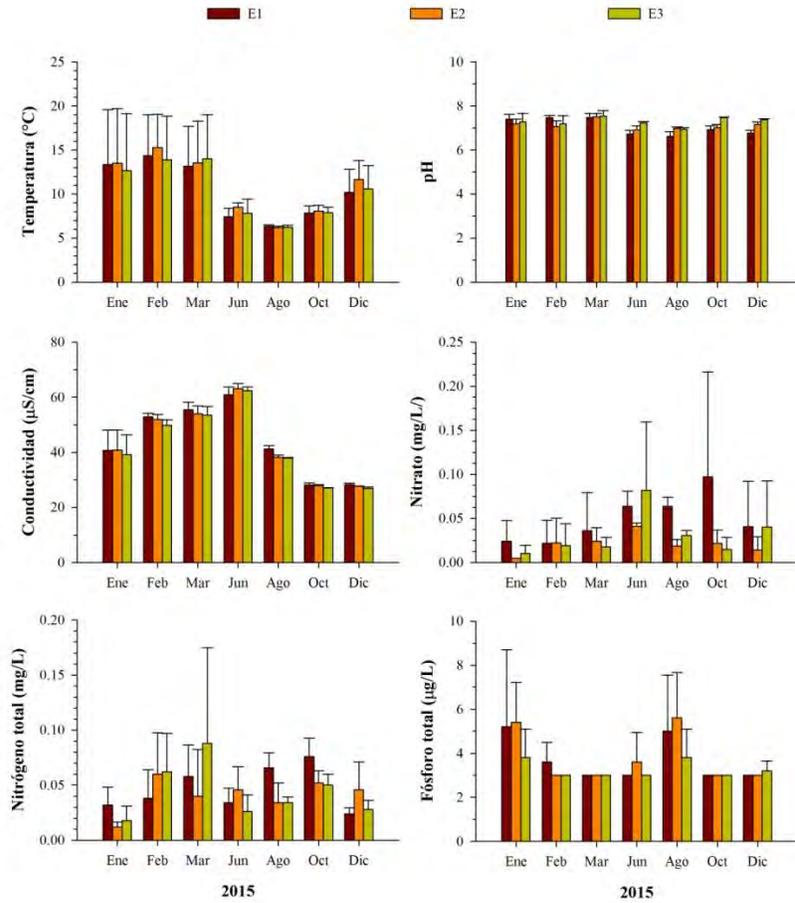


Figura 4.49. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.35. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Pirehueico de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE
Enero	E1	13,3	6,2	40,7	7,3	0,03	0,02	7,4	0,2	0,02	0,02	5,2	3,5
	E2	13,5	6,2	40,9	7,2	0,01	0	7,2	0,2	0,01	0	5,4	1,8
	E3	12,7	6,4	39,2	7,3	0,02	0,01	7,3	0,4	0,01	0,01	3,8	1,3
Febrero	E1	14,4	4,6	52,9	1,3	0,04	0,03	7,5	0,1	0,02	0,03	3,6	0,9
	E2	15,3	3,8	51,9	1,9	0,06	0,04	7,1	0,3	0,02	0,03	3	0
	E3	13,9	5	49,8	1,9	0,06	0,03	7,2	0,4	0,02	0,02	3	0
Marzo	E1	13,2	4,5	55,5	2,7	0,06	0,03	7,5	0,2	0,04	0,04	3	0
	E2	13,5	4,7	54	2,8	0,04	0,04	7,5	0,2	0,02	0,02	3	0
	E3	14	5	53,5	3,1	0,09	0,09	7,5	0,2	0,02	0,01	3	0
Junio	E1	7,4	0,9	60,9	2,9	0,03	0,01	6,7	0,2	0,06	0,02	3	0
	E2	8,5	0,5	63,2	1,8	0,05	0,02	6,9	0,2	0,04	0	3,6	1,3
	E3	7,8	1,6	62,3	1,4	0,03	0,02	7,2	0,1	0,08	0,08	3	0
Agosto	E1	6,4	0,2	41,2	1,2	0,07	0,01	6,6	0,2	0,06	0,01	5	2,5
	E2	6,2	0,2	38,3	0,7	0,03	0,02	7	0,1	0,02	0,01	5,6	2,1
	E3	6,2	0,2	37,9	0,3	0,03	0,01	6,9	0,1	0,03	0,01	3,8	1,3
Octubre	E1	7,8	0,8	28,2	0,7	0,08	0,02	6,9	0,2	0,1	0,12	3	0
	E2	8,1	0,6	27,9	0,4	0,05	0,01	7	0,1	0,02	0,02	3	0
	E3	7,9	0,6	27	0,2	0,05	0,01	7,5	0	0,01	0,01	3	0
Diciembre	E1	10,2	2,6	28,2	0,6	0,02	0,01	6,8	0,1	0,04	0,05	3	0
	E2	11,7	2,2	27,6	0,2	0,05	0,03	7,2	0,1	0,01	0,02	3	0
	E3	10,6	2,6	26,9	0,4	0,03	0,01	7,4	0	0,04	0,05	3,2	0,4

- **Perfiles limnológicos**

La temperatura del lago Pirehueico presentó un rango que fluctuó entre los 6 °C en el mes de agosto y un máximo de 12 °C en febrero (Figura 4.50). El perfil térmico del lago ha sido descrito como monomítico temperado, condición que se mantiene en el presente estudio con una homotermia invernal y una estratificación térmica que comienza a desarrollarse gradualmente a fines de primavera y se mantiene hasta fines de otoño. La termoclina se localizó aproximadamente entre los 15 y 40 metros de profundidad, con una amplitud térmica de 10 °C en el estrato.

La concentración de oxígeno disuelto en la superficie del lago fluctuó entre 9 mg O₂/L y 12 mg O₂/L, observándose la mínima en febrero y la máxima en enero. Durante enero, febrero y marzo los perfiles de concentración de oxígeno tendieron a incrementar después de los 20 metros, siendo inverso al perfil de temperaturas, lo cual es característico de una distribución ortógrada. Desde junio a diciembre las concentraciones se mantuvieron relativamente estables y cercanas a los 10 mg O₂/L.

El perfil de clorofila fue muy irregular en el tiempo, observándose sólo un incremento importante en su concentración durante el mes de octubre entre los 20 y 80 metros de profundidad (Figura 4.50). No se observa ningún patrón definido en las tendencias de este parámetro.

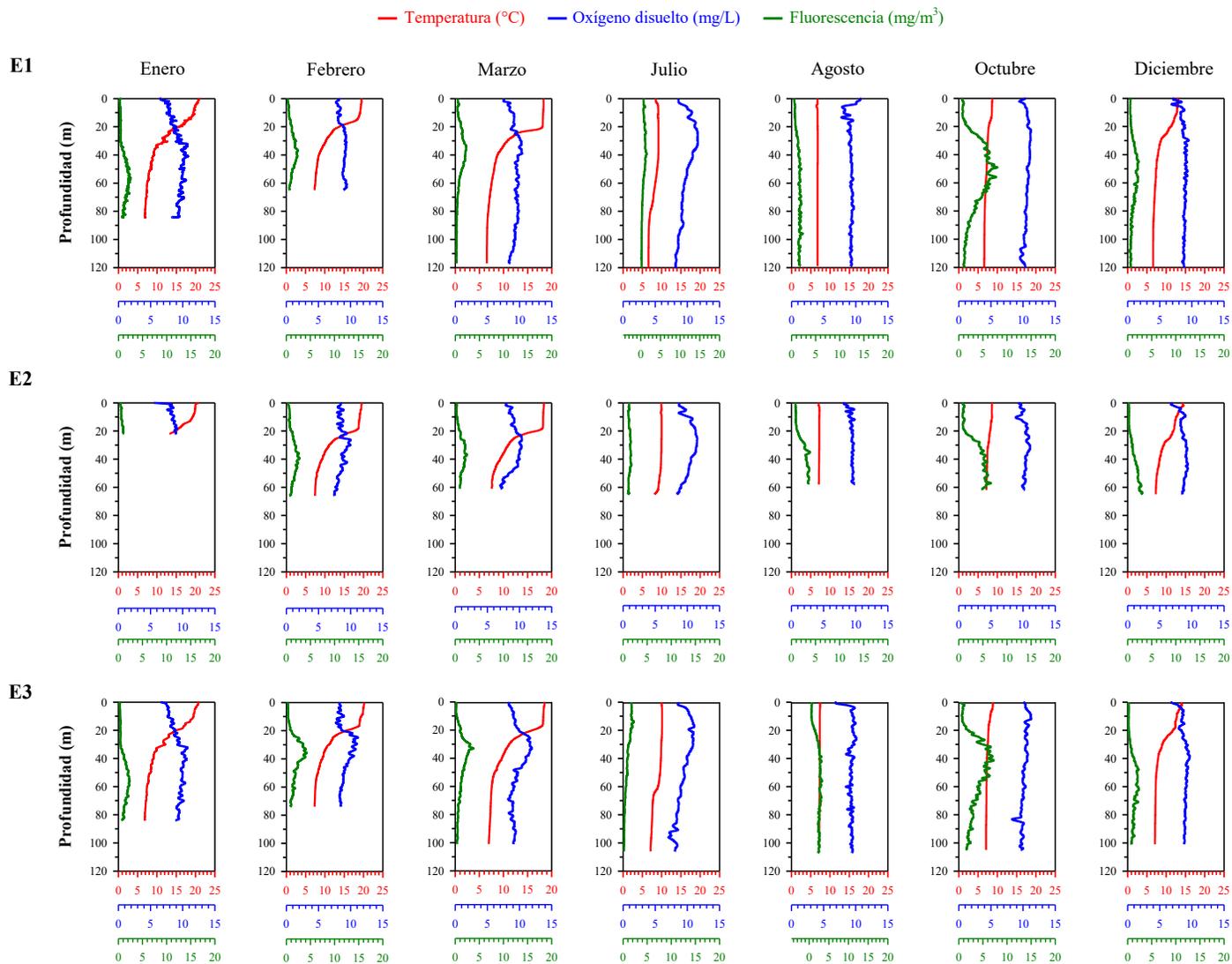


Figura 4.50. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Pirehueico durante el periodo de estudio (2015).

4.3.3 Fitoplancton

4.3.3.1 Composición específica y abundancia relativa, Lago Pirehueico

La comunidad fitoplanctónica del lago Pirehueico está compuesta 12 clases diferentes (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Euglenophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae, Zygnematophyceae) en donde se registraron 112 taxones (Tabla 4.36). Las diatomeas (Bacillariophyceae) y crisofíceas constituyeron el 95 % de la abundancia de taxa en la comunidad, los otros grupos estuvieron presentes con una muy baja abundancia (Figura 4.51). El grupo más diverso fue el de las diatomeas con 62 taxa, seguido de las algas verdes Chlorophyceae y Zygnematophyceae con 12 taxa cada uno.

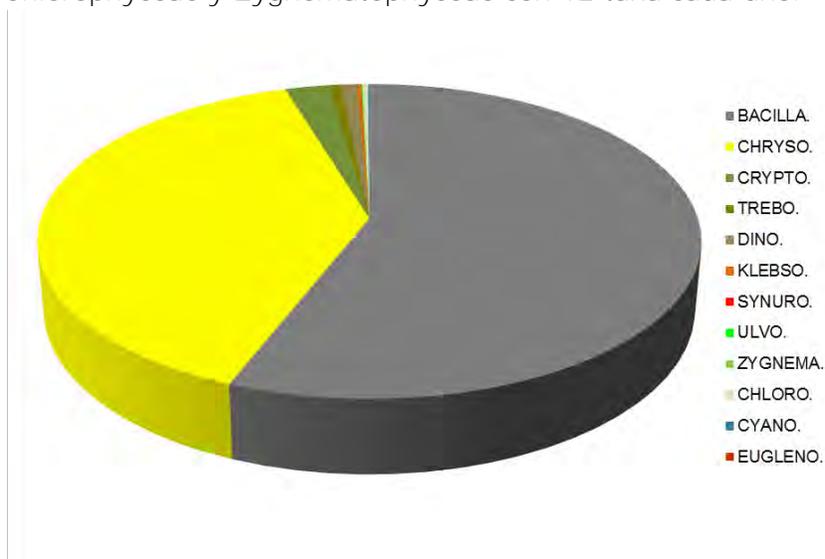


Figura 4.51. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Pirehueico. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLENO: Euglenophyceae.

Tabla 4.36. Listado de especies presentes en el Lago Pirehueico.

Clase/genero/especie	Clase/genero/especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmerman
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Coelastrum microporum</i> Naegeli
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Leg
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Komárková-Legr
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerová
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Pediastrum simplex</i> Meyen
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	<i>Scenedesmus ecomis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Cymbella</i> sp.	CHRYSOPHYCEAE
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof
<i>Diatoma</i> sp.	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	CRYPTOPHYCEAE
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Eunotia</i> sp.	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	CYANOBACTERIA
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	<i>Dolichospermum aff constricta</i> (Szafer) Geitler
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-B	<i>Dolichospermum</i> sp.
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	DINOPHYCEAE
<i>Gomphonema minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoerr	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenho	<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Gomphonema</i> sp.	EUGLENOPHYCEAE
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henf.	<i>Trachelomonas</i> sp.
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	KLEBSORMIDIOPHYCEAE
<i>Melosira</i> sp.	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	SYNUROPHYCEAE
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	TREBOUXIOPHYCEAE
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komárek
<i>Navicula rhyngocephala</i> Kützing	<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Nägeli) Komárek
<i>Navicula</i> sp.	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Neidium</i> sp.	<i>Oocystis solitaria</i> Wittrock
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	ULVOPHYCEAE
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	<i>Ulothrix</i> sp.
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	ZYGNEMATOPHYCEAE
<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	<i>Closterium aff pronum</i> Brébisson
<i>Pinnularia</i> sp.	<i>Closterium</i> sp.
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	<i>Cosmarium aff depressum</i> (Nägeli) Lundell
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias	<i>Cosmarium</i> sp.
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-E	<i>Cosmocladium</i> sp.
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	<i>Hyalotheca dissiliens</i> (Smith) Brébisson
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	<i>Mougeotia</i> sp.
<i>Surirella</i> sp.	<i>Pleurotaenium</i> sp.
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W. West
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	<i>Staurastrum aff dilatatum</i> Ehrenberg ex Ralfs
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	<i>Staurastrum aff muticum</i>

4.3.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

La comunidad presentó una diversidad ($H' \log_e$) de 1,6 y una equidad de $J' = 0,5$. La dominancia ($\lambda = 0,6$) indicó que en la comunidad predominan 5 especies; las diatomeas *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen y *Fragilaria crotonensis* Kitton, junto con el alga dorada (Chrysophyceae) *Dinobryon divergens* O. E. Imhof. Esta última fue abundante principalmente en el sitio E3, sin embargo, la comunidad no presentó diferencias significativas entre los sitios muestreados (E1, E2 y E3) (ANOSIM $R_{\text{global}} = 0,59$; $p > 0,05$) (Figura 4.52). Los índices comunitarios de riqueza ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,8$; $p > 0,05$), diversidad ($H' \log_e$) ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 2,5$; $p > 0,05$), uniformidad ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 1,7$; $p > 0,05$) y dominancia de taxa fueron estadísticamente similares entre los sitios del lago ($p > 0,05$) (Tabla 4.37).

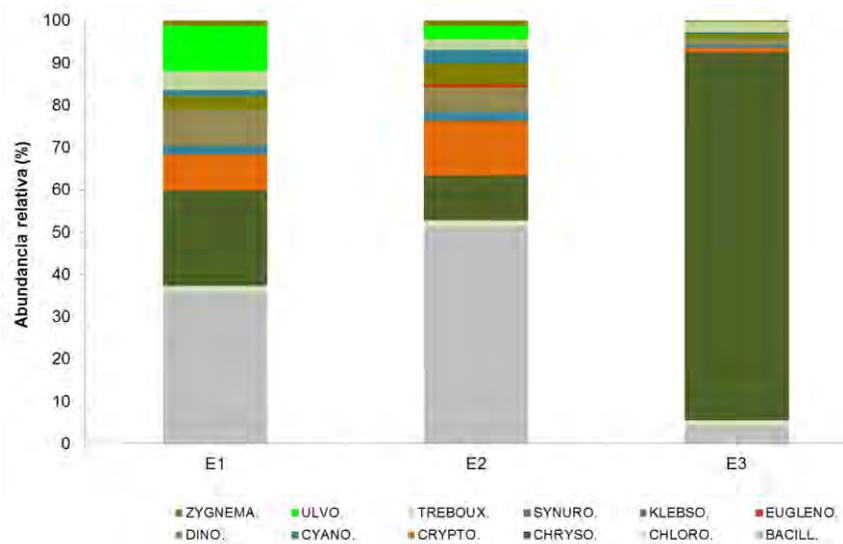


Figura 4.52. Abundancia relativa de clases de microalgas en Pirehueico, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLENO: Euglenophyceae.

Tabla 4.37. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Pirehueico. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera

Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
E1V	30	143.811	2,8	0,6	2,1	0,8
E2V	32	106.002	3,1	0,6	2,1	0,8
E3V	32	2.603.919	2,7	0,4	1,4	0,6
E1O	22	60.444	2,2	0,7	2,1	0,8
E2O	22	79.866	2,2	0,7	2,2	0,8
E3O	28	389.783	2,4	0,5	1,7	0,7
E1I	36	195.097	3,3	0,6	2,1	0,8
E2I	28	322.317	2,4	0,5	1,7	0,7
E3I	28	329.263	2,4	0,5	1,6	0,7
E1P	29	946.771	2,3	0,3	1,1	0,4
E2P	28	1.560.145	2,2	0,2	0,7	0,2
E3P	28	934.503	2,2	0,3	1	0,4

Las máximas abundancias celulares se presentaron en febrero y octubre. En febrero se observó el aumento de la abundancia de *D. divergens* con 6.339.641 cél l⁻¹ y en octubre la abundancia estuvo dada por *T. fenestrata* que alcanzó una densidad de células de 843.784 cél l⁻¹ (ver Anexo 2). La densidad de fitoplancton varió estacionalmente, siendo mayor durante el verano y primavera y menor durante el otoño (Figura 4.53), estas diferencias fueron estadísticamente significativas (ANOSIM R_{global} = 0,59; p< 0,05) determinadas principalmente por el verano con respecto a las otras estaciones del año.

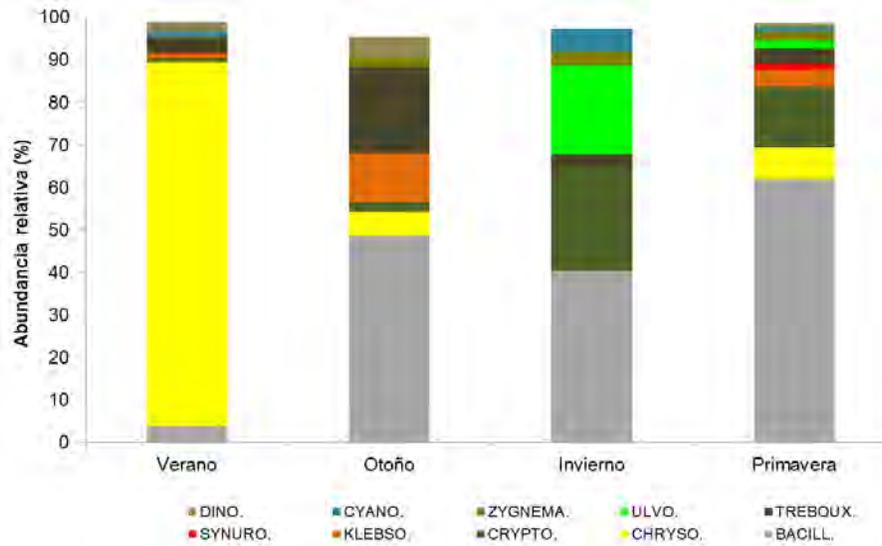


Figura 4.53. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Pirehueico, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

La mayor abundancia de células se registró a los 30 m de profundidad, mientras que, la mayor riqueza y diversidad se presentó en la superficie del lago (Tabla 4.38). Las diatomeas fueron abundantes en todos los estratos de profundidad. Las algas doradas fueron más abundantes en el estrato de 30-40 m de profundidad (Figura 4.54).

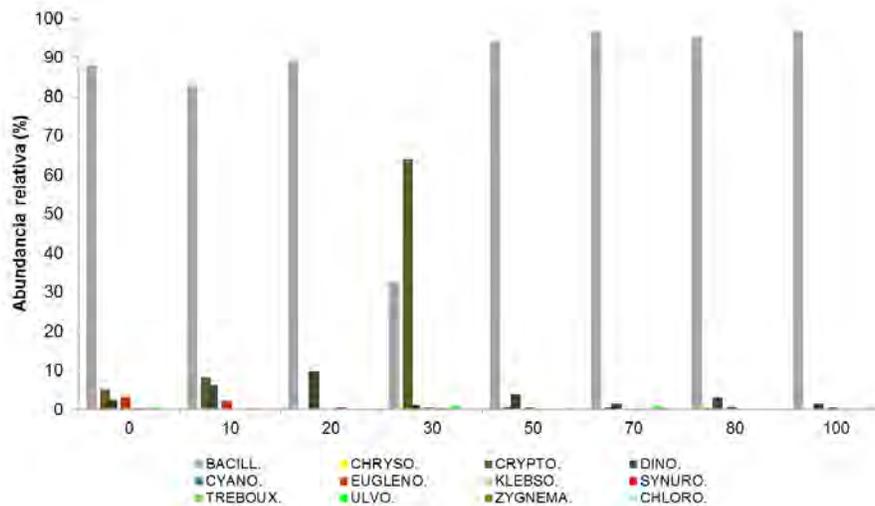


Figura 4.54. Número de células de clases de microalgas en Pirehueico, por los estratos de profundidad (promedio entre las estaciones del año y sitios de muestreo).

Tabla 4.38. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Pirehueico. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.

Estrato	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	69	1.818.281	5,3	0,4	1,6	0,6
10	67	2.215.561	5,1	0,4	1,5	0,6
20	30	616.394	2,5	0,4	1,2	0,5
30	65	9.868.857	4,4	0,3	1,2	0,5
50	50	787.625	4,1	0,3	1,2	0,5
70	61	1.097.249	4,9	0,4	1,8	0,7
80	23	61.633	2,3	0,4	1,2	0,5
100	35	355.215	3	0,4	1,4	0,5

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 45 % de similitud se diferencia un grupo formado por los sitios muestreados en la estación de verano y otro con los sitios de otoño, invierno y primavera (Figura 4.55a y Figura 4.55b). Estas diferencias están determinadas por la abundancia de *D. divergens* el que alcanzó un peak de abundancia en verano y solamente en la estación E3. La densidad disminuyó significativamente en invierno.

4.3.3.3 Especies más abundantes

El 96% de la comunidad está representado por 10 especies que se presentan la Figura 4.56. La diatomea *T. fenestrata* y la crisofícea *Dinobryon divergens* dominaron la comunidad.

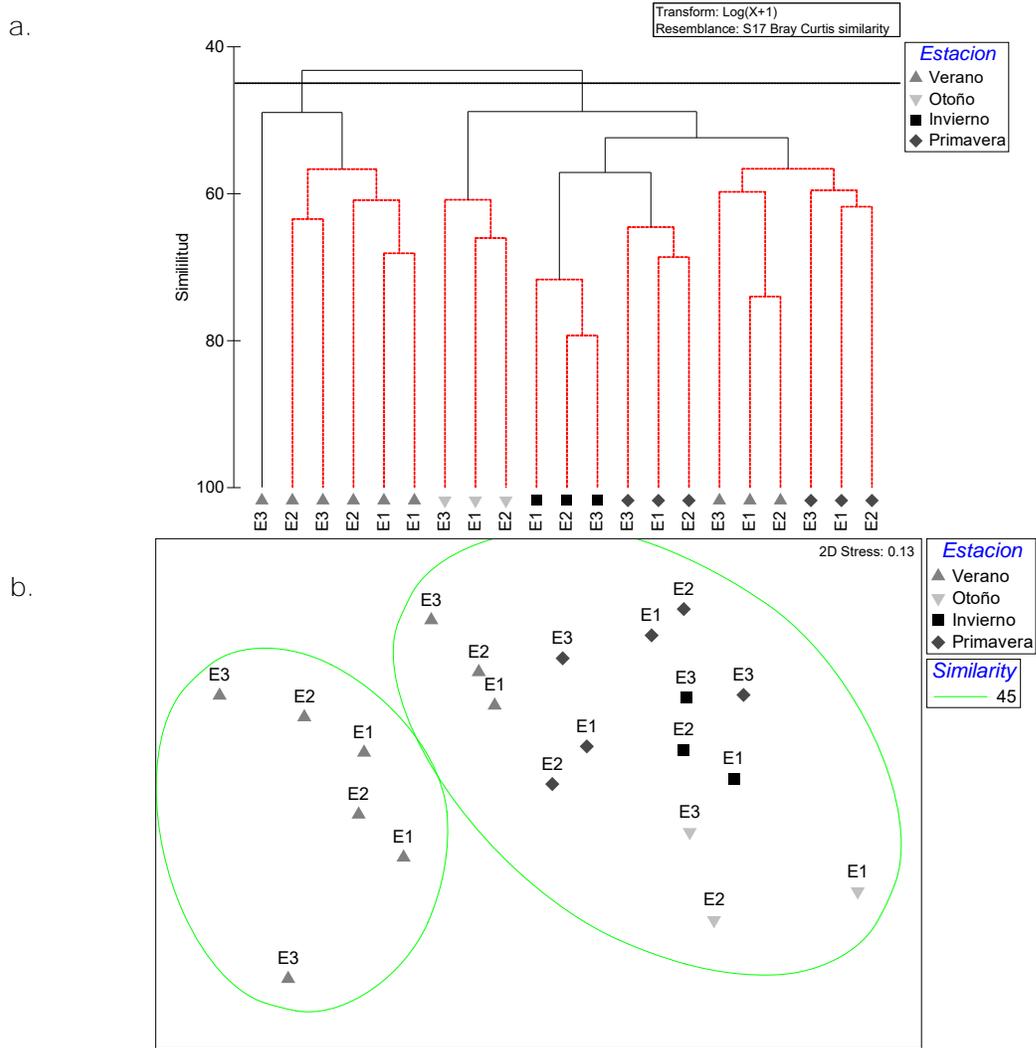


Figura 4.55a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Pirehueico. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.55b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Pirehueico.

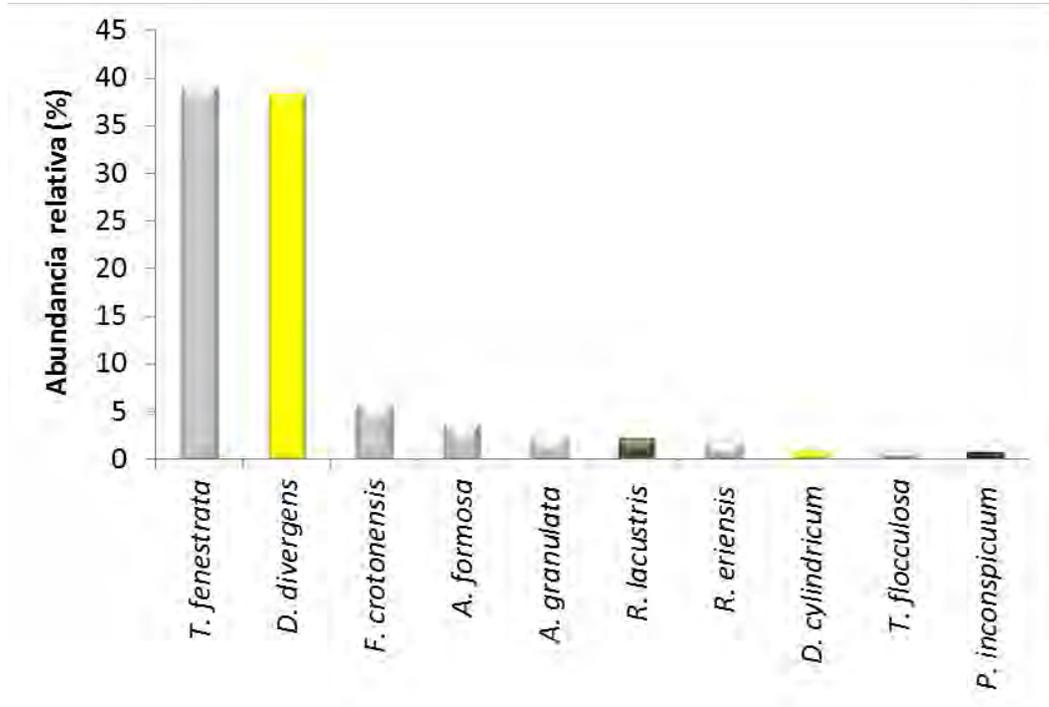


Figura 4.56. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

Las diatomeas *T. fenestrata*, *F. crotonensis*, *A. formosa*, *A. granulata* fueron comunes en todas las estaciones del año y en los tres sitios de muestreo. *T. fenestrata* fue más abundante durante la primavera (Figura 4.57). Mientras que en las estaciones de invierno y otoño las microalgas más abundantes fueron *A. formosa* y *A. granulata* respectivamente (Tabla 4.39).

La presencia y abundancia de las especies *D. divergens* y *Peridinium inconspicuum* Lemmermann generaron diferencias en la estructura de la comunidad fitoplanctónica durante el verano en comparación con el invierno y primavera, en las últimas, estas especies presentaron una baja abundancia y/o ausencia. En otoño, la abundancia de la diatomea *A. granulata* generó diferencias con respecto al invierno y la primavera.

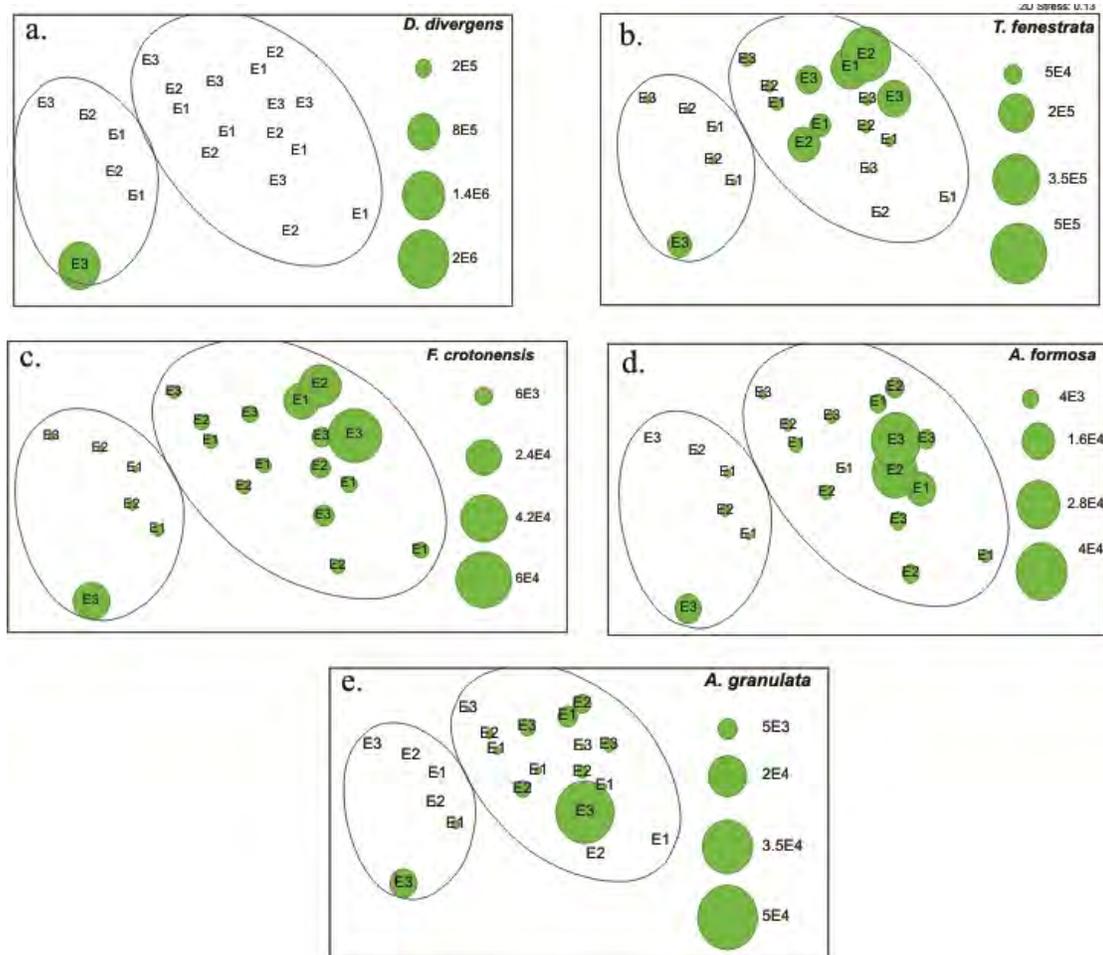


Figura 4.57. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Pirehueico a. *D. divergens* b. *T. fenestrata* c. *F. crotonensis* d. *A. formosa*, e. *A. granulata*.

4.3.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Las diatomeas siguen siendo el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica en el lago Pirehueico, con respecto al estudio realizado por la universidad Austral en 1998-1999, durante ese año el 41 % de los taxa reportados correspondieron a diatomeas, seguido por las clorofíceas (11 %) y dinoflagelados (4 %) (Campos et al., 2000). Las diatomeas *A. granulata* y *F. crotonensis*, fueron reportadas como las más abundantes en la comunidad fitoplanctónica, al igual que en el presente estudio. Otras especies como *R. eriensis*, *M. distans*, *P. inconspicuum* y *D. divergens* también se reportaron como abundantes en la comunidad (Tabla 4.39).

Tabla 4.39. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.

Clase	1998-1999	2015
Bacillariophyceae	24	62
Chlorophyceae	15	32
Dinophyceae	5	6
Chrysophyceae	2	4
Cryptophyceae	2	4
Cyanobacteria	2	3
Euglenophyceae		1
Riqueza	50	112
Especies más abundantes	<i>F. crotonensis</i> , <i>R. eriensis</i> , <i>A. granulata</i> , <i>M. distans</i> , <i>P. inconspicuum</i> , <i>D. divergens</i>	<i>T. fenestrata</i> , <i>D. divergens</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>A. formosa</i> , <i>A. granulata</i>
Referencia	Campos et al. (2000)	Estudio EULA

Nuestros resultados muestran un aumento en la densidad de las crisofíceas durante el verano y principalmente en la estación E3, este grupo estuvo presente en una baja proporción (3%) durante el año 2000. Similar a lo registrado durante el 2000, las crisofíceas estuvieron representadas esencialmente por *D. divergens*, que desarrolla máximos de abundancia a los 30 m de profundidad. Cambios en la estructura comunitaria de fitoplancton entre las estaciones del año también fueron reportados.

4.3.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 29% de la variabilidad de los datos, la temperatura y la relación N:P se relacionan con los dinoflagelados y las crisofíceas, siendo abundantes durante la época de verano cuando la temperatura aumenta. El fósforo total y los nitratos explicados por el 15% de la variabilidad (eje II), se asocian con las diatomeas que fueron más abundantes en las otras épocas del año, no restringidas por la temperatura (Figura 4.58).

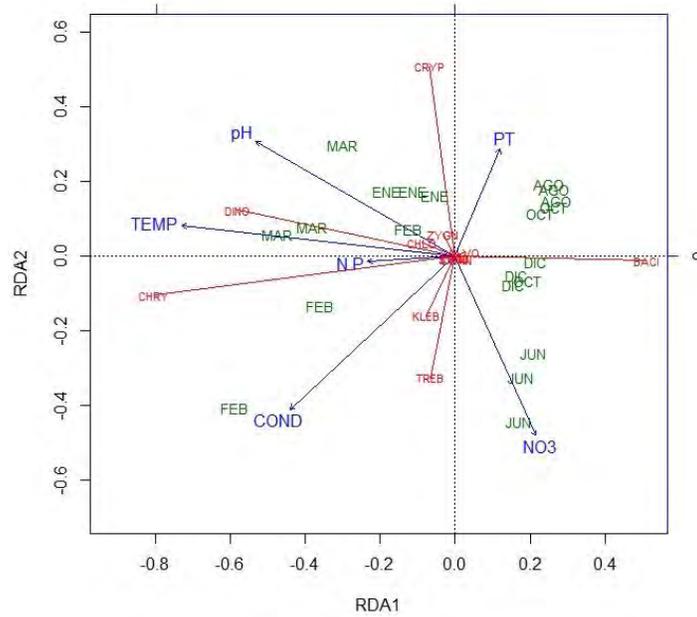


Figura 4.58. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia.

4.3.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios

Los resultados de la presencia de especies fitoplanctónicas en los afluentes (río Hua Hum, río Las Estacas, río Lipinza) y los efluentes (río Fuy) del lago se muestran en la Tabla 4.40 y Figura 4.59. Las diatomeas fueron el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica.

Tabla 4.40. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Pirehueico.

Taxa	Efluente Fuy	Afluente Hua Hum	Afluente Las Estacas	Afluente Lipinza
BACILLARIOPHYCEAE				
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow		+		
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow			+	
<i>Achnanthes</i> sp.	+	+	+	+
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	+	+	+	+
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen				+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+	+	
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	+	+	+	+
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) O.Kirchner			+	
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	+	+	+	+
<i>Cymbella minuta</i> Hilse		+		
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg				+
<i>Cymbella</i> sp.		+	+	+
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+	+	+
<i>Diatoma</i> sp.	+	+		
<i>Diatoma vulgare</i> Bory			+	+
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson			+	
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	+			
<i>Epithemia</i> sp.		+		
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot		+		+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières		+	+	+
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+	+		+
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+	+	+	+
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni			+	
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	+			
<i>Gomphonema minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer		+		+
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst			+	
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing			+	+
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	+	+	+	
<i>Gomphonema</i> sp.	+	+	+	+
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg		+	+	
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick		+	+	+
<i>Melosira</i> sp.				+
<i>Melosira varians</i> C.Agardh		+	+	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh			+	
<i>Navicula aff contenta</i> Grunow		+		
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing		+		
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	+	+	+	
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg		+	+	
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	+	+		
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing			+	
<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	+	+		+
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	+			+
<i>Nitzschia aff subrostratoides</i> Cholnoky	+			
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	+	+	+	+
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith				+
<i>Nitzschia</i> sp.	+	+		+
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt		+		+
<i>Nitzschia subrostratoides</i> Cholnoky		+		+
<i>Pinnularia</i> sp.			+	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	+		+	
<i>Stauroneis</i> sp.		+		
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	+			
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+	+	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	+			

Tabla 3.34. Continúa. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Pirehueico.

Taxa	Efluente Fuy	Afluente Hua Hum	Afluente Las Estacas	Afluente Lipinza
CHLOROPHYCEAE				
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs				+
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmermann		+		
<i>Coelastrum microporum</i> Naegeli	+			
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat				+
<i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Komárkova-Legnerová		+		
<i>Monoraphidium</i> sp.			+	+
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	+			+
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat				
CHRYSOPHYCEAE				
<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	+	+		+
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	+	+		+
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg		+		+
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Rhodomonas aff ovalis</i> Nygaard				+
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	+	+	+	+
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja				+
CYANOBACTERIA				
<i>Dolichospermum aff constricta</i> (Szafer) Geitler	+	+	+	+
<i>Dolichospermum aff solitaria</i> Klebahn	+			
<i>Dolichospermum</i> sp.	+			
<i>Oscillatoria</i> sp.		+		+
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont			+	+
DINOPHYCEAE				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+		+	+
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	+	+		
KLEBSORMIDIOPHYCEAE				
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille		+		
SYNUROPHYCEAE				
<i>Mallomonas</i> sp.				+
TREBOUXIOPHYCEAE				
<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komárek	+			
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	+			
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	+			
ZYGNEMATOPHYCEAE				
<i>Mougeotia</i> sp.	+	+	+	
<i>Sphaerososma aubertianum</i> W. West		+		
<i>Spirogyra</i> sp.			+	
<i>Staurastrum punctulatum</i> Brébisson			+	
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt				+
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Teiling				+
<i>Zygnema</i> sp.				
Total general	45	53	44	50

El río Hua Hum, afluente del lago, presentó la mayor riqueza de taxa (54 de 8 clases diferentes) y menor diversidad con respecto al río Las Estacas (44 de 6 clases) y río Lipinza

(51 de 8 clases). El efluente, río Fuy presentó 49 taxones de 8 clases en donde se registró la menor diversidad de taxa (Tabla 4.41).

Tabla 4.41. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Pirehueico.

Clase	Afluente			Efluente
	Lipinza	Hua Hum	Las Estacas	Fuy
Bacillariophyceae	31	40	34	32
Chlorophyceae	5	2	1	2
Klebsormidiophyceae	0	1	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	0	3
Ulvophyceae	0	0	0	0
Zygnematophyceae	2	2	3	2
Chrysophyceae	3	3	0	2
Synurophyceae	1	0	0	0
Cryptophyceae	5	3	3	3
Cyanobacteria	3	2	2	3
Dinophyceae	1	1	1	2
Riqueza (S)	51	54	44	49
Diversidad Shannon H'(loge)	2,6	1,4	2,8	1,4
Índice de dominancia (1-Lambda)	0,9	0,5	0,9	0,5
Uniformidad de Pielou (J')	0,7	0,4	0,7	0,4

Al igual que en el lago, la diatomea *T. fenestrata* y la crisofícea *D. cylindricum* fueron las más abundantes. En el Río Las Estacas, la criptofícea *Rhodomonas lacustris* Pascher & Ruttner y las algas verdes de la clase Zygnematophyceae *Spirogyra* sp. y *Mougeotia* sp. dominaron la comunidad, constituyendo el 75% de la abundancia total medida en el río. La estructura de la comunidad en este río es diferente, en términos de la dominancia de especies, con respecto a los otros ríos.

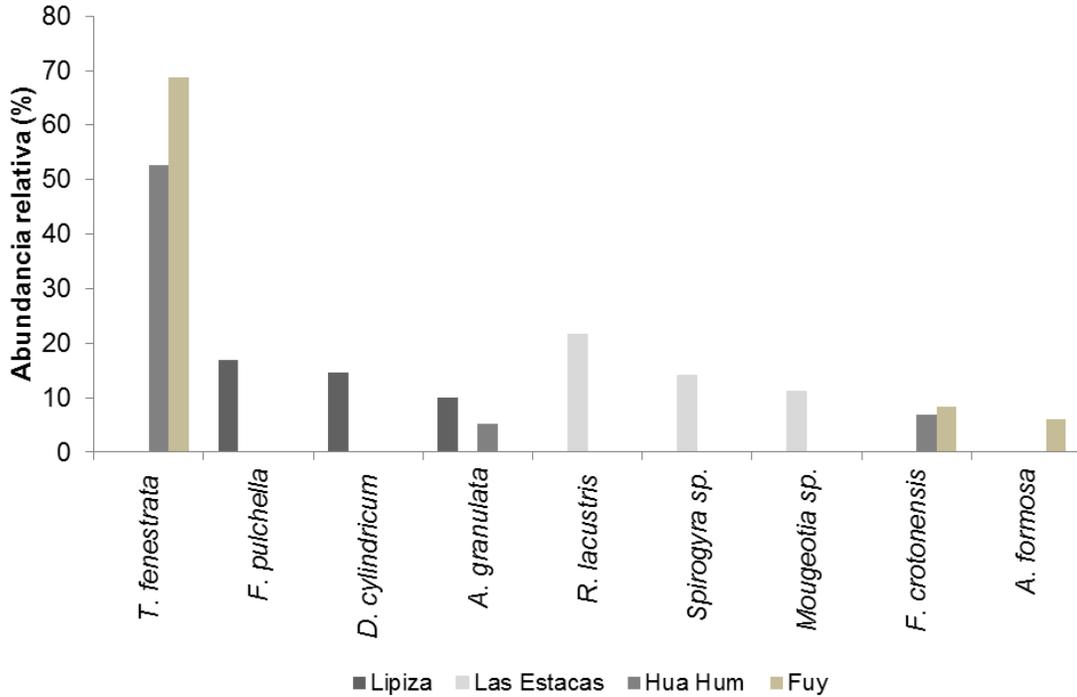


Figura 4.59. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Pirehueico.

En el efluente, Río Fuy, las diatomeas constituyeron el 87% de la abundancia de las microalgas en el río, las especies más abundantes fueron las diatomeas *T. fenestrata*, *F. crotonensis* y *A. formosa* coincidiendo con las especies más abundantes en el lago.

4.3.3.7 Especies invasoras

El dinoflagelado invasor *Ceratium hirundinella* fue registrado por Campos et al. (2000) en el lago Pirehueico, permanece aún en el lago pero con una baja abundancia (máximo 462 cél l⁻¹). En los ríos Lipiza (máximo 6.563 cél l⁻¹), Las Estacas (máximo 783 cél l⁻¹) y Fuy (máximo 5.875 cél l⁻¹) también fue registrado, principalmente en las estaciones de primavera y verano.

4.3.4 Calidad del agua tributarios

En la Figura 4.60 se muestra la variabilidad espacio-temporal de los parámetros de calidad de agua medidos en los afluentes y efluente del Lago Pirehueico. La ausencia de datos el mes de marzo en el río Fuy se debió a que este sistema lótico se encontraba seco.

La temperatura presentó una marcada tendencia estacional con valores altos en verano, bajos en invierno para volver a incrementar durante la primavera. La media de los afluentes fue de $12,41 \pm 5,10$ °C para Hua-Hum, $12,56 \pm 7,20$ °C Lipinza y $10,39 \pm 5,71$ °C Las Estacas, mientras que el efluente (río Fuy) registró un valor medio de $13,17 \pm 5,70$ °C. La temperatura máxima registrada fue de 23,0 °C en el río Lipinza, mientras que la mínima fue de 3,7 °C y se registró en el río Las Estacas. La conductividad mostró un patrón similar, con valores altos en verano, disminución en época de invierno, para nuevamente aumentar a finales de primavera (diciembre). En promedio se observó que el río Lipinza fue el que registró la mayor conductividad con $64,23 \pm 19,35$ $\mu\text{S/cm}$, seguido de los ríos Hua Hum ($50,27 \pm 6,53$ $\mu\text{S/cm}$), Fuy ($46,65 \pm 8,58$ $\mu\text{S/cm}$) y Las Estacas ($46,65 \pm 8,58$ $\mu\text{S/cm}$). El pH no registró una tendencia como la temperatura y conductividad, manteniéndose en una condición cercana a la neutra durante todo el periodo de estudio. Los valores medios registrados fluctuaron entre $6,84 \pm 0,46$, $6,76 \pm 0,38$, $6,91 \pm 0,41$ y $6,92 \pm 0,57$ en Hua Hum, Lipinza, Las Estacas y Fuy.

Los nutrientes, particularmente el fósforo y nitrógeno total, no mostraron marcadas tendencias temporales en los afluentes y efluente, manteniéndose generalmente con valores medios inferiores a 3,7 $\mu\text{g/L}$ y 0,2 mg/L, respectivamente. El *peak* máximo de nitrógeno registrado durante marzo (0,54 mg/L) se debió fundamentalmente a que en dicho mes no hubo flujo de caudal en el río Lipinza. Contrariamente, los nitratos mostraron una tendencia a la baja en época estival, para incrementar en invierno y nuevamente disminuir hacia finales de primavera. Valores medios de este parámetro no superaron los 0,03 mg/L tanto en los afluentes como efluente, mientras que la máxima se alcanzó en julio y registró valores de 0,055 mg/L, 0,059 mg/L, 0,087 mg/L y 0,043 mg/L en los ríos Hua Hum, Lipinza, Las Estacas y Fuy.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Pirehueico.

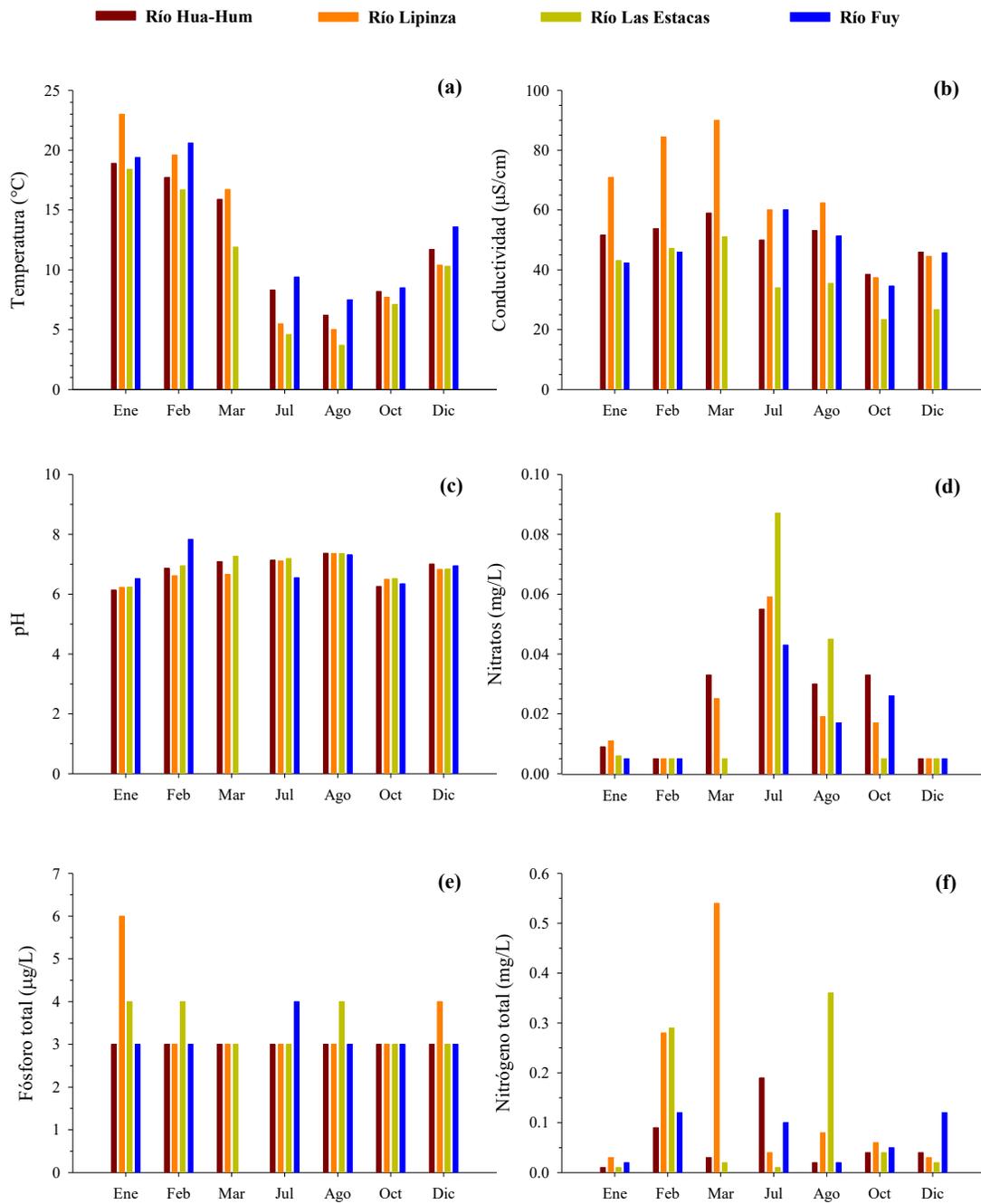


Figura 4.60. Parámetros de calidad de agua monitoreados en los afluentes (ríos Hua Hum, Lipinza y Las Estacas) y efluente (río Fuy) del Lago Pirehueico durante el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total

4.3.5 Caudales

El régimen de caudales de los afluentes y efluente del lago Pirehueico mostraron una marcada estacionalidad con mínimos valores en verano y máximos en invierno y primavera (Figura 4.61). El río Lipinza el mes de marzo no registró movimiento de sus aguas, mientras que el río Fuy durante el mismo mes estuvo seco. El mayor aporte de flujo al lago proviene del río Hua – Hum con un caudal medio anual de $57,93 \pm 56,0 \text{ m}^3/\text{s}$. En tanto los valores medios de los ríos Lipinza, Las Estacas y Fuy fueron de $3,71 \pm 3,38 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,44 \pm 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ y $88,41 \pm 113,10 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente.

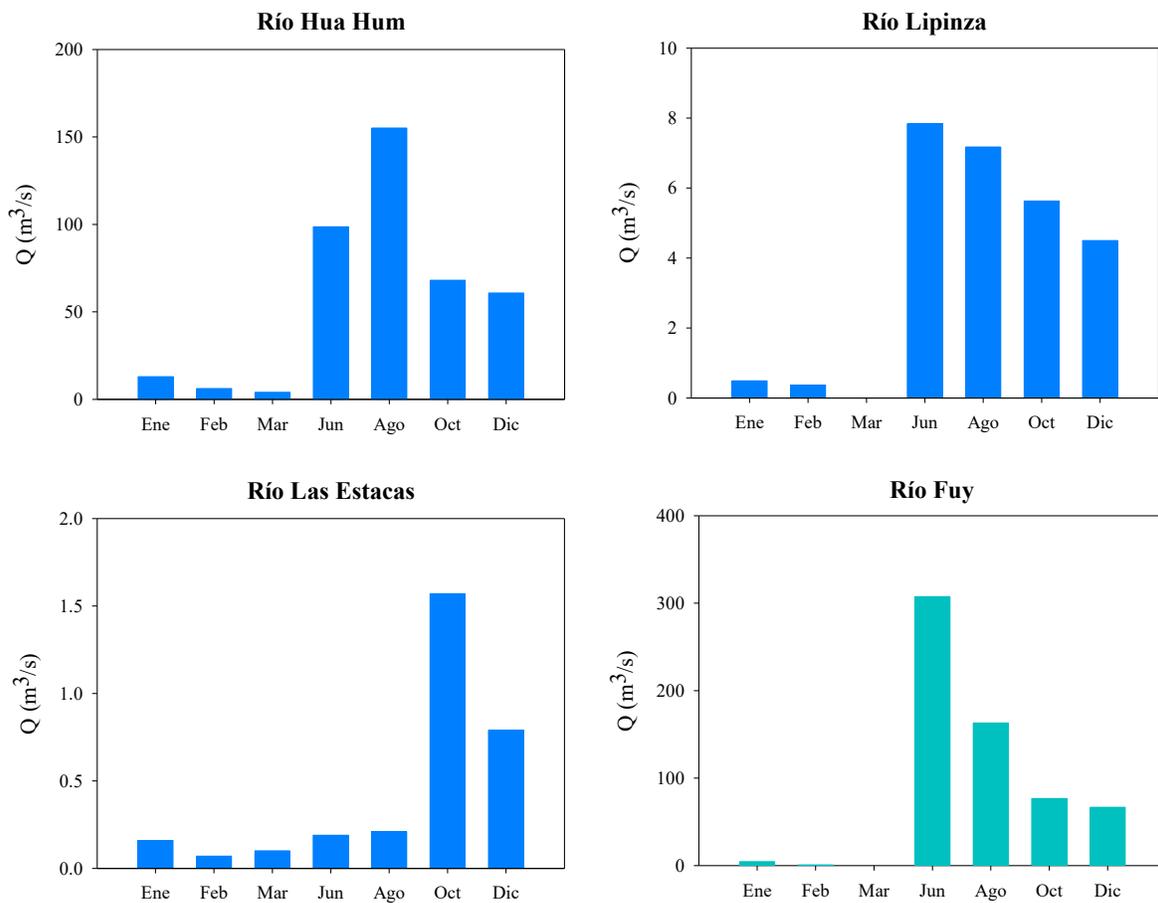


Figura 4.61. Hidrogramas de los afluentes (azul) y efluente (celeste) del Lago Pirehueico medidos durante el año 2015.

4.3.6 Estado trófico

En general, los resultados del índice de Carlson determinaron que el lago Pirehueico se ha mantenido en una condición de oligotrofia, de acuerdo a los niveles de fósforo total (TSI Pt), transparencia (TSI Ds) y clorofila a (TSI Clor a) (Figura 4.62). Esta condición también se vio reflejada al utilizar el método de clasificación de la OCDE (1982) para el valor medio de transparencia durante las campañas del año 2015 (Tabla 4.36). En tanto, las concentraciones medias de clorofila a y fósforo total lo catalogan como un lago ultraoligotrófico.

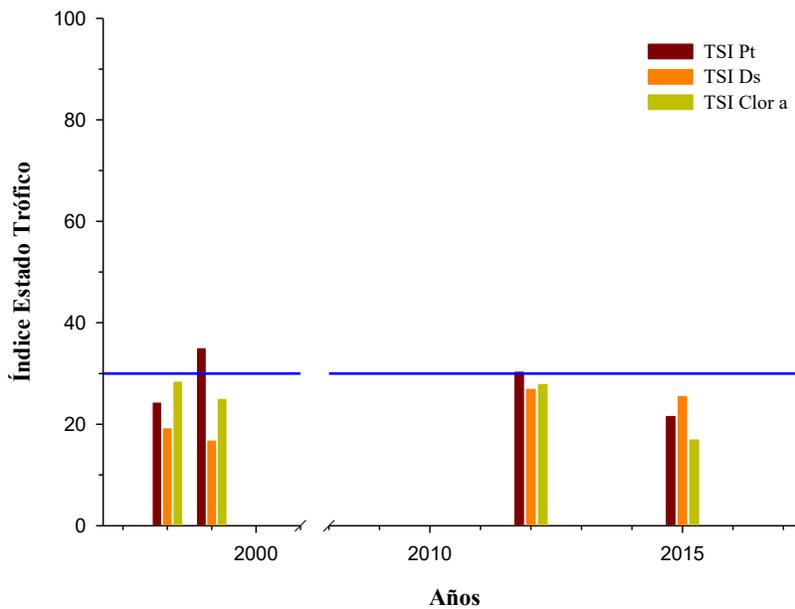


Figura 4.62. Variación temporal histórica del estado trófico del Lago Pirehueico.

Tabla 4.42. Estado trófico del lago Pirehueico según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	3,6	Ultraoligotrófico
Transparencia (m)	11,0	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,3	Ultraoligotrófico

4.3.7 Balance de nutrientes

4.3.7.1 Balance hídrico

Los resultados del balance hídrico se representan a través del cambio de almacenamiento (ΔS) estimado para el periodo simulado (2005-2013). La Figura 4.63a comparó el cambio de almacenamiento con los cambios en el volumen (ΔV) del lago Pihueico, observándose una gran fluctuación en el tiempo. En general, la presencia de estaciones fluviométricas y meteorológicas en la entrada y salida de lago permitió una mejor aproximación del balance hídrico, ya que no fue necesario utilizar métodos de extrapolación. No obstante, al comparar la anomalía estandarizada del volumen y almacenamiento, se observó que ambas series covarían de manera negativa (Figura 4.63b). Esta asociación negativa podría estar determinada por la ausencia de datos de aguas subterráneas.

Por otro lado, al comparar los distintos flujos incluidos en el balance hídrico (precipitaciones anuales, caudal entrada, caudal salida, evaporación y almacenamiento) se pudo observar que el almacenamiento es dominado por el flujo principal de entrada (río Hua Hum) y por el caudal de salida (río Fui) (Figura 4.64), indicando un comportamiento normal del balance hídrico. El detalle de los resultados se muestra en la Tabla 4.43.

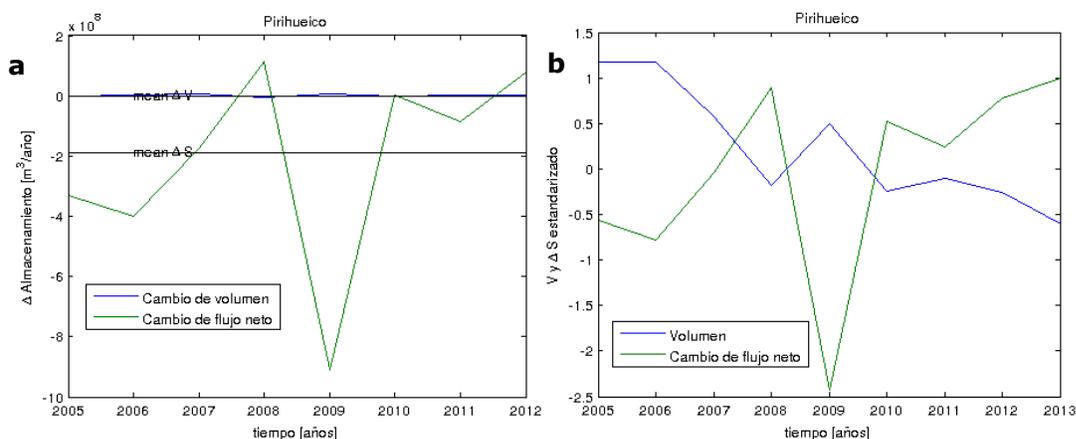


Figura 4.63a. Comparación entre el almacenamiento (ΔS) y el cambio de volumen (ΔV). Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.63b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

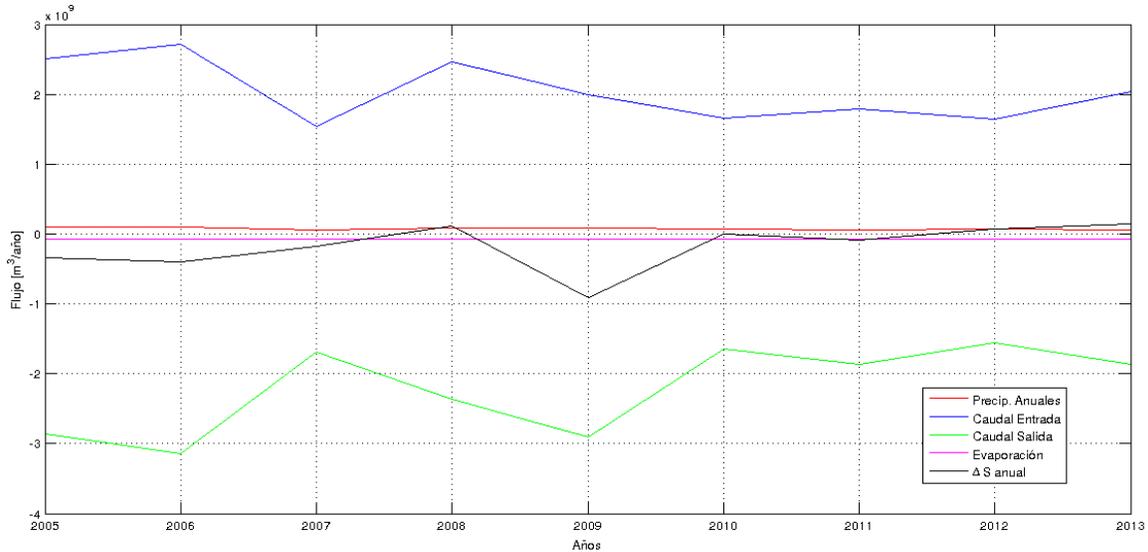


Figura 4.64. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.43. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 1° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal salida (m ³ /año)x10 ⁶	Evaporación (m ³ /año)x10 ⁶
2005	96	2514	2866	76
2006	106	2709	3143	74
2007	57	1536	1691	76
2008	83	2471	2361	80
2009	82	1989	2903	76
2010	69	1655	1652	70
2011	60	1791	1859	77
2012	71	1643	1560	76
2013	59	2035	1870	80

• **Escurrentía**

Los resultados de la estimación de escurrentía, precipitación y volumen para el periodo de simulación se muestran en la Tabla 4.44. En ella se observa una tendencia decreciente de la precipitación desde el año 2006 al 2013. En cuanto a la relación escurrentía/precipitación indica que en promedio el 95% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago Pirehueico. Finalmente, no se observaron variaciones importantes en el volumen del lago.

Tabla 4.44. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Pirehueico (2005 – 2013).

Años	Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/año)	Escorrentía (mm/año)
2005	1897	3135	3046
2006	1897	3446	3357
2007	1893	1907	1819
2008	1888	2710	2621
2009	1892	2712	2624
2010	1887	2275	2189
2011	1888	2010	1925
2012	1887	2387	2301
2013	1885	1949	1864

4.3.7.2 Cargas puntuales y difusas.

- **Fuentes Puntuales**

Luego de la revisión de la información obtenida desde los distintos servicios ambientales y sanitarios, se determinó que no existen fuentes puntuales que descarguen en la cuenca del lago. Esto es válido para la parte chilena, ya que existe una Planta de tratamiento de aguas en el lago Lacar en Argentina, pero dado el supuesto de la modelación, no se consideraron fuentes ubicadas fuera del lago.

- **Fuentes Difusas**

El análisis temporal de las cargas de nutrientes (Tabla 4.45) mostró una tendencia decreciente en el periodo analizado, esta baja en el flujo de fósforo y nitrógeno que ingresa al lago estaría condicionada por la disminución gradual de las precipitaciones en su cuenca de drenaje.

La estimación de las cargas difusas de nutrientes indicó que el suelo con bosque nativo es la principal fuente de entrada de fósforo y nitrógeno al lago (Figura 4.65).

Además, las áreas sin vegetación también contribuyen de manera significativa al aporte de fósforo, a pesar de cubrir una pequeña área dentro de la cuenca (4%, ver Tabla 4.45).

Tabla 4.45. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Pirehueico.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carga fósforo (Ton/año)	12,5	13,8	7,5	10,8	10,8	8,4	7,4	8,8	7,1
Carga nitrógeno (Ton/año)	99,7	109,8	59,5	85,7	85,8	72,1	63,4	75,8	61,4

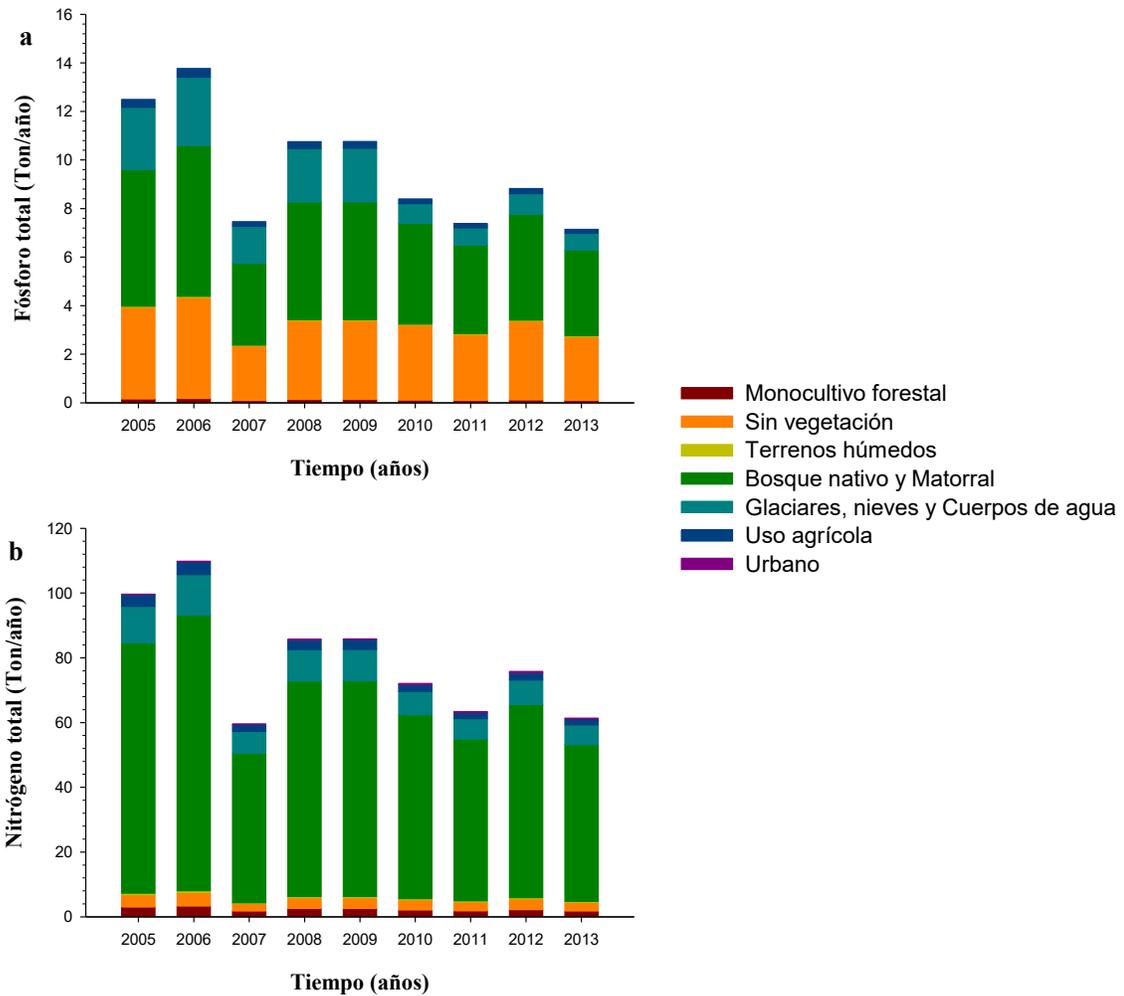


Figura 4.65. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Pirehueico.

4.3.7.3 Estimación del balance de nutrientes

- Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad mostró que el balance de nutrientes (fósforo y nitrógeno) es altamente sensible al coeficiente de exportación (Figura 4.66). En tanto, al modificar el valor curva número el modelo registra una baja sensibilidad, comparado con el coeficiente de exportación.

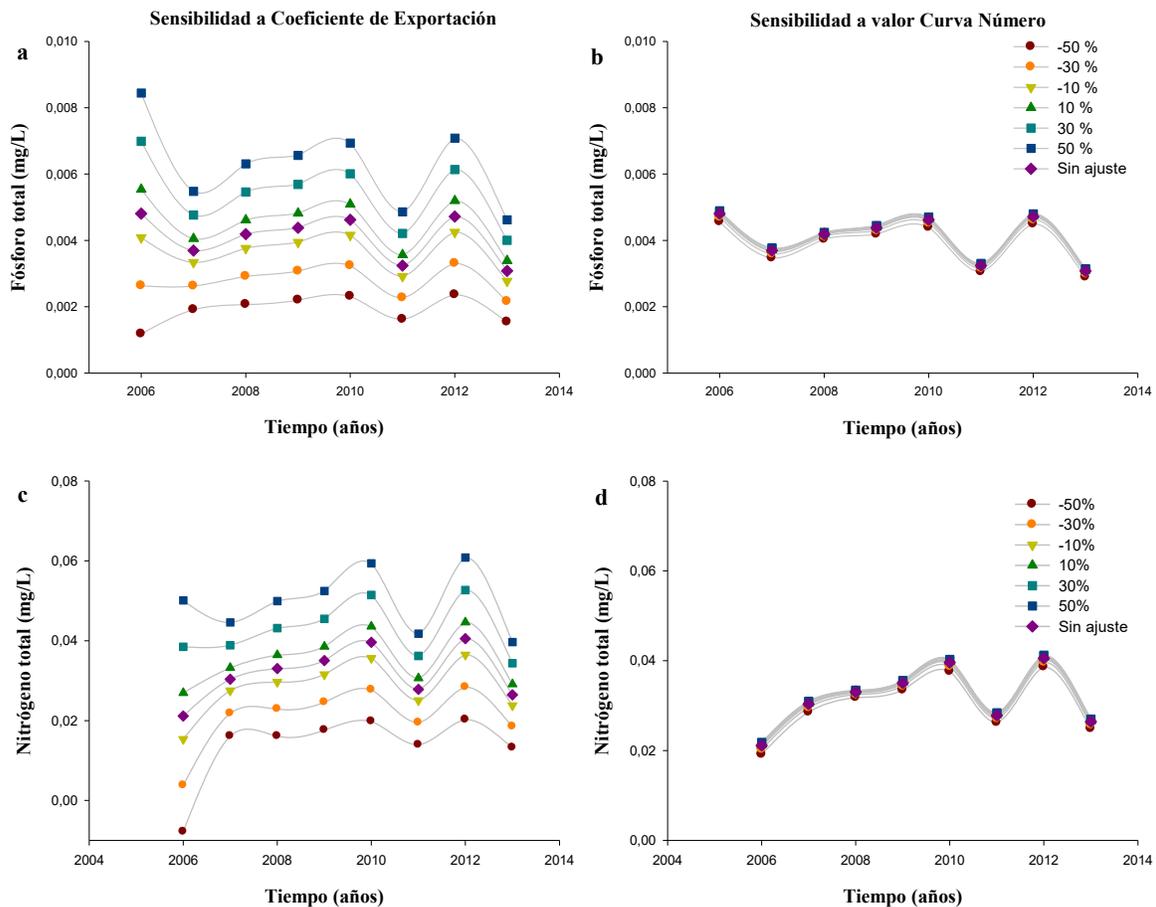


Figura 4.66. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

- Balance de nutrientes**

En relación al lago Pirehueico, sólo existen datos históricos de nutrientes para el año 2012 y 2015, por lo que no fue posible obtener el índice de ajuste PBIAS para determinar el ajuste del balance para todo el periodo de simulación (2005-2015).

Los resultados de la modelación determinaron que las concentraciones de fósforo en el lago fluctuaron entre 0,003-0,009 mg/L, mientras que las de nitrógeno oscilaron entre 0,02-0,29 mg/L (Figura 4.67 y Tabla 4.46).

Tabla 4.46. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.

Año	Fósforo total (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)	
	Datos medidos	Datos simulados	Datos medidos	Datos simulados
2005		0,003		0,04
2006		0,005		0,02
2007		0,004		0,03
2008		0,004		0,03
2009		0,004		0,04
2010		0,005		0,04
2011		0,003		0,03
2012	0,006	0,005	0,04	0,04
2013		0,003		0,03
2015	0,003	0,009	0,05	0,29

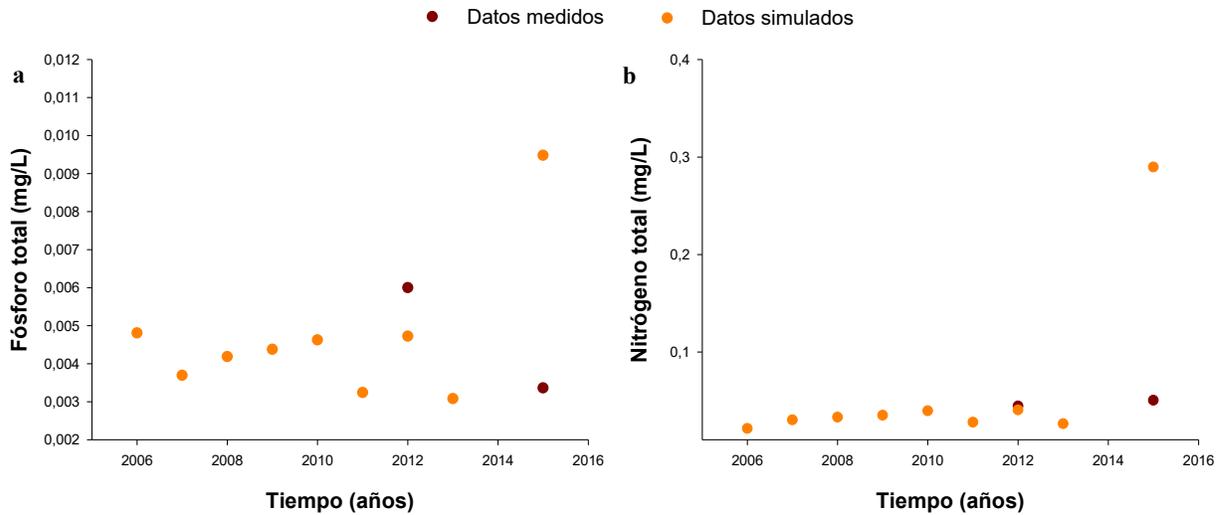


Figura 4.67. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.3.8 Determinación de carga crítica

La Figura 4.68 y Tabla 4.47 compara la carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo. En ellas se observa que la carga actual de fósforo del lago osciló entre 7-19 Ton P/año, la que es menor que la carga crítica estimada (32-56 Ton/año) durante los distintos años analizados. Del mismo modo, la carga actual de nitrógeno durante los años 2005 y 2013 fue mucho menor que la carga crítica estimada. Sin embargo, el año 2015, el valor de la carga actual registró un importante incremento en relación a las estimaciones realizadas en los años anteriores, pero sin sobrepasar la carga crítica.

Tabla 4.47. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	52	12	722	100
2006	56	14	780	110
2007	35	7	467	60
2008	45	11	614	86
2009	42	11	575	86
2010	32	8	427	72
2011	37	7	505	63
2012	33	9	437	76
2013	37	7	507	61
2015	38	19	684	552

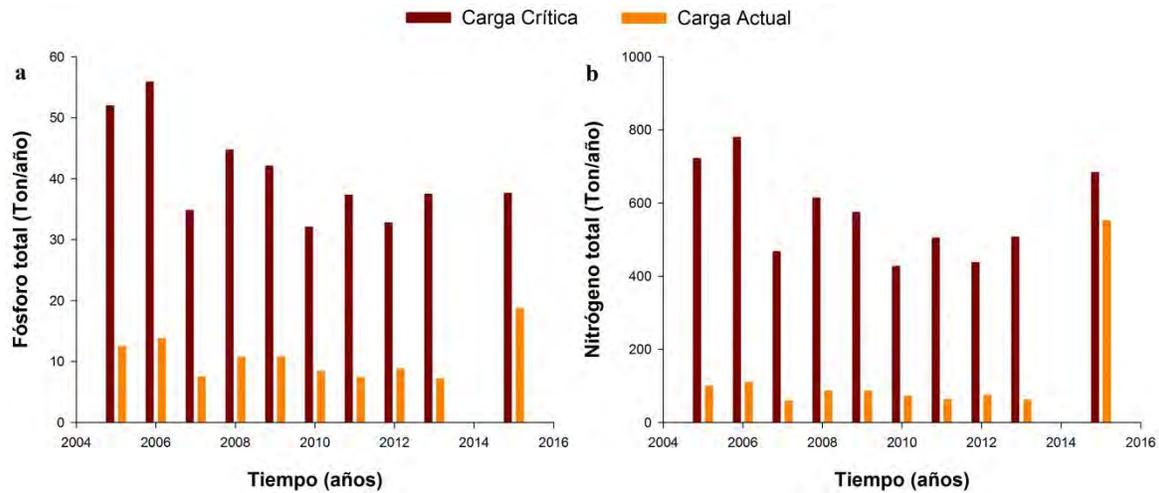


Figura 4.68. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.3.9 Sedimentos

4.3.9.1 Lago

- **Fósforo total**

Los niveles de fósforo registrados en los sedimentos de este lago, se encuentran mayoritariamente dentro del rango estimado para el set de lagos. Los valores más altos se encontraron en la estación E3, durante el monitoreo de otoño e invierno. El valor más bajo se reportó en la estación E3, durante el invierno (Tabla 4.48).

- **Materia orgánica**

El contenido de materia orgánica presenta algunas diferencias importantes a lo largo de los monitoreos realizados. Las concentraciones más bajas se encontraron en la estación E3 durante el verano, mientras que el valor más alto se determinó en la estación E1, durante el otoño (Tabla 4.48).

- **pH**

Los niveles de pH en los sedimentos del L. Pirehueico no mostraron diferencias importantes ni entre estaciones ni entre los monitoreos realizados. La mayoría de las mediciones se mantuvieron en torno a la neutralidad (Tabla 4.48).

- **Potencial redox**

La mayoría de las mediciones de potencial redox en los sedimentos de este lago presentaron valores negativos, alcanzando la estación E2 en otoño, el valor negativo más alto de todo el dataset de los lagos. Llama la atención que las estaciones E1 y E3 durante el verano hayan registrado valores positivos de potencial redox, mientras que durante el mismo monitoreo la estación E2 mostró valores negativos (Tabla 4.48).

- **Sílice biogénica**

La concentración de sílice en los sedimentos de este lago fue bastante baja en comparación a los lagos reportados con anterioridad (Tabla 4.48). Durante el verano las estaciones E1 y E3 fueron las que presentaron los valores más altos de todo el lago, mientras que durante la primavera, se registraron los valores más bajos. Probablemente la baja cantidad de sílice puede estar relacionado a una baja productividad del fitoplancton (diatomeas), debido a una menor cantidad de nutrientes (ver nivel de nutrientes en agua).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Pirehueico.

Tabla 4.48. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Pirehueico durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	736,1	5,3	8,0	312,0	4,0
Estación 2	1384,1	10,1	7,1	-100,5	0,1
Estación 3	837,5	4,6	7,5	205,3	3,9
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	1265,1	8,9	6,4	---	0,6
Estación 2	1020,8	10,9	6,5	---	0,7
Estación 3	829,6	6,5	6,9	---	0,8
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	2034,3	15,9	7,6	-125,5	0,3
Estación 2	1454,1	11,6	7,0	-183,5	0,3
Estación 3	2192,6	13,0	7,2	-73,5	0,5
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	1052,3	2,9	7,1	-61,8	0,1
Estación 2	1231,4	5,9	7,1	-140,0	0,1
Estación 3	2104,9	13,6	7,4	-94,5	0,1
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	1603,6	14,2	7,1	-51,3	0,5
Estación 2	1555,7	10,5	7,1	-108,6	0,3
Estación 3	2265,5	11,9	7,4	-183,5	0,5
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	1403,2	6,4	7,4	-120,2	0,1
Estación 2	1263,7	8,2	7,1	-104,7	0,1
Estación 3	1065,3	5,7	7,1	266,8	0,2
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	675,5	5,3	7,2	-38,4	0,2
Estación 2	626,0	6,4	7,0	-59,2	0,4
Estación 3	1127,8	7,8	7,1	202,5	0,5

4.3.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.49 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Pirehueico.

Tabla 4.49. Concentración de fósforo total (mg kg⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Fuy	764,1	610,9	Seco	-	827,6	291,9	462,0
Río Las Estacas	1515,2	630,7	1042,3	981,6	895,4	344,0	307,4
Río Lipinza	1430,2	1196,3	1287,7	-	-	1399,4	532,2
Río Hua Hum	841,7	719,6	1119,5	-	-	486,0	306,9

- **Materia orgánica**

En la Tabla 4.50 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Pirihueico.

Tabla 4.50. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Río Fuy	2,50	1,60	Seco	-	17,8	8,90	2,80
Río Las Estacas	0,90	1,40	0,80	-	4,00	2,60	3,20
Río Lipinza	20,0	8,50	2,90	-	-	25,7	8,10
Río Hua Hum	2,20	1,80	3,90	-	-	4,50	4,80

- **Facies texturales**

En la Tabla 4.51 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Pirihueico.

Tabla 4.51. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Río Fuy	30,7	68,3	0,90
Río Las Estacas	12,4	85,0	2,60
Río Lipinza	41,7	56,1	2,20
Río Hua Hum	40,7	58,9	0,40

4.4 LAGO PANGUIPILLI

4.4.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.69, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 268 m y un volumen de 14,7 Km³.

4.4.2 Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias durante el periodo estudiado fluctuaron entre 7 y 21°C, registrándose la mínima en agosto y la máxima en enero (Figura 4.70, Tabla 4.52). La tendencia durante el año muestra un incremento de temperaturas en periodo de verano y hasta principios de otoño, con una alta desviación estándar en todas estas estaciones, indicativo de una heterogeneidad de las temperaturas a lo largo de la columna de agua generado por la presencia de termoclina. Durante el periodo de invierno, las estaciones tienden a tener una distribución vertical más homogénea de temperaturas sugiriendo la mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 25 µS/cm a 52 µS/cm, registrándose la mínima en agosto y la máxima en febrero (Figura 4.70, Tabla 4.52). Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose que desde mediados del periodo estival y hasta principios de otoño la conductividad se mantuvo con altos valores que tendieron a decrecer hacia los meses de invierno y hasta principios del verano.

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración promedio de nitrógeno total en las tres estaciones tuvo una alta variabilidad fluctuando de 0,02 a 0,11 mg/L, observándose la mínima en marzo y la máxima en febrero. Las concentraciones medias de nitrógeno para las tres estaciones evidencian durante todo el año una distribución heterogénea en el cuerpo de agua. De igual forma, la distribución vertical de las concentraciones de nitrógeno total sugiere una alta heterogeneidad, particularmente desde los meses de verano.

- **pH**

La concentración promedio de pH fue poco variable durante el periodo estudiado, con valores que fluctuaron entre 6 y 8, siendo cercanos a la neutralidad. La distribución vertical de pH en el lago en general fue homogénea y solo presentó leves variaciones durante el periodo estival. Las estaciones muestreadas presentaron valores muy similares durante todo el año (Figura 4.70, Tabla 4.52).

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,01 y 0,37 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en junio. La distribución vertical de nitrato en la columna de agua es muy variable durante el año en las tres estaciones, sin un patrón determinado. Se observa que las estaciones presentan diferencias en las concentraciones promedio de nitrato en cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante todo el periodo estudiado variaron de 3 a 6 µg/L, observándose que las mayores concentraciones fueron registradas en la estación 3 en el mes de febrero y la estación 2 en el mes de agosto (Figura 4.70). Durante los meses restantes los niveles de fósforo total oscilaron en torno a los 3 µg/L y presentaron un perfil vertical con poca variación.

En la Figura 4.70 entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

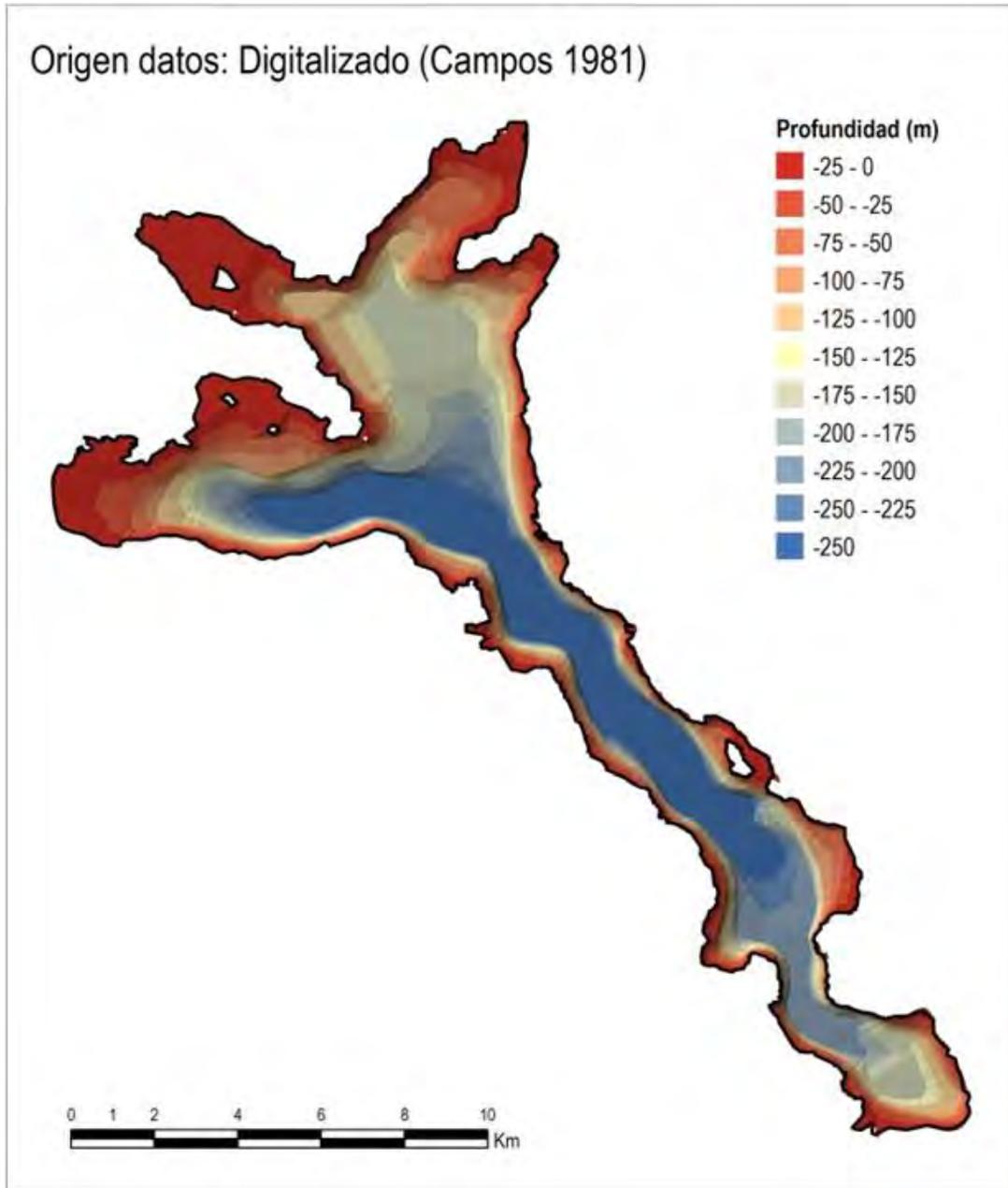


Figura 4.69. Batimetría del lago Panguipulli.

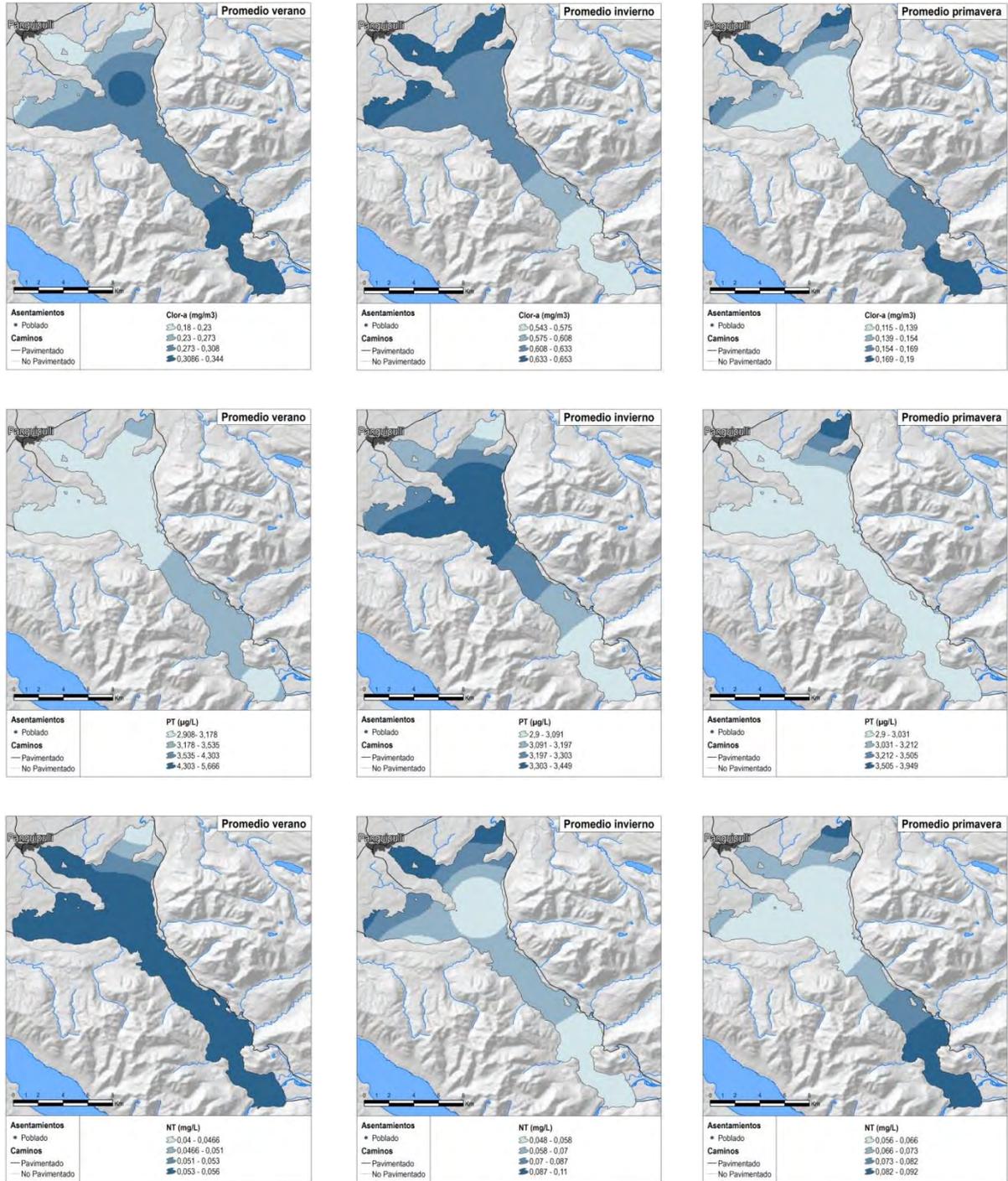


Figura 4.70. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Panguipulli durante el año 2015.

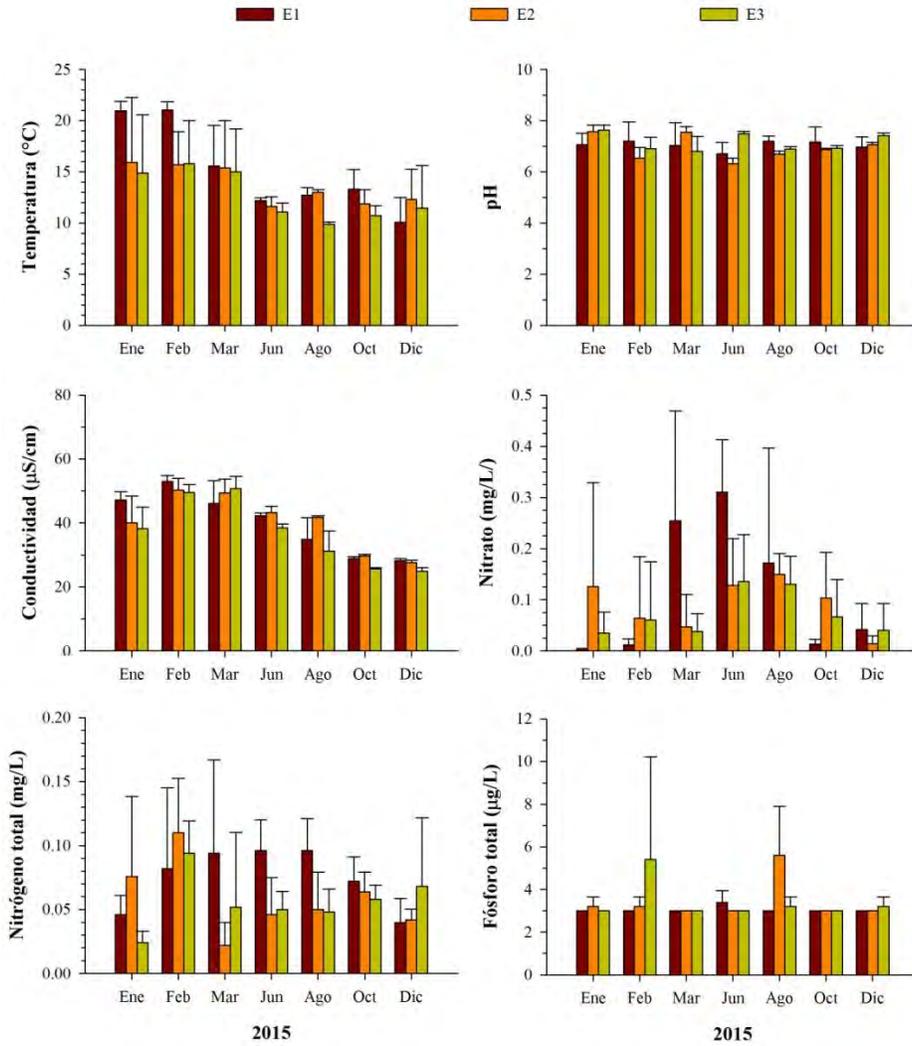


Figura 4.71. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.52. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Panguipulli de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE
Enero	E1	20,9	1	46,2	1	0,04	0,01	7,2	0,3	0,01	0	3	0
	E2	15,9	6,4	40	8,4	0,08	0,06	7,6	0,3	0,13	0,2	3,2	0,4
	E3	14,9	5,7	38,2	6,7	0,02	0,01	7,6	0,2	0,03	0,04	3	0
Febrero	E1	21,5	0,5	51,7	0,7	0,11	0,03	6,6	0,4	0,01	0	3	0
	E2	15,7	3,2	50,2	3,7	0,11	0,04	6,5	0,4	0,06	0,12	3,2	0,4
	E3	15,8	4,2	49,5	2,5	0,09	0,03	6,9	0,4	0,06	0,11	5,4	4,8
Marzo	E1	20,1	0,3	54,4	0,5	0,02	0,01	8	0,1	0,02	0,01	3	0
	E2	15,4	4,6	49,5	4,3	0,02	0,02	7,6	0,2	0,05	0,06	3	0
	E3	15	4,2	50,8	3,9	0,05	0,06	6,8	0,6	0,04	0,03	3	0
Junio	E1	12,4	0,5	41,4	0,8	0,13	0,03	6,3	0,1	0,36	0,1	3	0
	E2	11,6	1	43,2	2	0,05	0,03	6,3	0,2	0,13	0,09	3	0
	E3	11,1	0,9	38,4	1,3	0,05	0,01	7,5	0,1	0,14	0,09	3	0
Agosto	E1	12,6	0,4	42,5	0,5	0,1	0,03	7	0	0,36	0,08	3,4	0,5
	E2	13	0,3	41,7	0,5	0,05	0,03	6,7	0,1	0,15	0,04	5,6	2,3
	E3	7,2	0,5	28,1	0,3	0,05	0,02	6,9	0,1	0,13	0,05	3,2	0,4
Octubre	E1	12,1	0,9	29,7	0,6	0,08	0,01	7,1	0,5	0,01	0,01	3	0
	E2	11,9	1,4	29,8	0,5	0,06	0,02	6,9	0	0,1	0,09	3	0
	E3	10,7	0,9	25,6	0,4	0,06	0,01	6,9	0,1	0,07	0,07	3	0
Diciembre	E1	13,8	1,4	28,3	0,5	0,06	0,01	7,5	0,1	0,01	0,01	3	0
	E2	12,7	2,4	27,6	0,7	0,05	0	6,9	0,2	0,04	0,07	3	0
	E3	13	3	24,9	1,1	0,15	0,03	7,2	0,4	0,09	0,09	3	0

- **Perfiles limnológicos**

La temperatura superficial del lago Panguipulli fluctuó entre 10°C y 22°C durante el periodo de estudio, registrándose la mínima en agosto y la máxima en enero (Figura 4.72). Según el régimen térmico observado este lago se clasifica como monomítico temperado, con estratificación térmica estival y con mezcla completa en invierno. La termoclina se ubica entre los 10 y los 30 metros de profundidad, con una amplitud de 12°C.

Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron entre 6 y 13 mg O₂/L durante el periodo estudiado, registrándose la mínima en Diciembre y la máxima en Agosto (Figura 4.73). Los perfiles de oxígeno disuelto durante el periodo estival y hasta principios de otoño presentaron una distribución ortógrada, con una tendencia inversa al perfil de temperaturas. En los meses de Junio, Agosto y Octubre, las concentraciones de oxígeno son homogéneas manteniéndose alrededor de los 11 mg O₂/L. Los perfiles de clorofila registran variaciones en sus concentraciones durante el periodo estudiado. Desde diciembre a marzo, el incremento de clorofila fue observado a partir de los 30 metros de profundidad, mientras que entre junio a octubre se presentó alrededor de los 20 metros de profundidad. Excepto por el mes de agosto, las concentraciones de clorofila tienden a disminuir con la profundidad, sin observarse un patrón determinado.

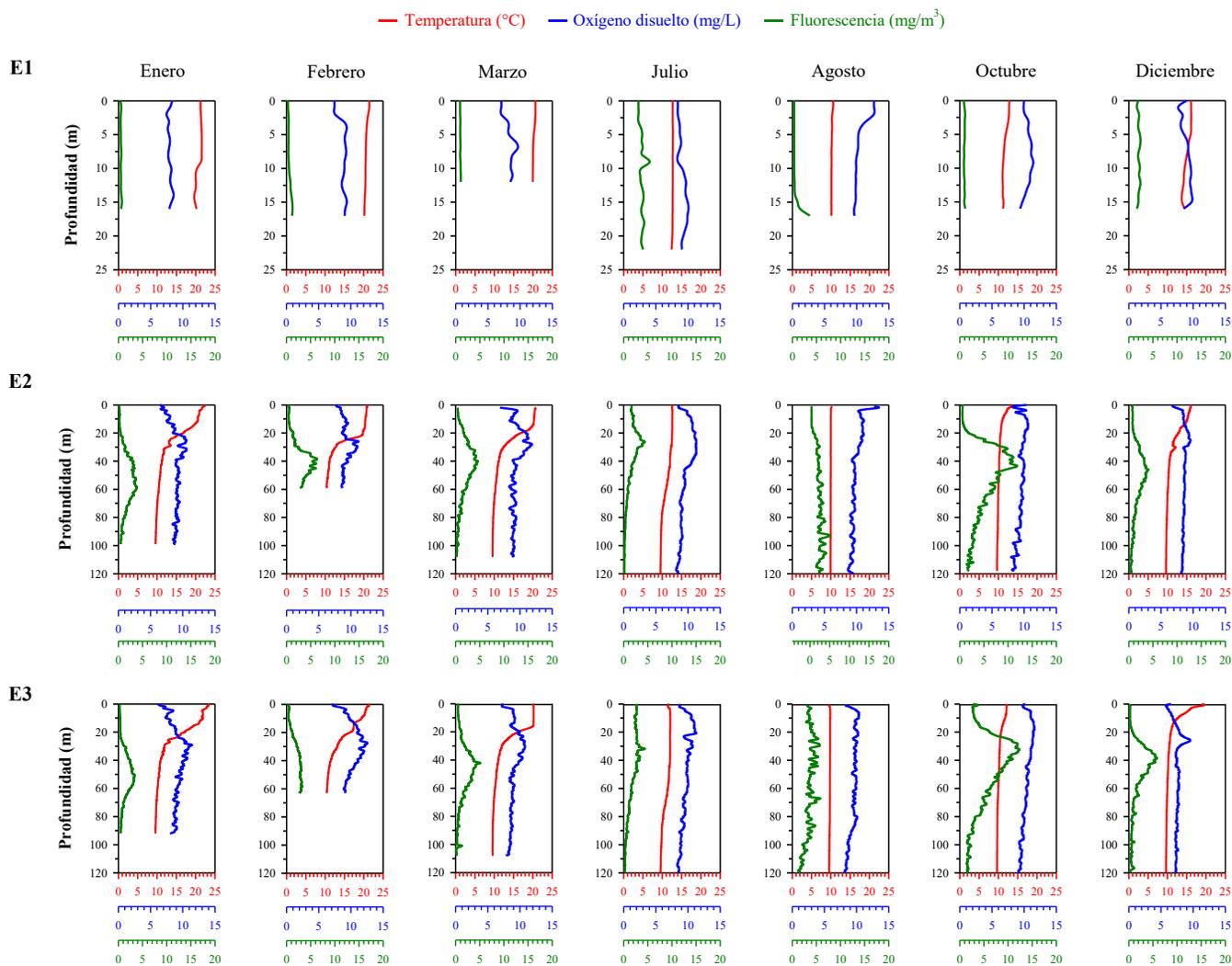


Figura 4.72. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Panguipulli durante el periodo de estudio.

4.4.3 Fitoplancton

4.4.3.1 Composición específica y abundancia relativa

La comunidad fitoplanctónica en el lago Panguipulli está compuesta por 11 clases diferentes (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae, Ulvophyceae y Zygnematophyceae) en donde se registraron 108 taxones (Tabla 4.53). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 94 % de la abundancia de taxa en la comunidad, este grupo fue el más diverso con 66 taxa (Figura 4.73).

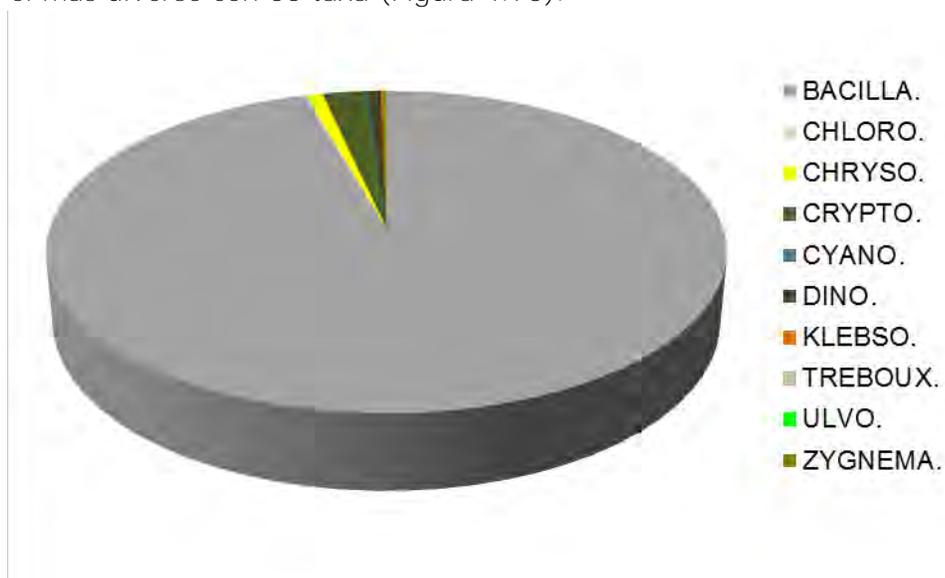


Figura 4.73. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Panguipulli. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

Tabla 4.53. Listado de especies presentes en el Lago Panguipulli.

Clase/Género/Especie	Clase/Género/Especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Coelastrum microporum</i> Naegeli
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Komárkova-Legnerová
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerová
<i>Coscinodiscus aff radiatus</i> Ehrenberg	<i>Oedogonium</i> sp.
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Scenedesmus eornis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Willea irregularis</i> (Wille) Schmidle
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	CHRYSOPHYCEAE
<i>Diatoma</i> sp.	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Schmidt	<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	CRYPTOPHYCEAE
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Epithemia sores</i> Kützing	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	CYANOBACTERIA
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	<i>Dolichospermum aff constricta</i>
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	<i>Dolichospermum aff spiroides</i>
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Microcystis elachista</i> (West & G.S.West) Starmach
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	DINOPHYCEAE
<i>Frustulia rhomboidea</i> (Ehrenberg) De Toni	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	KLEBSORMIDIOPHYCEAE
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille
<i>Gomphonema</i> sp.	TREBOUXIOPHYCEAE
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	<i>Oocystis aff solitaria</i> Wittrock
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Melosira</i> sp.	ULVOPHYCEAE
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Ulothrix</i> sp.
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	ZYGNEMATOPHYCEAE
<i>Navicula cocconeiformis</i> Gregory ex Greville	<i>Closterium aciculare</i> T.West
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Closterium aff pronum</i> Brébisson
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	<i>Cosmarium aff depressum</i> (Nägeli) Lundell
<i>Navicula lateropunctata</i> J.H.Wallace	<i>Gonatozygon monotaenium</i> De Bary
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	<i>Sphaerososma aubertianum</i> W. West
<i>Navicula</i> sp.	<i>Staurodesmus lobatus</i> (Børgesen) Bourrelly
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	
<i>Neidium</i> sp.	
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst	
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	
<i>Nitzschia</i> sp.	
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	
<i>Pinnularia</i> sp.	
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	
<i>Surirella</i> sp.	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	

4.4.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

La comunidad presentó una diversidad (H' loge) de 1,5 y una equidad de $J' = 0,3$. La dominancia ($\Lambda = 0,6$) indicó que la comunidad está dominada por pocas especies, principalmente *T. fenestrata*, *F. crotonensis*, *A. granulata* y *R. lacustris*.

Espacialmente, la estructura de la comunidad fue similar entre los sitios E1, E2 y E3 (Figura 3.74), los índices comunitarios de abundancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,7$; $p > 0,05$), riqueza ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,5$; $p > 0,05$), diversidad (H' loge) ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 1,8$; $p > 0,05$) y dominancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 3,0$; $p > 0,05$), no presentaron diferencias estadísticamente significativas, en los tres sitios predominaron las diatomeas (Tabla 4.54).

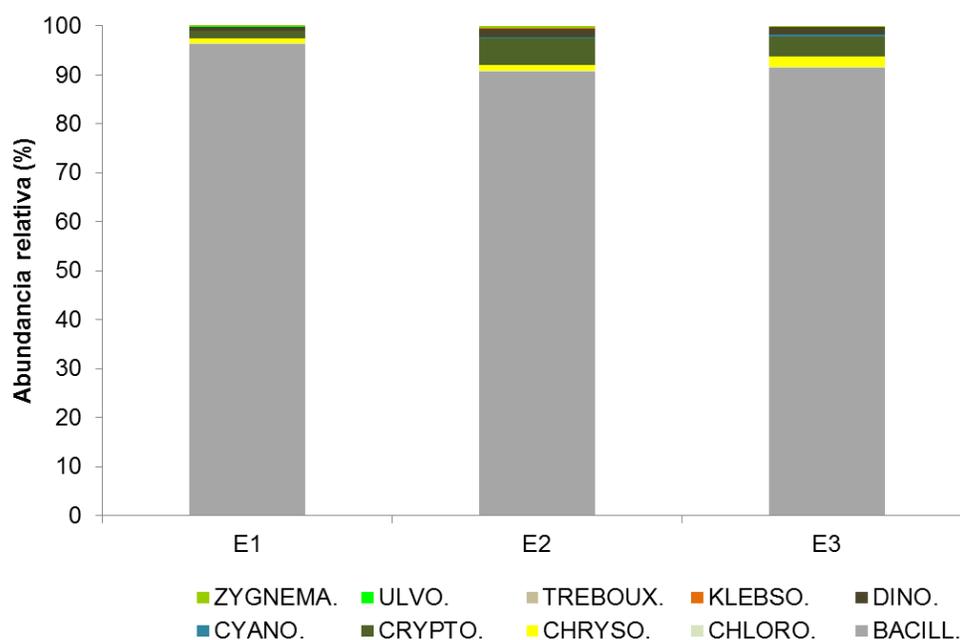


Figura 4.74. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

La abundancia de fitoplancton varió temporalmente, siendo mayor durante primavera y menor durante el otoño (Figura 4.75), estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 9,6$; $p < 0,05$). La máxima abundancia celular fue de $1.367.002 \text{ cél l}^{-1}$ causada por el aumento de la abundancia de *T. fenestrata* en el mes de octubre (ver Anexo N°2)

Tabla 4.54. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Panguipulli por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ= Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera

Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
E1I	40	1.151.635	3,1	0,4	1,5	0,6
E2I	31	646.012	2,5	0,4	1,5	0,6
E3I	44	1.027.113	3,5	0,6	2,1	0,8
E1O	28	268.993	2,5	0,5	1,7	0,7
E2O	27	125.248	2,6	0,6	1,9	0,8
E3O	18	94.201	1,7	0,6	1,9	0,8
E1P	42	5.715.702	2,9	0,3	1	0,5
E2P	25	1.807.636	1,9	0,4	1,3	0,6
E3P	37	1.612.535	2,8	0,4	1,4	0,6
E1V	62	788.724	5,1	0,6	2,4	0,8
E2V	55	738.991	4,5	0,4	1,8	0,6
E3V	68	361.542	6	0,7	2,9	0,9

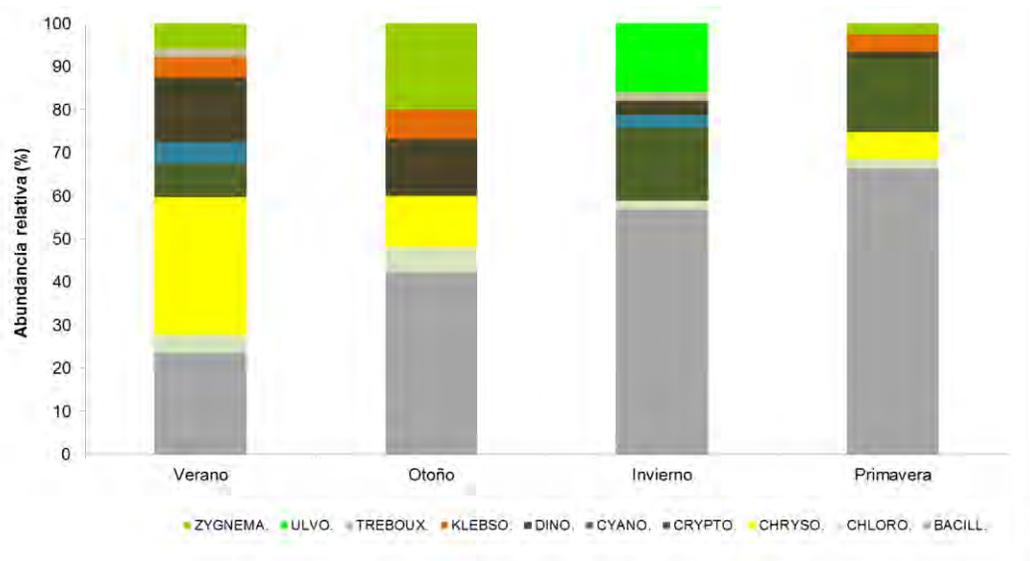


Figura 4.75. Abundancia relativa de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Uivophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

La mayor abundancia de células se registró a los 10 m de profundidad, en donde también se presentó la mayor riqueza de taxa y una alta diversidad (Tabla 4.55). Las diatomeas

fueron abundantes en todos los estratos de profundidad, lo que se puede explicar por la presencia de frústulos que sedimentan desde la superficie y se pueden encontrar en toda la columna de agua (Figura 4.76).

Tabla 4.55. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Panguipulli. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.

Estrato	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	68	1.680.670	5,2	0,5	2,1	0,8
5	50	1.422.303	3,9	0,5	1,8	0,8
10	73	4.690.104	5,2	0,4	1,6	0,7
15	51	487.248	4,3	0,5	2,1	0,8
18	19	1.183.164	1,4	0,3	1	0,4
20	33	1.793.528	2,5	0,3	1,1	0,4
30	62	1.657.384	4,8	0,5	2,1	0,8
50	42	260.934	3,8	0,5	1,8	0,7
70	48	751.938	3,9	0,5	1,8	0,7
100	32	411.058	2,7	0,6	2	0,8

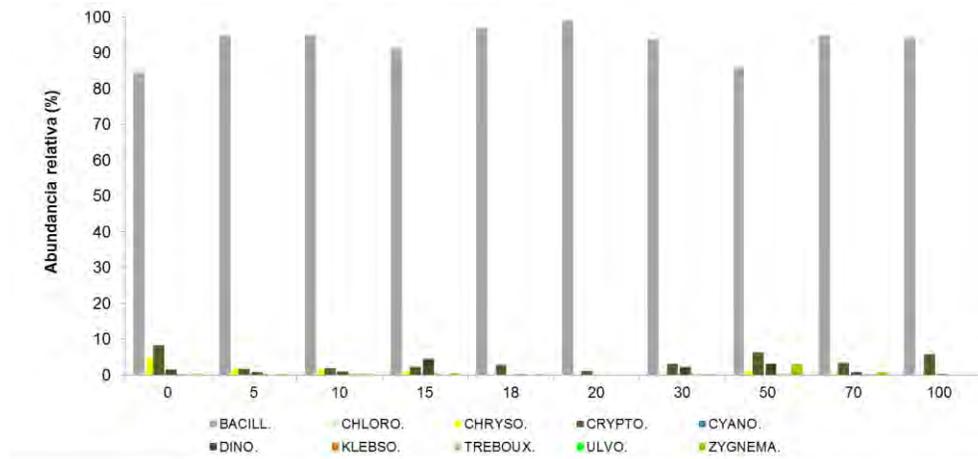


Figura 4.76. Número de células de clases de microalgas más abundantes en Panguipulli, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBO: Trebouxiophyceae y ZYGNEMA: Zygnematophyceae.

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 55 % de similitud se diferencian dos grupos, uno formado por los sitios muestreados en la estación de otoño, en donde la abundancia y riqueza fue menor y otro con los sitios en el resto de las estaciones del año (Figura 4.77a y Figura 4.77b). En este último se forman dos subgrupos, en donde se diferencia la

estructura de la comunidad del fitoplancton durante el verano con respecto a la primavera y el invierno, en donde es más similar.

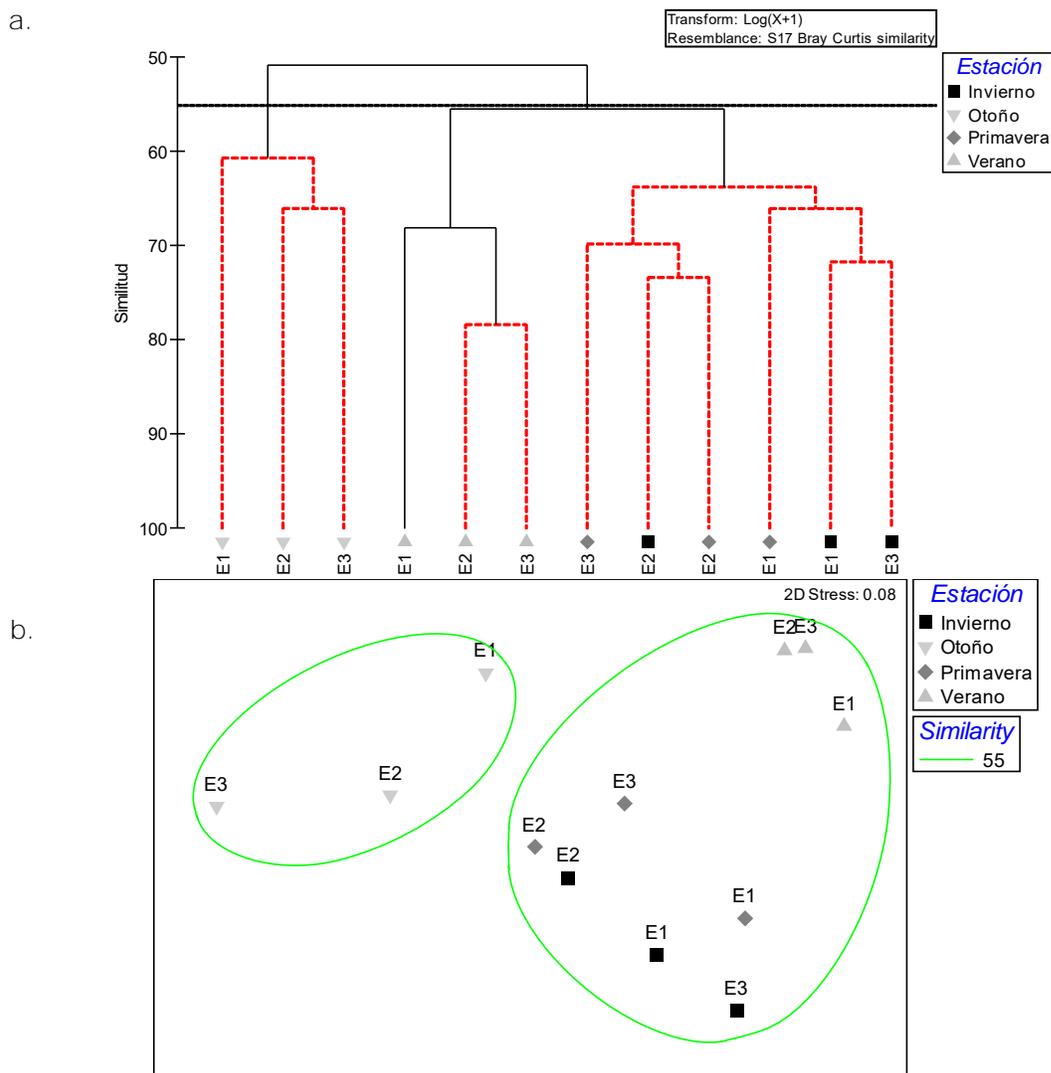


Figura 4.77a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Panguipulli. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.77b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Panguipulli.

4.4.3.3 Especies más abundantes

En la Figura 4.78, se presentan las 10 especies más abundantes de la comunidad, que representan en su conjunto el 94% de la abundancia relativa de las microalgas en el lago. Las diatomeas *T. fenestrata*, *F. crotonensis* y *A. granulata* dominaron la comunidad.

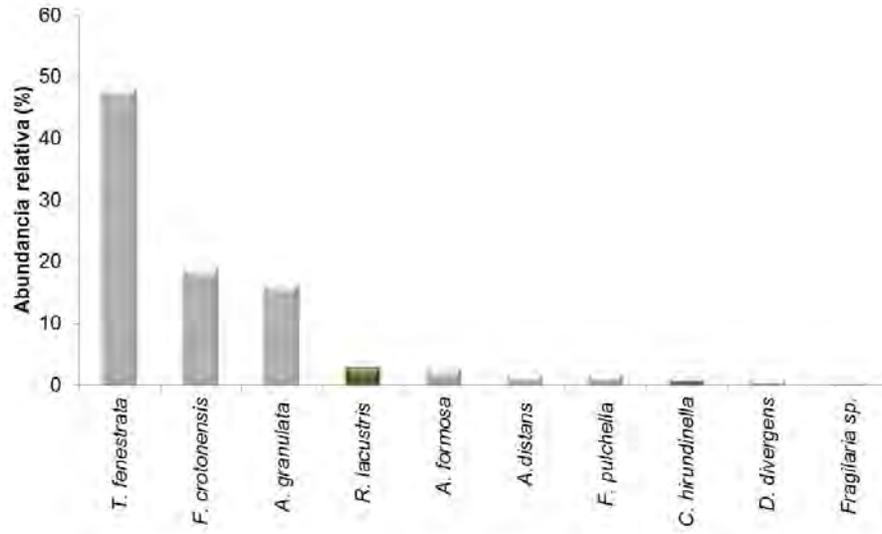


Figura 4.78. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

Las diatomeas y la criptoficea fueron abundantes en primavera en los tres sitios de muestreo (Figura 4.79).

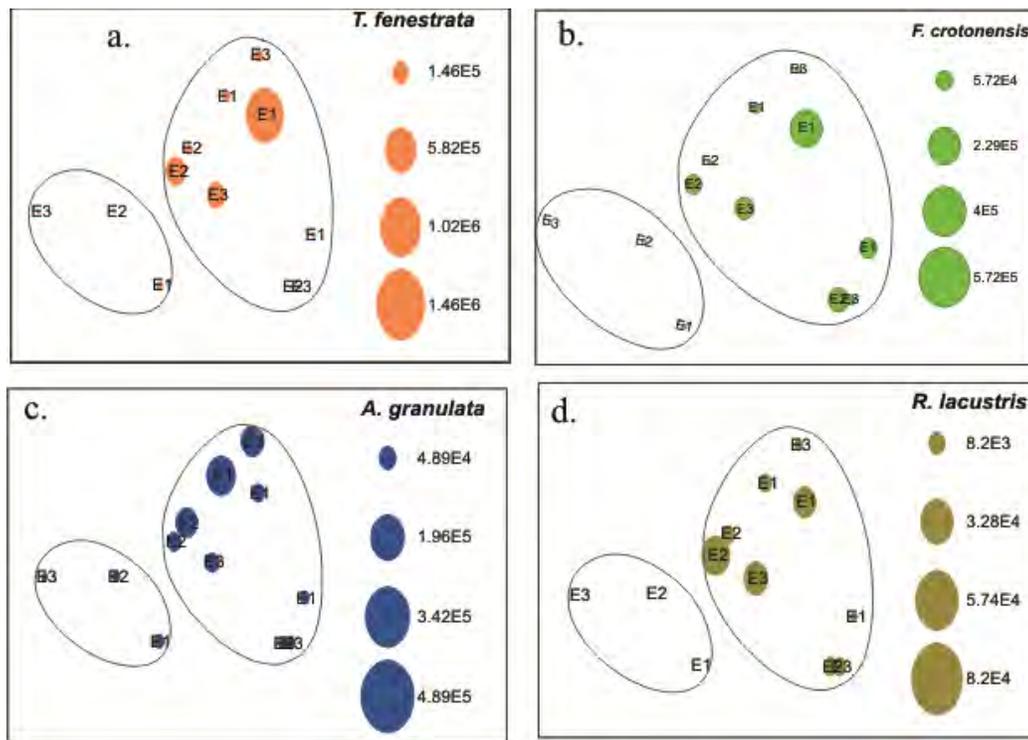


Figura 4.79. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Panguipulli a. *T. fenestrata*, b. *F. crotonensis*, c. *A. granulata* d. *R. lacustris*.

4.4.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Con respecto al estudio, realizado por la DGA en 2011-2012, las diatomeas siguen siendo el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, durante ese año el 18% de los taxa reportados correspondieron a diatomeas, seguido por las clorofíceas (14%) y dinoflagelados (4%) (Tabla 4.56). Las especies más abundantes fueron las diatomeas *F. crotonensis* y *A. distans*. Al igual que en el presente estudio, la diatomea *F. crotonensis*, se reporta como abundante.

Tabla 4.56. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.

Clase	2011-2012	2015
Bacillariophyceae	18	67
Chlorophyceae	14	26
Dinophyceae	4	5
Chrysophyceae	3	3
Cryptophyceae	4	4
Cyanobacteria	3	3
Riqueza	46	108
Diversidad(H')	0,7	1,7
Especies más abundantes	<i>F. crotonensis</i> , <i>A. distans</i> , <i>P. inconspicuum</i> , <i>A. formosa</i> , <i>R. eriensis</i>	<i>T. fenestrata</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>A. granulata</i> , <i>R. lacustris</i> , <i>A. formosa</i>
Referencia	DGA	Centro EULA

4.4.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 30% de la variabilidad de los datos, se relaciona la temperatura con los dinoflagelados, crisofíceas, cianobacterias y grupos de algas verdes, las que son abundantes durante la época de verano. El fósforo y nitrógeno total explicados por el 11% de la variabilidad (eje II), se asocian con las diatomeas, criptofíceas y algas verdes de la clase Trebouxiophyceae que fueron más abundantes durante primavera (Figura 4.80).

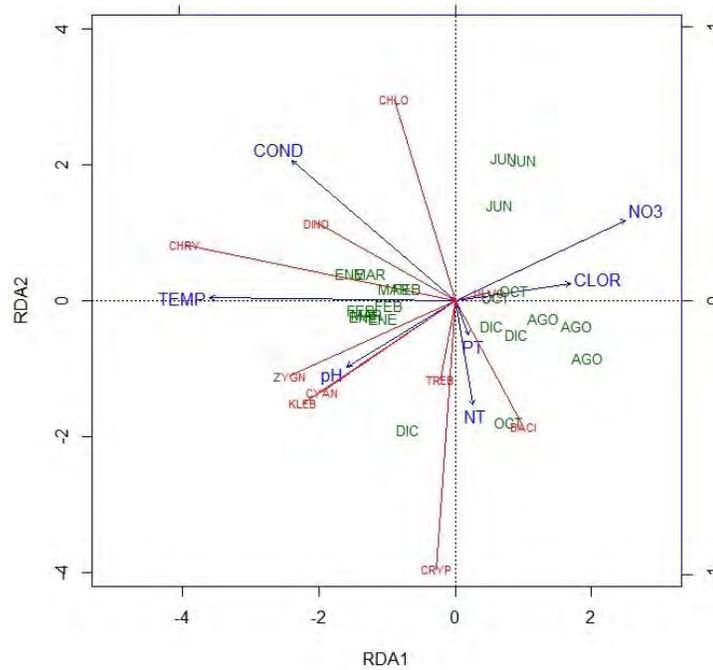


Figura 4.80. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Panguipulli.

4.4.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios

Los resultados de la comunidad fitoplanctónica asociados a los ríos afluentes (Huenehue y Llanquihue) del lago se muestran en la Tabla 4.57. Las diatomeas constituyeron el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica, principalmente *A. granulata*, *F. crotonensis* y *T. fenestrata*, las mismas especies que son abundantes en el lago (Figura 4.81).

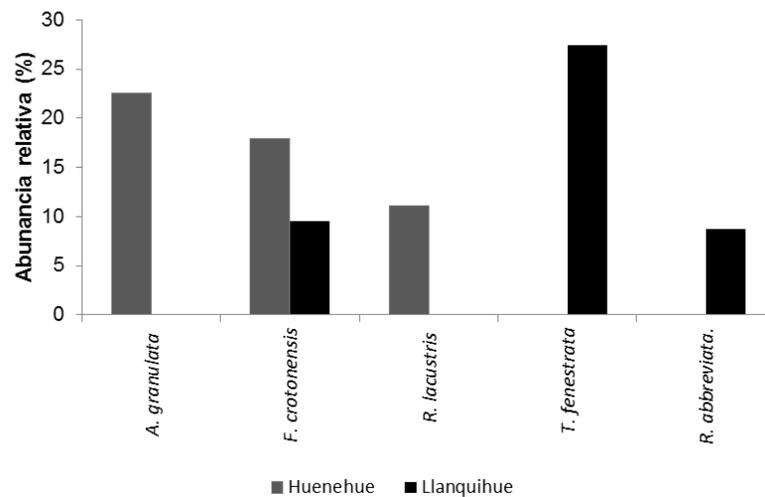


Figura 4.81. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Panguipulli.

El río Huenehue, presentó la mayor riqueza de taxa (64 de 9 clases diferentes). La diversidad fue similar para los dos efluentes (Tabla 4.58 y Tabla 4.59). En el Río Llanquihue las diatomeas fue el grupo más diverso con 43 taxa diferentes, las más abundantes fueron ***T. fenestrata***, ***F. crotonensis*** y ***R. abbreviata*** las que constituyeron el 43% de la abundancia de microalgas en el río (ver Anexo 2). En el Río Huenehue se observaron 42 taxones de diatomeas, las más abundantes fueron ***A. granulata***, ***F. crotonensis*** y la criptofíceo ***R. lacustris***.

Tabla 4.57. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Panguipulli.

Taxa	Afluyente	Afluyente
	Huenehue	Llanquihue
BACILLARIOPHYCEAE		
<i>Achnanthes sp.</i>	+	+
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	+	+
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	+
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	+	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	+	+
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	+	+
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	+	+
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	+	
<i>Cymbella sp.</i>		+
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+
<i>Diatoma sp.</i>	+	+
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	+
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Schmidt		+
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	+	+
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	+	
<i>Eunotia sp.</i>	+	
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	+	+
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow		+
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+	+
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bert.	+	
<i>Fragilaria sp.</i>	+	+
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+	+
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni		+
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	+	+
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst		+
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	+	+
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	+	+
<i>Gomphonema sp.</i>	+	+
<i>Gomphonema sp.2</i>		+
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	+	+
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	+	+
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	+	+
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	+	+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	+	
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	+	+
<i>Navicula sp.</i>	+	+
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	+	+
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	+	+
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	+	+
<i>Nitzschia sp.</i>	+	+
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt		+
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	+	
<i>Rhizosolenia longiseta</i> O.Zacharias	+	+
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bert	+	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	+	+
<i>Surirella sp.</i>	+	+
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing		+

Tabla 4.58. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Panguipulli.

Taxa	Afluente Huenehue	Afluente Llanquihue
CHLOROPHYCEAE		
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg		+
<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerová	+	+
<i>Oedogonium</i> sp.	+	
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	+	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	+	
CHRYSOPHYCEAE		
<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	+	+
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	+	
CRYPTOPHYCEAE		
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	+	
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	+	+
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja	+	
CYANOBACTERIA		
<i>Dolichospermum aff constricta</i>	+	
<i>Dolichospermum</i> sp.	+	
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont		+
DINOPHYCEAE		
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+	+
<i>Gymnodinium</i> sp.		+
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	+	
KLEBSORMIDIOPHYCEAE		
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	+	
SYNUROPHYCEAE		
<i>Mallomonas</i> sp.		+
ULVOPHYCEAE		
<i>Ulothrix</i> sp.	+	
ZYGNEMATOPHYCEAE		
<i>Actinotaenium</i> sp.	+	
<i>Closterium acutum</i> Brébisson		+
<i>Mougeotia</i> sp.	+	+
<i>Spirogyra</i> sp.	+	
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Teiling	+	
<i>Zygnema</i> sp.	+	

Tabla 4.59. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Panguipulli.

Clase	Afluente	
	Llanquihue	Huenehue
Bacillariophyceae	43	42
Chlorophyceae	2	4
Klebsormidiophyceae	0	1
Trebouxiophyceae	0	0
Ulvophyceae	0	1
Zygnematophyceae	2	5
Chrysophyceae	1	2
Synurophyceae	1	0
Cryptophyceae	2	4
Cyanobacteria	1	3
Dinophyceae	2	2
Riqueza (S)	54	64
Diversidad Shannon H'(loge)	2,9	2,8
Índice de dominancia (1-Lambda)	0,9	0,9
Uniformidad de Pielou (J')	0,7	0,7

4.4.3.7 Especies invasoras

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella* fue reportado por la DGA en el 2011-2012, con una abundancia de 9.060 cél l⁻¹, nuestros resultados muestran un aumento en la densidad del dinoflagelado con una abundancia máxima de 46.902 cél l⁻¹ reportada durante la campaña de enero en el sitio E1. En el río Llanquihue y Huenehue también se registró la presencia de *C. hirundinella* durante los meses de verano y primavera en donde alcanzó una abundancia máxima de 392 cél l⁻¹ y 5.516 cél l⁻¹ respectivamente.

De igual forma se registró la presencia de la diatomea *D. geminata* en el río Llanquihue con una abundancia máxima de 1.567 cél l⁻¹. En el lago también se encontraron células de *D. geminata* durante los meses de agosto y octubre, probablemente células que fueron aportadas por el río Llanquihue.

4.4.4 Calidad del agua tributarios

La variabilidad espacio-temporal de los parámetros de calidad de agua de los ríos Huenehue y Llanquihue se muestran en la Figura 4.82. En este caso hay que considerar que el caudal del río Huenehue se encuentra regulado por la central hidroeléctrica Pullinque, además próximo a esta central se localiza la piscicultura Pullinque que descarga sus residuos a este cuerpo de agua.

En relación a la calidad de agua se pudo observar que la temperatura presentó altos valores en verano, bajos en invierno para volver a incrementar a inicios de la primavera. Adicionalmente, se pudo evidenciar que durante todas las campañas de monitoreo la temperatura siempre fue mayor en el río Huenehue. Los valores medios registrados fueron de $16,53 \pm 5,27$ °C y $12,55 \pm 2,89$ °C para Huenehue y Llanquihue, respectivamente. La conductividad presentó una tendencia similar a la temperatura, sin embargo se observó que durante los meses de agosto, octubre y diciembre este parámetro fue relativamente más bajo en el río Llanquihue. En promedio el río Huenehue presentó una conductividad de $58,80 \pm 7,32$ μ S/cm, mientras que Llanquihue registró un valor de $48,89 \pm 10,18$ μ S/cm. El pH en ambos ríos se mantuvo en condición aproximadamente neutra registrando valores medios de $7,36 \pm 0,69$ (Huenehue) y $7,07 \pm 0,67$ (Llanquihue).

Las concentraciones de las formas de nitrógeno mostraron una tendencia a mayores valores durante el invierno. En este sentido, la media del nitrógeno total fue de $0,07 \pm 0,05$ mg/L en el río Huenehue y $0,10 \pm 0,06$ mg/L en el río Llanquihue, mientras que los nitratos presentaron valores promedios de $0,06 \pm 0,05$ mg/L y $0,09 \pm 0,06$ mg/L, respectivamente. Por su parte, el fósforo total registró un promedio de $3,43 \pm 0,79$ mg/L en Huenehue y $4,14 \pm 1,57$ mg/L en Llanquihue.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Panguipulli.

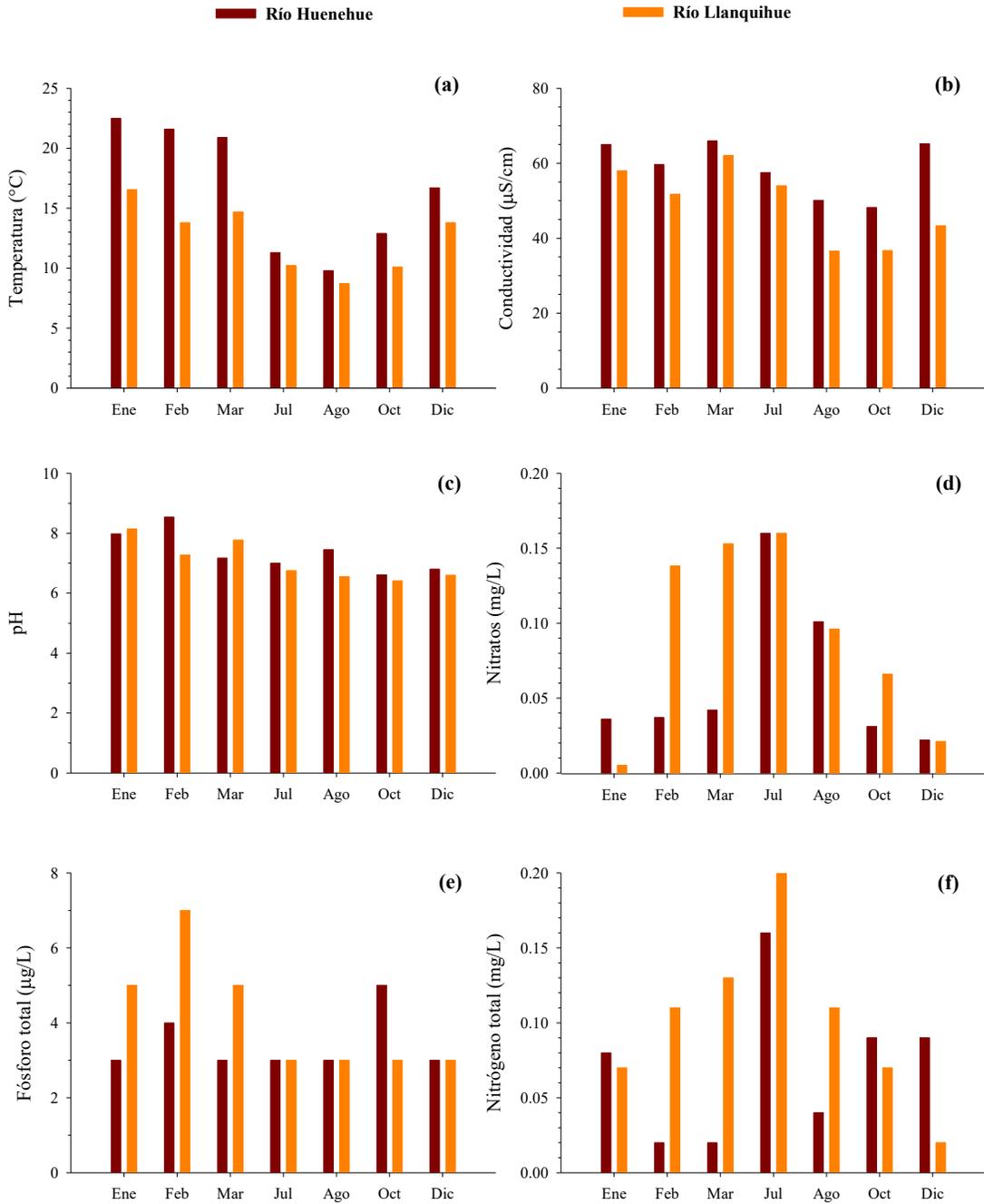


Figura 4.82. Parámetros de calidad de agua registrados en los ríos Huenehue y Llanquihue, afluentes al Lago Panguipulli, durante el monitoreo 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.

4.4.5 Caudales

Los caudales de los ríos Huenehue y Llanquihue se muestran en la Figura 4.83. En el hidrograma del río Huenehue fue posible observar que la dinámica del flujo presenta un marcado patrón estacional, con valores bajos en verano, altos en invierno y posterior decrecimiento en primavera. El caudal medio estimado en el río Huenehue fue de $76,78 \pm 61,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

La ausencia de valores de caudal durante los meses de invierno – primavera en el río Llanquihue se explica por la elevada velocidad de flujo que presentaba el cauce en dichos meses, haciendo imposible buscar un tramo que permitiera medir dicha variable hidrológica.

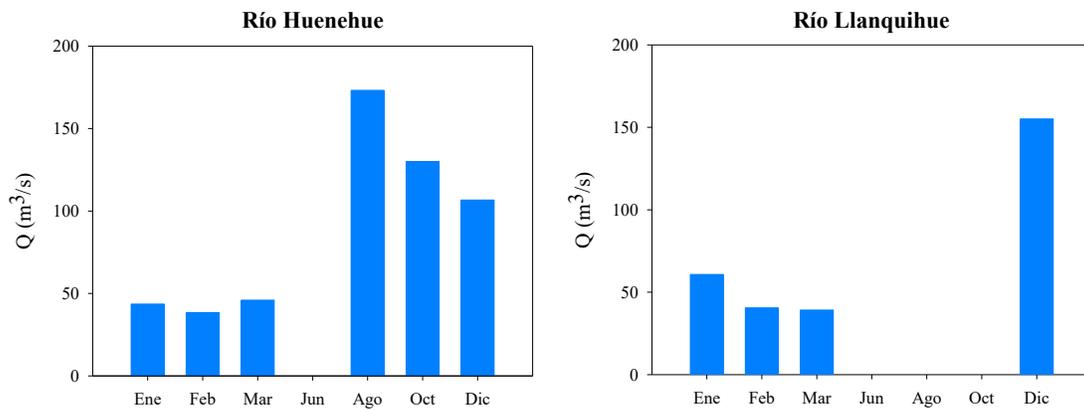


Figura 4.83. Hidrogramas de los ríos Huenehue y Llanquihue, afluentes al Lago Panguipilli, medidos durante el monitoreo 2015.

4.4.6 Estado trófico

En general, los resultados históricos del índice de Carlson determinaron que el lago Panguipulli se ha mantenido principalmente en una condición de oligotrofia (Figura 4.84). Sin embargo, el índice de fósforo total (TSI Pt) y clorofila a (TSI Clor a) evidenció un estado de mesotrofia durante algunos años. En relación a las campañas de monitoreo del año 2015 y el método de clasificación de la OCDE (1982) se observó una condición oligotrófica y ultraoligotrófica según los niveles promedio de transparencia, fósforo y clorofila a (ver Tabla 4.60).

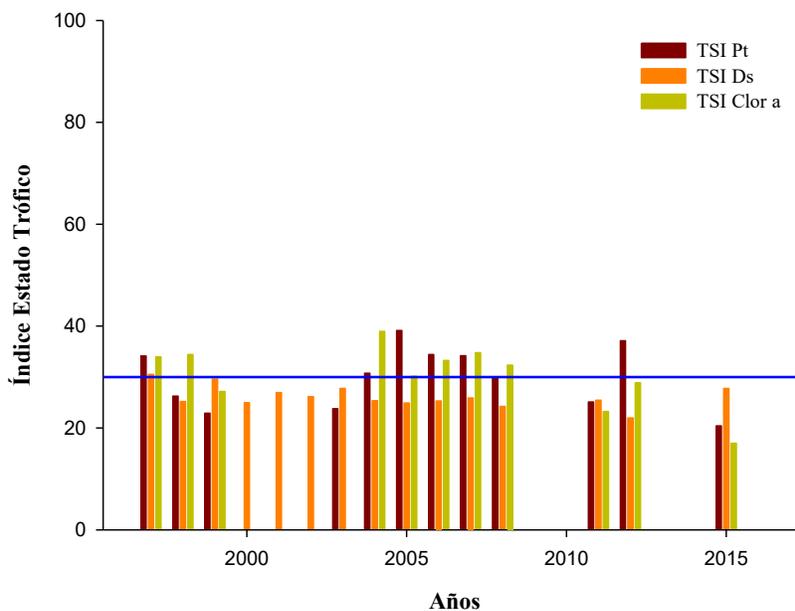


Figura 4.84. Variación temporal del estado trófico del Lago Panguipulli.

Tabla 4.60. Estado trófico del lago Panguipulli según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	3,3	Ultraoligotrófico
Transparencia (m)	9,4	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,4	Ultraoligotrófico

4.4.7 Balance de nutrientes

4.4.7.1 Balance hídrico

El almacenamiento estimado (ΔS) comparado con los cambios de volumen (ΔV) del lago Panguipulli se muestran en la Figura 4.85a. En ella se observa que los cambios de volumen se mantienen cercanos a cero, mientras que el flujo de almacenamiento anual mostró una sobreestimación de la pérdida de masa hídrica. Este comportamiento indica diferencias del balance hídrico estimado con la dinámica normal del lago, lo que podría estar relacionado con la falta de información fluviométrica en las entradas y salidas del lago. Por lo tanto, fue necesario utilizar métodos de extrapolación desde la misma red hídrica para obtener la información faltante. De la misma forma, la inexistencia de mediciones de flujos subsuperficiales en el área de estudio podría estar afectando el balance hídrico final. Sin embargo, al comparar el volumen con el almacenamiento obtenido, ambos en forma de anomalía estandarizada, se observó una covariación positiva de la serie de datos (Figura 4.85b).

Por otra parte, al comparar los distintos flujos que participan en el balance hídrico (precipitaciones anuales, caudal entrada, caudal salida, evaporación y almacenamiento) se puede observar que el almacenamiento es dominado por el flujo principal de entrada (río Llanquihue) y por el caudal de salida (río Enco) (Figura 4.86), indicando un comportamiento normal del balance hídrico. Los caudales secundarios corresponden al río Huenehue, río Punir y río Reca (Tabla 4.61).

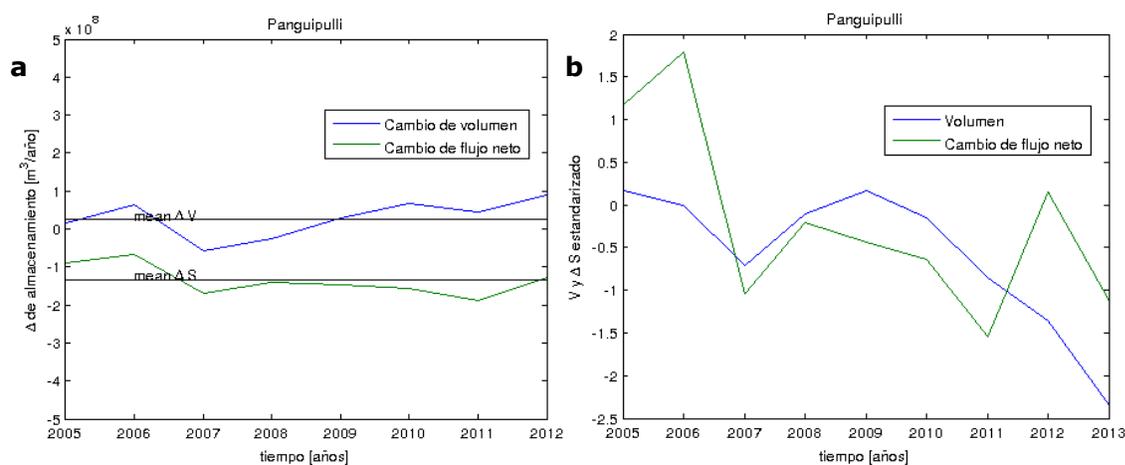


Figura 4.85a. Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen en. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.85b Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

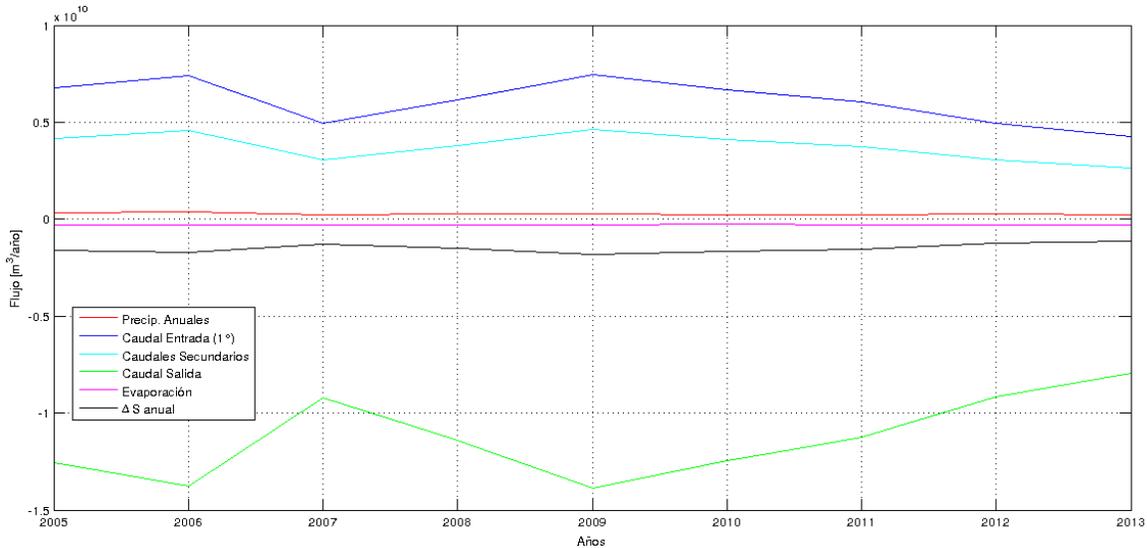


Figura 4.86. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.61. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 1° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 2° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal salida (m ³ /año)x10 ⁶	Evaporación (m ³ /año)x10 ⁶
2005	333	6754	4169	12579	285
2006	361	7393	4564	13769	278
2007	217	4931	3044	9183	285
2008	284	6122	3779	11402	299
2009	291	7458	4604	13890	286
2010	242	6683	4126	12448	261
2011	225	6053	3737	11274	289
2012	258	4924	3040	9171	284
2013	213	4256	2628	7927	299

• **Escorrentía**

Los resultados de la estimación de escorrentía, precipitación y volumen para el periodo de simulación se muestran en la Tabla 4.62. En ella se observa una tendencia decreciente de la precipitación desde el año 2006 al 2013. Por otra parte, el volumen se mantuvo relativamente constante a lo largo del tiempo. Finalmente, la relación escorrentía/precipitación indica que en promedio el 97% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago Panguipulli.

Tabla 4.62. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Panguipulli (2005 – 2013).

Años	Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/año)	Escorrentía (mm/año)
2005	14167	3032	2959
2006	14152	3300	3227
2007	14087	1992	1919
2008	14143	2652	2579
2009	14168	2808	2736
2010	14139	2346	2274
2011	14074	2195	2123
2012	14028	2621	2549
2013	13937	2024	1952

4.4.7.2 Cargas puntuales y difusas.

- **Fuentes Puntuales**

La revisión de información obtenida desde los distintos servicios ambientales y sanitarios reveló la existencia de empresas acuícolas que descargan a la cuenca de drenaje del lago. Sin embargo, todas ellas se encuentran en los tributarios del lago Panguipulli (Figura 4.87), por lo que no fueron consideradas en el balance de nutrientes. Los detalles de cada una de ellas se encuentran en la Tabla 4.63. Además, existe una Planta de tratamiento de aguas servidas que realiza descargas de emergencia al lago, pero no se incluyó en el balance ya que no existen mediciones de caudal ni concentración de nutrientes.

Tabla 4.63. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).

Nombre	Punto de descarga	Comuna	Este	Norte
Piscicultura Río Niltre	Río Niltre	Panguipulli	5601119	739441
Piscicultura Pullinque	Río Huenehue	Panguipulli	5613271	738591
Piscicultura Llallalca	Río Fui	Panguipulli	5586832	758173
Centro de Cultivo de Salmónidos Traiguén	Estero S/N efluente Laguna Pullinque	Panguipulli	5615027	744414

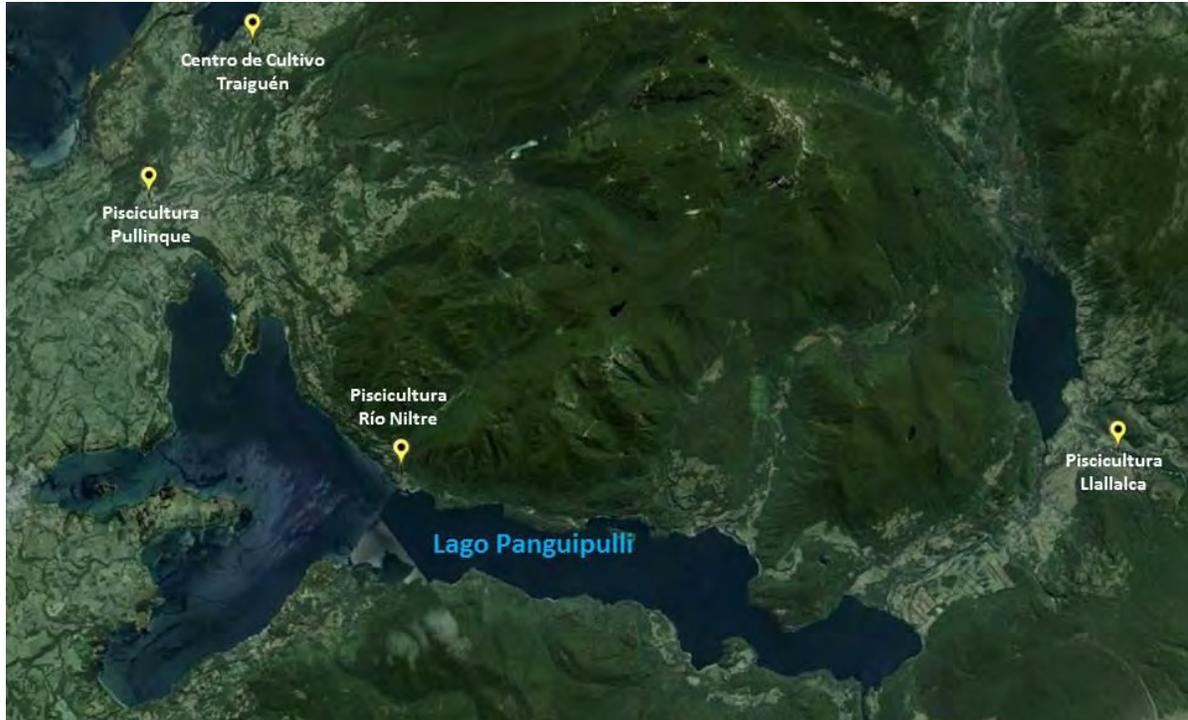


Figura 4.87. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en la cuenca del lago Panguipulli.

- **Fuentes Difusas**

Las cargas de nutrientes mostraron una tendencia temporal decreciente, condicionada principalmente por la disminución de las precipitaciones durante los años 2005 y 2015 (ver Tabla 4.64).

El ingreso difuso de fósforo al lago estuvo determinado por distintos usos de suelo, en orden decreciente destacan el bosque nativo, uso agrícola y suelos sin vegetación (Figura 4.88a). En el caso del nitrógeno, se observó la principal entrada de este nutriente al lago es a través del suelo cubierto con bosque nativo y matorral, seguido por el uso agrícola (Figura 4.88b). Adicionalmente, se evidenció que los suelos con monocultivo forestal representan cargas despreciables de fósforo y nitrógeno en relación a las otras categorías de uso, debido a la baja superficie que ocupa este componente en la cuenca de drenaje.

Tabla 4.64. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Panguipulli.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carga fósforo (Ton/año)	119	128	78	103	106	86	82	93	77
Carga nitrógeno (Ton/año)	1432	1541	934	1242	1270	1034	983	1114	921

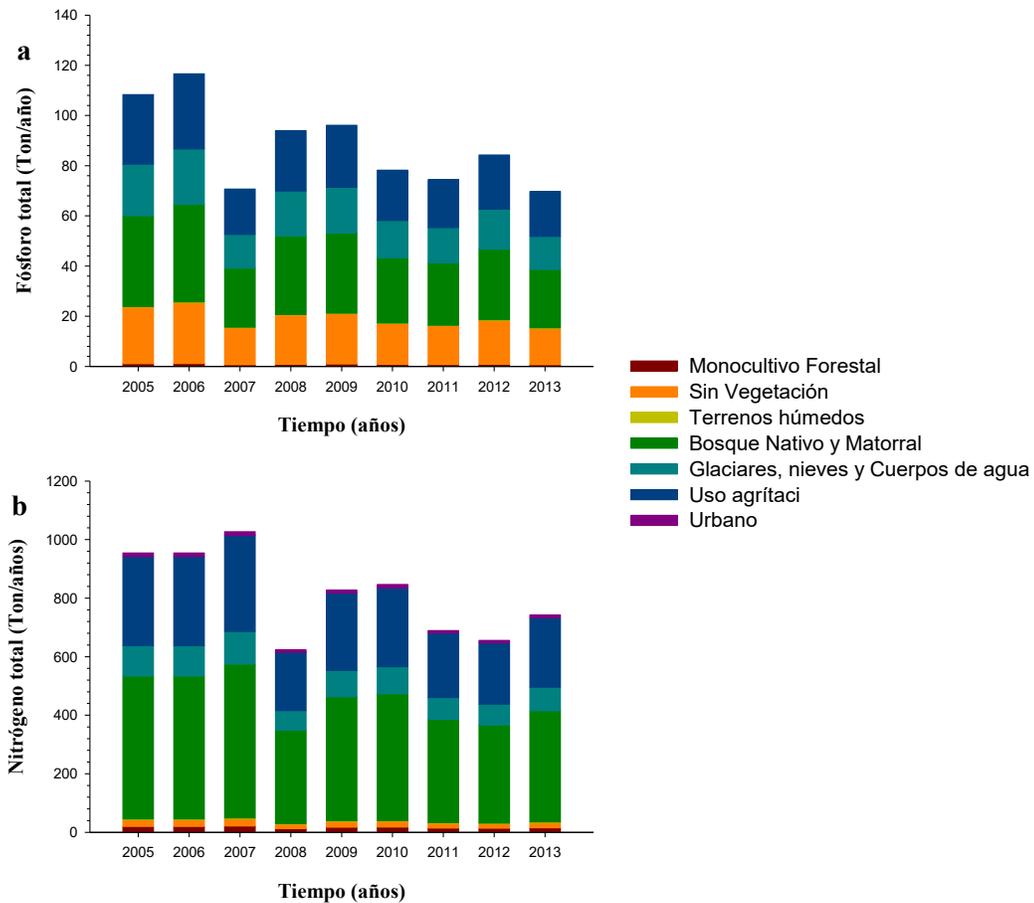


Figura 4.88. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Panguipulli.

4.4.7.3 Estimación del balance de nutrientes

- **Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad determinó que los resultados de la simulación tanto para fósforo como nitrógeno fueron altamente sensibles a cambios en el coeficiente de exportación, como se muestra en la Figura 4.89 a y c. Sin embargo, cuando se mantiene fijo el coeficiente de exportación y se modifica el valor Curva número, el resultado del balance muestra pequeñas fluctuaciones en la concentración de fósforo y nitrógeno, pero estas oscilaciones son relativamente bajas en comparación a las generadas por el coeficiente de exportación (Figura 4.89 b y d).

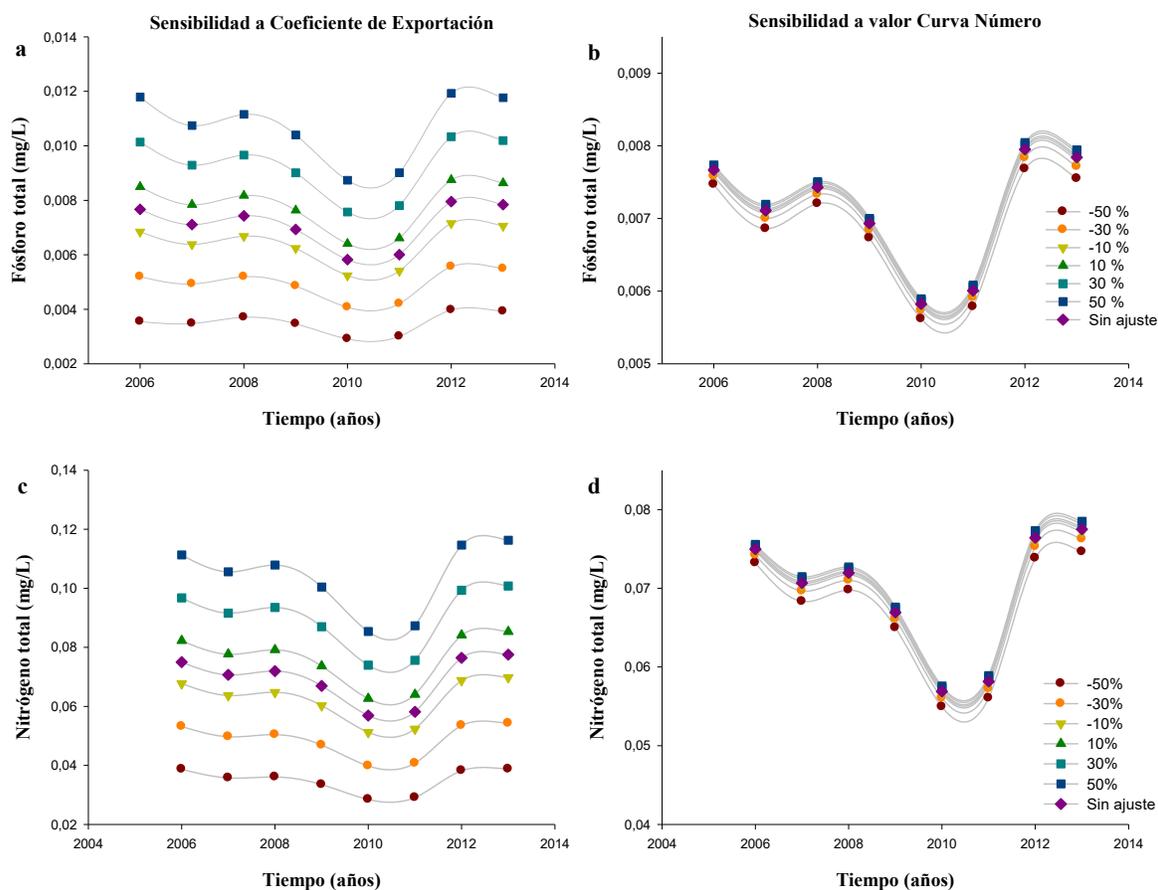


Figura 4.89. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

• **Balance de nutrientes**

En la Figura 4.90a se muestra el balance de nutrientes para el lago Panguipulli durante el periodo 2005-2015. Las concentraciones de fósforo medidas en el lago oscilaron entre 0,003 mg/L y 0,01 mg/L, mientras que los simulados fluctuaron entre los máximos y mínimos históricos (Tabla 4.65). El índice de ajuste PBIAS registró un valor de 0,06, lo que quiere decir que el modelo sobreestima en un 6% las concentraciones históricas de fósforo.

En relación al balance de nitrógeno (Figura 4.90b), sólo se pudo contrastar el modelo con datos de campo existentes para tres años en el periodo de simulación (2006, 2012 y 2015). Con esta información, se observó que las concentraciones simuladas fluctuaron entre 0,09 mg/l y 0,12 mg/L, mientras el índice de ajuste PBIAS mostró que el modelo subestimó en un 2% a los datos históricos de nitrógeno.

Adicionalmente, se pudo observar que en el monitoreo del año 2015, las concentraciones de fósforo y nitrógeno fueron menores que los valores simulados (Tabla 4.65).

En ambos balances, la limitada serie temporal histórica que se utilizó para la comparación redujo las posibilidades de ajuste del modelo, ya que las concentraciones históricas de nutrientes (datos esporádicos dentro un año) no necesariamente representan la condición promedio anual del lago durante el periodo de estudio.

Tabla 4.65. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.

Año	Fósforo total (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)	
	Datos medidos	Datos simulados	Datos medidos	Datos simulados
2005	0,011	0,011	0,09	0,09
2006	0,008	0,008	0,19	0,11
2007	0,008	0,007		0,11
2008	0,006	0,007		0,11
2009		0,007		0,10
2010		0,006		0,09
2011	0,004	0,006		0,09
2012	0,010	0,008	0,08	0,11
2013		0,008		0,12
2015	0,003	0,005	0,07	0,11

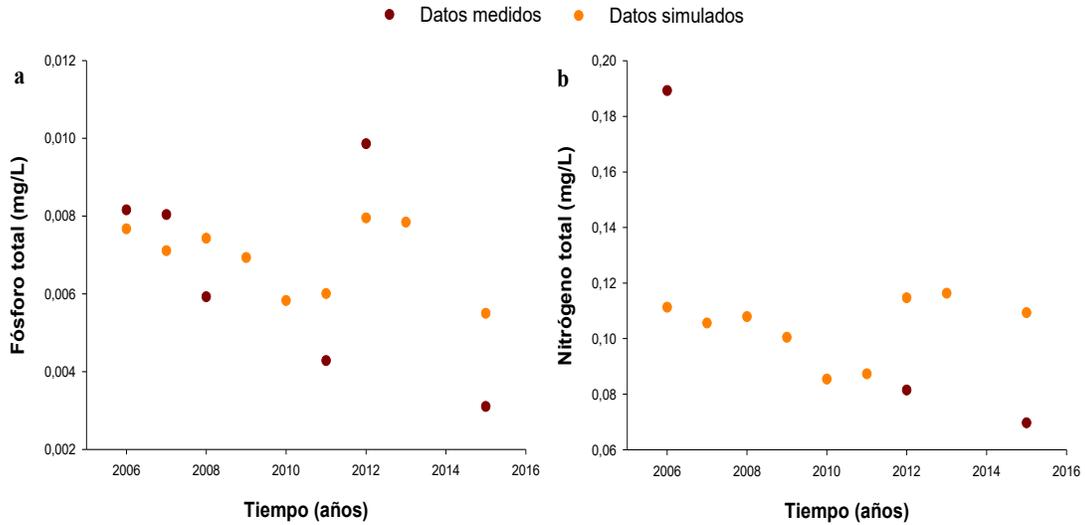


Figura 4.90. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.4.8 Determinación de carga crítica

La carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo se observan en la Figura 4.91 y Tabla 4.66. Los resultados mostraron que la carga actual de fósforo y nitrógeno han fluctuado entre 36-128 Ton P/año y 921-1541 Ton N/año, las que son menores a la carga crítica estimada para los distintos años. Además, se observó que la carga actual estimada para el año 2015 fue la más baja registrada en la serie temporal.

Tabla 4.66. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	259	119	3480	1432
2006	277	128	3746	1541
2007	206	78	2694	934
2008	241	103	3212	1242
2009	262	106	3514	1270
2010	257	86	3449	1034
2011	239	82	3179	983
2012	193	93	2507	1114
2013	184	77	2388	921
2015	190	36	2464	1032

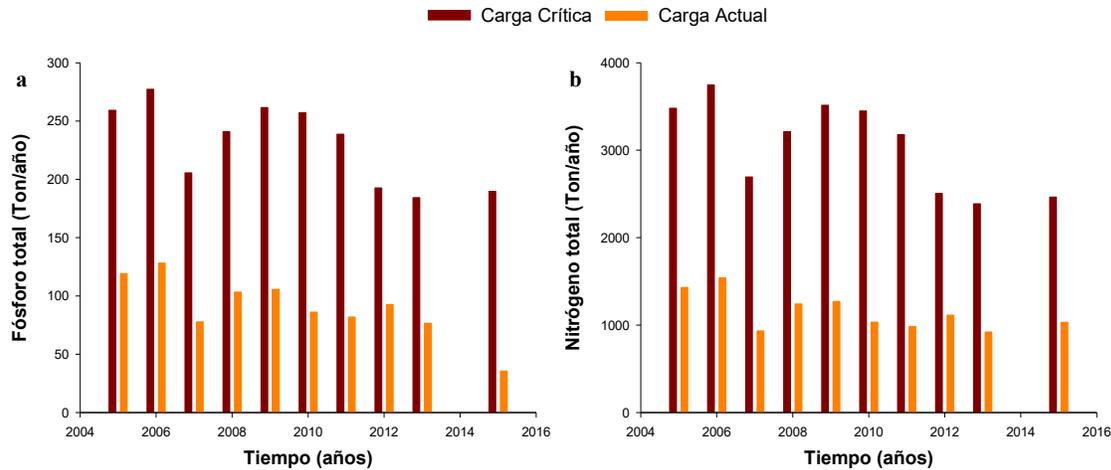


Figura 4.91. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.4.9 Sedimentos

4.4.9.1 Lago

- **Fósforo total**

A primera vista se observa que los sedimentos de este lago, en la estación E1, fueron los que presentaron las concentraciones más altas, de todos los lagos, durante las cuatro estaciones del año. El resto de las estaciones del Panguipulli presentaron valores entorno a los reportados en el resto de lagos (Tabla 4.67).

Las concentraciones más altas de fósforo en la estación E1 se deben probablemente a la cercanía de la ciudad de Panguipulli. En el año 1995, el estudio titulado "Estudios limnológicos de los lagos Calafquén y Panguipulli", desarrollado por la Universidad Austral, ya reportaba niveles más altos de fósforo total para la bahía adyacente a la ciudad de Panguipulli, respecto del resto de las estaciones del lago. Junto con concentraciones más altas de fósforo, los autores del estudio indican que la bahía Panguipulli también presentó concentraciones más altas de nitrógeno orgánico, sulfatos, demanda química de oxígeno y sestón total, en respuesta probablemente al ingreso de tres colectores de aguas servidas que estuvieron en funcionamiento hasta fines de la década de 1990.

- **Materia orgánica**

Junto con el lago Neltume, los sedimentos del lago Panguipulli son los que presentan las concentraciones más altas del set de lagos. Específicamente, los valores más altos se reportaron en la estación E1, que es la misma que presentó los valores más altos de fósforo total. Esta situación estaría explicada por la misma razón que para el caso del fósforo, a

una mayor influencia antrópica reflejada en el vertimiento de aguas servidas de la ciudad de Panguipulli, que se extendió hasta finales de la década de los 90 (Tabla 4.67).

- **pH**

La mayoría de los valores de pH en los sedimentos de este lago se encuentran dentro del rango determinado para el resto de los lagos muestreos. Sin embargo, la estación E2 durante el monitoreo de invierno, es la que registra el valor más alto de pH, por sobre las 8 unidades. Una posible explicación para este cambio de pH podría asociarse a una mayor depositación de materiales provenientes desde la cuenca, debido a un mayor arrastre de los tributarios durante el invierno (Tabla 4.67).

- **Potencial redox**

Este parámetro muestra una gran heterogeneidad en los sedimentos de este lago. La mayoría de las estaciones muestran valores negativos, pero existen valores positivos, que se separan de la media de los parámetros. La estación E2 durante el verano, presenta valores positivos, al igual que la estación E3 en invierno y las estaciones E2 y E3 durante la primavera (Tabla 4.67).

- **Sílice biogénica**

La sílice también muestra diferencias importantes, principalmente entre los monitoreos realizados. Durante el verano, las estaciones E1 y E2 presentaron uno de los valores más altos medidos en todo el set de lagos, luego en los monitoreos siguientes la concentración de sílice baja considerablemente. Nuevamente es posible asociar los peaks de verano, a una mayor productividad de la columna de agua en la zona cercana a la estación E1, debido al vertimiento histórico de aguas servidas en la zona. Probablemente existe una cantidad latente de nutrientes que al momento de ocurrir condiciones favorables -en verano mayor fotoperiodo, viento Sur, facilitaría el desarrollo del fitoplancton, cuyo mayor componente en los lagos, son las diatomeas (Tabla 4.67).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Panguipulli.

Tabla 4.67. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Panguipulli durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	3028,9	15,9	6,7	-110,7	9,7
Estación 2	1390,6	2,5	7,3	276,0	7,4
Estación 3	993,9	2,7	7,0	-80,4	0,1
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	3241,9	16,8	7,1	---	7,5
Estación 2	677,6	4,1	7,2	---	8,3
Estación 3	1024,1	4,0	6,4	---	4,6
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	3499,8	16,3	6,9	-113,5	3,1
Estación 2	1073,4	6,2	7,2	-96,9	1,5
Estación 3	977,4	2,0	7,2	-121,7	0,2
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	3465,8	16,5	7,1	-226,7	1,0
Estación 2	1247,5	2,2	8,4	-113,4	0,2
Estación 3	922,3	3,5	7,8	215,7	0,2
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	3424,2	16,4	7,3	-110,6	2,4
Estación 2	1687,2	2,2	8,2	-78,5	0,4
Estación 3	1285,5	3,7	7,5	-52,2	0,7
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	1432,4	15,5	7,2	-116,7	2,3
Estación 2	1128,2	1,1	7,6	216,0	0,1
Estación 3	842,1	1,8	7,4	224,7	0,1
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	433,8	17,1	7,1	-54,5	1,3
Estación 2	436,0	1,1	7,3	249,6	0,1
Estación 3	255,8	1,4	7,5	-61,4	0,2

4.4.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.68 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos de los afluentes del lago Panguipulli.

Tabla 4.68. Concentración de fósforo total (mg kg⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Llanquihue	612,9	464,7	584,5	-	921,4	282,1	301,3
Río Huenehue	-	985,8	-	371,4	-	750,7	514,6

- **Materia orgánica**

En la Tabla 4.69 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos de los afluentes del lago Panguipulli.

Tabla 4.69. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Río Llanquihue	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	0,80	-
Río Huenehue	-	1,30	1,10	-	-	5,30	1,30

- **Facies texturales**

En la Tabla 4.70 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos de los afluentes del lago Panguipulli.

Tabla 4.70. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Río Llanquihue	2,10	95,6	2,10
Río Huenehue	21,8	76,1	2,10

4.5 LAGO RIÑIHUE

4.5.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.92, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 323 m y un volumen de 12,6 km³.

4.5.2 Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias durante el periodo estudiado fluctuaron entre 9 y 17°C, registrándose la mínima en agosto y la máxima en febrero. La tendencia durante el año muestra un incremento de temperaturas en periodo estival que se mantiene hasta principios de otoño, con una alta desviación estándar en todas estas estaciones, indicando una heterogeneidad de las temperaturas a lo largo de la columna de agua generado por la presencia de termoclina (Figura 4.94, Tabla 4.71). Durante el periodo de invierno, las estaciones tienden a disminuir las temperaturas y a tener una distribución vertical más homogénea sugiriendo la mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 25 µS/cm a 55 µS/cm registrándose la mínima en diciembre y la máxima en febrero. Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose una disminución de sus valores en invierno y hasta principios de verano, mientras que durante el periodo estival, los valores incrementaron en todas las estaciones, con una mayor heterogeneidad a lo largo de la columna de agua.

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración promedio de nitrógeno total en las tres estaciones mostró una alta variabilidad fluctuando de 0,02 a 0,12 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en marzo (Figura 4.94). Las concentraciones medias de nitrógeno total para las tres estaciones evidencian durante todo el año una distribución heterogénea en el cuerpo de agua. De igual forma, la distribución vertical de las concentraciones de nitrógeno total sugiere una alta heterogeneidad, particularmente en los meses de febrero, marzo y junio.

- **pH**

La concentración promedio de pH presentó una baja variación durante el periodo estudiado, con valores que fluctuaron entre 6 y 8, siendo cercanos a la neutralidad. La distribución

vertical de pH, reflejada en la desviación estándar de los valores registrados, indica que el pH en el lago fue homogéneo (Tabla 4.71). Las estaciones muestreadas presentaron valores muy similares durante todo el año.

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,01 y 0,08 mg/L, registrándose la mínima en octubre y la máxima en agosto. La distribución vertical de nitrato en la columna de agua es muy variable durante el año en las tres estaciones, sin un patrón determinado. Se observa diferencias de las concentraciones promedio de nitrato entre las estaciones en cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante el periodo estudiado variaron de 3 a 7 µg/L, observándose un pick de máxima concentración en el mes agosto. Las concentraciones de fósforo total tendieron a incrementar en los meses de otoño e invierno, disminuyendo significativamente entre primavera y hasta principios de verano. Diferencias importantes son observadas entre las estaciones con mayores concentraciones de fósforo, sugiriendo que la distribución en el cuerpo de agua no es homogénea, lo cual también es registrado en la distribución vertical que presenta altos valores de desviación estándar (Figura 4.94, Tabla 4.71).

En la Figura 4.93 entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

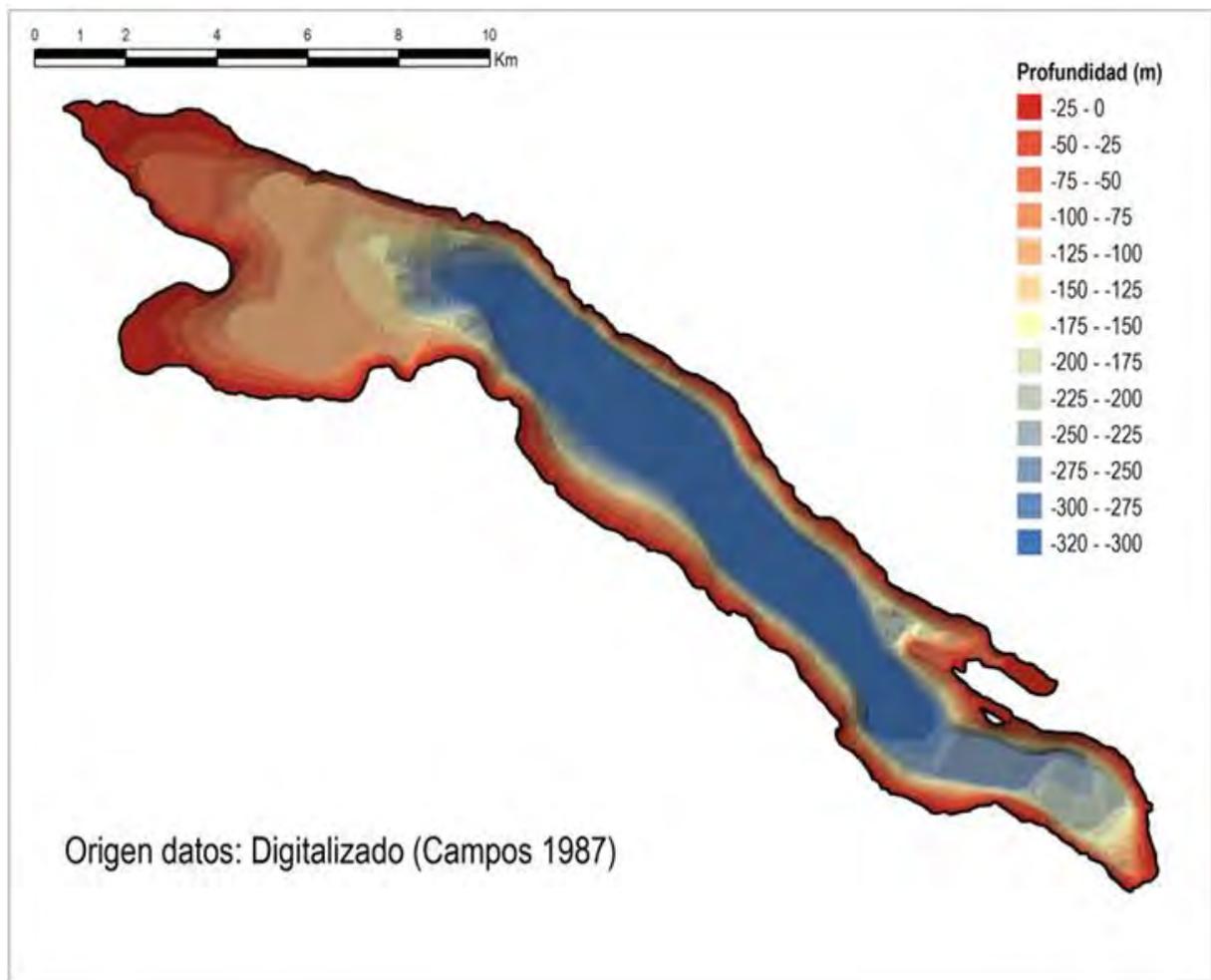


Figura 4.92. Batimetría del lago Riñihue.

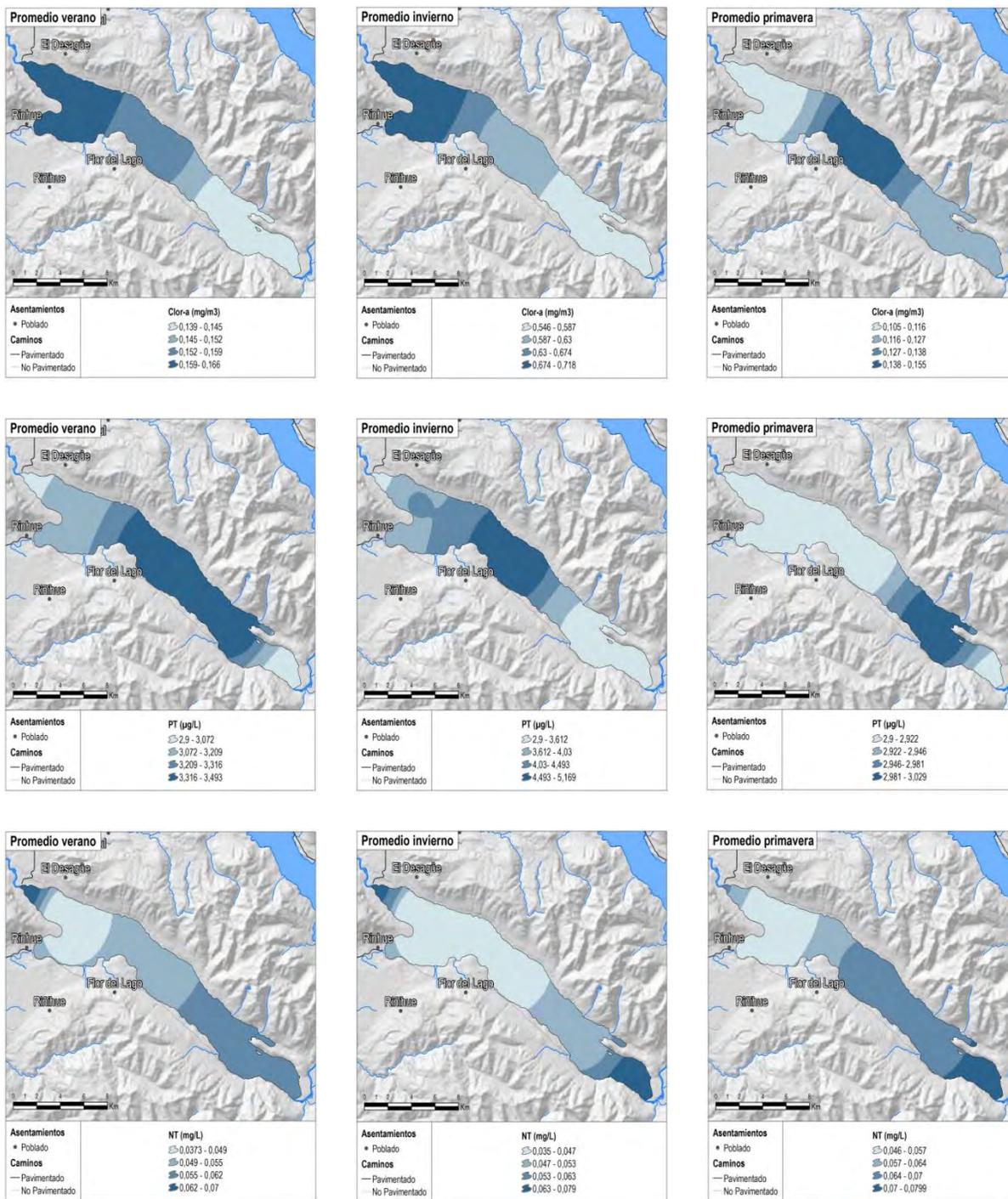


Figura 4.93. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Riñihue durante el año 2015.

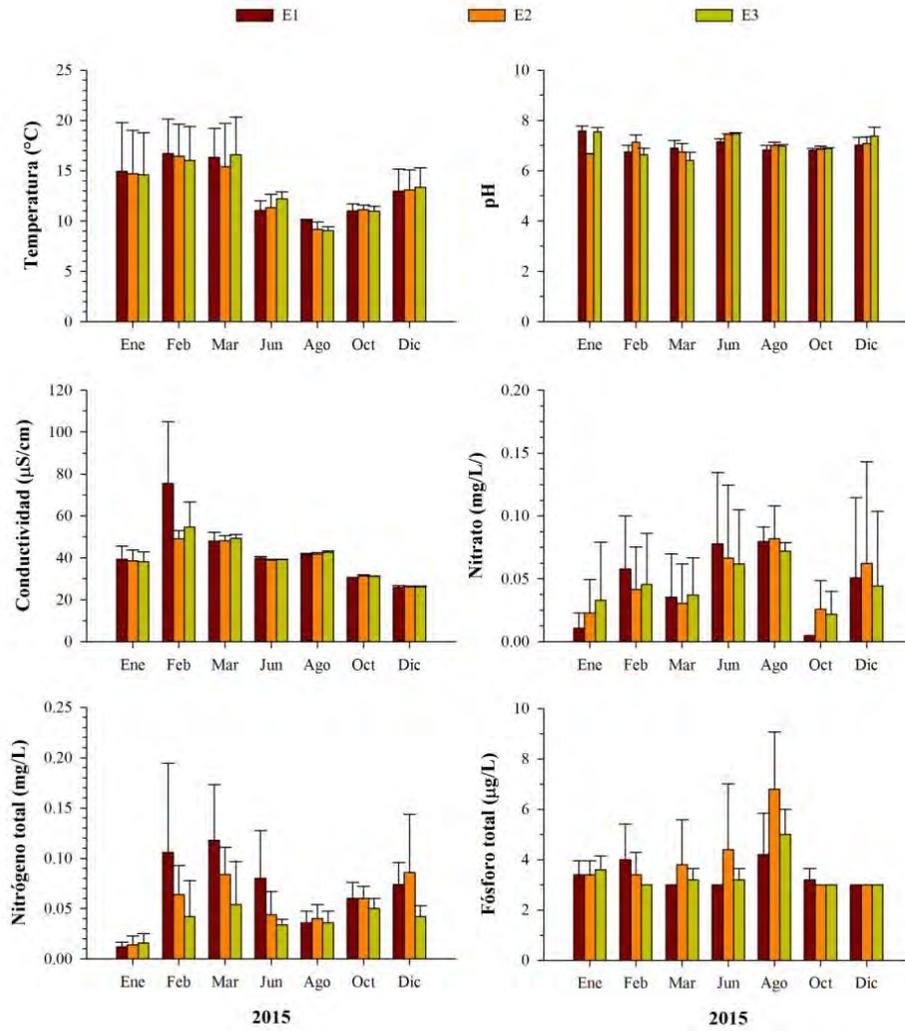


Figura 4.94. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.71. Valores promedio (X) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Riñihue de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE
Enero	E1	14,9	4,8	39,4	6,2	0,01	0	7,6	0,2	0,01	0,01	3,4	0,5
	E2	14,7	4,3	38,6	5,2	0,01	0,01	6,7	0	0,02	0,03	3,4	0,5
	E3	14,6	4,2	38,3	4,5	0,02	0,01	7,5	0,2	0,03	0,05	3,6	0,5
Febrero	E1	16,7	3,4	55,2	7,7	0,11	0,09	6,8	0,3	0,06	0,04	4	1,4
	E2	16,4	3,2	49,1	3,9	0,06	0,03	7,1	0,3	0,04	0,03	3,4	0,9
	E3	16	3,4	54,6	12,1	0,04	0,04	6,6	0,3	0,05	0,04	3	0
Marzo	E1	16,3	2,9	48	4,1	0,12	0,06	6,9	0,3	0,04	0,03	3	0
	E2	15,4	4,3	48,2	2,4	0,08	0,03	6,7	0,3	0,03	0,03	3,8	1,8
	E3	16,6	3,8	49,3	1,8	0,05	0,04	6,4	0,3	0,04	0,03	3,2	0,4
Junio	E1	11,1	1	39,9	0,7	0,08	0,05	7,2	0,1	0,08	0,06	3	0
	E2	11,3	1,3	39	0,2	0,04	0,02	7,5	0	0,07	0,06	4,4	2,6
	E3	12,2	0,7	39,1	0,3	0,03	0,01	7,5	0,1	0,06	0,04	3,2	0,4
Agosto	E1	10,1	0,1	41,5	0,7	0,04	0,01	6,8	0,2	0,08	0,01	4,2	1,6
	E2	9,2	0,7	41,8	0,7	0,04	0,01	7	0,1	0,08	0,03	6,8	2,3
	E3	9	0,4	42,6	0,8	0,04	0,01	7	0,1	0,07	0,01	5	1
Octubre	E1	11	0,7	30,5	0,2	0,06	0,02	6,8	0,1	0,01	0	3,2	0,4
	E2	11,1	0,5	31,4	0,5	0,06	0,01	6,9	0,1	0,03	0,02	3	0
	E3	11	0,5	31,1	0,2	0,05	0,01	6,9	0	0,02	0,02	3	0
Diciembre	E1	13	2,2	25,9	0,8	0,07	0,02	7	0,3	0,05	0,06	3	0
	E2	13,1	2	26,3	0,2	0,09	0,06	7,1	0,3	0,06	0,08	3	0
	E3	13,4	1,9	26,3	0,2	0,04	0,01	7,4	0,3	0,04	0,06	3	0

- **Perfiles limnológicos**

La temperatura superficial del lago Riñihue fluctuó entre 10°C y 20°C durante el periodo estudiado, registrándose la mínima en agosto y la máxima en febrero (Figura 4.95). Según el régimen térmico observado, este lago se clasifica como monomíctico temperado, con estratificación térmica estival y mezcla completa en invierno. La termoclina se ubica entre los 10 y 30 metros de profundidad.

Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron de 6 a 12 mg O₂/L durante el periodo de estudio, registrándose la máxima durante junio y la mínima en octubre. Los perfiles de oxígeno presentaron una distribución ortógrada durante el periodo estival y hasta principios de otoño, con una tendencia que fue inversa al perfil de temperaturas. El perfil registrado durante junio muestra una tendencia diferente al resto de los meses, observándose que el incremento en sus concentraciones coincide con el incremento de la concentración de clorofila. Desde agosto a diciembre las concentraciones se mantienen estables a lo largo de todo el perfil.

Los perfiles de concentración de clorofila observados durante periodo estival y hasta principios de otoño, tendieron a incrementar alrededor de los 30 metros de profundidad, mientras que en junio las concentraciones tendieron a disminuir alrededor de esta misma profundidad coincidiendo con un decrecimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto. Durante agosto y octubre, las concentraciones no presentaron un patrón determinado, registrándose una menor variación de la concentración de clorofila a lo largo del perfil.

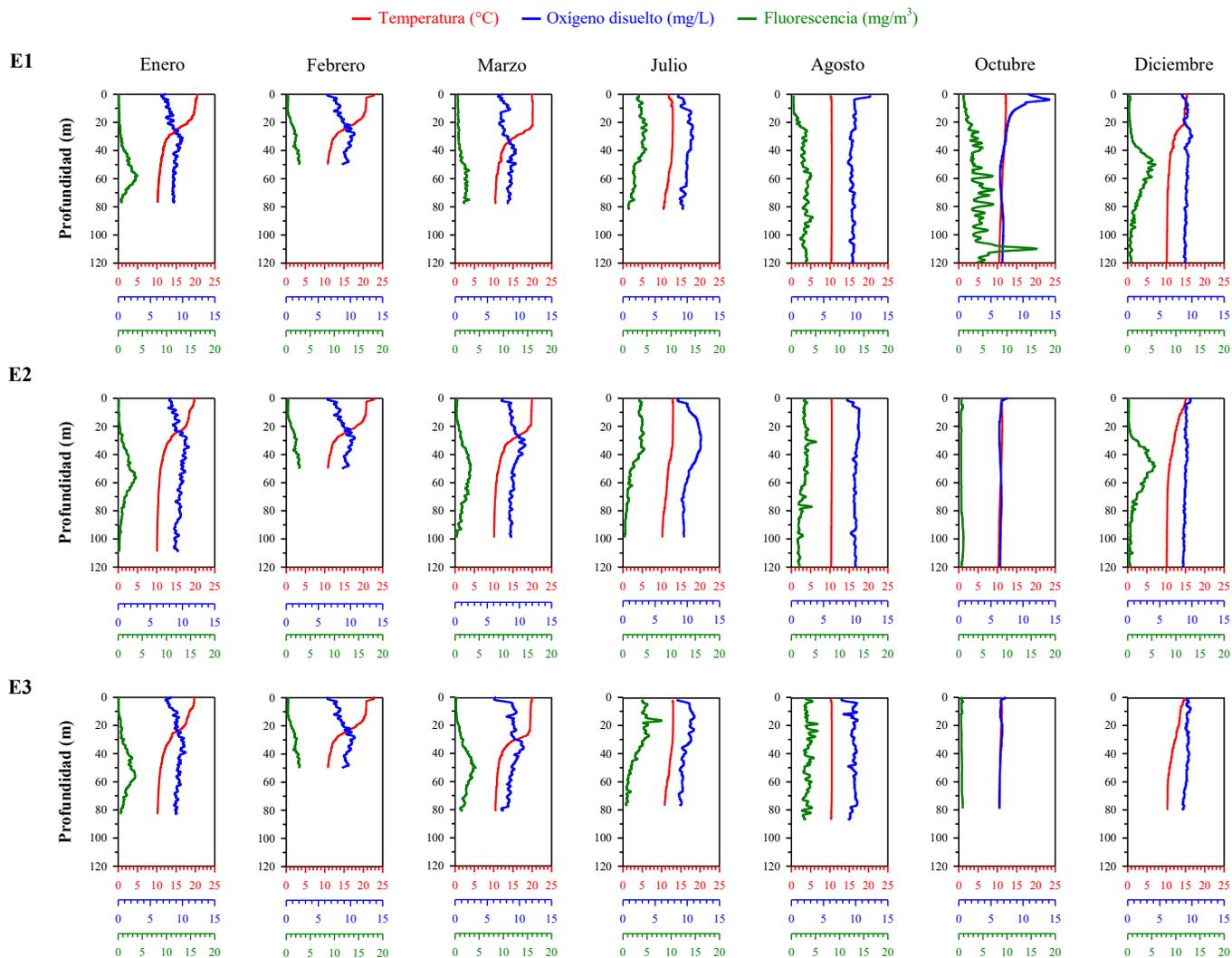


Figura 4.95. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Riñihue durante el periodo de estudio (2015).

4.5.3 Fitoplancton

4.5.3.1 Composición específica y abundancia relativa, Lago Riñihue

La comunidad fitoplanctónica en el lago Riñihue está compuesta por 12 clases diferentes (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae, Xantophyceae, Ulvophyceae y Zygnematophyceae) en donde se registraron 106 taxones (Tabla 4.72). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 88% de la abundancia de taxa en la comunidad y fue el grupo más diverso con 66 taxa (Figura 4.96).

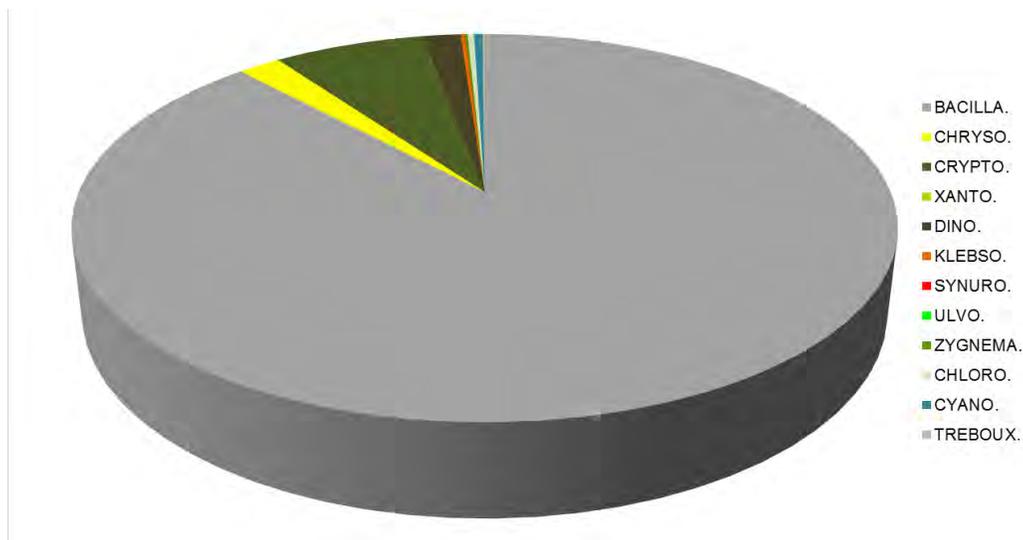


Figura 4.96. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Riñihue. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.

Tabla 4.72. Listado de especies presentes en el Lago Riñihue.

Clase/Género/Especie	Clase/Género/Especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
<i>Amphora</i> sp.	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemme
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Monoraphidium</i> sp.
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Monoraphidium saxatile</i> Komárková-Legnerov.
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Oedogonium</i> sp.
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Quadrigula closterioides</i> (Bohlin) Printz
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Choda
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	<i>Scenedesmus</i> sp.
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Diatoma</i> sp.	CHRYSOPHYCEAE
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve	<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	CRYPTOPHYCEAE
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	CYANOPHYCEAE
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-E	<i>Anabaena aff constricta</i> (Szafer) Geitler
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	<i>Microcystis elachista</i> (West & G.S.West) Stan
<i>Fragilaria virescens</i> Ralfs	<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	<i>Pseudoanabaena</i> sp.
<i>Gomphonema minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	DINOPHYCEAE
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenho	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Heni	KLEBSORMIDIOPHYCEAE
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	SYNUROPHYCEAE
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	TREBOUXIOPHYCEAE
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	<i>Botryococcus braunii</i> Kützing
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Crucigeniella apiculata</i> (Lemmermann) Komá
<i>Navicula rhyngocephala</i> Kützing	<i>Crucigeniella rectangularis</i> (Nägeli) Komárek
<i>Navicula</i> sp.	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	ULVOPHYCEAE
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	<i>Ulothrix</i> sp.
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	XANTOPHYCEAE
<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson
<i>Pinnularia aff divergentissima</i> (Grunow) Cleve	ZYGNEMATOPHYCEAE
<i>Pinnularia</i> sp.	<i>Closterium aciculare</i> T.West
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-	<i>Cosmocladium</i> sp.
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	<i>Mougeotia</i> sp.
<i>Surirella ovata</i> Kützing	<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W. West
<i>Surirella</i> sp.	<i>Staurastrum leptocladum</i> var. <i>smithii</i> Grönbla
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	

4.5.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

La comunidad presentó una diversidad ($H' \log_e$) de 1,9 y una equidad de $J' = 0,4$. La dominancia ($\Lambda = 0,8$) indicó que la comunidad está dominada por pocas especies, principalmente *T. fenestrata*, *A. granulata* y *F. crotonensis*. Espacialmente, la estructura de la comunidad fue similar entre los sitios E1, E2 y E3 (Figura 4.97), los índices comunitarios de abundancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,4$; $p > 0,05$), riqueza ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,5$; $p > 0,05$), diversidad ($H' \log_e$) ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 1,1$; $p > 0,05$) y dominancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 0,8$; $p > 0,05$), no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4.73).

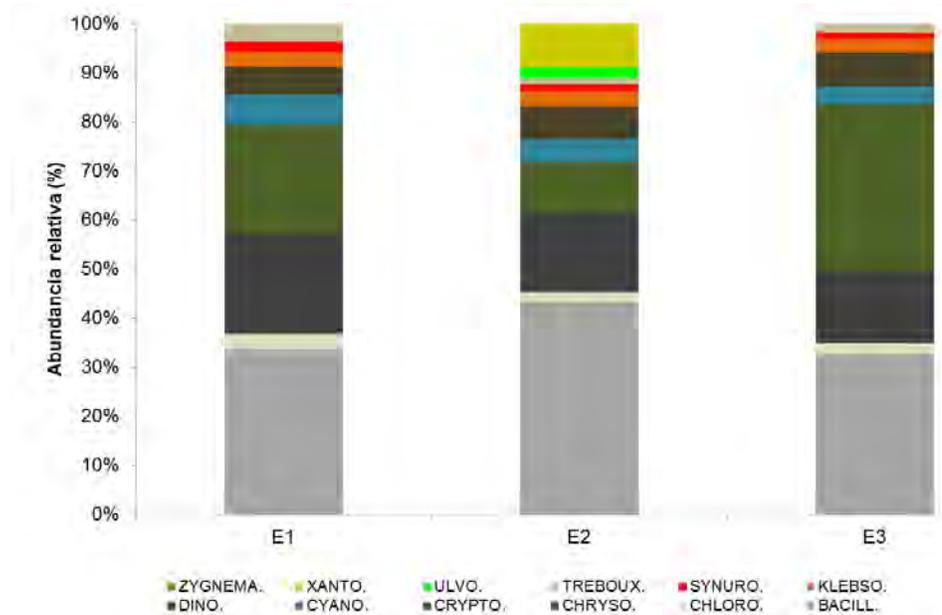


Figura 4.97. Abundancia relativa de clases de microalgas en Riñihue, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.

La densidad de fitoplancton varió estacionalmente, siendo mayor durante invierno, primavera y menor durante el otoño (Figura 4.98), estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($H_{\text{Kruskal Wallis}} = 9,9$; $p < 0,05$). La máxima abundancia celular fue de $981.107 \text{ cél l}^{-1}$ causada por el aumento de la abundancia de *T. fenestrata* en el mes de diciembre en E2 (ver Anexo 2).

Tabla 4.73. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Riñihue por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera.

Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
E1I	33	404.561	2,8	0,4	1,3	0,5
E2I	32	466.048	2,7	0,4	1,2	0,5
E3I	30	563.957	2,5	0,4	1,3	0,5
E1P	40	1.382.087	3,1	0,4	1,4	0,6
E2P	35	2.048.804	2,6	0,4	1,3	0,6
E3P	38	2.512.767	2,8	0,4	1,6	0,7
E1O	22	202.141	2	0,5	1,4	0,6
E2O	21	206.303	1,9	0,5	1,4	0,6
E3O	18	235.699	1,6	0,5	1,4	0,6
E1V	69	393.567	6	0,6	2,5	0,8
E2V	56	212.749	5,1	0,7	2,8	0,9
E3V	50	266.228	4,5	0,7	2,6	0,9

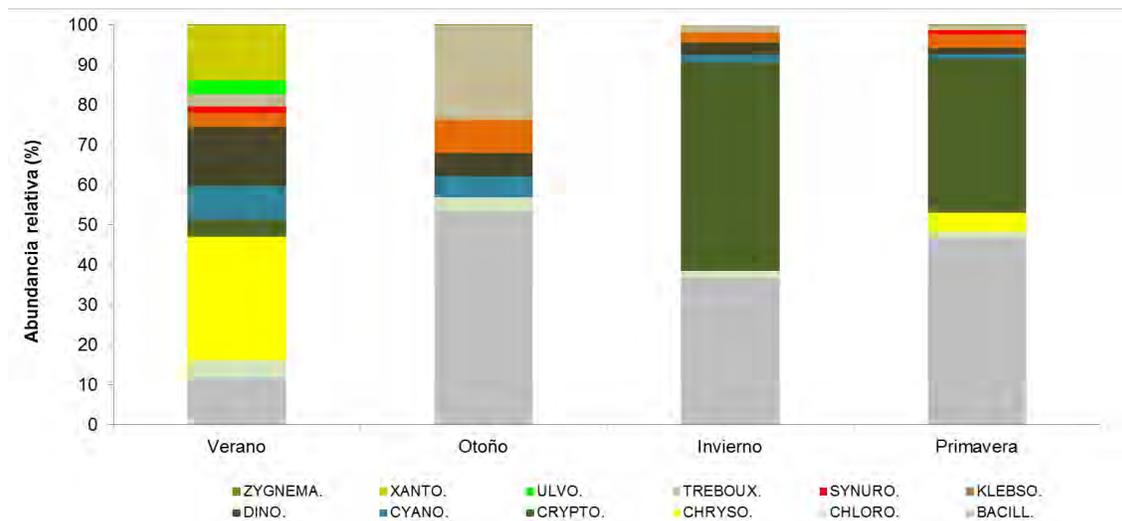


Figura 4.98. Abundancia relativa de clases de microalgas en Riñihue, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.

La mayor abundancia de células se registró a 30 m de profundidad. La mayor riqueza de taxa y diversidad se registraron a nivel superficial (Tabla 4.74). Las diatomeas fueron abundantes en todos los estratos de profundidad, las criptofíceas aumentaron su

abundancia entre los 10 y 50 m, mientras que los dinoflagelados estuvieron presentes hasta los 70 m (Figura 4.99).

Tabla 4.74. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Riñihue. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.

Estrato	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	65	307	5	0,5	2	0,8
10	63	297	4,8	0,5	1,9	0,8
30	63	297	4,7	0,4	1,8	0,7
50	47	222	3,8	0,5	2	0,8
70	63	297	5	0,5	1,9	0,7
100	31	146	2,6	0,4	1,5	0,7

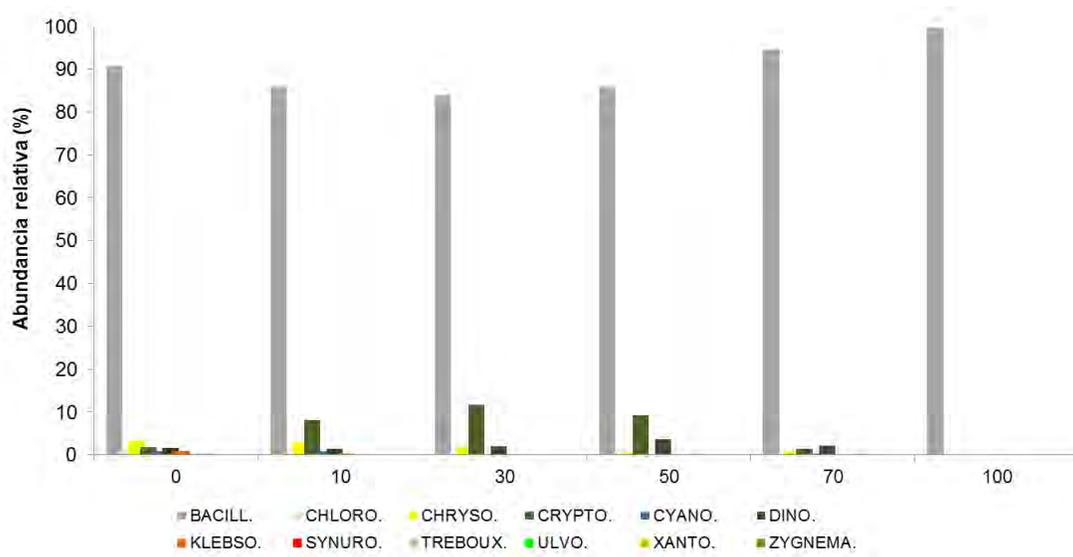


Figura 4.99. Número de células de clases de microalgas en Riñihue, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CHRYSO: Chrysophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ULVO: Ulvophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y XANTO: Xantophyceae.

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 50% de similitud se diferencian dos grupos, uno formado por los sitios muestreados en la estación de otoño, en donde la diversidad y riqueza de taxa fue mayor y otro con los sitios en el resto de las estaciones del año (Figura 4.100 a y b). En este último se forman dos subgrupos, diferenciando la estructura de la comunidad del fitoplancton durante el otoño con respecto a la primavera y el invierno (Figura 4.100a).

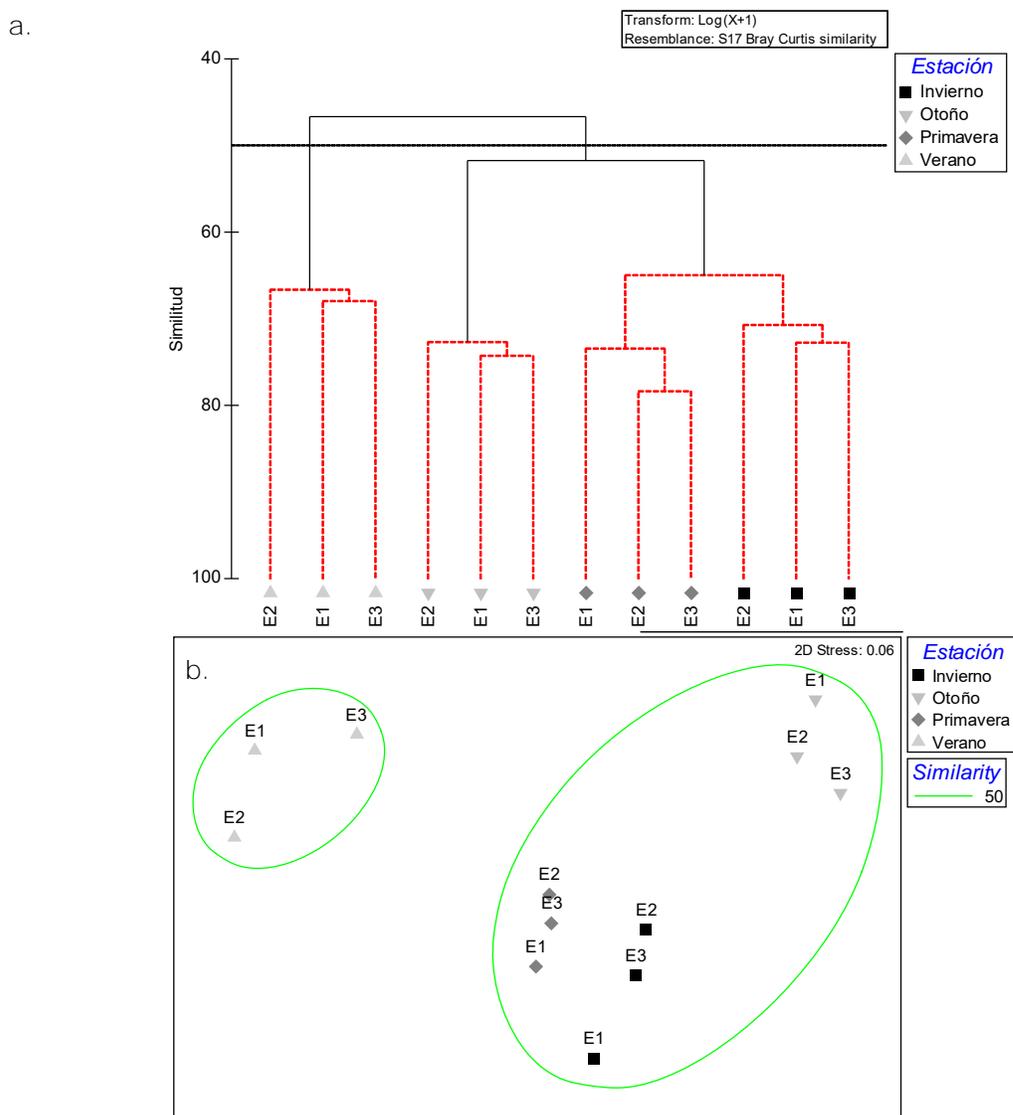


Figura 4.100. a) Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Riñihue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). b) MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año.

4.5.3.3 Especies más abundantes

En la Figura 4.101, se presentan las 10 especies más abundantes de la comunidad, que representan en su conjunto el 93% de la abundancia relativa de las microalgas en el lago. Las diatomeas *T. fenestrata*, *A. granulata* y *F. crotonensis* dominaron la comunidad.

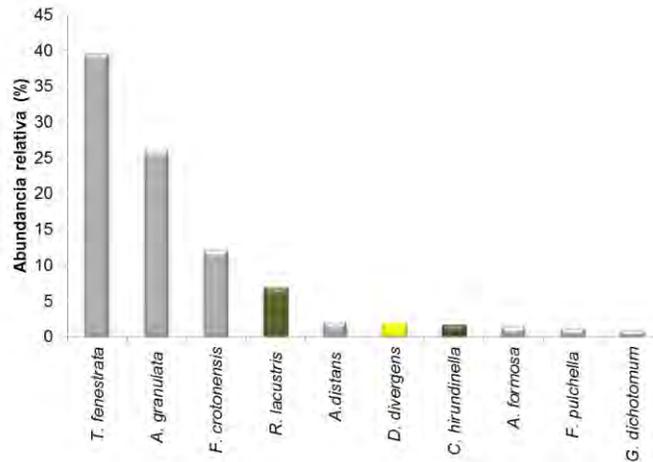


Figura 4.101. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

Se observó un recambio en la abundancia de las especies dominantes entre las estaciones del año, la diatomea *T. fenestrata* fue abundante en primavera en los tres sitios muestreados, junto con la criptofíceo *R. lacustris*, en invierno y primavera *A. granulata* domino la comunidad. Durante el verano varias especies aumentaron su abundancia (Figura 4.102).

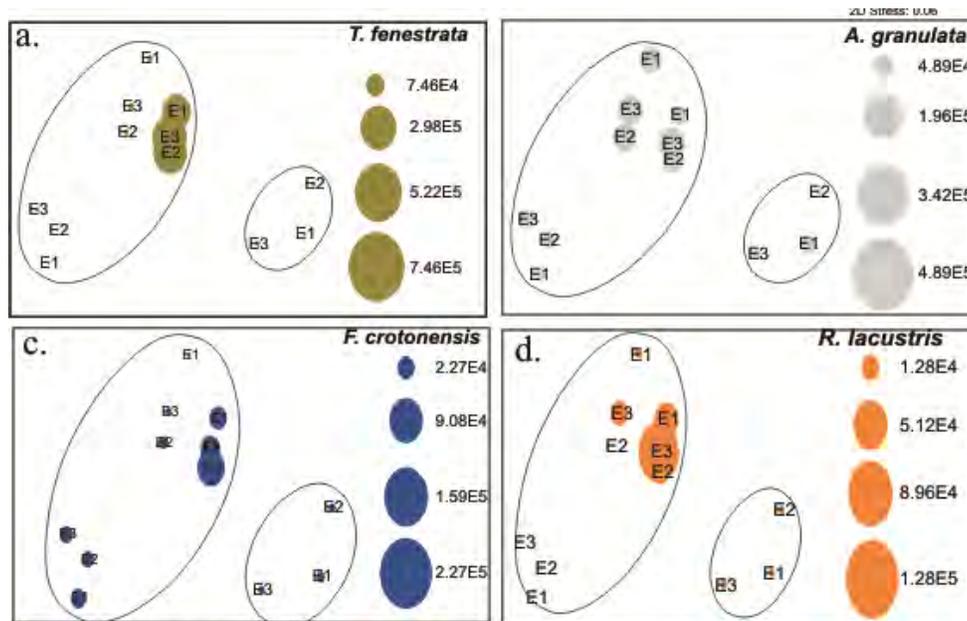


Figura 4.102. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Riñihue a. *T. fenestrata*, b. *A. granulata*, c. *F. crotonensis* d. *R. lacustris*.

4.5.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Con respecto a los estudios anteriores se registró un mayor número de taxa. Las diatomeas constituyen el grupo dominante de la comunidad fitoplanctónica según el registro histórico, seguido por las clorofíceas y los dinoflagelados (Tabla 4.75). Las diatomeas *F. crotonensis* y *A. granulata* han sido reportadas como abundantes en los estudios realizados en el lago, incluyendo el actual.

Tabla 4.75. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.

Clase	1998-1999	2011-2012	2015
Bacillariophyceae	20	55	60
Chlorophyceae	15	2	26
Dinophyceae	2	4	6
Chrysophyceae	2	2	5
Cyanobacteria	3	4	5
Cryptophyceae		3	4
Xanthophyceae			1
Euglenophyceae			
Riqueza	43	70	107
Diversidad(H')		1,4	1,7
Especies más abundantes	<i>A. formosa</i> , <i>A. granulata</i> , <i>M. hustedtii</i> , <i>M. italica</i> , <i>R. eriensis</i>	<i>A. granulata</i> , <i>T. fenestrata</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>A. formosa</i> , <i>A. distans</i>	<i>T. fenestrata</i> , <i>A. granulata</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>R. lacustris</i> , <i>A. distans</i>
Referencia	Campos et al. (2000)	DGA	Actual

4.5.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 33% de la variabilidad de los datos, la temperatura se relacionan con las crisofíceas, cianobacterias y algas verdes en la estación de verano. El fósforo y nitrógeno total explicados por el 16% de la variabilidad (eje II), se asocian con las criptofíceas y los grupos de algas verdes Zygnematophyceae, Klebsormidiophyceae que fueron más abundantes durante la primavera (Figura 4.103).

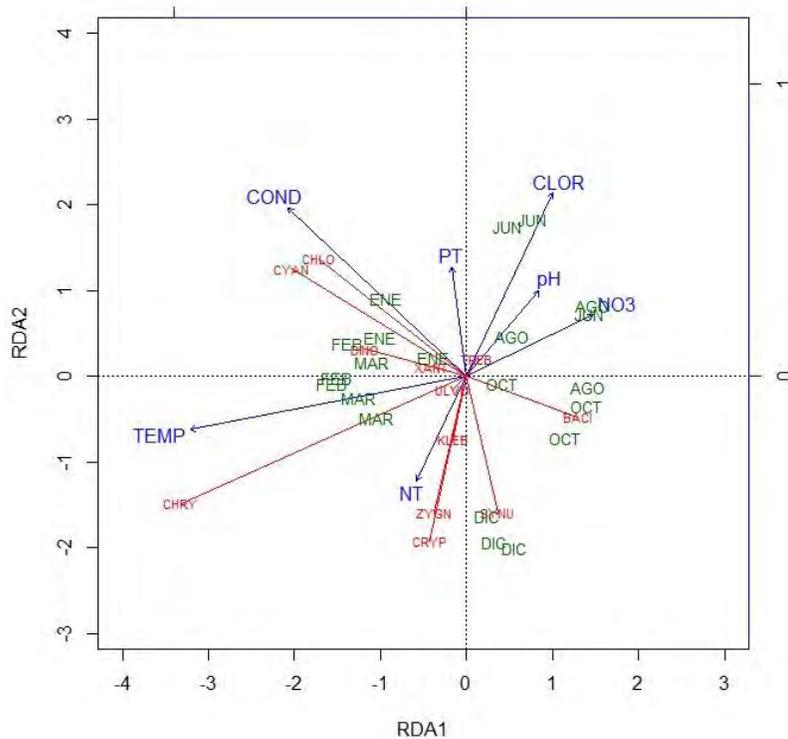


Figura 4.103. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Riñihue.

4.5.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios

Los resultados de la comunidad fitoplanctónica asociados al afluente, río Enco y al efluente río San Pedro se muestran en la Tabla 4.76. La riqueza (58) y diversidad de taxa ($H'(\log_e) = 1,7$) fue mayor en el río San Pedro en comparación con el río Enco ($S=52$; $H'(\log_e) = 1,5$), sin embargo, en este río se presentó la mayor abundancia de células (Tabla 4.77).

En el afluente fueron abundantes las diatomeas *T. fenestrata*, *A. granulata* y *F. crotonensis*, al igual que en el lago. Mientras que en el efluente las especies más abundantes fueron las diatomeas *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R. M. Patrick y *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot y la criptofíceas *R. lacustris* (Figura 4.104).

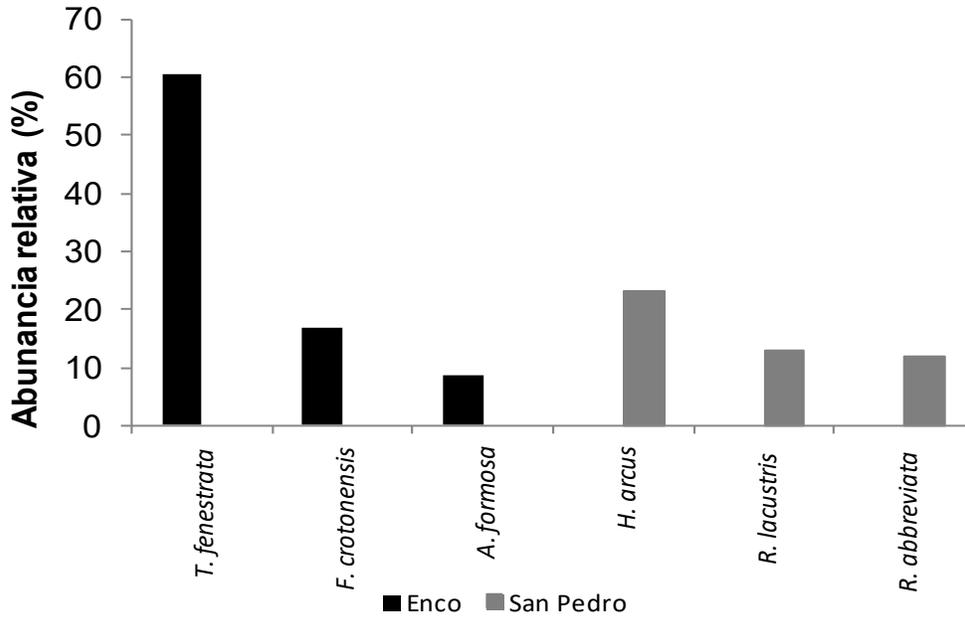


Figura 4.104. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Riñihue.

Tabla 4.76. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Riñihue.

Taxa	Afluente		Efluente	
	Enco	San Pedro	Enco	San Pedro
BACILLARIOPHYCEAE	+		+	
<i>Achnanthes</i> sp.	+			
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	+		+	
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	+		+	
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+		+	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+			
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	+		+	
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner			+	
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	+			
<i>Diatoma</i> sp.	+		+	
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+		+	
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Schmidt	+			
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	+		+	
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	+		+	
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	+			
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	+		+	
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+		+	
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bert.	+		+	
<i>Fragilaria</i> sp.	+		+	
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+		+	
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	+			
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	+		+	
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing			+	
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing			+	
<i>Gomphonema</i> sp.	+		+	
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	+		+	
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske			+	
<i>Melosira varians</i> C.Agardh			+	
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	+		+	
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg			+	
<i>Navicula</i> sp.	+		+	
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	+		+	
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith			+	
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	+			
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	+			
<i>Nitzschia</i> sp.			+	
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	+			
<i>Pinnularia aff divergentissima</i> (Grunow) Cleve			+	
<i>Pinnularia</i> sp.	+			
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	+		+	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bert	+		+	
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	+		+	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow			+	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+		+	
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing			+	
CHLOROPHYCEAE	+		+	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	+		+	
CHRYSOPHYCEAE	+		+	
<i>Dinobryon cylindricum</i> O.E.Imhof	+		+	
CRYPTOPHYCEAE	+		+	
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	+		+	
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	+		+	
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	+		+	
CYANOBACTERIA	+		+	
<i>Dolichospermum aff constricta</i>	+		+	
<i>Dolichospermum</i> sp.			+	
<i>Microcystis elachista</i> (West & G.S.West) Starmach			+	
DINOPHYCEAE	+		+	
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	+		+	
<i>Gymnodinium</i> sp.			+	
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	+			
KLEBSORMIDIOPHYCEAE			+	
<i>Elakathrix gelatinosa</i> Wille			+	
TREBOUXIOPHYCEAE	+		+	
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	+		+	
ZYGEMATOPHYCEAE	+		+	
<i>Closterium acutum</i> Brébisson			+	
<i>Closterium</i> sp.			+	
<i>Gonatozygon monotaenium</i> De Bary	+			
<i>Mougeotia</i> sp.	+		+	

Tabla 4.77. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Riñihue.

Clase	Afluente	Efluente
	Enco	San Pedro
Bacillariophyceae	33	34
Chlorophyceae	1	1
Klebsormidiophyceae	0	1
Trebouxiophyceae	1	1
Ulvophyceae	0	0
Zygnematophyceae	2	2
Chrysophyceae	1	1
Synurophyceae	0	0
Cryptophyceae	3	3
Cyanobacteria	1	3
Dinophyceae	2	2
Riqueza (S)	44	48
Diversidad Shannon H'(loge)	1,5	1,8
Índice de dominancia (1-Lambda)	0,6	0,7
Uniformidad de Pielou (J')	0,4	0,5

4.5.3.7 Especies invasoras

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella* fue observado en todos los meses muestreados, la mayor abundancia se registró durante la campaña de febrero en el sitio E2 con 9.248 cél l⁻¹. De igual forma, estuvo presente en los ríos Enco y San Pedro principalmente reportado durante los meses de verano y otoño en donde alcanzó abundancias de 1.585 cél l⁻¹ y 3.525 cél l⁻¹ respectivamente.

Se registró la presencia de la diatomea *D. geminata* durante la campaña de febrero en el río Enco, con una baja abundancia (máxima de 1.321 cél l⁻¹).

4.5.4 Calidad del agua tributarios

Los sistemas lóticos monitoreados en este lago corresponden a los ríos Enco (afluente) y San Pedro (efluente). La Figura 4.105 muestra la dinámica de los parámetros de calidad de agua analizados durante la campaña anual. La temperatura mostró una marcada tendencia estacional, con los valores similares en ambos cauces. La temperatura media registró valores que fluctuaron entre $15,87 \pm 5,05$ °C y $15,93 \pm 4,15$ °C en los ríos Enco y San Pedro, respectivamente. La conductividad manifestó una tendencia al aumento entre enero y marzo, para posteriormente disminuir desde marzo a diciembre. En promedio, el río Enco registró un valor de $45,07 \pm 7,43$ μ S/cm, mientras que San Pedro fluctuó entre $47,31 \pm 6,57$ μ S/cm. Finalmente, el pH reportó valores similares entre los cauces, con medias que oscilaron entre $7,18 \pm 0,86$ y $7,11 \pm 0,50$ en el afluente y efluente, respectivamente.

En relación con los nutrientes se puede observar que el fósforo total se mantuvo relativamente constante con un valor inferior a 3 μ g/L en ambos ríos y durante todo el periodo de monitoreo. En tanto los nitratos registraron una media de $0,039 \pm 0,036$ mg/L en el río Enco y $0,026 \pm 0,025$ mg/L en el río San Pedro, además en ambos cuerpos de agua se alcanzaron valores máximos durante la época de invierno (julio-agosto). Finalmente, el nitrógeno total reportó en promedio valores que fluctuaron entre $0,071 \pm 0,038$ mg/L y $0,069 \pm 0,039$ mg/L en el afluente y efluente, respectivamente.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Riñihue.

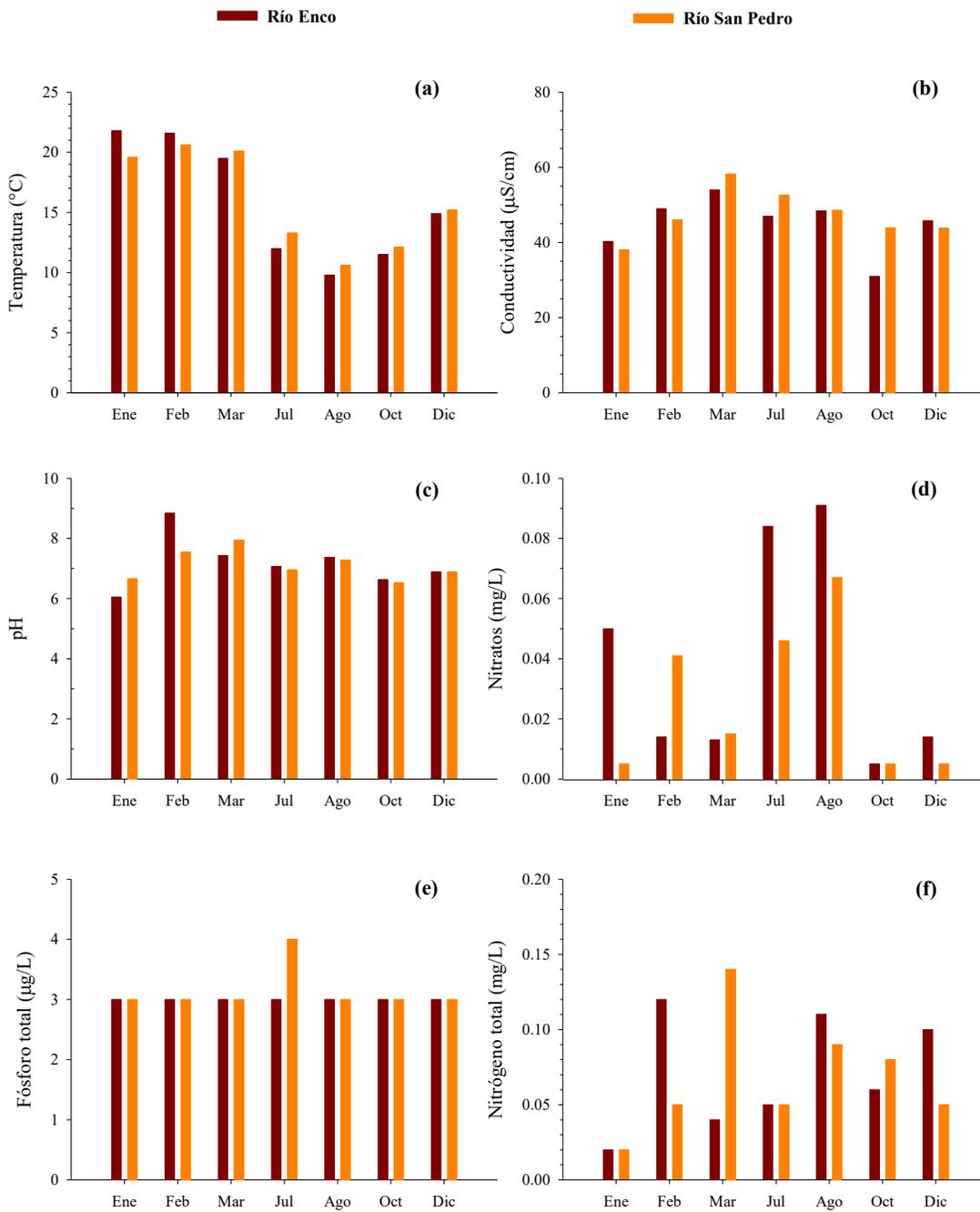


Figura 4.105. Parámetros de calidad de agua de los ríos Enco y San Pedro medidos durante el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.

4.5.5 Caudales

Los caudales mostraron una marcada variabilidad estacional, similar a lo descrito en los otros sistemas lóticos monitoreados (Figura 4.106). El caudal medio registrado por los ríos Enco y San Pedro fue de $380,76 \pm 350,67 \text{ m}^3/\text{s}$ y $440,61 \pm 165,99$, respectivamente. Los máximos de este parámetro se alcanzaron en el mes de julio con valores de $859,18 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1214,03 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los mínimos fueron de $62,90 \text{ m}^3/\text{s}$ y $90,54 \text{ m}^3/\text{s}$ y se alcanzaron el mes de marzo en el afluente y efluente.

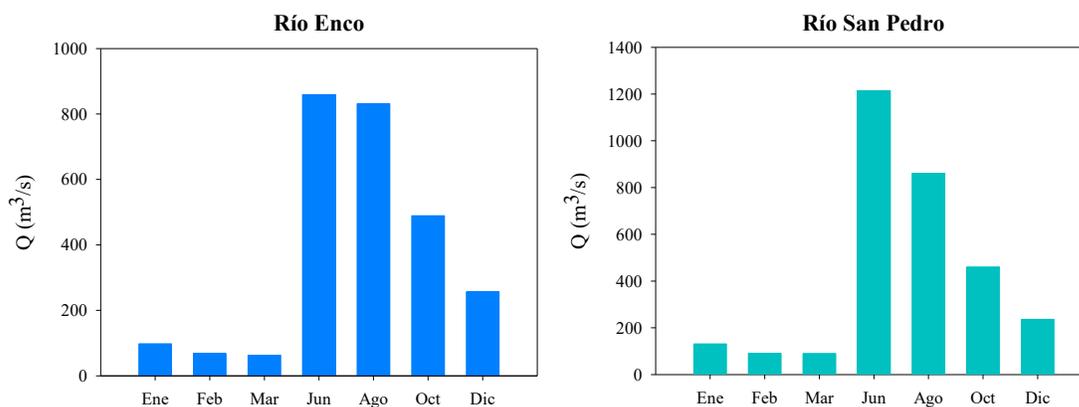


Figura 4.106. Hidrogramas de los ríos Enco y San Pedro, afluente (azul) y efluente (celeste) del Lago Riñihue, medidos durante el año 2015.

4.5.6 Estado trófico

La evaluación histórica del estado trófico mediante el índice de Carlson, considerando fósforo total (TSI Pt), transparencia (TSI Ds) y clorofila a (TSI Clor a), mostró que el lago Riñihue ha mantenido una condición de oligotrofia a través del tiempo (Figura 4.107). Sin embargo durante algunos periodos se observó que el índice de clorofila a y fósforo total superaron levemente la condición de oligotrofia, clasificando al lago en estado mesotrófico. Por otro lado, el estado trófico determinado a través de la clasificación de la OCDE (1982) y considerando sólo el año 2015, clasificó a este sistema lacustre como oligotrófico de acuerdo a sus niveles promedio de transparencia, mientras que la concentración media de clorofila a y fósforo total lo catalogó como ultraoligotrófico (Tabla 4.78).

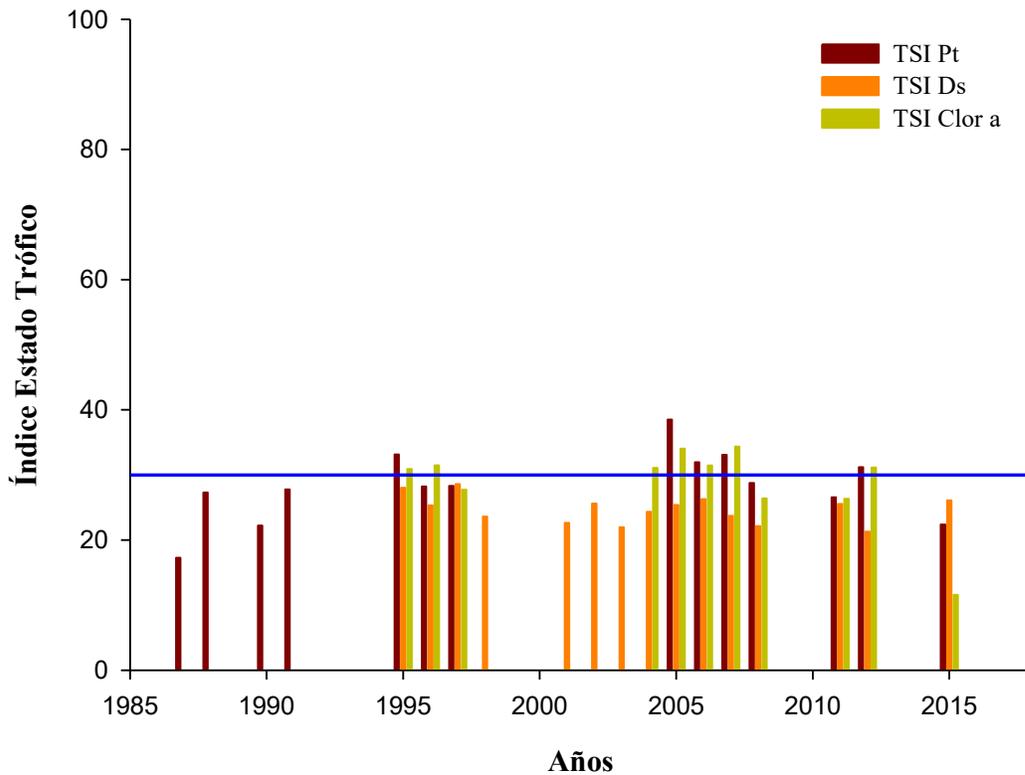


Figura 4.107. Variación temporal del estado trófico del Lago Riñihue.

Tabla 4.78. Estado trófico del lago Riñihue según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	3,8	Ultraoligotrófico
Transparencia (m)	10,5	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,3	Ultraoligotrófico

4.5.7 Balance de nutrientes

4.5.7.1 Balance hídrico

Los resultados del balance hídrico se representan a través del cambio de almacenamiento (ΔS) estimado para el periodo simulado (2005-2013). La Figura 4.108a compara el cambio de almacenamiento con los cambios de volumen (ΔV) del lago Riñihue, observándose que ambos valores fluctuaron en torno a cero. En general, este comportamiento cumple con el balance hídrico a pesar de la diferencia registrada el año 2009, la que podría estar relacionada con un aumento de caudal del principal tributario. No obstante, al comparar la

anomalía estandarizada del volumen del lago con el almacenamiento obtenido, se evidenció una covariación positiva de la serie de datos.

Por otro lado, al comparar los distintos flujos que participan en el balance hídrico (precipitaciones anuales, caudal entrada, caudal salida, evaporación y almacenamiento) se pudo observar que el almacenamiento es dominado por el flujo principal de entrada (río Enco) y por el caudal de salida (río San Pedro) (Figura 4.109), indicando un comportamiento normal del balance hídrico. Los caudales secundarios corresponden al estero Pesquero, estero Choshue y estero Coñico (Tabla 4.79).

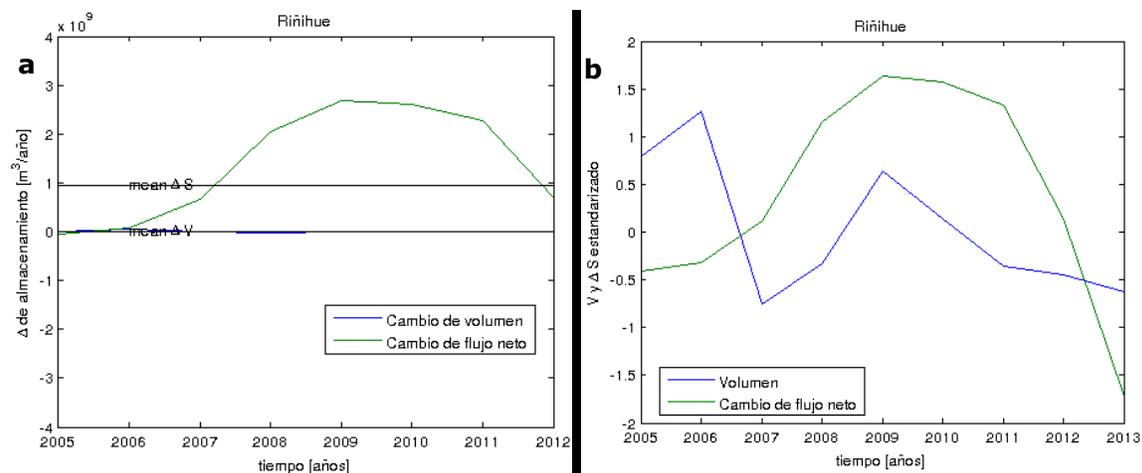


Figura 4.108. a) Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. b) Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

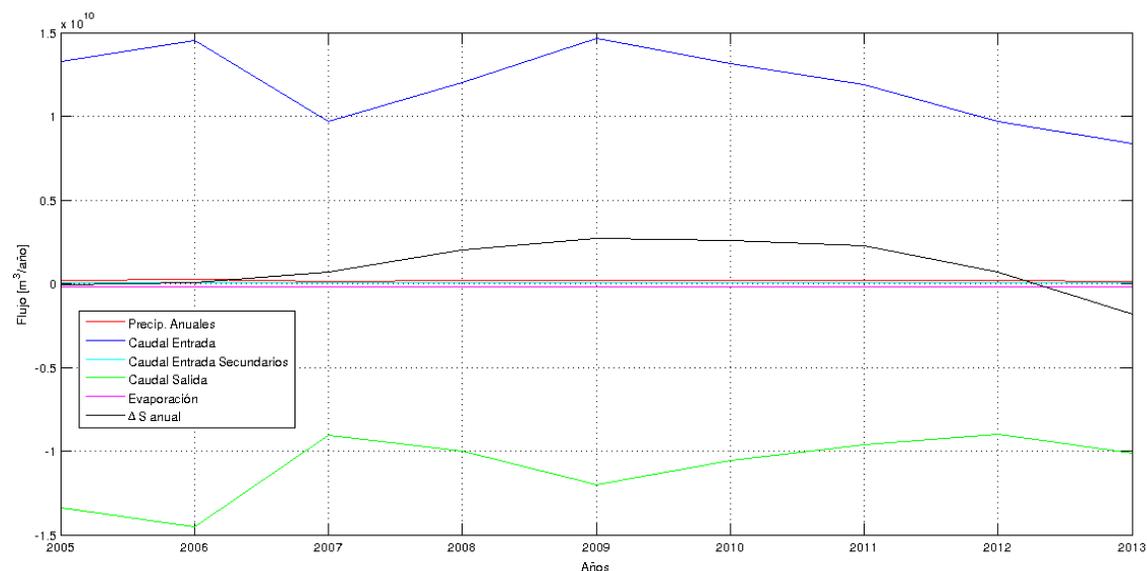


Figura 4.109. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.79. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 1° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 2° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal salida (m ³ /año)x10 ⁶	Evaporación (m ³ /año)x10 ⁶
2005	208	13266	69	13388	194
2006	221	14520	75	14545	189
2007	152	9684	50	9031	194
2008	170	12024	62	10017	203
2009	199	14647	76	12037	194
2010	164	13127	68	10580	177
2011	164	11889	61	9647	196
2012	180	9672	50	9021	193
2013	148	8360	43	10144	203

- **Escorrentía**

Los resultados de la estimación de escorrentía, precipitación y volumen para el periodo de simulación se muestran en la Tabla 4.80. En ella se observa una tendencia decreciente de la precipitación desde el año 2006 al 2013. Por otra parte, el volumen no mostró fluctuaciones importantes, manteniéndose relativamente constante a lo largo de tiempo. Finalmente, la relación escorrentía/precipitación indica que en promedio el 98% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago Riñihue.

Tabla 4.80. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Riñihue (2005 – 2013).

Años	Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/año)	Escorrentía (mm/año)
2005	14051	2923	2874
2006	14062	3142	3093
2007	14014	1939	1891
2008	14024	2529	2480
2009	14047	2617	2568
2010	14035	2142	2077
2011	14023	2046	1980
2012	14021	2309	2244
2013	14017	1912	1846

4.5.7.2 Cargas puntuales y difusas

- **Fuentes Puntuales**

La información obtenida desde los distintos servicios ambientales y sanitarios, determinaron que no existen fuentes puntuales que descarguen a la cuenca del lago.

- **Fuentes Difusas**

Las cargas difusas estimadas para el periodo de simulación (2005-2013) se muestran en la Tabla 4.81. En ella es posible observar una tendencia decreciente de las cargas de fósforo y nitrógeno a lo largo del tiempo, la cual se asocia a la disminución de las precipitaciones en el área de estudio (ver Tabla 4.80).

Los aportes de fósforo al lago provinieron desde distintos usos de suelos, destacándose en forma decreciente el bosque nativo y matorral, uso agrícola y suelos sin vegetación (Figura 4.110a). En tanto, las cargas de nitrógeno tuvieron como principal fuente de entrada al suelo cubierto con bosque nativo y matorral, seguido del uso agrícola (Figura 4.110b). Adicionalmente, se observó que el suelo cubierto con monocultivo forestal no tiene influencia en el aporte de fósforo y nitrógeno al lago, ya que la superficie que ocupa en la cuenca de drenaje es mínima.

Tabla 4.81. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Riñihue.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carga fósforo (Ton/año)	83	89	54	71	74	53	50	57	47
Carga nitrógeno (Ton/año)	1353	1456	890	1168	1209	956	912	1033	850

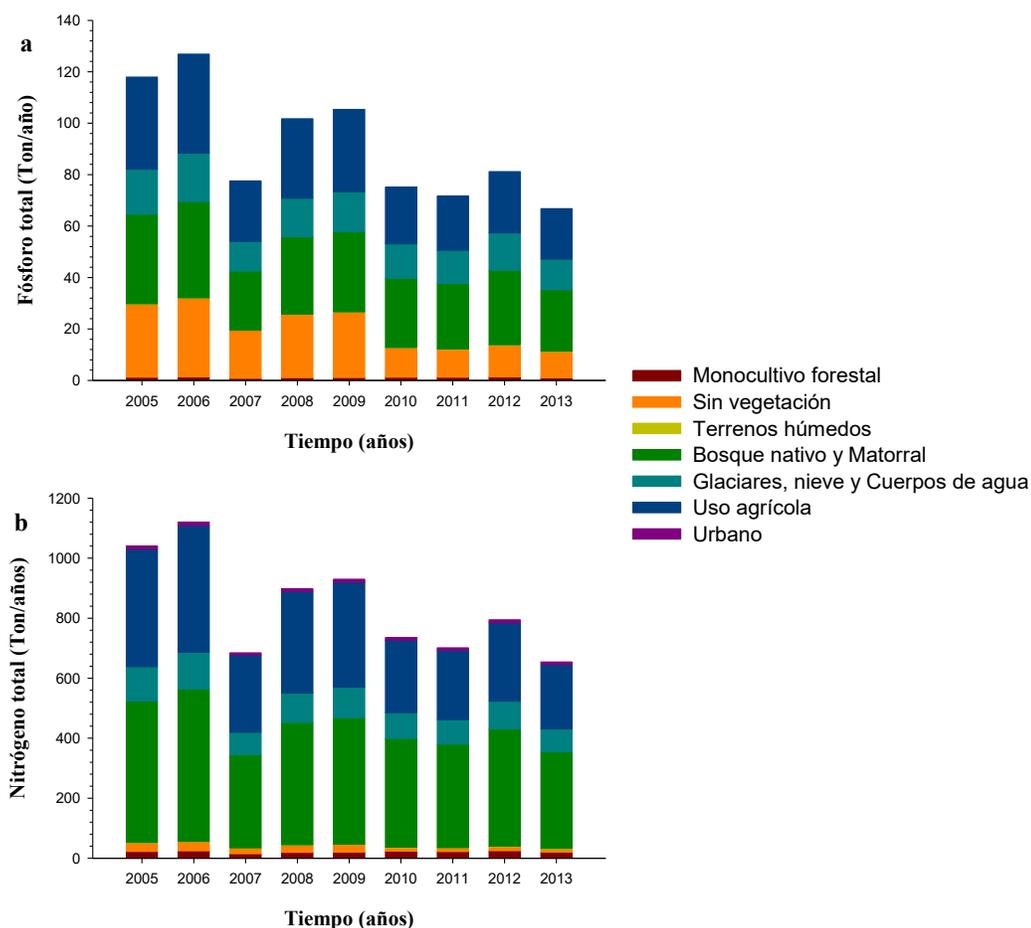


Figura 4.110. Cargas de fósforo (a) y nitrógeno (b) según usos de suelo al lago Riñihue.

4.5.7.3 Estimación del balance de nutrientes

• Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad determinó que el balance de fósforo y nitrógeno es altamente sensible al coeficiente de exportación, generando variaciones en las concentraciones de nutrientes alrededor de $\pm 0,006$ mg/L en el caso del fósforo y $\pm 0,005$ mg/L en el nitrógeno (Figura 4.111 a y c). Mientras que, se observaron mínimas fluctuaciones cuando se evaluó la respuesta del modelo al valor curva número (Figura 4.111 b y d).

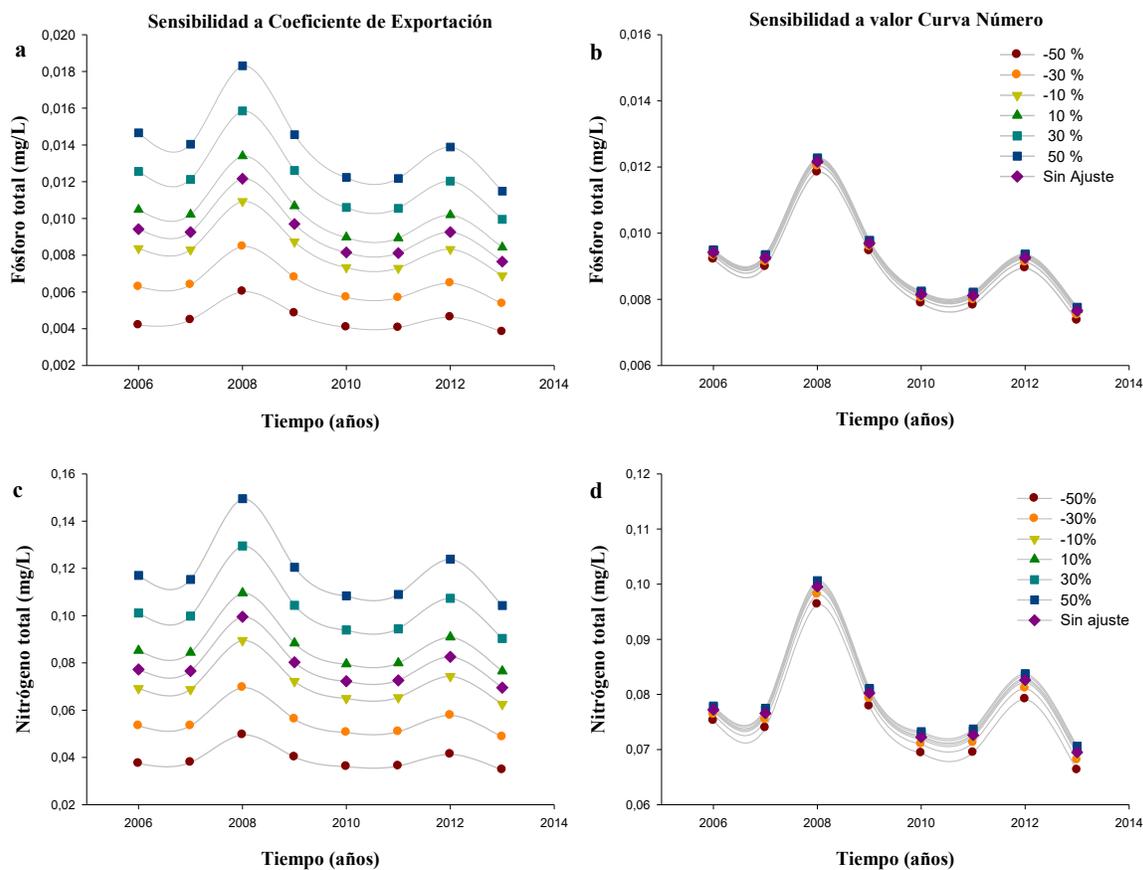


Figura 4.111. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

• Balance de nutrientes

El balance de nutrientes del lago Riñihue se realizó para el periodo 2005-2015. La Tabla 4.82 muestra que las concentraciones de fósforo simuladas fluctuaron entre 0,003 mg/L y 0,008 mg/L, las cuales se encuentran dentro del rango de datos históricos (Figura 4.112a). El índice de ajuste PBIAS reveló que el modelo sobreestimó a los valores observados en un 5%.

En cuanto al balance de nitrógeno total, sólo se pudo contrastar el modelo con datos de campo existentes para tres años en el periodo de simulación (Figura 4.112b). Con esta información, se observó que las concentraciones simuladas fluctuaron entre 0,07 mg/l y 0,13 mg/L, en tanto el índice de ajuste PBIAS mostró que el modelo sobreestimó los datos históricos de nitrógeno en un 2%.

En relación al monitoreo del año 2015, se observó que los valores de fósforo y nitrógeno simulados se ajustan a los datos medidos en terreno.

En ambos balances, la limitada serie temporal histórica que se utilizó para la comparación redujo las posibilidades de ajuste del modelo, ya que las concentraciones históricas de nutrientes (datos esporádicos dentro un año) no necesariamente representan la condición promedio anual del lago durante el periodo de estudio.

Tabla 4.82. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.

Año	Fósforo total (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)	
	Datos medidos	Datos simulados	Datos medidos	Datos simulados
2005	0,011	0,011	0,07	0,07
2006	0,007	0,006	0,14	0,10
2007	0,007	0,006		0,10
2008	0,006	0,008		0,13
2009		0,007		0,10
2010		0,006		0,09
2011	0,005	0,006		0,09
2012	0,007	0,006	0,08	0,11
2013		0,005		0,09
2015	0,004	0,003	0,05	0,07

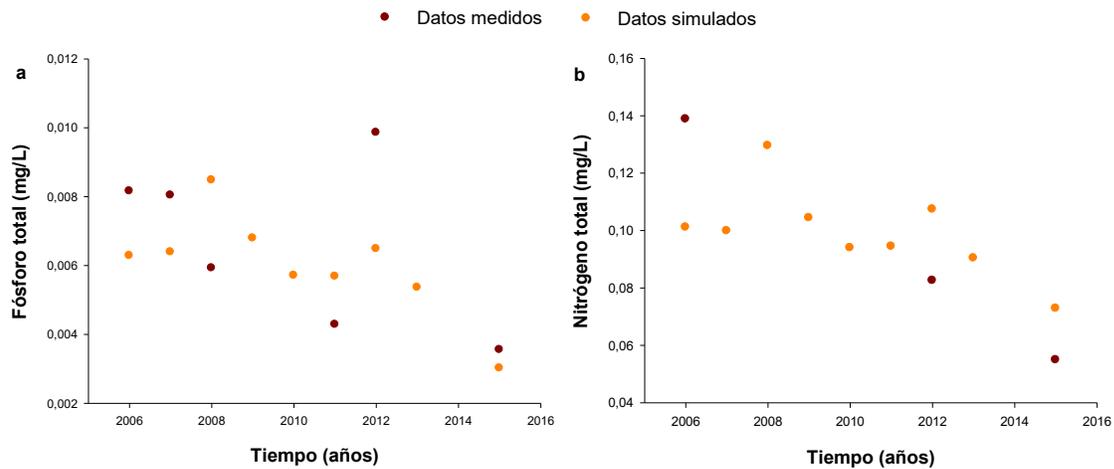


Figura 4.112. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.5.8 Determinación de carga crítica

La Figura 4.113 y Tabla 4.83 compara la carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo. En ellas se observa que la carga actual de fósforo del lago osciló entre 36-89 Ton P/año, la que es mucho menor que la carga crítica estimada (178-288 Ton P/año) para los distintos años. Del mismo modo la carga actual de nitrógeno es mucho menor que la carga crítica estimada a lo largo del tiempo, con un valor máximo de 1456Ton N/año el año 2006.

Tabla 4.83. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	271	83	3656	1353
2006	288	89	3913	1456
2007	203	54	2655	890
2008	178	71	2290	1168
2009	250	74	3352	1209
2010	228	53	3018	956
2011	213	50	2801	912
2012	203	57	2653	1033
2013	221	47	2916	850
2015	245	36	3272	898

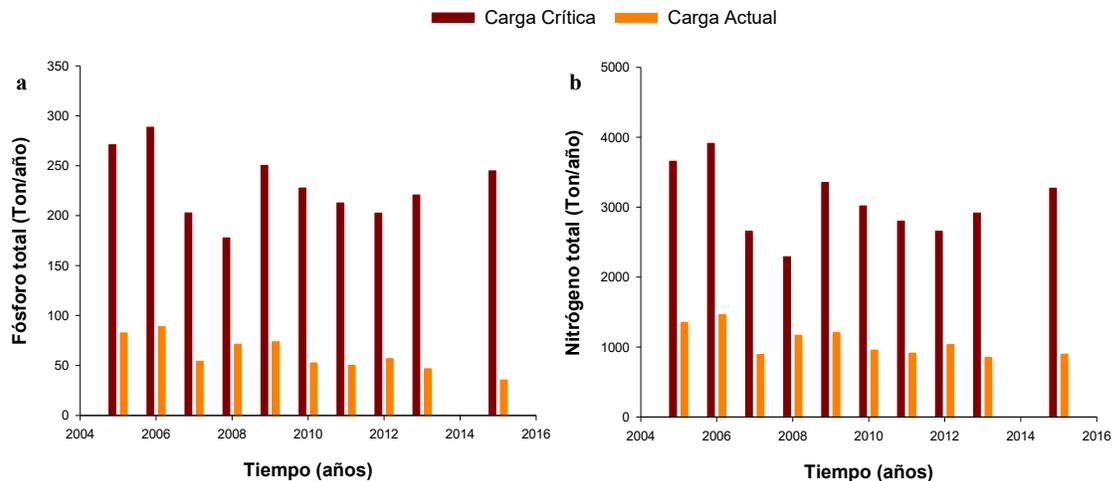


Figura 4.113. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.5.9 Sedimentos

4.5.9.1 Lago

- **Fósforo total**

Se observan en las concentraciones de fósforo total, una importante diferencia entre épocas de muestreo, más que entre las estaciones analizadas, esto porque los valores más altos se registraron durante el otoño, principalmente en las estaciones E1 y E2. Entre los valores de verano e invierno, prácticamente no existieron diferencias. Durante la primavera se encontraron los valores más bajos de todo el lago (Tabla 4.84).

- **Materia orgánica**

La concentración de materia orgánica de este lago, se encuentra entre los valores más bajos del set de lagos estudiados. El valor más bajo se reportó en las estación E3 durante el verano, mientras que los valores más altos estuvieron en las estaciones E1 y E2 durante el monitoreo de verano. Al parecer se observa una cierta tendencia al incremento de materia orgánica a lo largo de los monitoreos, pero esta observación no es concluyente (Tabla 4.84).

- **pH**

Se replica la tendencia identificada en el resto de los lagos, en la cual los niveles de pH de los sedimentos fueron muy estables, con escasa variación entre estaciones y monitoreos. En este lago, los niveles más altos de pH se reportaron durante el monitoreo de otoño, con valores levemente más altos que el resto de las mediciones, en las tres estaciones (Tabla 4.84).

- **Potencial redox**

Este parámetro presentó una variación importante entre los monitoreos realizados. Si bien la mayoría de las estaciones presentó valores negativos, llama la atención los altos valores positivos que prestaron las estaciones E2 y E3, durante el monitoreo de verano. Luego en otoño e invierno, todas las estaciones tuvieron valores negativos, a excepción de la estación E3 durante el monitoreo de primavera (Tabla 4.84).

- **Sílice biogénica**

Este lago replica la tendencia del Pirehueico respecto de la sílice, bajas concentraciones en todas las estaciones muestreadas, durante todos los monitoreos. En la estación E1 de primavera, se registró uno de los valores más bajos del set de datos. El valor más alto se encontró en la estación E3, durante el verano (Tabla 4.84).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Riñihue.

Tabla 4.84. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Riñihue durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	1053,2	6,6	6,9	-28,5	0,2
Estación 2	847,7	3,6	7,0	270,4	0,3
Estación 3	1391,3	3,8	7,4	233,5	0,9
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	950,9	6,8	6,6	---	0,7
Estación 2	1606,8	7,4	6,7	---	1,5
Estación 3	1308,7	1,5	6,6	---	1,2
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	2242,2	16,0	7,8	-48,5	0,8
Estación 2	1914,3	14,3	7,9	-81,8	0,9
Estación 3	1106,7	2,3	7,3	-107,7	0,4
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	1036,8	4,1	6,0	-210,3	0,1
Estación 2	924,4	4,1	7,2	-142,7	0,3
Estación 3	1516,7	6,1	7,8	-45,5	1,0
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	1554,0	12,4	7,4	-63,2	0,3
Estación 2	1113,0	4,2	7,4	-56,1	0,2
Estación 3	1064,8	3,3	7,1	-126,3	0,5
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	963,6	12,5	6,9	-154,0	0,2
Estación 2	852,2	4,6	7,2	-24,3	0,5
Estación 3	689,5	2,0	7,1	209,2	0,2
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	406,5	4,7	7,1	-86,6	0,1
Estación 2	792,6	4,2	7,2	16,6	0,5
Estación 3	980,3	6,7	7,2	-50,4	1,6
Total general	1157,9	6,2	7,1	-27,6	0,6

4.5.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.85 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos del afluente y efluente del lago Riñihue.

Tabla 4.85. Concentración de fósforo total (mg kg⁻¹) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Enco	-	615,1	981,6	624,9	-	515,6	844,7
Río San Pedro	-	-	-	-	-	348,4	240,5

- **Materia orgánica**

En la Tabla 4.86 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos del afluente y efluente del lago Riñihue.

Tabla 4.86. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios muestreados, en los siete monitoreos realizados.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Río Enco	-	0,20	0,40	-	-	0,60	1,70
Río San Pedro	-	-	0,70	-	-	2,80	2,10

- **Facies texturales**

En la Tabla 4.87 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos del afluente y efluente del lago Riñihue.

Tabla 4.87. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Río Enco	20,2	77,5	2,30
Río San Pedro	22,5	67,7	9,80

4.6 LAGO PUYEHUE

4.6.1 Batimetría

La batimetría del lago se muestra en la Figura 4.114, en ella se observa que este sistema léntico tiene aproximadamente una profundidad máxima de 123 m y un volumen de 12,6 km³.

4.6.2 Parámetros físico-químicos

- **Temperatura (°C)**

Las temperaturas medias durante el periodo estudiado fluctuaron entre 9 y 16°C, registrándose la mínima en agosto y la máxima en enero (Figura 4.115). La tendencia durante el año muestra un incremento de temperaturas en periodo estival que se mantiene hasta principios de otoño, con una alta desviación estándar en todas estas estaciones, indicando una heterogeneidad de las temperaturas a lo largo de la columna de agua generado por la presencia de termoclina (Tabla 4.88). Durante el periodo de invierno, las estaciones tienden a disminuir las temperaturas y a tener una distribución vertical más homogénea sugiriendo la mezcla completa de la columna de agua.

- **Conductividad (µS/cm)**

La conductividad promedio durante el periodo estudiado fluctuó de 38 µS/cm a 90 µS/cm registrándose la mínima en diciembre y la máxima en marzo. Las tendencias en las tres estaciones son similares durante todo el año, observándose una disminución de sus valores desde finales de invierno hasta principios de verano, mientras que durante el periodo estival y hasta mediados de invierno los valores incrementan, siendo significativamente mayores en febrero y marzo, donde la heterogeneidad de la conductividad a lo largo de la columna de agua también aumenta.

- **Nitrógeno total (mg/L)**

La concentración promedio de nitrógeno total en las tres estaciones fue variable fluctuando de 0,06 a 0,25 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en febrero. Las diferentes concentraciones medias de nitrógeno total para las tres estaciones evidencian durante todo el año una distribución heterogénea en el cuerpo de agua. De igual forma, la distribución vertical de las concentraciones de nitrógeno total evidenciado por la desviación estándar de los valores sugiere una alta heterogeneidad, particularmente en los meses de febrero, marzo y junio (Tabla 4.88). No se distingue un patrón determinado a lo largo del año.

- **pH**

La concentración media de pH mostró una leve variación durante el periodo estudiado, con valores que fluctuaron entre 6 y 8, siendo cercanos a la neutralidad. La distribución vertical de pH, reflejada en la desviación estándar de los valores registrados, indica que el pH en el lago fue homogéneo. Las estaciones muestreadas presentaron valores muy similares durante todo el año.

- **Nitrato (mg/L)**

La concentración promedio de nitrato durante todo el periodo estudiado fluctuó entre 0,18 y 0,48 mg/L, registrándose la mínima en enero y la máxima en agosto (Figura 4.115). La distribución vertical de nitrato en la columna de agua es muy variable durante el año en las tres estaciones, sin un patrón determinado. Se observan diferencias de las concentraciones promedio de nitrato entre las estaciones en cada mes muestreado, indicando que estas no son homogéneas en el cuerpo de agua.

- **Fósforo total (µg/L)**

Las concentraciones medias de fósforo total durante todo el periodo estudiado variaron de 3 a 7 µg/L, observándose la máxima en la estación 2 de agosto con una alta heterogeneidad vertical. Las concentraciones de fósforo total incrementaron levemente a finales del periodo estival y en los meses de invierno, mientras que en el resto de los meses muestreados, las concentraciones se mantuvieron cercanas a 3 µg/L con una distribución vertical homogénea (Figura 4.115, Tabla 4.88).

En la Figura 4.115 entrega la distribución espacial y temporal (estacional) de la clorofila a (Clor a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) durante el año 2015.

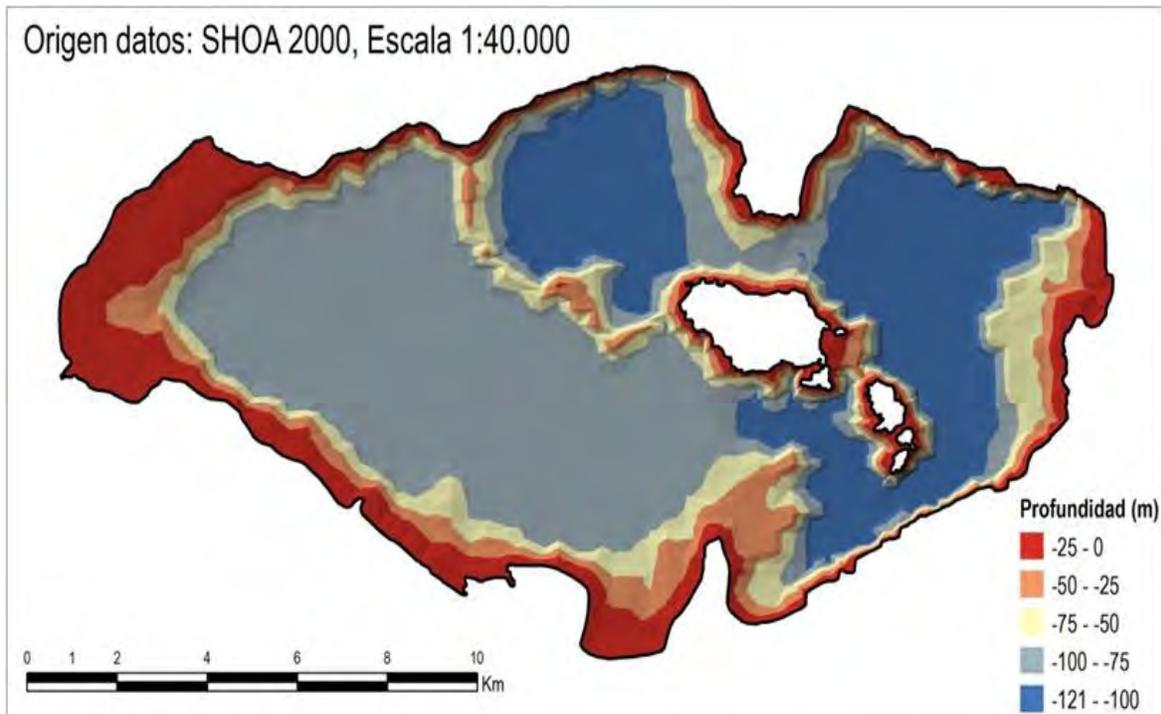


Figura 4.114. Batimetría del lago Puyehue.

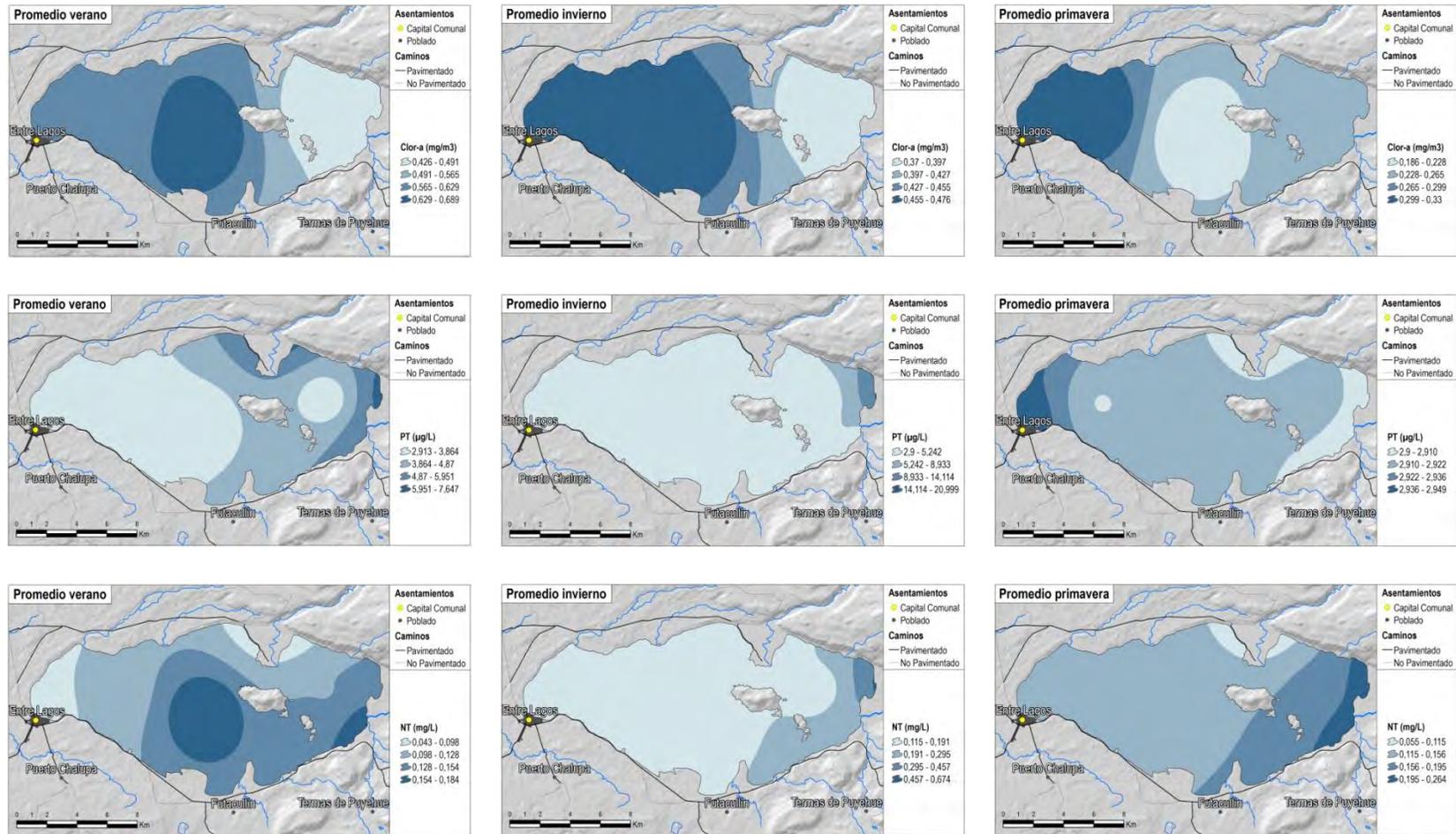


Figura 4.115. Distribución espacio-temporal de clorofila a (Clor-a), fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) en el lago Puyehue durante el año 2015.

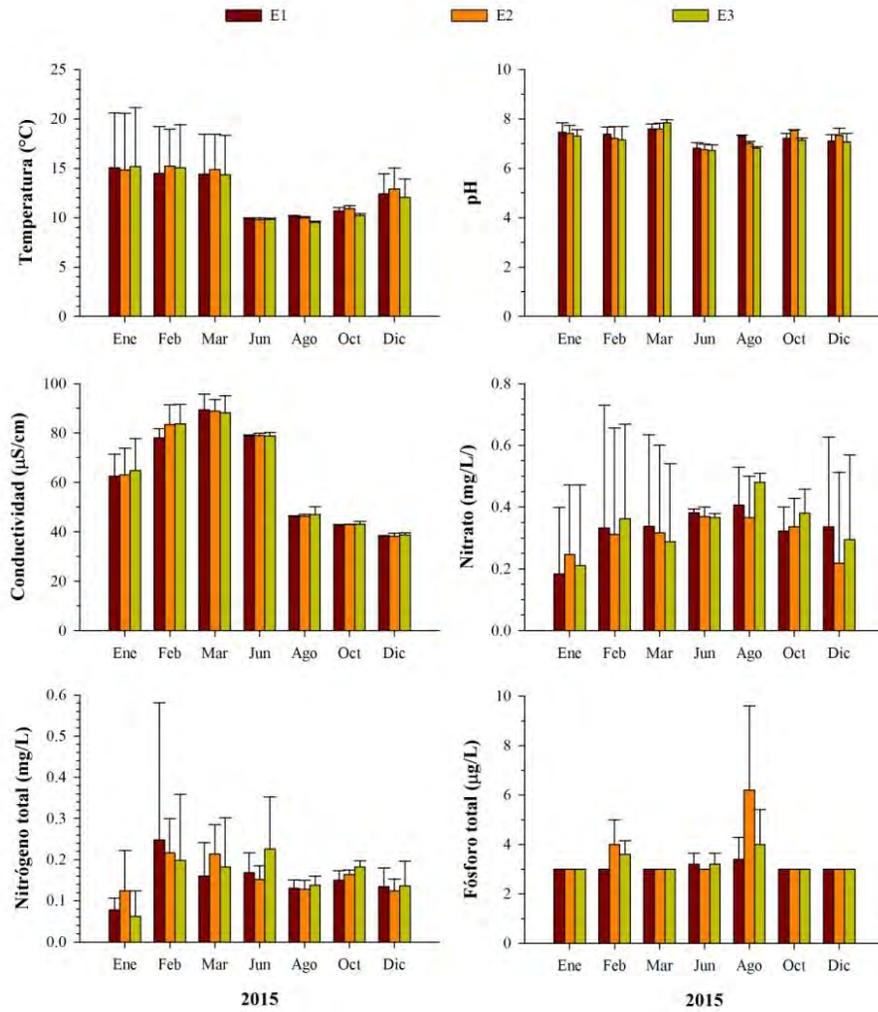


Figura 4.116. Valores promedio de temperatura, pH, conductividad, Nitrato, Nitrógeno total y Fósforo total de la columna de agua en las tres estaciones muestreadas.

Tabla 4.88. Valores promedio (x) y desviación estándar (DE) de parámetros de temperatura (Temp.), conductividad (Cond.), nitrógeno total (Nt), pH, nitrato (NO₃) y Fosforo total (Pt) de la columna de agua del lago Riñihue de las tres estaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

		Temp.		Cond.		Nt		pH		NO ₃		Pt	
		x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE	x	DE
Enero	E1	15,1	5,5	62,5	8,9	0,08	0,03	7,5	0,4	0,18	0,21	3	0
	E2	14,8	5,7	63,2	10,7	0,12	0,1	7,4	0,3	0,25	0,23	3	0
	E3	15,2	5,9	64,9	12,9	0,06	0,06	7,3	0,3	0,21	0,26	3	0
Febrero	E1	14,5	4,7	78,1	3,7	0,25	0,33	7,4	0,3	0,33	0,4	3	0
	E2	15,2	3,7	83,4	8	0,22	0,08	7,2	0,5	0,31	0,34	4	1
	E3	15,1	4,3	83,7	7,9	0,2	0,16	7,1	0,5	0,36	0,31	3,6	0,5
Marzo	E1	14,4	4	89,5	6,3	0,16	0,08	7,6	0,2	0,34	0,3	3	0
	E2	14,9	3,6	88,9	4,8	0,21	0,07	7,6	0,2	0,32	0,28	3	0
	E3	14,3	4	88,3	6,9	0,18	0,12	7,8	0,1	0,29	0,25	3	0
Junio	E1	9,9	0	78,8	0,5	0,17	0,05	6,8	0,2	0,38	0,01	3,2	0,4
	E2	9,8	0,2	78,9	0,9	0,15	0,03	6,7	0,2	0,37	0,03	3	0
	E3	9,8	0,1	78,9	1,3	0,23	0,13	6,7	0,2	0,37	0,01	3,2	0,4
Agosto	E1	10,1	0,1	46,1	0,4	0,13	0,02	7,3	0	0,41	0,12	3,4	0,9
	E2	10	0,1	46,4	0,7	0,13	0,02	7	0,1	0,37	0,13	6,2	3,4
	E3	9,5	0,1	47	3,2	0,14	0,02	6,8	0,1	0,48	0,03	4	1,4
Octubre	E1	10,7	0,4	42,4	0,5	0,15	0,02	7,2	0,2	0,32	0,08	3	0
	E2	10,9	0,3	42,9	0,2	0,16	0,01	7,5	0	0,34	0,09	3	0
	E3	10,2	0,2	43,1	1	0,18	0,01	7,1	0,1	0,38	0,08	3	0
Diciembre	E1	12,4	2	38,4	0,1	0,13	0,05	7,1	0,3	0,34	0,29	3	0
	E2	12,9	2,1	38,1	1,3	0,12	0,03	7,3	0,3	0,22	0,29	3	0
	E3	12	1,9	38,9	0,7	0,14	0,06	7,1	0,3	0,29	0,27	3	0

- **Perfiles limnológicos**

La temperatura superficial en el lago Puyehue fluctuó de 10°C a 21°C durante el periodo estudiado, registrándose la mínima en octubre y la máxima en Enero (Figura 4.117). El régimen térmico observado de este lago corresponde a monomítico temperado, con estratificación térmica estival y mezcla completa en invierno. La termoclina se ubica entre los 5 y 30 metros de profundidad con una amplitud térmica de 11°C.

Las concentraciones de oxígeno disuelto fluctuaron de 6 a 11 mg O₂/L durante el periodo en estudio, registrándose ambos valores durante el mes de Enero (Figura 4.117). Los perfiles de oxígeno durante el periodo estival y hasta principios de otoño presentaron una distribución ortógrada, con una tendencia que fue inversa a la de temperaturas. Durante el periodo de invierno y primavera, el perfil fue estable manteniéndose alrededor de los 10 mg O₂/L.

La concentración de clorofila durante el periodo estudiado fluctuó de 0,2 a 12 mg/m³, encontrándose la mínima en Febrero y la máxima en Octubre. Durante los meses de primavera y hasta principios de otoño, la concentración de clorofila tendió a incrementar después de los 10 metros de profundidad, observándose un notorio aumento a los 30 metros durante los meses de Enero, Febrero y Marzo seguido de una rápida disminución hacia los estratos más profundos, mientras que en Octubre los valores se mantuvieron altos hasta los 90 metros de profundidad. En Junio y Agosto, el perfil de concentración de clorofila se mantuvo estable y con valores cercanos a 5 mg O₂/L.

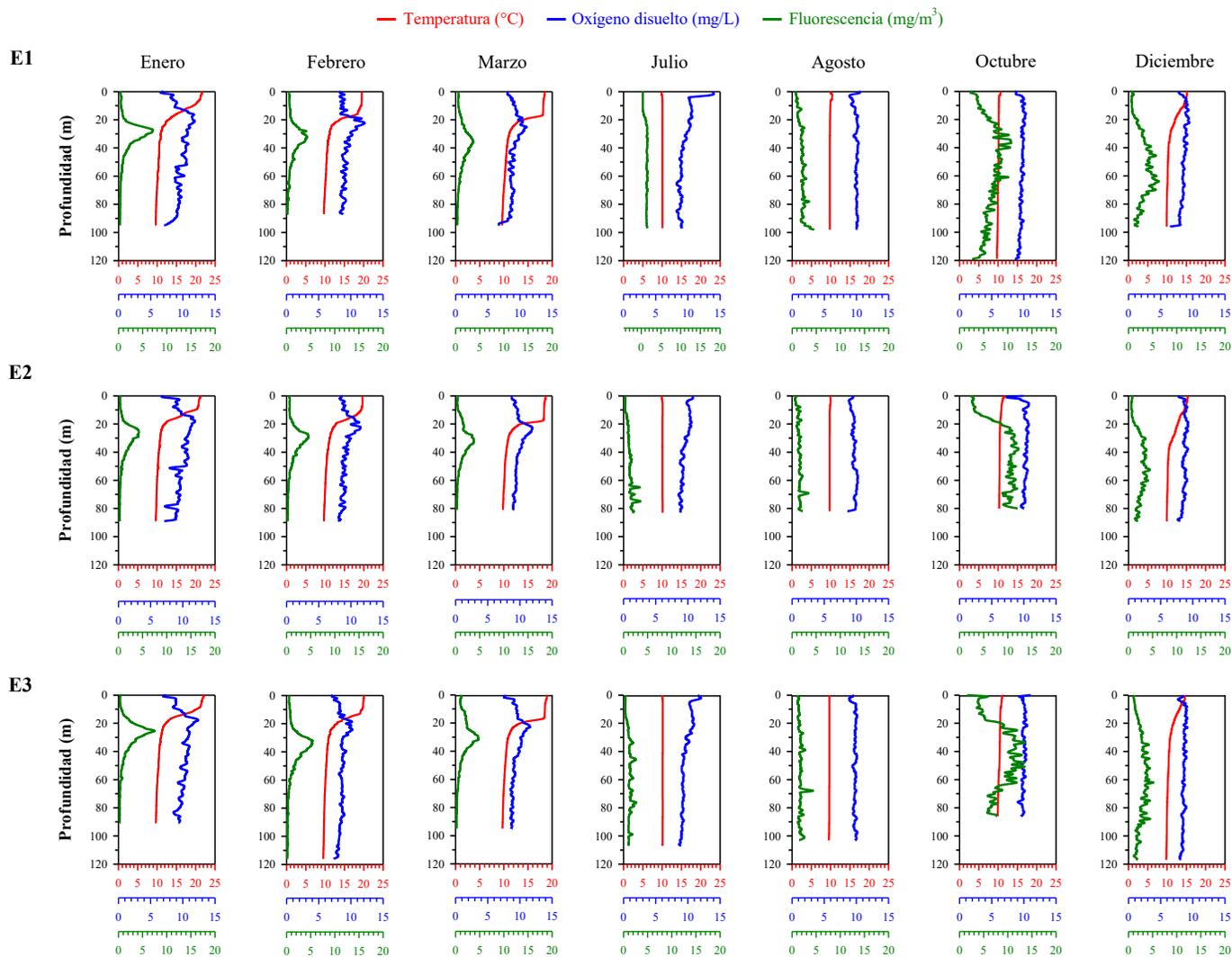


Figura 4.117. Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia (mg/m³ o µg/L) del lago Puyehue durante el periodo de estudio (2015).

4.6.3 Fitoplancton

4.6.3.1 Composición específica y abundancia relativa, Lago Puyehue

La comunidad fitoplanctónica en el lago Puyehue está compuesta por 10 clases diferentes (Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Cyanobacteria, Dinophyceae, Euglenophyceae, Klebsormidiophyceae, Synurophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae) en donde se registraron 98 taxones (Tabla 4.89). Las diatomeas (Bacillariophyceae) constituyeron el 95 % de la abundancia de taxa en la comunidad y fue el grupo más diverso con 57 taxa (Figura 4.118).

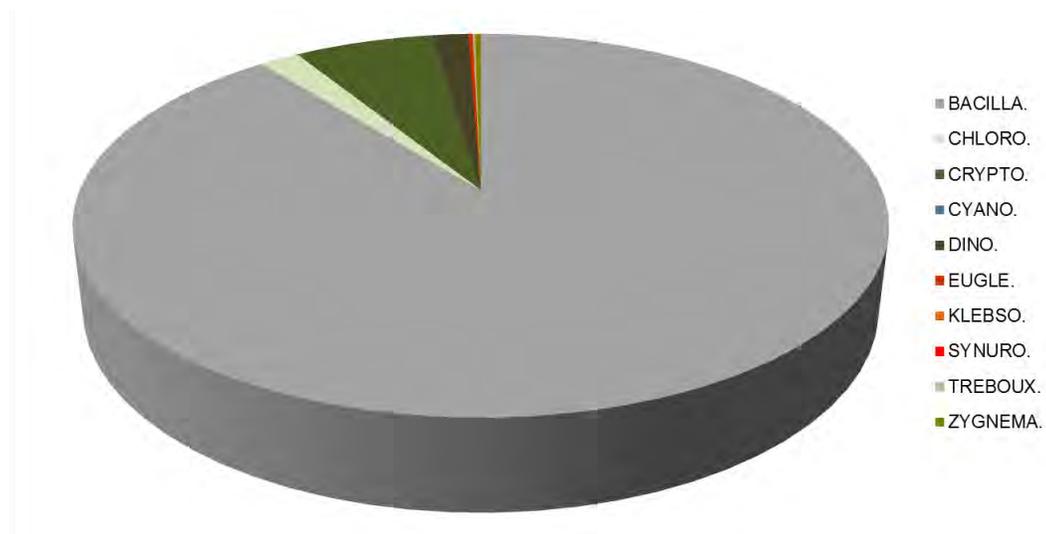


Figura 4.118. Abundancia relativa de grupos de microalgas en Puyehue. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.

Tabla 4.89. Listado de especies presentes en el Lago Puyehue.

Clase/Género/Especie	Clase/Género/Especie
BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
<i>Achnanthes auckiana</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B.Turner) Lemmerl
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
<i>Amphora</i> sp.	<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	<i>Monoraphidium irregulare</i> (Smith) Komárkova-
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	CRYPTOPHYCEAE
<i>Coscinodiscus aff radiatus</i> Ehrenberg	<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	CYANOBACTERIA
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Dolichospermum aff constricta</i>
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	<i>Dolichospermum</i> sp.
<i>Diatoma</i> sp.	<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>Pseudoanabaena</i> sp.
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	DINOPHYCEAE
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Peridinium</i> sp.
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	EUGLENOPHYCEAE
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	<i>Trachelomonas aff granulosa</i> Playfair
<i>Gomphonema minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	KLEBSORMIDIOPHYCEAE
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhof	<i>Elakathrix gelatinosa</i> Wille
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	SYNUROPHYCEAE
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	<i>Mallomonas</i> sp.
<i>Gomphonema</i> sp.	TREBOUXIOPHYCEAE
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	<i>Dictyosphaerium erenbergianum</i> Naegeli
<i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Hendey	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	<i>Hormidium</i> sp.
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	<i>Nephrocystium agardhianum</i> Nägeli
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Oocystis elliptica</i> West
<i>Navicula aff mutica</i> Kützing	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	<i>Oocystis parva</i> West & G.S.West
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	<i>Oocystis</i> sp.
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	ZYGNEMATOPHYCEAE
<i>Navicula</i> sp.	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<i>Cosmarium aff depressum</i> (Nägeli) Lundell
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	<i>Sphaerosozma aubertianum</i> W. West
<i>Nitzschia aff subrostratoides</i> Cholnoky	<i>Spirogyra</i> sp.
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	<i>Staurastrum aff planctonicum</i> Teiling
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs
<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Staurastrum</i> sp.
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	<i>Teilingia granulata</i> (J.Roy & Bisset) Bourrelly
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	
<i>Surirella</i> sp.	
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	

4.6.3.2 Variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (estaciones del año) de la estructura de la comunidad

En comparación con el resto de lagos estudiados, en el lago Puyehue se registró la menor riqueza y diversidad (H' loge) de taxa (1,3). La equidad fue de $J' = 0,3$ y una dominancia de 0,6. Espacialmente, la estructura de la comunidad fue similar entre los sitios E1, E2 y E3 (Figura 3.113), los índices comunitarios de abundancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}}=0,03$; $p > 0,05$), riqueza ($H_{\text{Kruskal Wallis}}=0,1$; $p > 0,05$), diversidad (H' loge) ($H_{\text{Kruskal Wallis}}=0,2$; $p > 0,05$) y dominancia ($H_{\text{Kruskal Wallis}}=0,1$; $p > 0,05$), no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4.90).

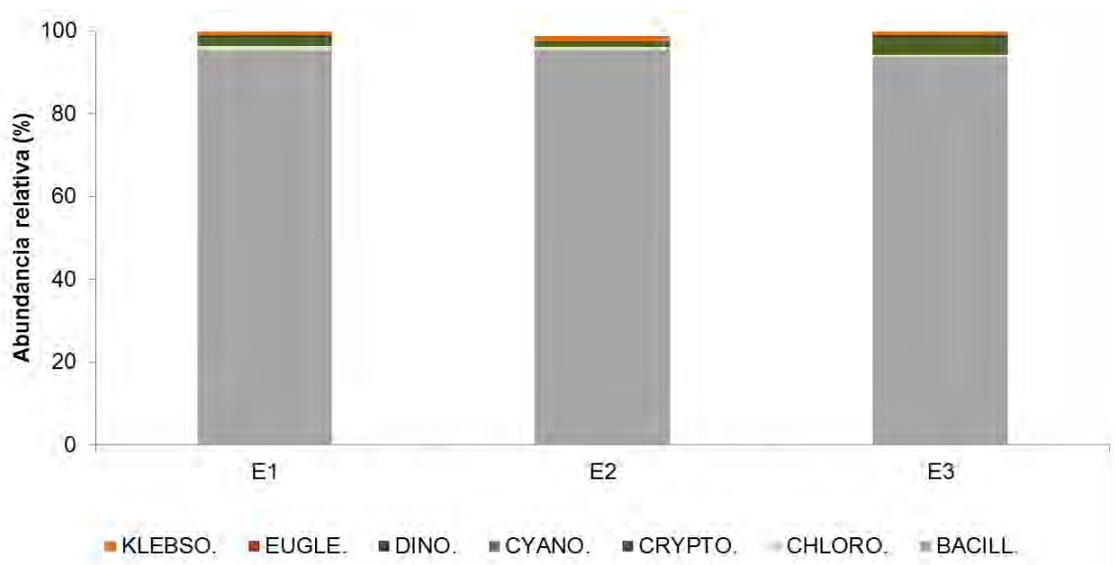


Figura 4.119. Abundancia relativa de clases de microalgas en Puyehue, por los sitios de muestreo. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, EUGLE: Euglenophyceae y KLEBSO: Klebsormidiophyceae.

La densidad de fitoplancton varió estacionalmente, siendo mayor durante primavera y menor durante el otoño (Figura 4.120), estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($H_{\text{Kruskal Wallis}}=8,7$; $p < 0,05$). Durante el verano se presentó la mayor riqueza (52) y diversidad de taxa (promedio H' loge=2,5). La máxima abundancia celular fue de $795.873 \text{ cél l}^{-1}$ causada por el aumento de la abundancia de *F. crotonensis* en el mes de octubre en E2 (ver Anexo 2).

Tabla 4.90. Índices comunitarios en cada estación de muestreo, lago Puyehue por sitio de muestreo (E1, E2, E3). S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson. V= Verano, O= Otoño, I= Invierno, P= Primavera

Sitio/Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
E1V	47	182.692	4,4	0,6	2,4	0,8
E2V	50	200.504	4,6	0,6	2,3	0,8
E3V	52	332.198	4,6	0,7	2,6	0,9
E1O	19	212.645	1,7	0,3	1	0,5
E2O	15	180.540	1,3	0,4	1,1	0,6
E3O	12	159.543	1,1	0,3	0,7	0,3
E1I	31	309.813	2,7	0,4	1,2	0,5
E2I	24	441.271	2	0,4	1,2	0,5
E3I	29	314.343	2,5	0,3	0,9	0,3
E1P	37	5.552.375	2,6	0,3	1,1	0,5
E2P	36	7.838.153	2,4	0,3	1	0,5
E3P	37	4.204.035	2,6	0,3	1,2	0,6

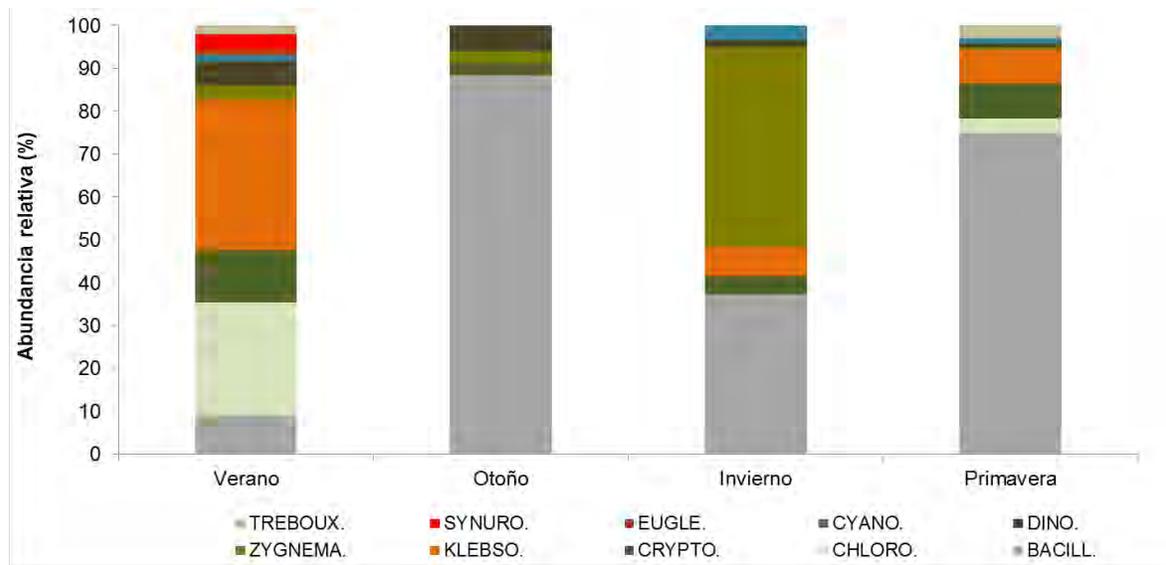


Figura 4.120. Abundancia relativa de clases de microalgas en Puyehue, según las estaciones del año. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, SYNURO: Synurophyceae, TREBOUX: Trebouxiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.

La mayor riqueza y abundancia de células se registró entre 0 y 10 m de profundidad en la capa eufótica del lago (Tabla 4.91). Las cianobacterias fueron abundantes a los 70 y 100 m de profundidad, en el hipolimnion las algas verdes de la clase Zygnematophyceae también fueron abundantes (Figura 4.121).

Tabla 4.91. Índices comunitarios por estrato de profundidad, lago Puyehue. S=Riqueza específica, N=número de células por litro, d=Margalef, J'=índice de Pielou's, H'(loge)=Shannon- Weaver, λ = Índice Simpson.

Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	λ
0	64	4.212.566	4,6	0,3	1,4	0,6
10	58	4.923.840	4,1	0,3	1,3	0,6
20	51	2.767.081	3,8	0,3	1,2	0,5
30	32	1.948.135	2,4	0,4	1,3	0,7
50	32	1.482.747	2,4	0,3	1,1	0,6
70	33	1.873.648	2,5	0,3	1,1	0,6
80	44	1.474.669	3,4	0,4	1,4	0,7
100	29	1.245.425	2,2	0,4	1,4	0,7

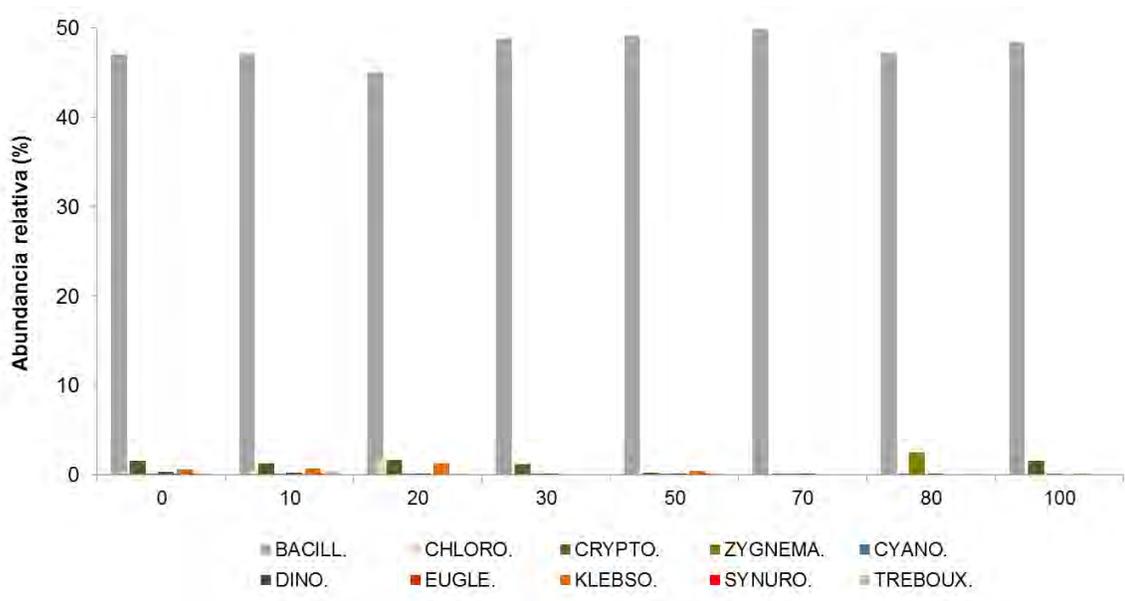


Figura 4.121. Número de células de clases de microalgas más abundantes en Puyehue, por los estratos de profundidad. BACILL: Bacillariophyceae, CHLORO: Chlorophyceae, CRYPTO: Cryptophyceae, CYANO: Cyanobacteria, DINO: Dinophyceae, KLEBSO: Klebsormidiophyceae, ZYGNEMA: Zygnematophyceae y EUGLE: Euglenophyceae.

Los resultados del análisis de conglomerados y MDS, entre los sitios muestreados en el lago y las estaciones del año, muestran que al 50% de similitud se diferencian tres grupos, uno

formado por los sitios muestreados en la estación de otoño, en donde la abundancia, diversidad y riqueza de taxa fue menor con respecto a las otras estaciones del año y otro con los sitios en el resto de las estaciones del año (Figura 4.122a y Figura 4.122b). En este último se forman dos subgrupos, diferenciando la estructura de la comunidad del fitoplancton durante el verano con respecto a la primavera y el invierno.

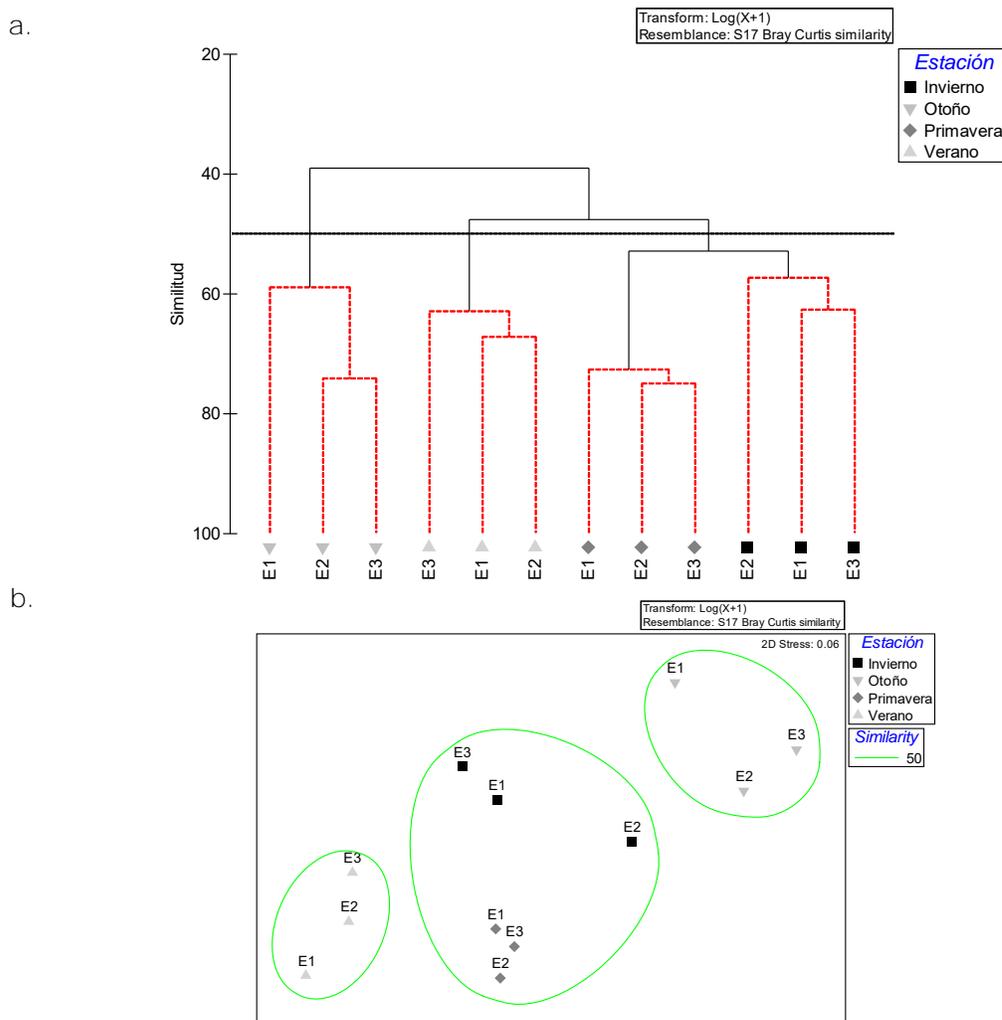


Figura 4.122a. Análisis de conglomerados de la abundancia del fitoplancton en el lago Puyehue. Las líneas rojas punteadas del dendrograma representan grupos no significativos a este nivel (prueba SIMPROF 95%). Figura 3.122b. MDS con la similitud de la abundancia del fitoplancton por sitios de muestreo y estaciones del año, lago Puyehue.

4.6.3.3 Especies más abundantes

En la Figura 4.123, se presentan las 10 especies más abundantes de la comunidad, que representan en su conjunto el 98 % de la abundancia de las microalgas en el lago. Las diatomeas *F. crotonensis*, *A. formosa* y *A. granulata* dominaron la comunidad. Se observó

la mayor abundancia de las diatomeas *F. crotonensis*, *A. formosa* y *A. granulata* y la criptofíceica *R. lacustris* durante primavera en los tres sitios muestreados (Figura 4.124).

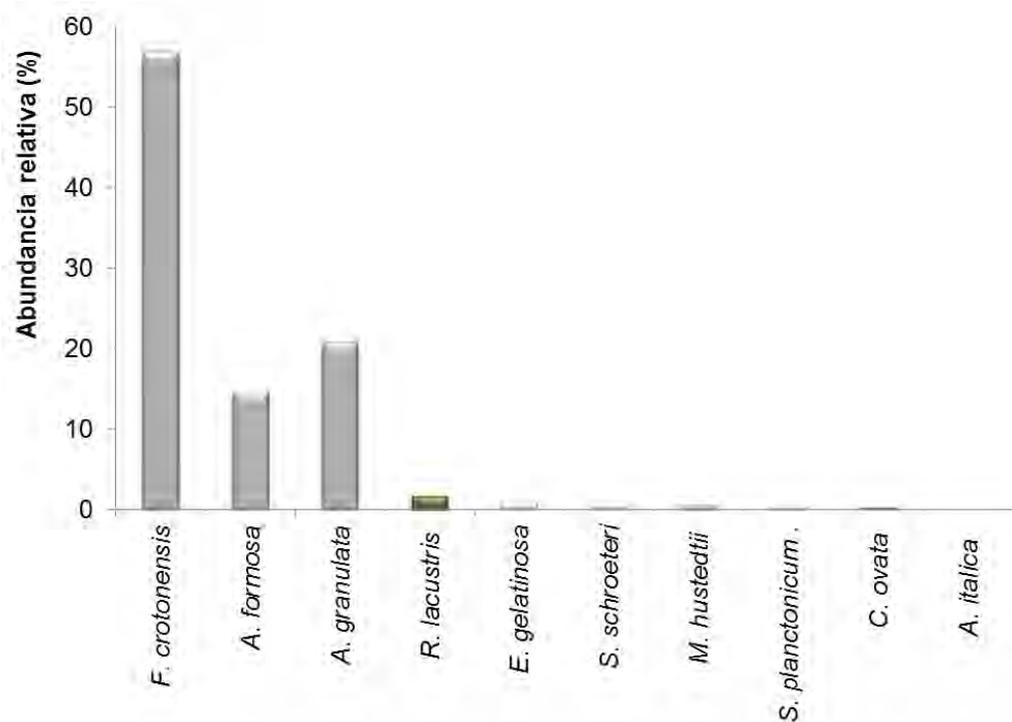


Figura 4.123. Abundancia relativa de las especies más abundantes en el lago.

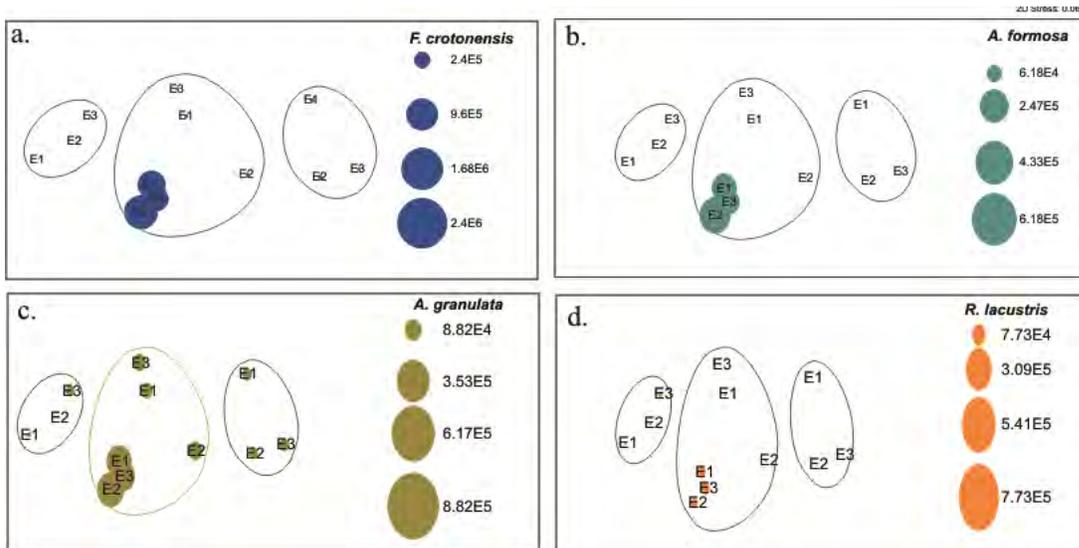


Figura 4.124. Abundancia por sitio de muestreo y estación del año de las 5 especies más abundantes en el lago Puyehue a. *F. crotonensis*, b. *A. formosa*, c. *A. granulata*, d. *R. lacustris*.

4.6.3.4 Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos

Al igual que en los otros lagos se registró un mayor número de taxa con respecto a los estudios anteriores, lo que puede estar asociado a un mayor esfuerzo de muestreo a nivel espacial y temporal. Según la información recopilada el grupo de las diatomeas domina la comunidad del lago, en términos de abundancia y riqueza de taxa, seguidas por las clorofíceas y los dinoflagelados (Tabla 4.92). Las diatomeas *F. crotonensis*, *A. formosa* y *A. granulata* han sido reportadas como abundantes desde 1980, lo que indica que en el lago no se han presentado mayores cambios respecto a esta comunidad.

Campos et al. (1989) informaron una floración de *Dolichospermum spiroides* durante el verano, sin embargo, durante el periodo de estudio no se registró ninguna floración de cianobacterias, en general el género *Dolichospermum* presentó una baja abundancia.

Tabla 4.92. Comparación de la estructura de la comunidad con registros históricos.

Clase	1980-1981	2012	2013	2015	
Bacillariophyceae	42	14	8	57	
Chlorophyceae	24	2	4	25	
Dinophyceae	2	3	2	6	
Chrysophyceae	3	1	2	1	
Cryptophyceae	3	0	1	4	
Cyanobacteria	7	2	1	4	
Euglenophyceae	3		1	1	
Xantophyceae	1				
Riqueza	85	22	19	98	
Diversidad(H')		1,3	1,5	1,4	
Especies abundantes	más	<i>A. formosa</i> , <i>M. distans</i> , <i>A. granulata</i> , <i>D. pulchellum</i> , <i>M. saxatile</i> , <i>S. schroeteri</i> , <i>Dolichospermum spiroides</i> <i>Dolichospermum sp.</i>	<i>Fragilaria spp.</i> , <i>A. formosa</i> , <i>F. crotonensis</i> , <i>A. spiroides</i> , <i>A. granulata</i>	<i>S. schroeteri</i> , <i>A. distans</i> , <i>Dictyosphaerium spp.</i> , <i>Fragilaria spp.</i> , <i>C. hirundinella</i>	<i>F. crotonensis</i> , <i>A. formosa</i> , <i>A. granulata</i> , <i>R. lacustris</i> , <i>E. gelatinosa</i>
Referencia	Campos et al. (1989)	DGA	DGA	Actual	

4.6.3.5 Comunidad fitoplanctónica y factores físicos y químicos

Los resultados del Análisis de redundancia (RDA) muestran que sobre el eje I, que explica el 41% de la variabilidad de los datos, la temperatura y el pH se relacionan con los dinoflagelados, euglenas y algas verdes como las que son más abundantes en los meses de verano. El nitrógeno total explicado por el 15% de la variabilidad (eje II), se asocian con los dinoflagelados y las algas de la clase Synurophyceae (Figura 4.125).

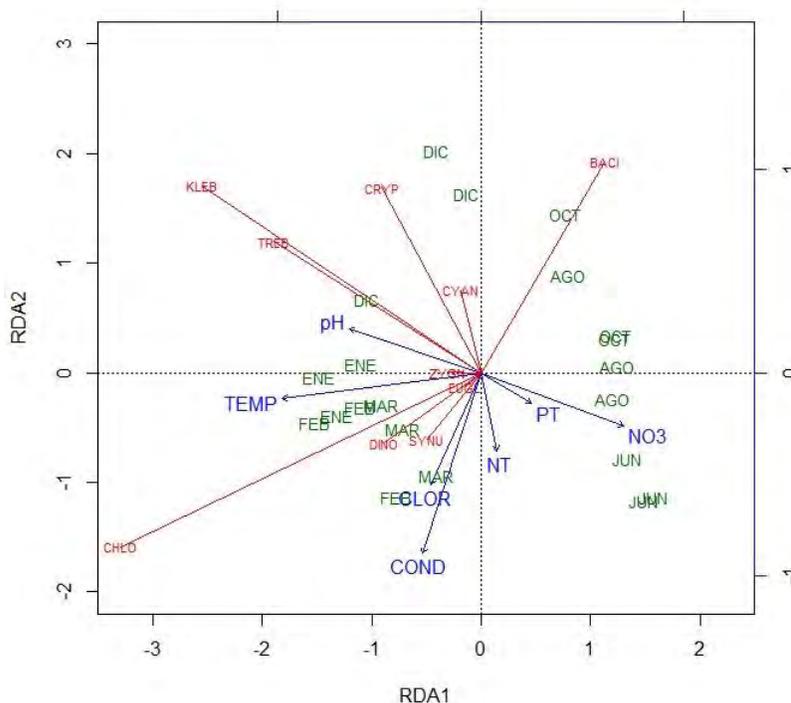


Figura 4.125. Diagrama (biplot) del análisis de redundancia, Lago Puyehue.

4.6.3.6 Composición específica y abundancia relativa de los tributarios

Los resultados de la comunidad fitoplanctónica asociados a los afluentes, Chanlelfú, Gol Gol y Licán, así como del efluente Pilmaiquén se muestran en la Tabla 4.93 y Tabla 4.94. La mayor riqueza (52) y abundancia de células se registró en el río Pilmaiquén y la mayor diversidad de taxa ($H'(\log_e) = 2,9$) en el río Licán. Las diatomeas fue el grupo más abundante y diverso en todos los tributarios.

En el efluente las diatomeas *A. formosa*, *F. crotonensis* y *A. granulata*, constituyeron el 93% de la abundancia reportada para el río, estas especies también fueron registradas en el lago como las más abundantes (ver Anexo 2). En los afluentes Gol Gol y Chanlelfú dominaron la criptofícea *R. lacustris*, y la diatomea *Melosira varians* C. Agardh. En el río Licán *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R. M. Patrick y *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing (Figura 4.126).

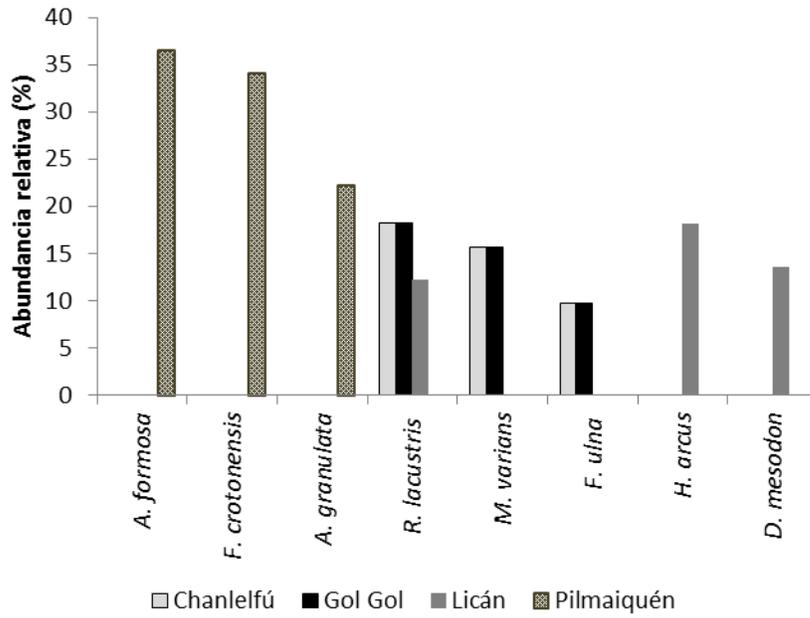


Figura 4.126. Especies más abundantes de los tributarios, Lago Puyehue.

Tabla 4.93. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Puyehue.

Taxa	Afluente			Efluente
	Chanelfú	Go! Go!	Licán	Pilmaiqué
BACILLARIOPHYCEAE				
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Brébisson ex Kützing) Gr	+			
<i>Achnanthes</i> sp.	+		+	+
<i>Asterionella formosa</i> Hassall			+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+		+	+
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen			+	+
<i>Caloneis aff clevei</i> (Lagerstedt) Cleve		+		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing				+
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	+	+	+	+
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner		+		+
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	+	+	+	+
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	+		+	
<i>Cymbella</i> sp.	+			
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+	+	
<i>Diatoma</i> sp.		+		+
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	+	+	+
<i>Diploneis subovalis</i> Cleve			+	
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson			+	+
<i>Epithemia sores</i> Kützing		+	+	
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot				+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	+	+	+	+
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	+	+	+	+
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+	+	+	+
<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) Lange-Bertalot		+	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+	+	+	+
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	+	+	+	+
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	+	+	+	
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	+	+	+	+
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	+	+		
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kützing	+		+	+
<i>Gomphonema intricatum</i> Kützing	+		+	+
<i>Gomphonema</i> sp.	+	+	+	
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	+			+
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	+	+	+	
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske				+
<i>Melosira varians</i> C.Agardh	+	+	+	+
<i>Navicula aff cuspidata</i> (Kützing) Kützing		+		
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	+	+	+	
<i>Navicula cocconeiformis</i> Gregory ex Greville				+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing			+	+
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	+	+	+	
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	+			
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing		+		+
<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	+	+	+	+
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith			+	+
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst			+	
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	+	+		+
<i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt		+		+
<i>Nitzschia subrostratoides</i> Cholnoky	+	+	+	
<i>Pinnularia</i> sp.		+		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bert	+	+	+	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller		+	+	
<i>Surirella aff linearis</i> W.Smith			+	
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	+	+	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	+			

Tabla 3.93. Continúa. Listado de especies en los afluentes y efluentes del Lago Puyehue.

Taxa	Afluente			Efluente
	Chanlelfú	Gol Gol	Licán	Pilmaiqué
CHLOROPHYCEAE				
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius				+
<i>Oedogonium</i> sp.			+	
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat			+	
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen			+	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat				+
CRYPTOPHYCEAE				
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg			+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner			+	+
CYANOBACTERIA				
<i>Dolichospermum</i> sp.	+		+	+
<i>Merismopedia</i> sp.				+
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont			+	
DINOPHYCEAE				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin				+
<i>Gymnodinium</i> sp.				+
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg				+
<i>Peridinium aff willei</i> Huitfeldt-Kaas				+
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann				+
EUGLENOPHYCEAE				
<i>Trachelomonas</i> sp.				+
KLEBSORMIDIOPHYCEAE				
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille				+
TREBOUXIOPHYCEAE				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat				+
<i>Oocystis</i> sp.				+
ZYGNEMATOPHYCEAE				
<i>Spirogyra</i> sp.	+			
<i>Staurastrum aff planctonicum</i> Teiling				+
<i>Staurastrum punctulatum</i> Brébisson	+			

Tabla 4.94. Número de especies por clase e índices comunitarios de los tributarios, lago Puyehue.

Clase	Afluente			Efluente
	Chanelfú	Gol Gol	Licán	Pilmaiquén
Bacillariophyceae	35	36	39	36
Chlorophyceae	0	0	3	2
Klebsormidiophyceae	0	0	0	1
Trebouxiophyceae	0	0	0	2
Ulvophyceae	0	0	0	0
Zygnematomyceae	2	0	0	1
Chrysophyceae	0	0	0	0
Synurophyceae	0	0	0	0
Cryptophyceae	0	0	2	2
Cyanobacteria	1	0	2	2
Dinophyceae	0	0	0	5
Euglenophyceae	0	0	0	1
Riqueza (S)	38	36	46	52
Diversidad Shannon H'(loge)	2,7	2,8	2,9	1,5
Índice de dominancia (λ)	0,9	0,9	0,9	0,7
Uniformidad de Pielou (J')	0,7	0,8	0,8	0,4

4.6.3.7 Especies invasoras

El dinoflagelado invasor *C. hirundinella* fue reportado por primera vez en el lago durante el 2012 (DGA, 2013). *C. hirundinella* ha permanecido con una baja abundancia, la máxima densidad reportada en el 2013 fue de 2.100 cél l⁻¹ (DGA, 2013) y 1.680 cél l⁻¹ en el actual estudio. De igual forma, estuvo presente en el río Pilmaiquén reportado durante los meses de verano y primavera en donde alcanzó una abundancia máxima de 1.968 cél l⁻¹.

4.6.4 Calidad del agua tributarios

La Figura 4.127 muestran la variabilidad espacio-temporal de los parámetros de calidad de agua medidos en los afluentes; ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán; y el efluente, río Pilmaiquén. La temperatura presentó un marcado patrón estacional, con altos valores en verano, bajos en invierno para incrementar nuevamente en primavera. Además se pudo observar que esta variable siempre registró mayores valores en el efluente. En promedio se reportaron valores que fluctuaron entre $12,15 \pm 4,33$ °C, $11,10 \pm 3,64$ °C, $10,44 \pm 4,38$ °C y $14,66 \pm 4,16$ °C para los ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán y Pilmaiquén, respectivamente. La conductividad mostró altos valores en época de verano para decrecer en invierno y primavera. La media de este parámetro para los afluentes Gol Gol, Chanlelfu y Licán fluctuó entre $98,74 \pm 32,65$ μ S/cm, $66,06 \pm 21,65$ μ S/cm y $41,60 \pm 12,95$ μ S/cm, mientras que en el efluente, río Pilmaiquén, fue de $72,53 \pm 11,37$ μ S/cm. Adicionalmente, se observó que el río Gol Gol es quien presenta los mayores valores de este parámetro, alcanzando un máximo de 144 μ S/cm el mes de marzo. El pH no presentó grandes diferencias entre los sistemas lóticos y meses de monitoreo manteniéndose con valores cercanos a la condición neutra. Sus valores medios fluctuaron entre $6,91 \pm 0,46$, $7,04 \pm 0,49$, $6,88 \pm 0,48$ y $7,19 \pm 0,58$ en los ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán y Pilmaiquén, respectivamente.

Finalmente, las formas de nitrógeno; nitrógeno total y nitrato; mostraron una tendencia a valores bajos en verano, altos en invierno para nuevamente disminuir en primavera. En promedio los valores más altos de nitrato y nitrógeno total fueron registrados en el río Gol Gol con $1,01 \pm 0,73$ mg/L y $0,32 \pm 0,28$ mg/L, respectivamente, mientras que los más bajos se registraron en el río Licán ($0,066 \pm 0,11$ mg/L y $0,067 \pm 0,06$ mg/L). En relación al fósforo total, se observó una tendencia a valores más altos en verano, sin embargo estos no superaron los 10 μ g/L en todos los ríos. El *peak* máximo reportado el mes de julio en el río Gol Gol puede atribuirse a que en su cuenca se practica una intensa actividad ganadera la que sumado a las altas precipitaciones que comúnmente ocurren en la zona habrían ocasionado una mayor exportación de este nutriente al cauce.

En el Anexo 1c se entregan los perfiles verticales de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto de los afluentes y efluentes del lago Puyehue.

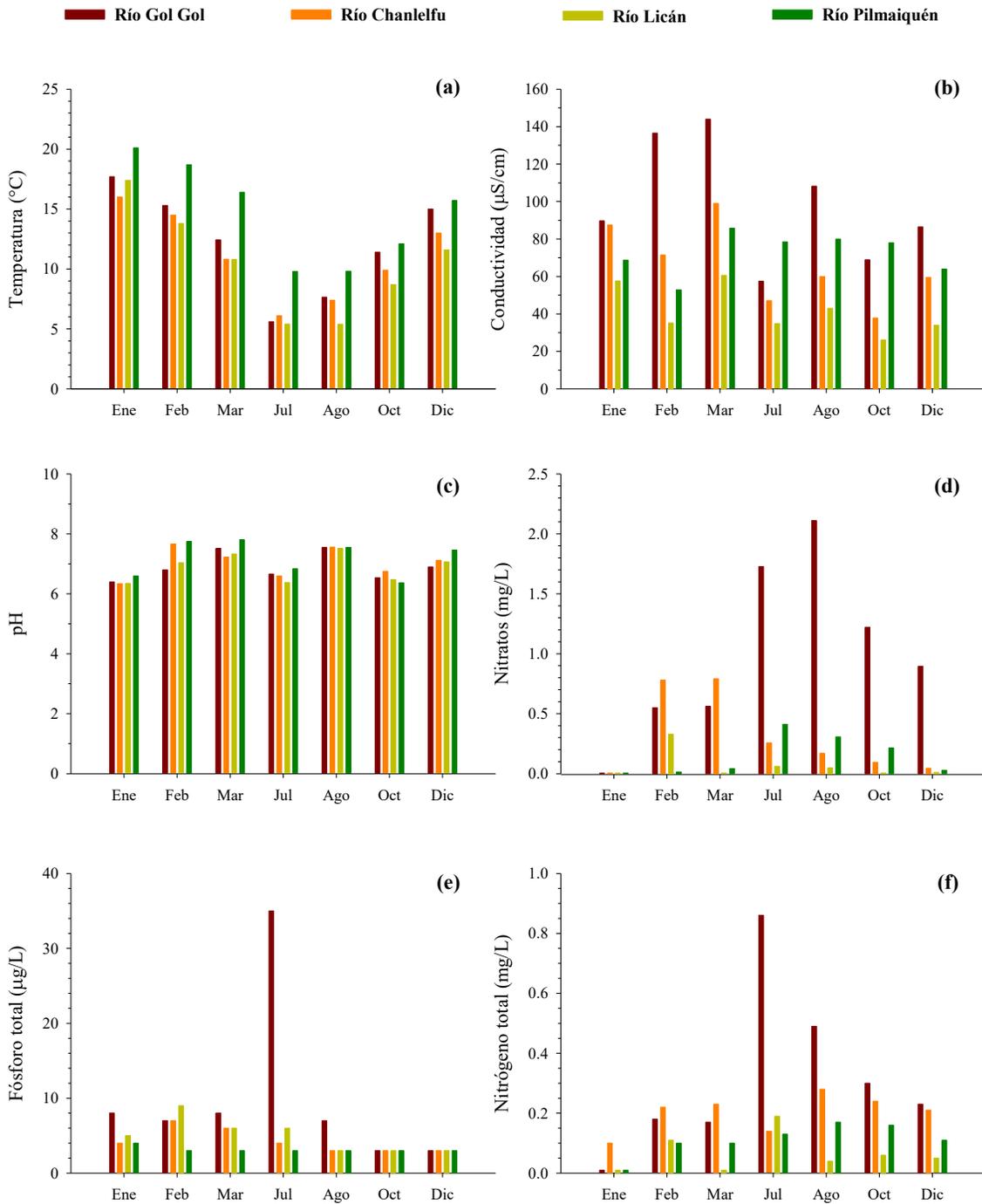


Figura 4.127. Caracterización de los parámetros de calidad de agua medidos en los afluentes (ríos Gol Gol, Chanlelfu y Licán) y efluente (río Pilmaiquén) del Puyehue, en los monitoreos desarrollados el año 2015. (a) Temperatura, (b) conductividad, (c) pH, (d) nitrato, (e) fósforo total y (f) nitrógeno total.

4.6.5 Caudales

En general, los caudales de los afluentes y efluente mostraron una marcada estacionalidad con valores bajos durante la época estival, altos en invierno para disminuir nuevamente en los meses de primavera (Figura 4.128). En promedio los caudales registraron valores de $52,32 \pm 27,50 \text{ m}^3/\text{s}$, $6,17 \pm 6,87 \text{ m}^3/\text{s}$, $5,91 \pm 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y $105,33 \pm 59,16 \text{ m}^3/\text{s}$ para los ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán y Pilmaiquén.

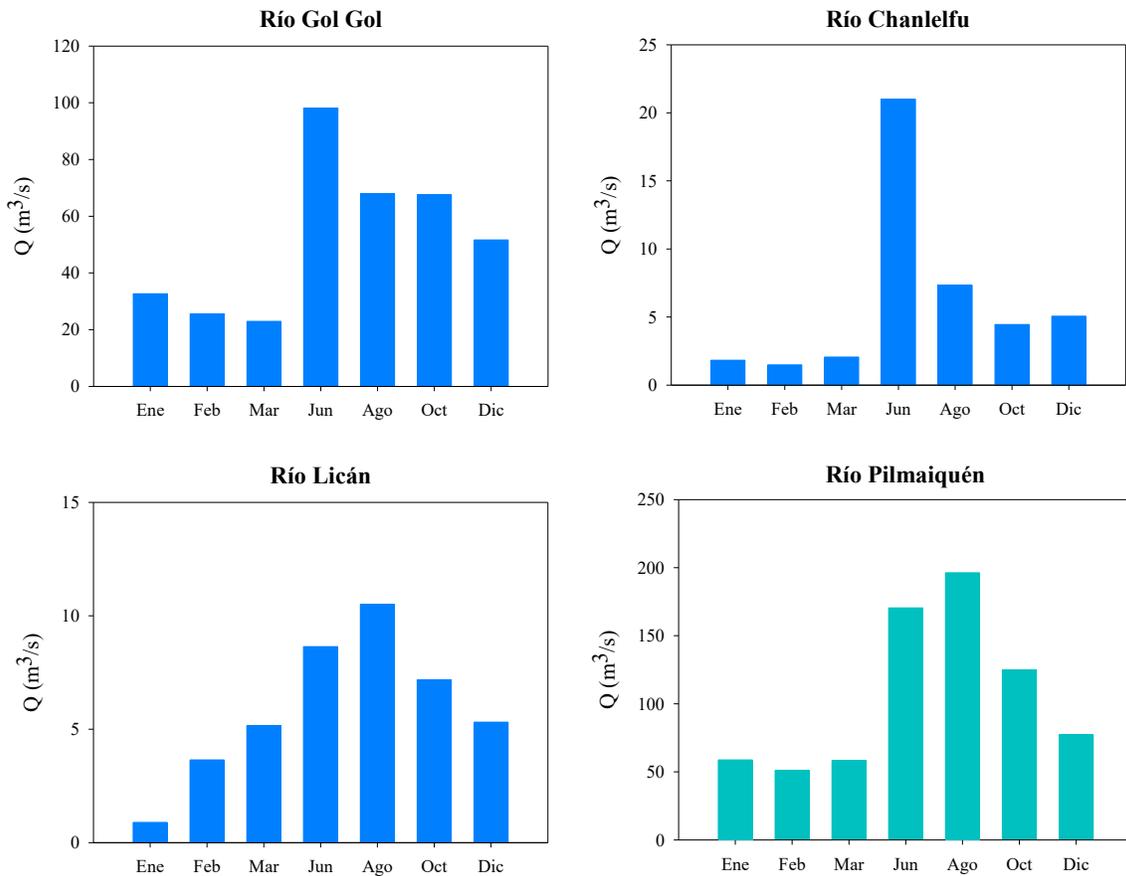


Figura 4.128. Hidrogramas de los ríos Gol Gol, Chanlelfu, Licán y Pilmaiquén medidos durante el año 2015. En azul se muestran los afluentes y en celeste el efluente del Lago Puyehue.

4.6.6 Estado trófico

Los resultados históricos del índice de Carlson determinaron que el lago Puyehue durante los años 2012 y 2013 presentó una condición de mesotrofia (Figura 4.129). Sin embargo, considerando las campañas de monitoreo del año 2015 y el método de clasificación de la OCDE (1982) el lago se encontraría en una condición oligotrofia-ultraoligotrófica según los niveles de transparencia y concentraciones de fósforo y clorofila (Tabla 4.95).

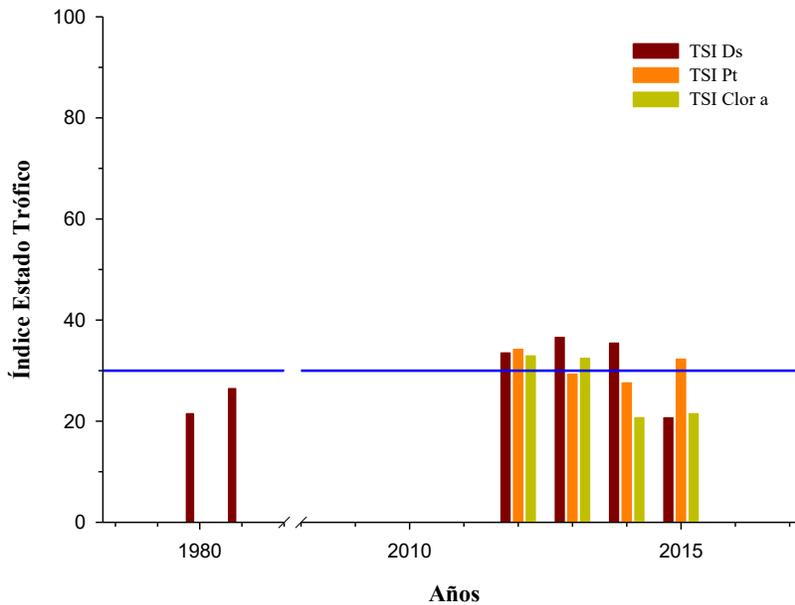


Figura 4.129. Variación temporal del estado trófico del Lago Puyehue.

Tabla 4.95. Estado trófico del lago Puyehue según clasificación de la OCDE (1982).

Parámetros	Promedio anual	Estado Trófico
Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	3,3	Ultraoligotrófico
Transparencia (m)	6,9	Oligotrófico
Clor-a (mg/m^3)	0,5	Ultraoligotrófico

4.6.7 Balance de nutrientes

4.6.7.1 Balance hídrico

La comparación de los cambios de volumen (ΔV) del lago Puyehue con el almacenamiento (ΔS) estimado se muestra en la Figura 4.130a. En este caso, a diferencia de los otros lagos en estudio, se contó con información de los caudales de entradas solo para el periodo 2009-2013. Los cambios de volumen fluctuaron en torno a cero, lo que es considerado el estado normal en la dinámica de un lago. En cambio, el flujo de almacenamiento anual mostró una sobreestimación de la pérdida de masa hídrica a pesar de haber utilizado métodos de extrapolación directos. En este sentido, las **diferencias entre el ΔV y ΔS podrían atribuirse** a que no fue posible considerar todos los flujos de entrada al lago, ya sea superficiales como subterráneos. No obstante, al comparar la anomalía estandarizada del volumen del lago con el almacenamiento obtenido, se evidenció una covariación positiva de la serie de datos (Figura 4.130b).

Por otro lado, al comparar los distintos flujos incluidos en el balance hídrico se pudo **observar que el almacenamiento (ΔS) es dominado por los caudales** de entrada (río Gol Gol, río Chanlelfu, río Licán, estero Taique, río Pescadero y río Mantilhue) y el caudal de salida (río Pilmaiquén) (Figura 4.131). El detalle de los resultados se muestra en la Tabla 3.81.

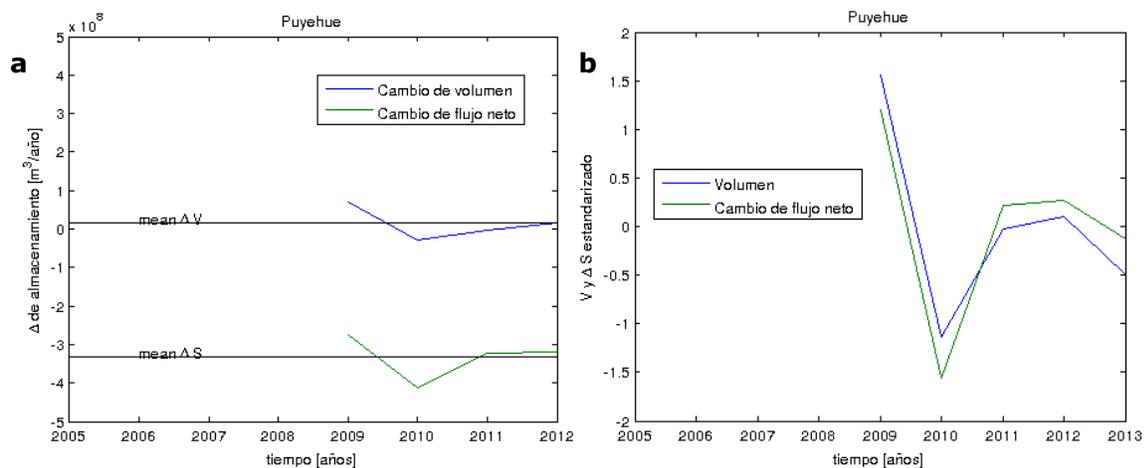


Figura 4.130a. Comparación entre el almacenamiento y el cambio de volumen. Las líneas negras indican el promedio temporal de la serie. Figura 3.130b. Comparación entre las anomalías estandarizadas del almacenamiento y el volumen.

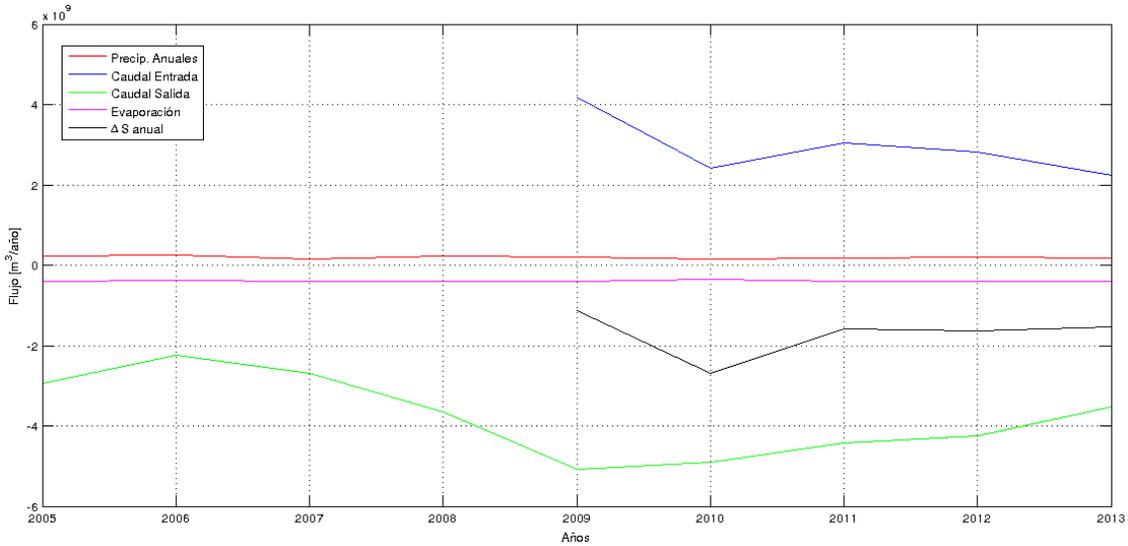


Figura 4.131. Comparación de flujos anuales.

Tabla 4.96. Estimación de los principales caudales de entrada y salida del lago.

Años	Precipitación (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal entrada 1° (m ³ /año)x10 ⁶	Caudal salida (m ³ /año)x10 ⁶	Evaporación (m ³ /año)x10 ⁶
2005	220		2936	392
2006	240		2228	383
2007	144		2690	392
2008	226		3658	410
2009	196	4165	5091	394
2010	153	2413	4898	358
2011	188	3042	4419	397
2012	189	2825	4258	390
2013	177	2237	3526	411

• **Escorrentía**

Los resultados de la estimación de escorrentía, precipitación y volumen para el periodo de simulación se muestran en la Tabla 4.97. En ella se observa que la precipitación se mantuvo relativamente estable, con valores que fluctuaron entre 1553- 2255 mm/año. Por otra parte, el volumen mostró una notoria disminución entre los años 2006 y 2007, en años posteriores no se observaron fluctuaciones importantes. Finalmente, la relación escorrentía/precipitación indica que en promedio el 95% del agua caída en forma de lluvia escurre por las laderas hacia el lago Puyehue.

Tabla 4.97. Estimación de escorrentía mediante el método curva-número para el Lago Puyehue (2005 – 2013).

Años	Volumen (m ³) x10 ⁶	Precipitación (mm/año)	Escorrentía (mm/año)
2005	11921	2255	2153
2006	11939	2249	2147
2007	10037	1553	1453
2008	10116	1986	1885
2009	10143	2115	2013
2010	10072	1794	1691
2011	10101	1920	1816
2012	10105	2140	2036
2013	10089	1823	1719

4.6.7.2 Cargas puntuales y difusas

- **Fuentes Puntuales**

Luego de la revisión de la información en los distintos servicios sanitarios y ambientales, se determinó la existencia de descargas puntuales directamente al lago y en algunos de sus tributarios (Tabla 4.98). La Figura 4.132 muestra las pisciculturas que se encuentran en lago como en sus tributarios, sin embargo para efectos del modelo sólo se consideraron las que se ubican al interior del lago.

Tabla 4.98. Empresas que realizan descargas puntuales a los lagos o efluentes/afluentes (WGS 84, Huso 18).

Nombre	Punto de descarga	Comuna	Este	Norte	Estado
Piscicultura El Gol-Gol	Río Gol-Gol	Río Bueno	5495925	732283	RCA aprobada
Piscicultura Las Bandurrias	Estero Cenizo	Río Bueno	5497697	735490	RCA aprobada
Piscicultura Los Manantiales	Vertiente Sin Nombre	Río Bueno	5496940	732690	RCA aprobada
Piscicultura Los Ulmos	Estero Cenizo	Río Bueno	5497249	735808	RCA aprobada
Piscicultura Ñilque	Río Ñilque	Puyehue	5488578	716718	Construida
Piscicultura Río Pescadero	Río Pescadero	Puyehue	5489540	719559	Construida
Piscicultura Licán	Lago Puyehue (Sector Licán)	Río Bueno	5499259	719932	Construida
Marine Harvest (Pisc. Taique)	Punto 1 Lago Puyehue	Río Bueno	5498186	723843	Construida

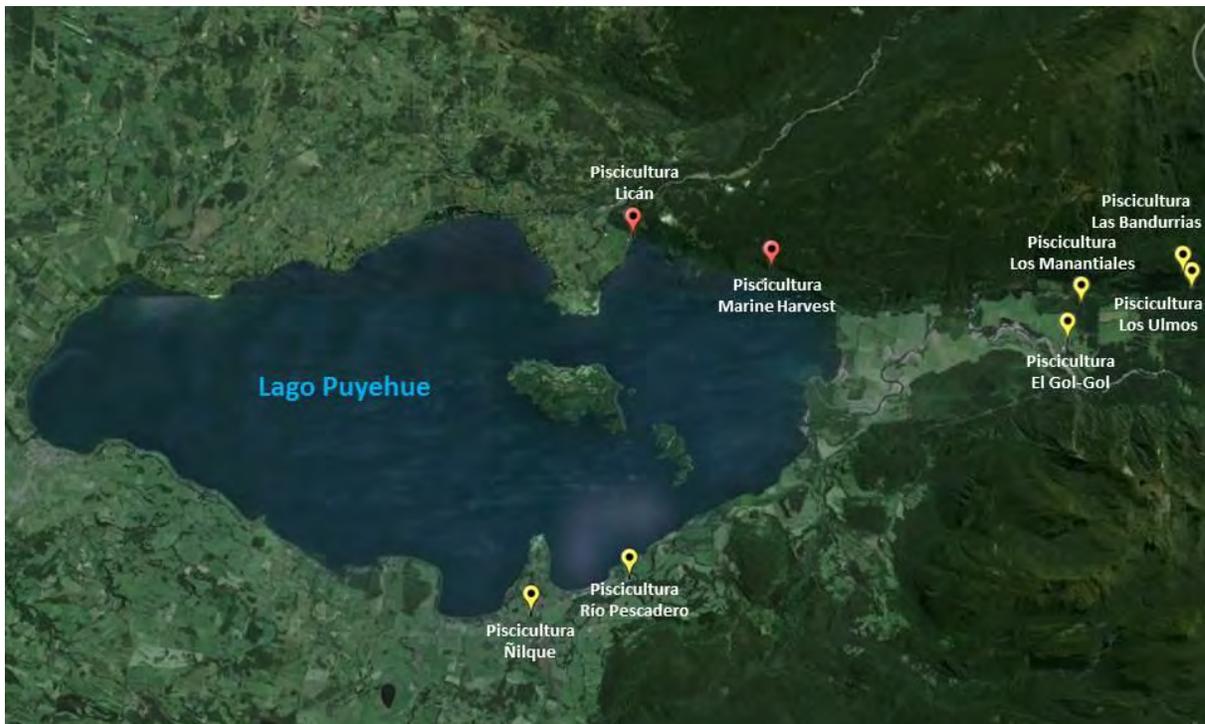


Figura 4.132. Ubicación de las empresas que realizan descargas puntuales en el lago Puyehue (rojo) y en sus tributarios (amarillo).

• **Estimación del aporte de P por los centros de cultivo**

En la Tabla 4.99 se entregan las cargas de fósforo y nitrógeno provenientes de los centros de cultivo ubicados en el Lago Puyehue entre los años 2005-2012.

Tabla 4.99. Aporte de fósforo y nitrógeno (ton/año) por centros de cultivo en el lago Puyehue durante 2005-2012.

Año	Marine Harvest		Licán		Total	
	nitrógeno (ton/año)	fósforo (ton/año)	nitrógeno (ton/año)	fósforo (ton/año)	nitrógeno (ton/año)	fósforo (ton/año)
2005	42,1	7,8	2,9	0,5	45,0	8,3
2006	43,9	8,2	2,2	0,4	46,1	8,6
2007	34,6	6,4	4,1	0,8	38,7	7,2
2008	38,8	7,2	33,2	6,2	71,9	13,4
2009	33,9	6,3	41,3	7,7	75,1	14,0
2010	19,5	3,6	28,9	5,4	48,4	9,0
2011	39,4	7,3	16,5	3,1	55,9	10,4
2012	17,0	3,2	2,5	0,5	19,5	3,7
Total	269,1	50,0	131,5	24,6	400,5	74,6

• **Fuentes Difusas**

Las cargas difusas de fósforo y nitrógeno estimadas para el periodo de simulación (2005-2013), no mostraron tendencia a diferencia de lo observado en los lagos descritos anteriormente (Tabla 4.100).

La estimación de los aportes de nutrientes producidos por cada tipo de uso de suelo mostró que la superficie descubierta de vegetación y el bosque nativo y matorral son las principales fuentes de entrada al lago de fósforo y nitrógeno, respectivamente (Figura 4.133a y b).

Tabla 4.100. Carga total de fósforo y nitrógeno (Ton/año) estimadas para el lago Puyehue.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carga fósforo (Ton/año)	46,0	45,9	31,4	40,4	43,1	34,9	37,4	41,8	35,4
Carga nitrógeno (Ton/año)	290,0	289,2	198,0	254,8	271,6	225,8	242,0	270,5	229,5

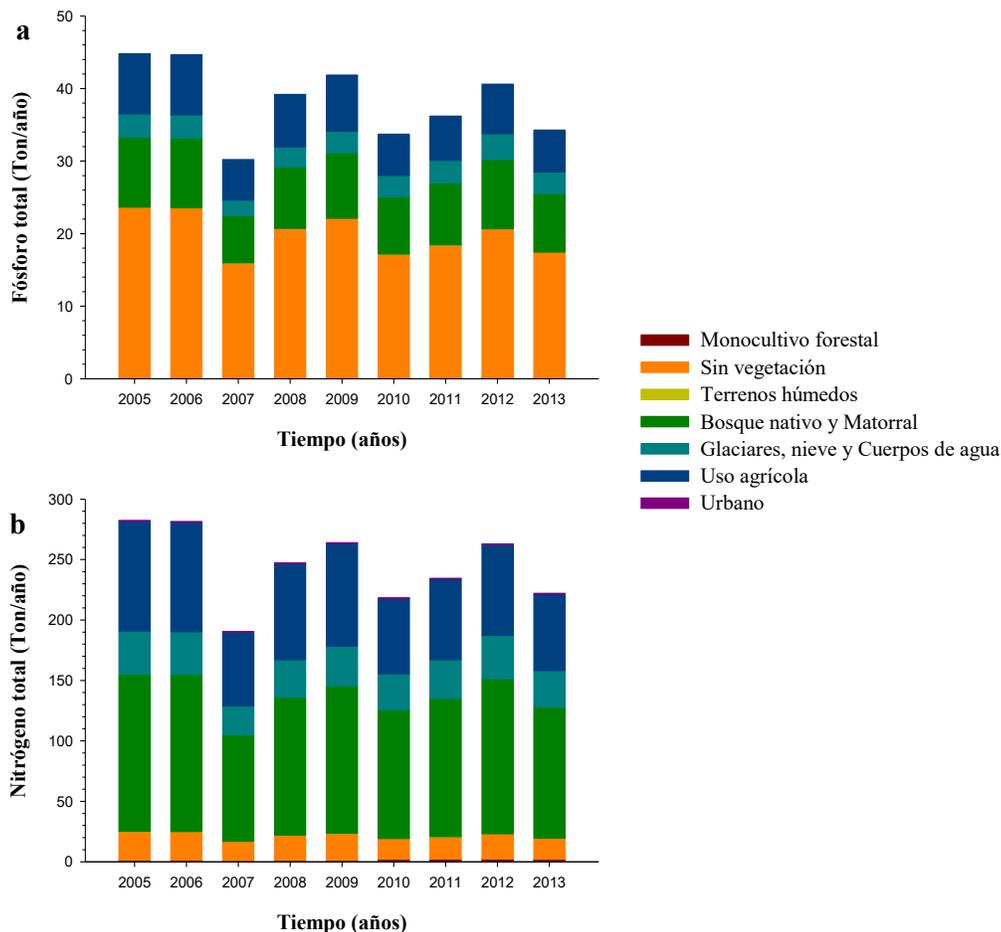


Figura 4.133. Cargas de fósforo total (a) y nitrógeno total (b) según usos de suelo al lago Puyehue.

4.6.7.3 Estimación del balance de nutrientes

- **Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad mostró que el balance de nutrientes (fósforo y nitrógeno) es altamente sensible al coeficiente de exportación (Figura 4.134). En tanto, al modificar el valor curva número el modelo registra una leve sensibilidad, comparado con el coeficiente de exportación.

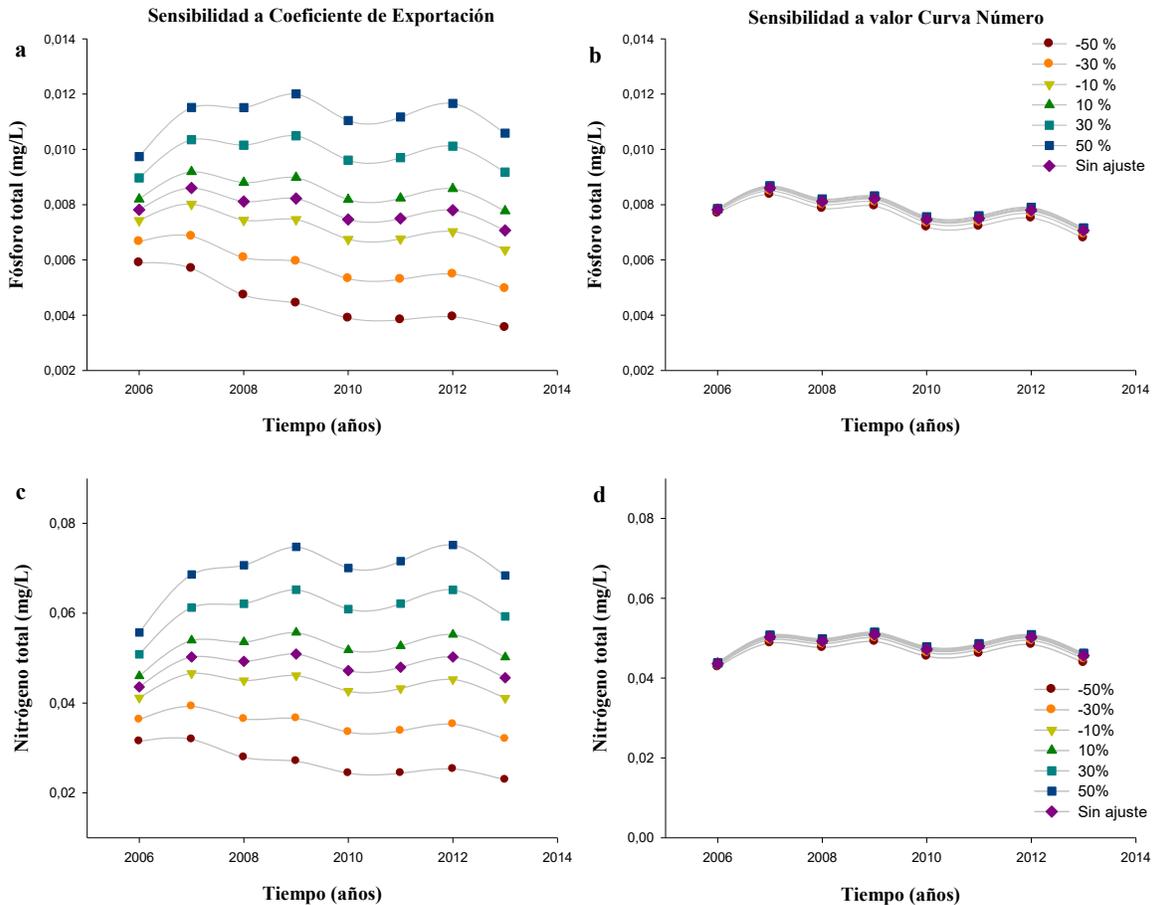


Figura 4.134. Análisis de sensibilidad a Coeficiente de exportación y valor Curva número de fósforo (a, b) y nitrógeno (c, d).

• **Balace de nutrientes**

El balance histórico de nutrientes para el lago Puyehue considerando las cargas puntuales y difusas se muestra en la Figura 4.135. La falta de datos históricos para el periodo de simulación (2005-2015) impidió obtener el índice de ajuste del balance de nitrógeno. Sin embargo, para fósforo total, el índice PBIAS reveló que el modelo sobreestima en un 3% los datos medidos en el lago.

Los resultados de la modelación determinaron que las concentraciones de fósforo en el lago fluctuaron entre 0,006-0,008 mg/L, mientras que las de nitrógeno oscilaron entre 0,04-0,15 mg/L (Tabla 4.101). Además, en el año 2015 se observó que el modelo se ajustó mejor para las concentraciones de nitrógeno.

Tabla 4.101. Concentraciones de fósforo y nitrógeno (mg/L) medidas y simuladas.

Año	Fósforo total (mg/L)		Nitrógeno total (mg/L)	
	Datos medidos	Datos simulados	Datos medidos	Datos simulados
2005		0,008		0,04
2006		0,008		0,07
2007		0,009		0,07
2008		0,008		0,07
2009		0,008		0,07
2010		0,007		0,06
2011		0,007		0,06
2012	0,008	0,008		0,06
2013	0,009	0,007	0,04	0,05
2015	0,003	0,006	0,16	0,15

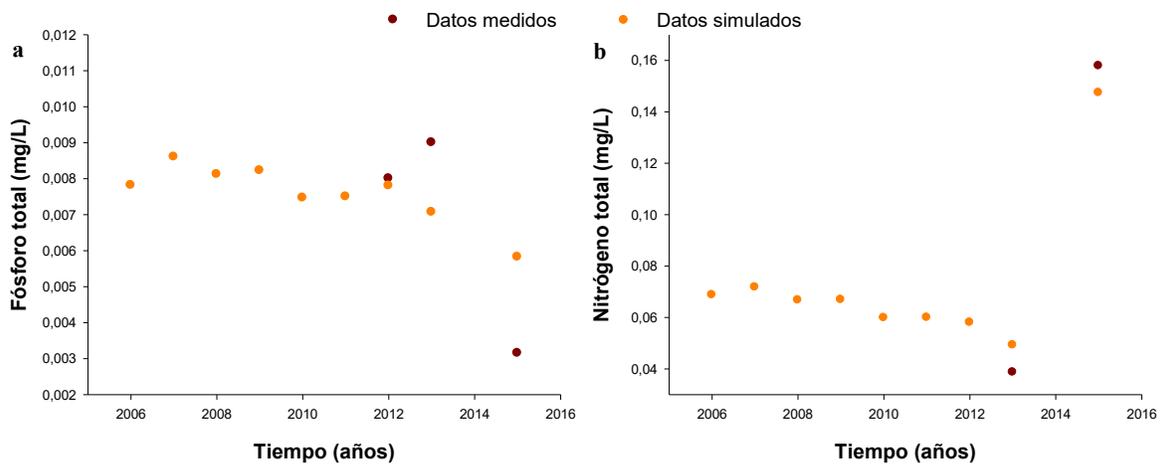


Figura 4.135. Balance histórico de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.6.8 Determinación de carga crítica

La carga crítica versus la carga actual de fósforo y nitrógeno a través del tiempo se observan en la Figura 4.136 y Tabla 4.102. Los resultados mostraron que la carga actual de fósforo ha fluctuado entre 25 y 63 Ton P/año y siempre registró valores más bajos que la carga crítica. Del mismo modo, la carga actual de nitrógeno durante los años 2005 y 2013 fue mucho menor que la carga crítica estimada. Sin embargo, el año 2015 la carga actual fue de 1473 Ton N/año, representando el valor más alto de la serie temporal y superando la carga crítica. Este resultado podría atribuirse a la metodología empleada en la estimación

de la carga actual, ya que al extrapolar la medición puntual del caudal para todo un mes, se sobreestimaría el aporte de nitrógeno del río Gol Gol. A diferencia de lo que ocurre en los tributarios de los otros lagos, el caudal del río Gol Gol no tiene regulación lacustre, por lo que su régimen hidrológico es mucho más variable. Por esta razón es fundamental la implementación de estaciones fluviométricas en los tributarios más importantes de los lagos.

Tabla 4.102. Carga crítica y carga actual de fósforo y nitrógeno para el periodo 2005-2015.

Año	Fósforo total (ton/año)		Nitrógeno total (ton/año)	
	Carga crítica	Carga actual	Carga crítica	Carga actual
2005	90	62	1112	335
2006	96	63	1191	335
2007	89	45	1094	237
2008	100	61	1241	327
2009	99	63	1228	347
2010	100	47	1249	274
2011	95	55	1172	298
2012	99	49	1230	290
2013	105	35	1320	230
2015	92	25	1136	1473

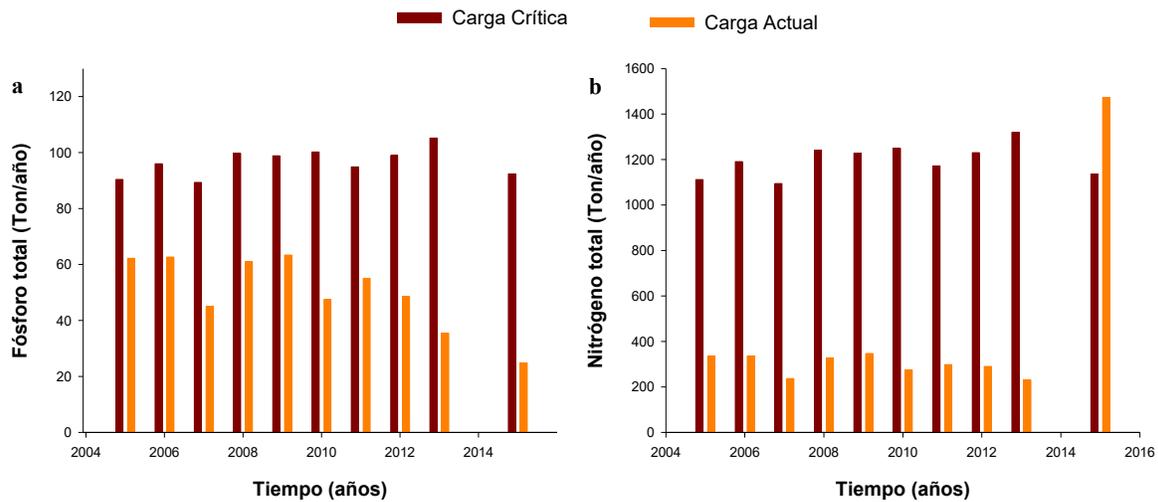


Figura 4.136. Carga crítica de fósforo total (a) y nitrógeno total (b).

4.6.9 Sedimentos

4.6.9.1 Lago

- **Fósforo total**

El contenido de fósforo total del lago Puyehue, estuvo dentro del nivel reportado para el resto de los lagos estudiados, no se registraron diferencias importantes entre las estaciones medidas y entre los monitoreos realizados, la mayor concentración se reportó en la estación E1 durante el invierno. El valor más bajo se registró en la estación E3, durante el monitoreo de primavera (Tabla 4.103).

- **Materia orgánica**

En cuanto a la materia orgánica, este lago presentó en la estación E3 en verano, uno de los valores más bajos de todo el set de lagos. De forma general las concentraciones en las tres estaciones en todos los monitoreos, fueron una de las más bajas reportadas. El máximo valor de materia orgánica de este lago se encontró en la estación E2 durante la primavera (Tabla 4.103).

- **pH**

Al igual que en otros lagos, el nivel de pH de los sedimentos del Puyehue fueron muy estables y estuvieron dentro del rango de variación de las muestras. No se encontraron diferencias entre estaciones ni épocas de muestreo (Tabla 4.103).

- **Potencial redox**

De forma general, el nivel de potencial redox de los sedimentos del Puyehue, estuvieron mayoritariamente en valores negativos superiores a los -100 mV, implicando un bajo nivel de oxigenación. Los valores más altos de potencial redox se encontraron en la estación E2 durante el invierno y en la estación E3 durante el verano (Tabla 4.103).

- **Sílice biogénica**

De manera similar a la tendencia del lago Pirehueico, la concentración de sílice en el Puyehue, presentó uno de los valores más bajos del set de lagos estudiados. El valor más alto estuvo en la estación E2 durante el verano, mientras que valores mínimos de sílice se encontraron en la estación E3 durante los monitoreos de verano, invierno y primavera (Tabla 4.103).

En el Anexo 5 se entregan los informes de laboratorio con los resultados de los análisis físico-químicos y granulométricos de los sedimentos del lago Puyehue.

Tabla 4.103. Resultados de los análisis de calidad de sedimentos del lago Puyehue durante el año 2015.

Estación	Fósforo Total (mgP/Kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Potencial Redox (mV)	Sílice Biogénica (mg/L)
CAMPAÑA 1: Enero					
Estación 1	1182,7	1,5	6,5	-89,3	0,3
Estación 2	1136,4	2,9	7,3	-27,3	0,3
Estación 3	594,7	0,4	6,9	20,1	0,0
CAMPAÑA 2: Febrero					
Estación 1	945,8	1,9	6,8	---	1,0
Estación 2	1248,6	3,2	6,7	---	2,0
Estación 3	687,2	0,9	7,3	---	0,6
CAMPAÑA 3: Marzo					
Estación 1	1073,5	1,5	6,8	-157,3	0,5
Estación 2	1521,6	1,5	7,4	-79,0	0,6
Estación 3	1188,9	3,6	6,7	-154,4	0,4
CAMPAÑA 4: Junio					
Estación 1	1334,1	1,6	7,4	-121,1	0,5
Estación 2	1275,9	5,0	7,4	-89,6	1,1
Estación 3	818,1	3,6	7,1	-145,0	0,3
CAMPAÑA 5: Agosto					
Estación 1	2045,1	2,9	7,0	36,7	0,2
Estación 2	1154,0	1,9	7,3	278,8	0,4
Estación 3	737,9	2,8	7,2	-112,0	0,2
CAMPAÑA 6: Octubre					
Estación 1	840,1	3,4	7,3	-68,3	0,6
Estación 2	1061,5	6,9	7,4	-38,3	0,9
Estación 3	358,3	3,2	7,1	-110,3	0,2
CAMPAÑA 7: Noviembre					
Estación 1	581,7	1,5	7,3	7,3	0,1
Estación 2	616,6	3,7	7,4	-114,3	0,9
Estación 3	340,4	1,9	7,3	-139,2	0,4

4.6.9.2 Tributarios

- **Fósforo total**

En la Tabla 4.104 se entregan los resultados correspondientes a la concentración de fósforo total en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Puyehue.

Tabla 4.104. Concentración de fósforo total de los afluentes y efluente del lago Puyehue durante los monitoreos realizados el año 2015.

Estaciones	Ptot-C1	Ptot-C2	Ptot-C3	Ptot-C4	Ptot-C5	Ptot-C6	Ptot-C7
Río Licán	1208,2	992,3	1209,8	-	1087,0	518,0	575,6
Río Chanlelfu	612,6	569,3	1100,9	-	667,5	478,1	332,8
Río Gol Gol	672,7	608,1	1278,0	-	1935,8	513,8	296,5
Río Pilmaiquén	1128,6	1161,9	1977,8	-	-	692,4	1018,9

- **Materia orgánica**

En la Tabla 4.105 se entregan los resultados correspondientes al porcentaje de materia orgánica (%) en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Puyehue.

Tabla 4.105. Contenido de materia orgánica de los afluentes y efluente del lago Puyehue durante los monitoreos realizados el año 2015.

Estaciones	MO-C1	MO-C2	MO-C3	MO-C4	MO-C5	MO-C6	MO-C7
Río Licán	0,60	0,70	1,80	2,40	2,70	3,20	1,00
Río Chanlelfu	1,40	2,30	1,30	1,30	1,50	3,80	1,70
Río Gol Gol	1,30	0,50	0,40	0,70	0,60	0,40	0,50
Río Pilmaiquén	2,50	3,30	3,40	-	-	3,70	1,90

- **Facies texturales**

En la Tabla 4.106 se entregan los resultados correspondientes al promedio de las facies texturales en los sedimentos de los afluentes y efluentes del lago Puyehue.

Tabla 4.106. Porcentajes promedio de facies texturales (%), en todas las estaciones de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Estaciones	Fango	Arenas	Grava
Río Licán	16,8	81,7	1,60
Río Chanlelfu	16,5	79,5	3,90
Río Gol Gol	17,4	79,3	3,20
Río Pilmaiquén	16,3	82,4	1,40

4.7 ANALISIS INTEGRADO CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS

4.7.1 Calidad del agua

En general, el estado trófico de los lagos estudiados se clasificó como oligotrófico a ultraoligotrófico, lo que se relaciona con una buena calidad del agua. Esto se reflejó en los altos valores de la transparencia (disco Secchi) y las bajas concentraciones de clorofila *a*, fósforo y nitrógeno total. Al mismo tiempo ortofosfato, amonio y nitrito siempre se registraron bajo el límite de detección de la técnica analítica utilizada ($< 0,040$ mgPO₄/L, $< 0,02$ mgNH₄/L y $< 0,015$ mgNO₂/L, respectivamente).

Los resultados del análisis de similitud (ANOSIM) mostraron que todos los lagos registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el ordenamiento de los datos entre los meses de estudio, sin embargo entre sitios (E1, E2 y E3) y profundidades de muestreo no se reportaron diferencias. Este comportamiento en los sitios de estudio se debió principalmente a que no hubo variabilidad de los parámetros ambientales medidos en la columna de agua. Por ejemplo, en la mayoría de los lagos los valores fósforo total se concentraron en torno al límite de detección ($< 0,003$ mg/L).

Las Figura 4.137 – Figura 4.142 muestran el análisis de componentes principales (PCA) por campaña y sitio de monitoreo para todos los lagos estudiados. En general, este análisis determinó que las variables ambientales pH y temperatura se relacionaron con el primer eje de ordenación, mientras que el segundo eje se correlacionó principalmente con conductividad y fósforo total. En el caso del Lago Panguipulli (Figura 4.140) se observó que la concentración de nitrato fue relevante en el primer eje, esta condición se atribuye a que en la estación E1 se encuentra la descarga de emergencia del efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas de la localidad de Panguipulli.

En relación a la comunidad de fitoplanctónica, los seis lagos estudiados presentan una composición típica de ambientes oligotóxicos, en la que dominan las diatomeas. La riqueza de taxa fue similar entre los lagos estudiados, fluctuando entre 98 en el lago Puyehue y 112 taxa en el lago Pirehueico. El lago Panguipulli presentó la mayor abundancia (5.715.702 cél l⁻¹), en comparación con el resto de lagos. La menor abundancia se presentó en el lago Neltume (4.456.263 cél l⁻¹).

En los seis lagos se identificó un total de 190 taxa, agrupados en 13 clases y 83 géneros de algas dulceacuícolas. Las diatomeas *A. formosa*, *A. granulata*, *F. crotonensis*, *T. fenestrata*, *F. pulchella* y *A. distans* fueron las especies más abundante en el fitoplancton de los lagos estudiados. La abundancia y riqueza varió entre las diferentes estaciones del año.

Es importante destacar la presencia de las especies invasoras, *Ceratium hidrundinella*, actualmente presente en todos los lagos estudiados y también en la mayoría de sus tributarios (afluentes y efluentes) y *Didymosphenia geminata* detectada en afluentes y efluentes de los lagos Calafquén, Neltume, Panguipulli y Riñihue.

La especie *Ceratium hirundinella*, fue detectada por primera vez en el lago Llanquihue (Parra 1991), al parecer introducida en los ecosistemas acuáticos chilenos por la salmonicultura. Esta especie había sido registrada anteriormente por Campos et al., (2000) en los lagos Neltume, Pirehueico, en lago Panguipulli por la DGA (2011 y 2012) y en el Puyehue por la DGA (2013), su abundancia comprada con los estudios anteriores no ha incrementado y/o presentan abundancias menores. Las especies del género *Ceratium* (*C. hirundinella* y *C. furcoides*) han sido descritas como especies invasoras en Suramérica, las que han ampliado su área de distribución en poco tiempo (Meichtry et al., 2016). Estas microalgas se caracterizan por ser cosmopolitas y tolerar una amplia gama de condiciones ambientales, formando floraciones en sistemas meso- a hipereutróficos. Sus floraciones no son tóxicas, sin embargo, pueden modificar el color y sabor del agua, obstruir filtros en los sistemas de potabilización y generar la muerte de peces por el agotamiento del oxígeno disuelto cuando la población declina (Nicholls et al., 1980), lo que puede representar un serio problema ambiental y de uso del recurso hídrico (Hart & Wragg, 2009; Silverio et al., 2009; Matsumura-Tundisi et al., 2010).

La presencia de *C. hirundinella* en todos los lagos estudiados indica que esta especie ha ido ampliando e incrementando su área de distribución, su rápida dispersión y establecimiento en el país debe ser considerada con mayor cuidado debido a que podría ser un indicador del incremento de la trofía de los lagos.

En cuanto a la especie *Didymosphenia geminata* esta fue detectada en afluentes y efluentes de los lagos Calafquén, Neltume, Panguipulli y Riñihue. No fue detectada en los afluentes y efluentes de los lagos Pirehueico y Puyehue. *D. geminata* es considerada una especie invasiva que en las últimas dos décadas ha tenido una alta expansión a nivel mundial, se le reconoce por generar diversos efectos como el deterioro del paisaje, alterar hábitats, modificar la comunidad de invertebrados, generar daños al turismo en actividades como la pesca deportiva, modificar las comunidades de macroinvertebrados, e incluso, llegar a obstruir los filtros para captación de agua potable (Larned et al., 2007, Bergey et al., 2009).

En Chile *D. geminata*, ha sido descrita desde 1989, en el lago Sarmiento, Río Cisnes (XI Región) (Asprey et al., 1964), y en Mejillones (II Región) (Rivera & Gebauer, 1989). Posteriormente la especie ha sido encontrada en los ríos Espolón y Futaleufú, X Región (Subpesca, 2010), en los ríos Risopatrón, Figueroa, Pico, Ñirehuao, Emperador Guillermo, Simpson, Aysén, D. Lago Monreal, Cochrane y Baker (XI Región), como también en la cuenca del Río Puelo, ríos Yelcho, Espolón, Bellavista, Futaleufú y Noroeste (X Región) (Díaz et al., 2011; POCH, 2011), en los últimos años ha sido descrita en el Río Llanquihue y en la zona alta del Río Biobío (Rivera et al., 2013).

Finalmente, dada la gran diversidad de especies del fitoplancton (ca. de un centenar en cada lago), sumado a sus bajas densidades medias, la presencia de representantes de la familia Desmidiáceae y la ausencia de floraciones de cianobacterias, son elementos indicadores de la condición de oligotrofia del grupo de lagos estudiados.

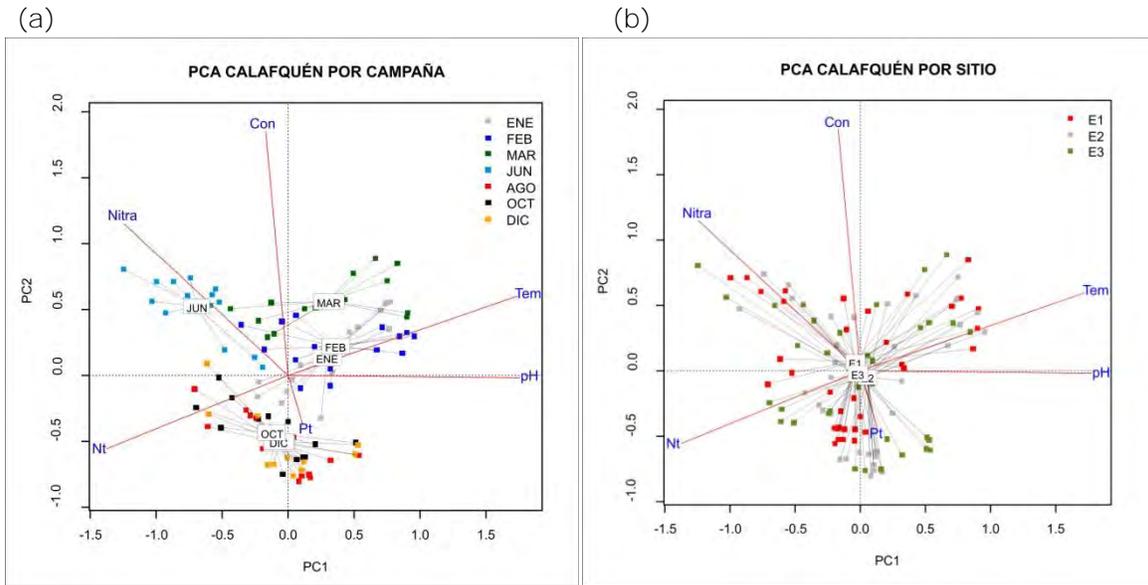


Figura 4.137. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Calafquén.

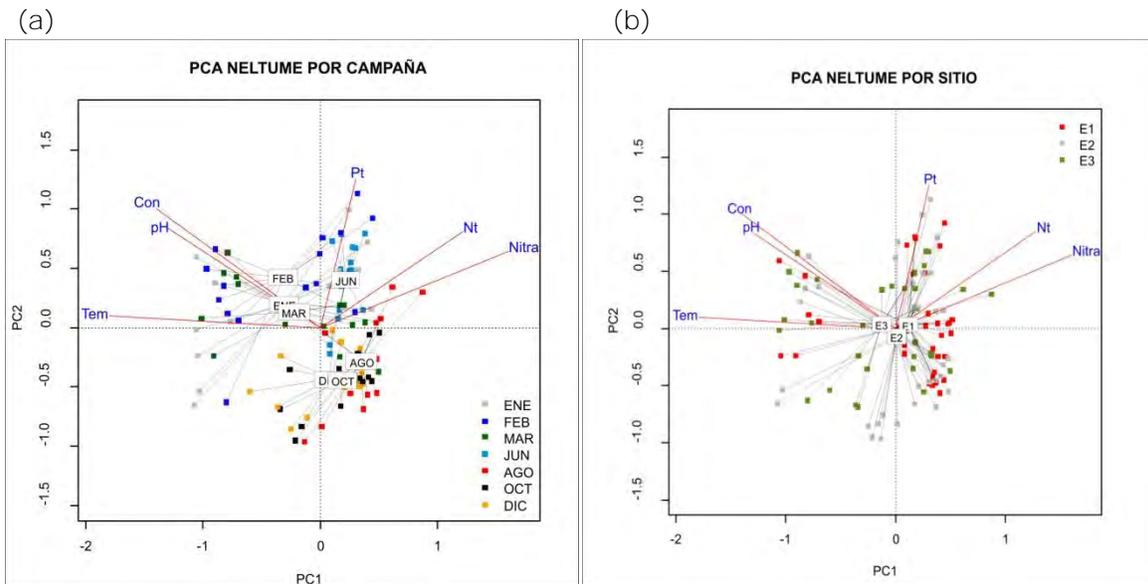


Figura 4.138. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Neltume.

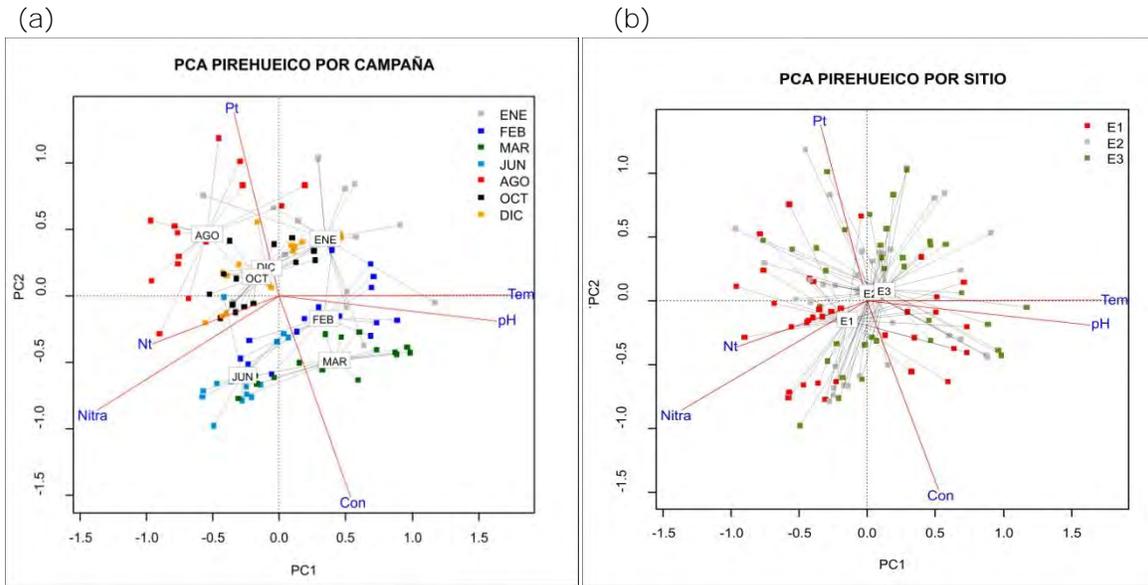


Figura 4.139. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Pirehueico.

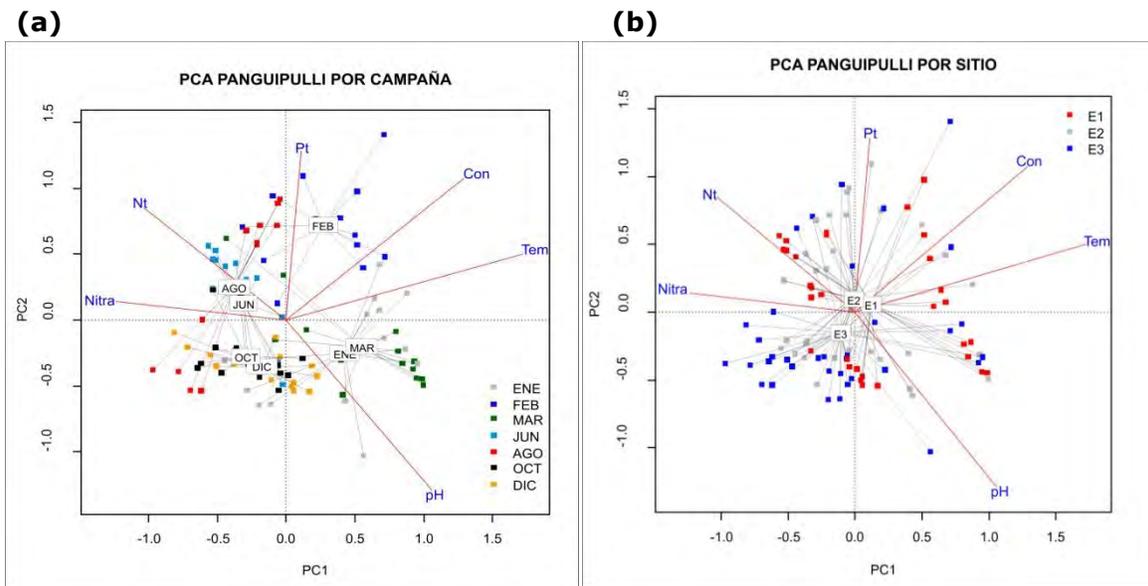


Figura 4.140. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Panguipulli.

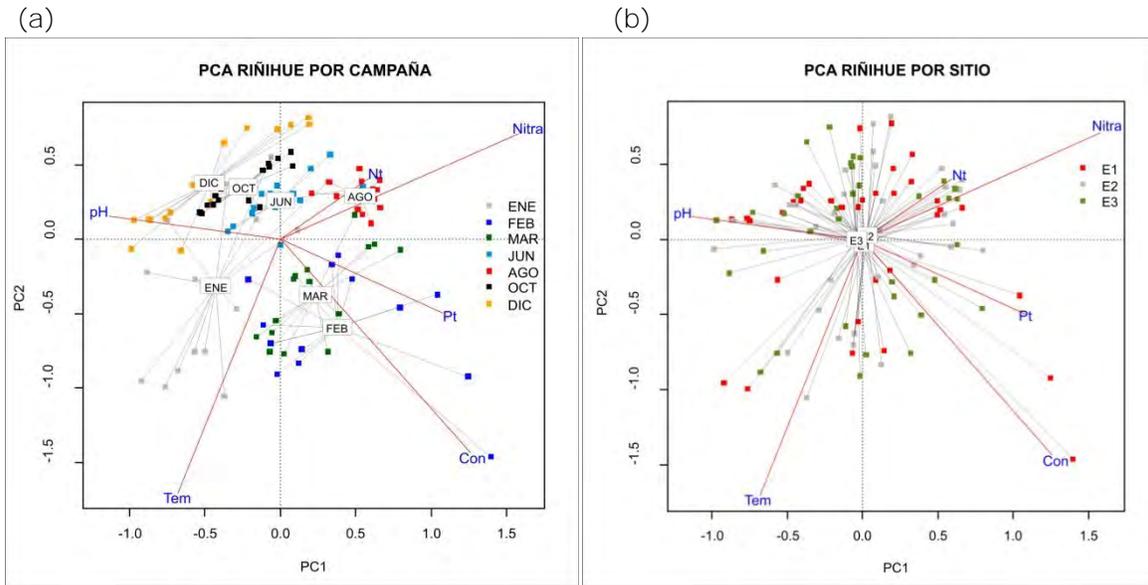


Figura 4.141. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Riñihue.

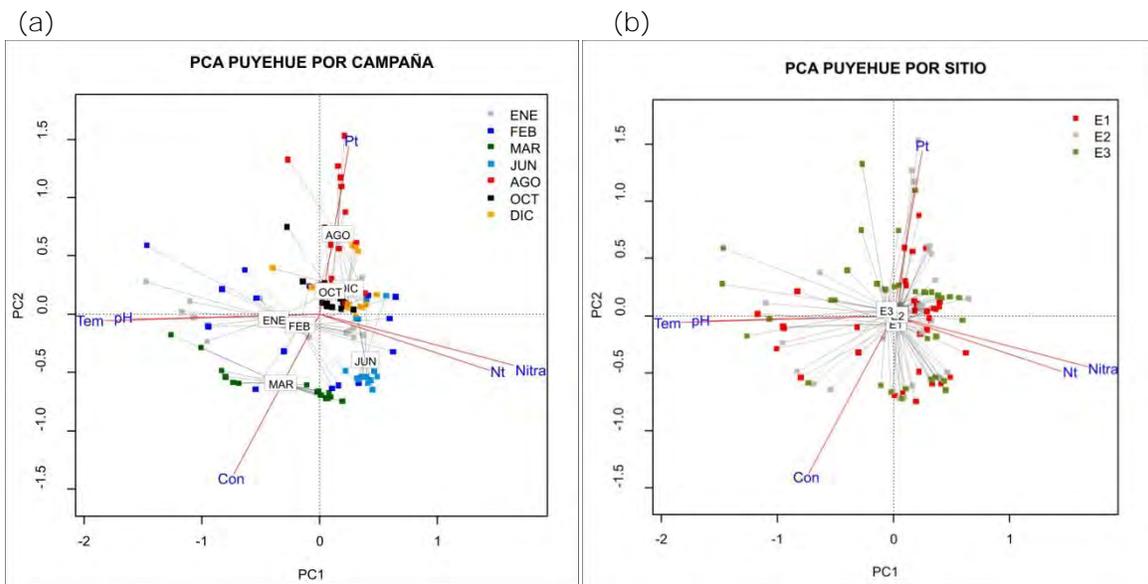


Figura 4.142. Análisis de componentes principales (PCA) por campaña (a) y sitio de monitoreo (b) para el lago Puyehue.

4.7.2 Sedimentos

4.7.2.1 Lagos

Respecto de los parámetros analizados en los sedimentos, se puede establecer que el fósforo total (Figura 4.143) y el contenido de materia orgánica (Figura 4.144), fueron los más informativos. Esto porque el fósforo claramente está asociado a un mayor de productividad del lago y si existe mayor productividad, también se va a registrar un aumento en el contenido de materia orgánica.

Las concentraciones más altas de fósforo se registraron en el lago Panguipulli, en la estación justamente más cercana a la ciudad, que como se indico previamente, estaría asociado al vertimiento de aguas residuales que existió hasta la década de 1990.

El contenido de materia orgánica, de alguna manera se correlaciona con la concentración de fósforo total, con valores altos en la estación que también presentaron valores altos de fósforo. Una excepción a esta situación se manifiesta en el lago Neltume, cuyos altos valores de materia orgánica no estaría asociados a una descarga de tipo antrópica, sino a una mayor contribución por parte del denso bosque nativo que compone su cuenca.

Otro lago que presenta valores altos de materia orgánica es el lago Calafauquén, en cuya ribera se encuentran dos centros poblados, Licanray y Coñaripe. Si bien se trata de localidades pequeñas, se debe mencionar que en la temporada estival fácilmente duplica o triplican su población estable, debido a los turistas, situación que podría estar explicando un mayor contenido de materia orgánica, asociado a una mayor actividad antrópica en la zona.

El resto de los lagos no presentó concentraciones elevadas de materia orgánica, pero si se observan algunas variaciones estacionales. El lago Pirehueico por ejemplo, presento las concentraciones más altas de materia orgánica en las tres estaciones durante la época de otoño, situación que se replica en el lago Riñihue. Por su parte el lago Puyehue, si bien presento una de las concentraciones más bajas de materia orgánica de los lagos muestreados, parece reflejar una cierta tendencia estacional, que podría asociarse a una mayor productividad primaria durante las estaciones con mayor cantidad de luz, aseveración que debería confirmarse a través de estudios posteriores.

En cuanto al pH de los sedimentos, que entrega información sobre la concentración del ion hidrógeno (H^+), se utiliza en algunas normativas para describir el balance entre un ambiente ácido o básico. El pH afecta la solubilidad de compuestos orgánicos, metales y sales, alterando la biodisponibilidad de los compuestos, su reactividad y toxicidad. En ambientes eutrofizados con un alto contenido de materia orgánica, es factible encontrar valores altos de pH en los sedimentos, los que a su vez pueden incrementar la tasa de

liberación de fósforo hacia la columna de agua, manteniendo niveles altos de nutrientes en la misma (Søndergaard et al., 2003¹).

Por otra parte, en la normativa nacional no se encuentran valores de referencia para niveles de parámetros ambientales en sedimento. No obstante en la normativa que regula la actividad acuícola en lagos (Resolución Exenta 3612, 2009²), se establecen ciertos niveles para determinar la calidad aeróbica de los sedimentos. En términos de pH, se indica que la condición aeróbica esta definida para valores mayores o iguales a 7,1 unidades, encontrándose prácticamente todos los lagos muestreados sobre este nivel (Figura 4.145).

Otro parámetro que se asocia con la calidad de los sedimentos, es el potencial redox, que mide la tendencia de una especie química a adquirir/perder electrones y por lo tanto a reducirse/oxidarse, por lo que esta en directa relación a la concentración de oxígeno presente en el medio. En un perfil de sedimento, los estratos superficiales en contacto directo con la columna de agua, tienen valores altos de oxigenación, generando valores positivos altos en el potencial redox. Por el contrario, a medida que se analiza el potencial redox hacia los estratos más profundos, la cantidad de oxígeno va disminuyendo hasta llegar a cero, nivel a partir del cual se genera un cambio en las reacciones de oxidación a reducción.

En los lagos muestreados en este proyecto, se observa una predominancia de valores negativos de potencial redox, indicando un bajo nivel de oxigenación en los primeros centímetros del sedimento (Figura 4.146). No obstante lo anterior, la interpretación de este parámetro debe tomarse con cautela debido a los problemas intrínsecos a la medición de este parámetro en terreno, la cual es muy variable y dependiente a las condiciones ambientales existentes durante el muestreo.

La sílice biogénica en los sedimentos mide por su parte la cantidad de sílice amorfo el cual se ha demostrado como un buen indicador de la abundancia de diatomeas (Conley, 1988³) y de otros organismos que forman microfósiles de sílice, y por ende de la productividad primaria asociada a las diatomeas (Ragueneau et al., 1996⁴).

En los lagos muestreados del presente estudio claramente se observa que las mayores concentraciones de sílice se produjeron durante la época estival que obviamente tiene un fotoperiodo más extenso y que permite probablemente una mayor productividad primaria asociada a las diatomeas (Figura 4.147). El resto de los lagos presento valores relativamente bajos de sílice en todas las estaciones y épocas del año.

1 Søndergaard, M, Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (2003) Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509: 135-145.

2 Resolución 3612 EXENTA (2009) Aprueba Resolución que Fija las Metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA). Ministerio De Economía, Fomento Y Reconstrucción Subsecretaría De Pesca. 29 pp.

3 Conley, D. J., 1998. An interlaboratory comparison for the measurement of biogenic silica in sediments. *Mar. Chem.* 63: 39-48.

4 Ragueneau, O., A. Leynaert, P. Tréguer, D. J. DeMaster & R. F. Anderson, 1996. Opal studied as a marker of paleoproductivity. *EOS* 77: 491, 493.

En las Figura 4.143 a las Figura 4.147, se presentan los gráficos caja, mostrando los valores obtenidos de cada parámetro, en cada uno de los lagos estudiados. En el gráfico se indica la media de la distribución, las desviaciones estándar y los valores atípicos encontrados, representados por los círculos ubicados fuera de las cajas.

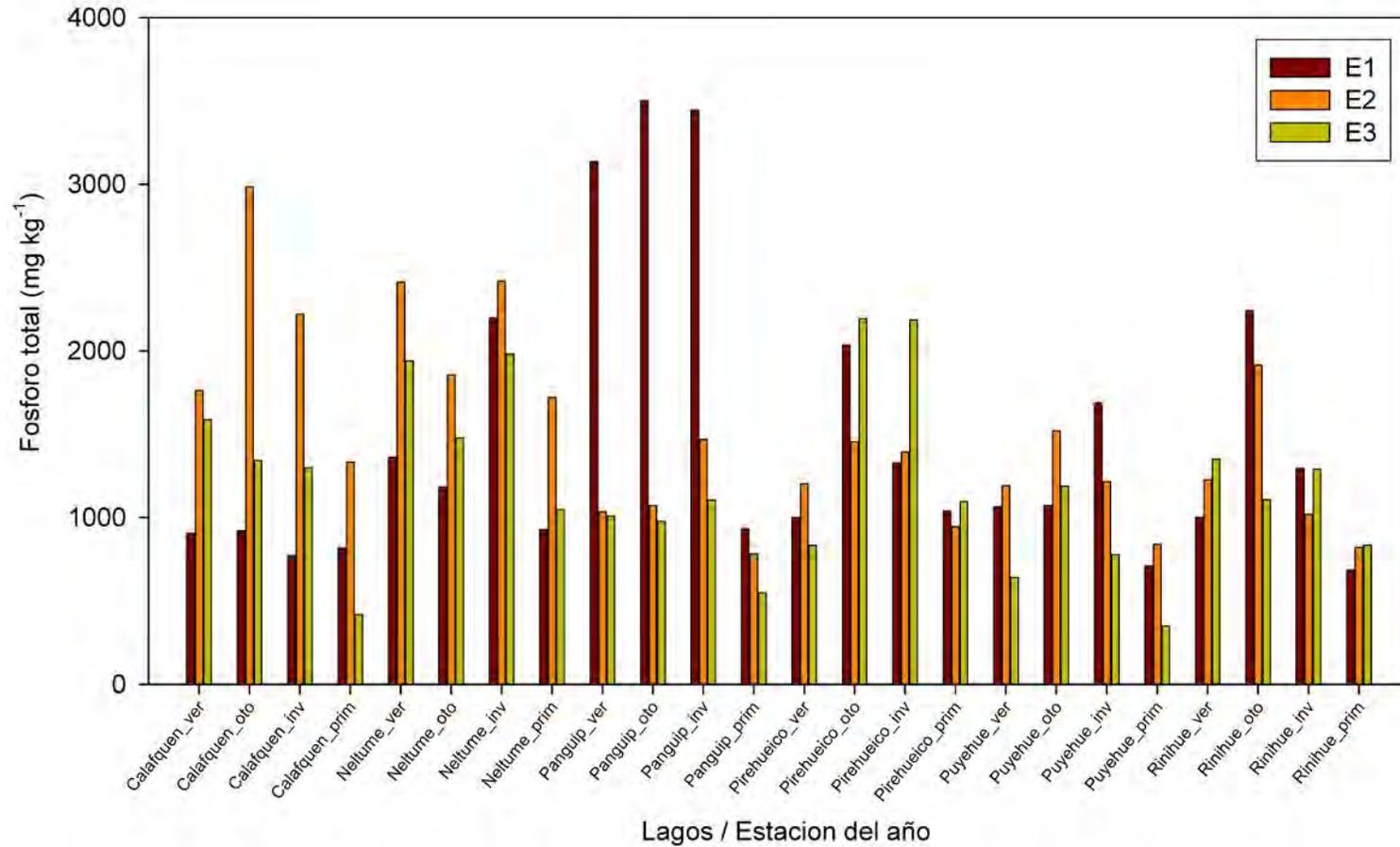


Figura 4.143. Concentración de fosforo total en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.

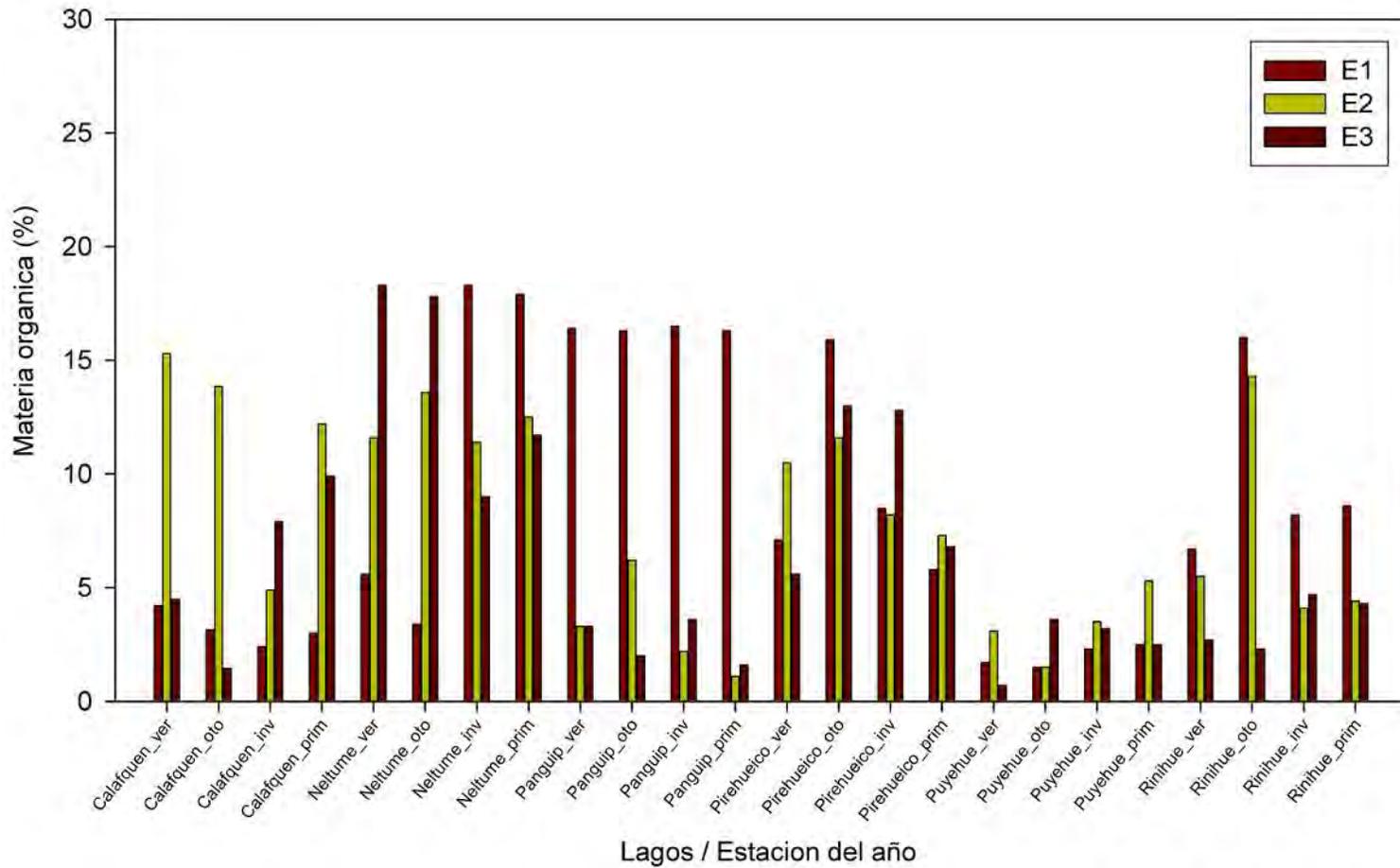


Figura 4.144. Contenido de materia orgánica en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.

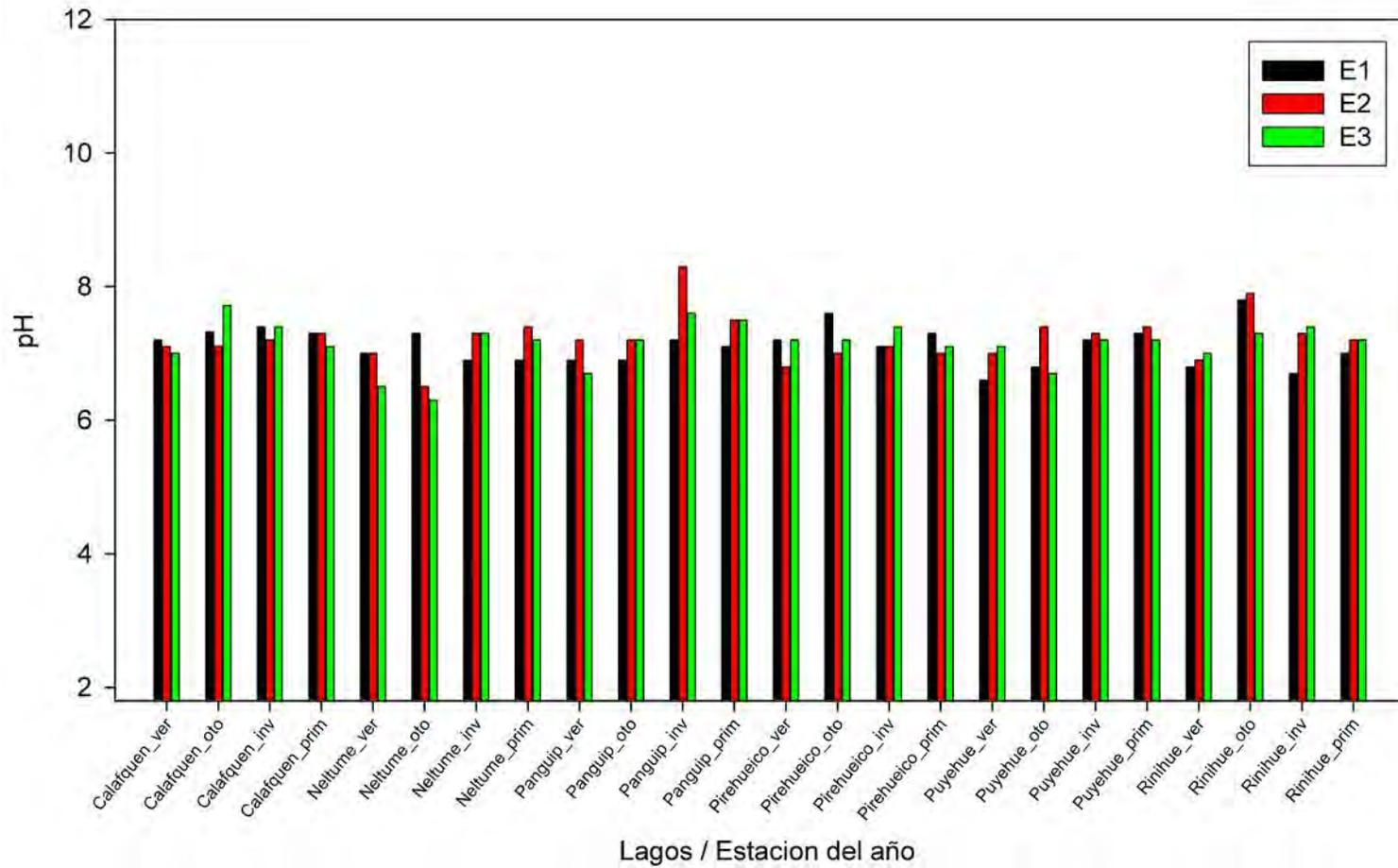


Figura 4.145. Valores de pH en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.

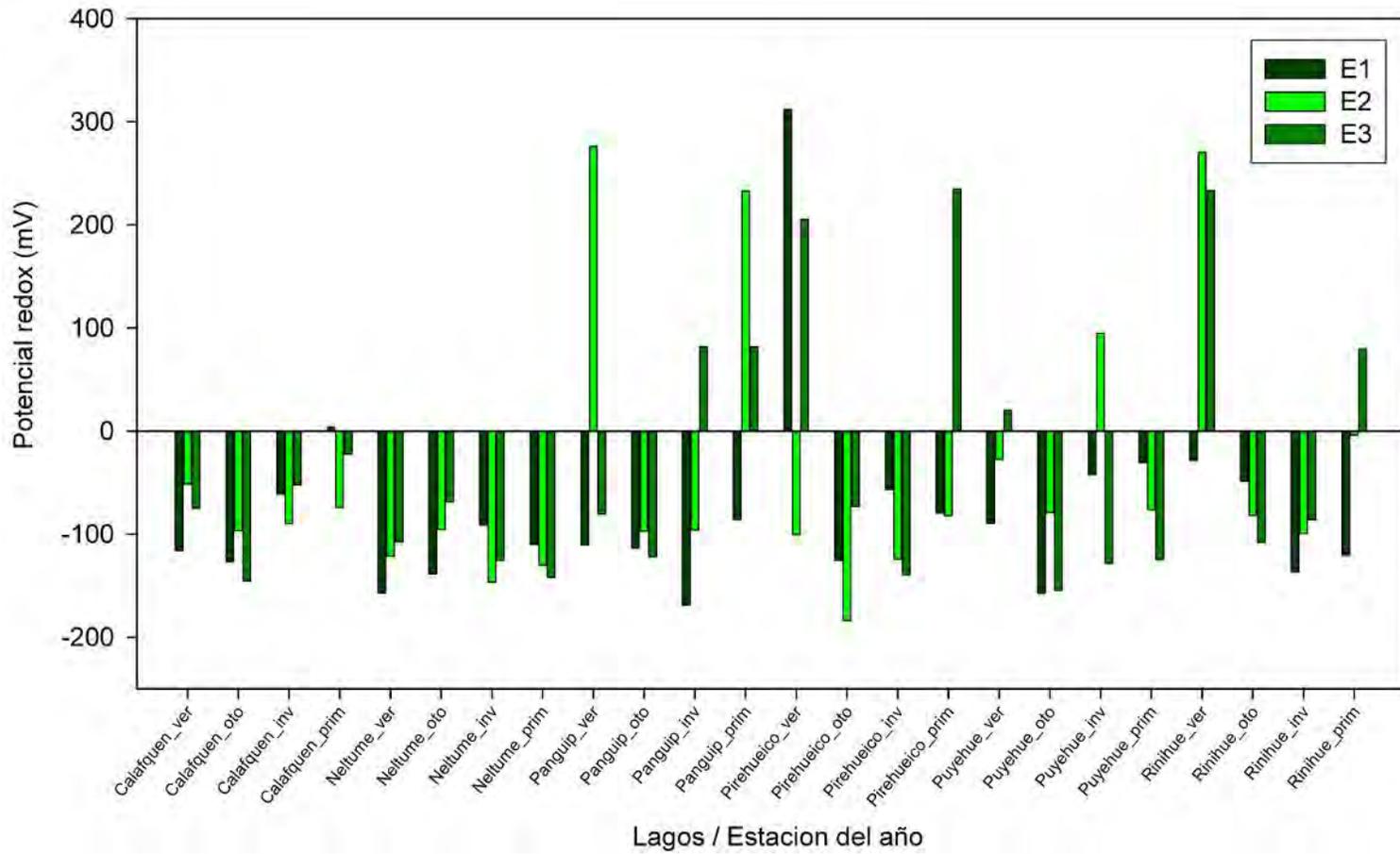


Figura 4.146. Valores de potencial redox en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.

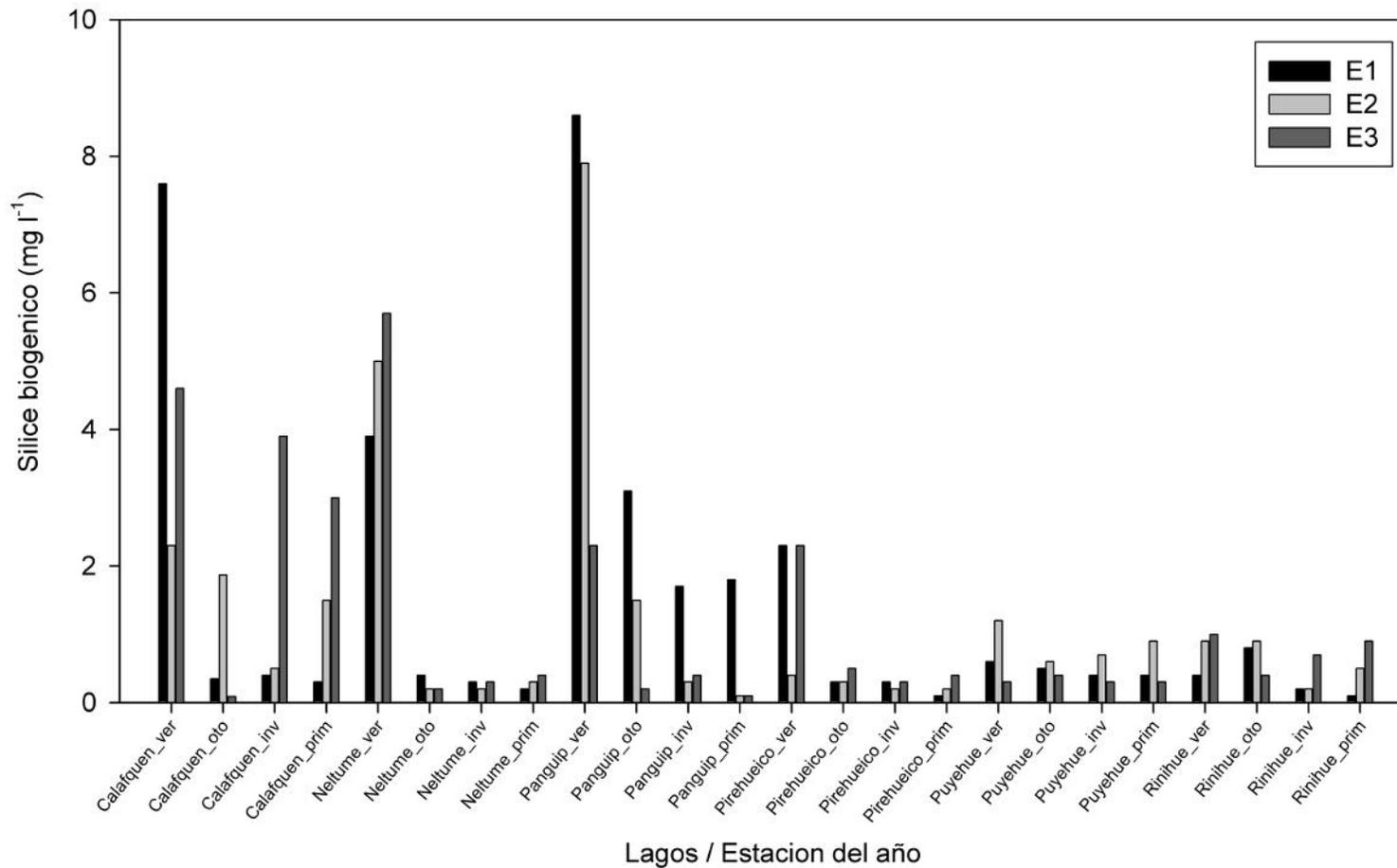


Figura 4.147. Concentración de Sílice biogénico en los sedimentos de los seis lagos en estudio, mostrando los valores por punto de muestreo y estación del año.

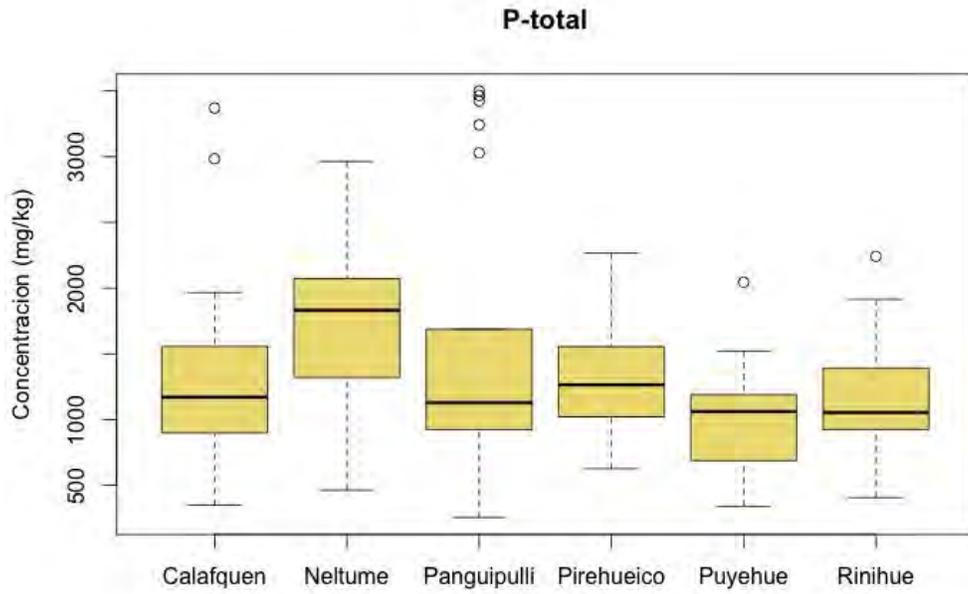


Figura 4.148. Comparativa de las concentraciones de P-total en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando la distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).

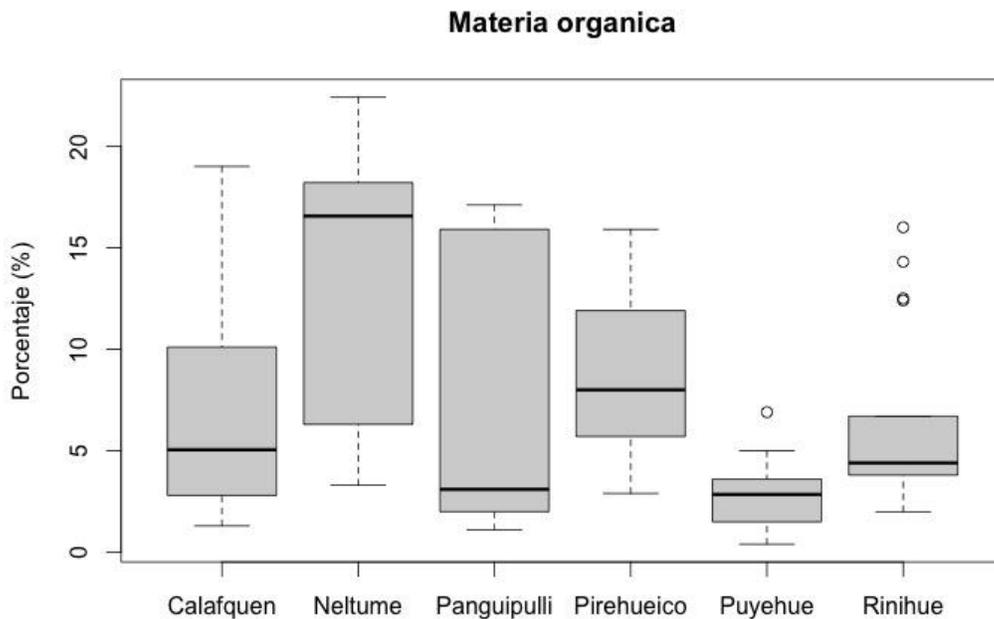


Figura 4.149. Contenido de materia orgánica en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).

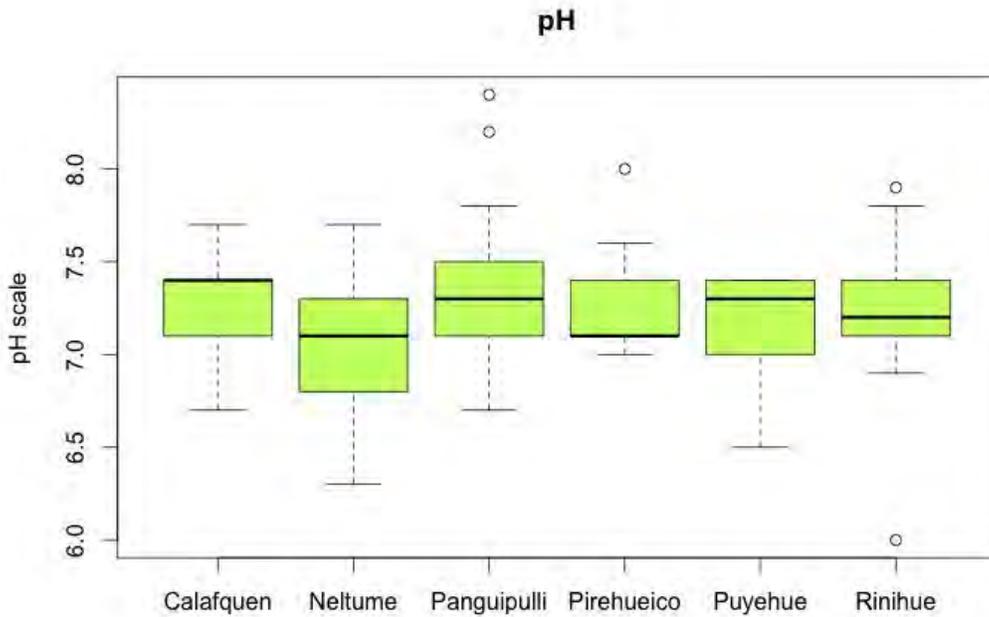


Figura 4.150. Valores de pH en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).

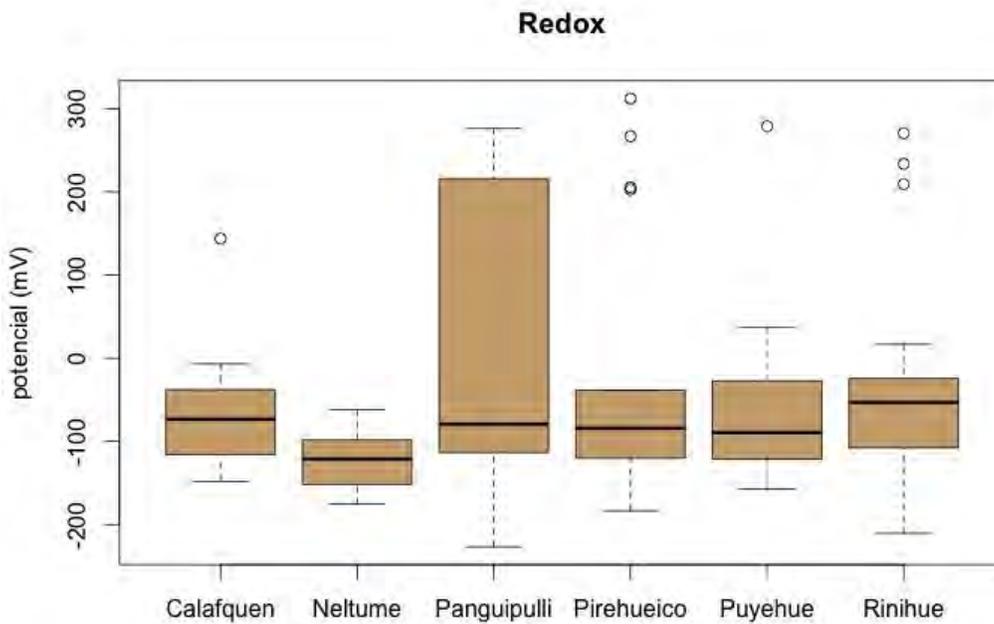


Figura 4.151. Valores de potencial redox en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).

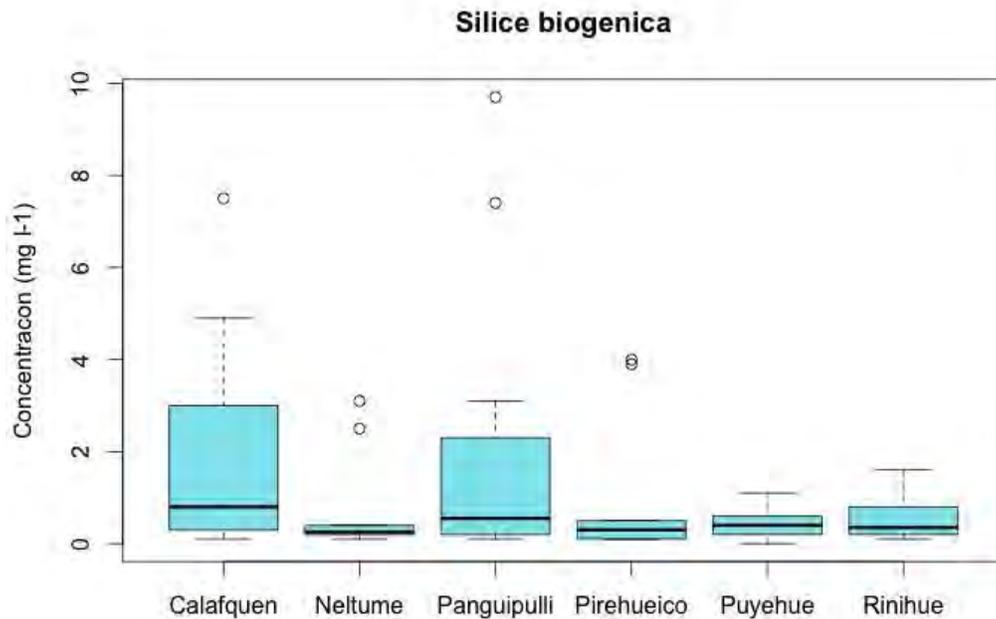


Figura 4.152. Concentración de sílice biogénica en los sedimentos de los lagos en estudio, mostrando a distribución de los valores (media, desviación estándar, valores atípicos).

Con la finalidad de buscar relaciones entre las variables medidas en los sedimentos, en la Figura 4.153 se presenta una matriz de correlación entre todos los parámetros determinados. En términos generales se observan bajas correlaciones entre la mayoría de los parámetros, excepto entre el contenido de materia orgánica y la concentración de fósforo total, que presentó un coeficiente de 0,58. Si bien este análisis es más bien de carácter exploratorio, si permite definir asociaciones que sería interesante de investigar en mayor detalle. En este caso, se puede vislumbrar que la estimación de materia orgánica, a través del método de pérdida de peso por ignición, que es relativamente barato y rápido de obtener, estaría siendo un buen predictor del fósforo total y por ende de la productividad de un sector.

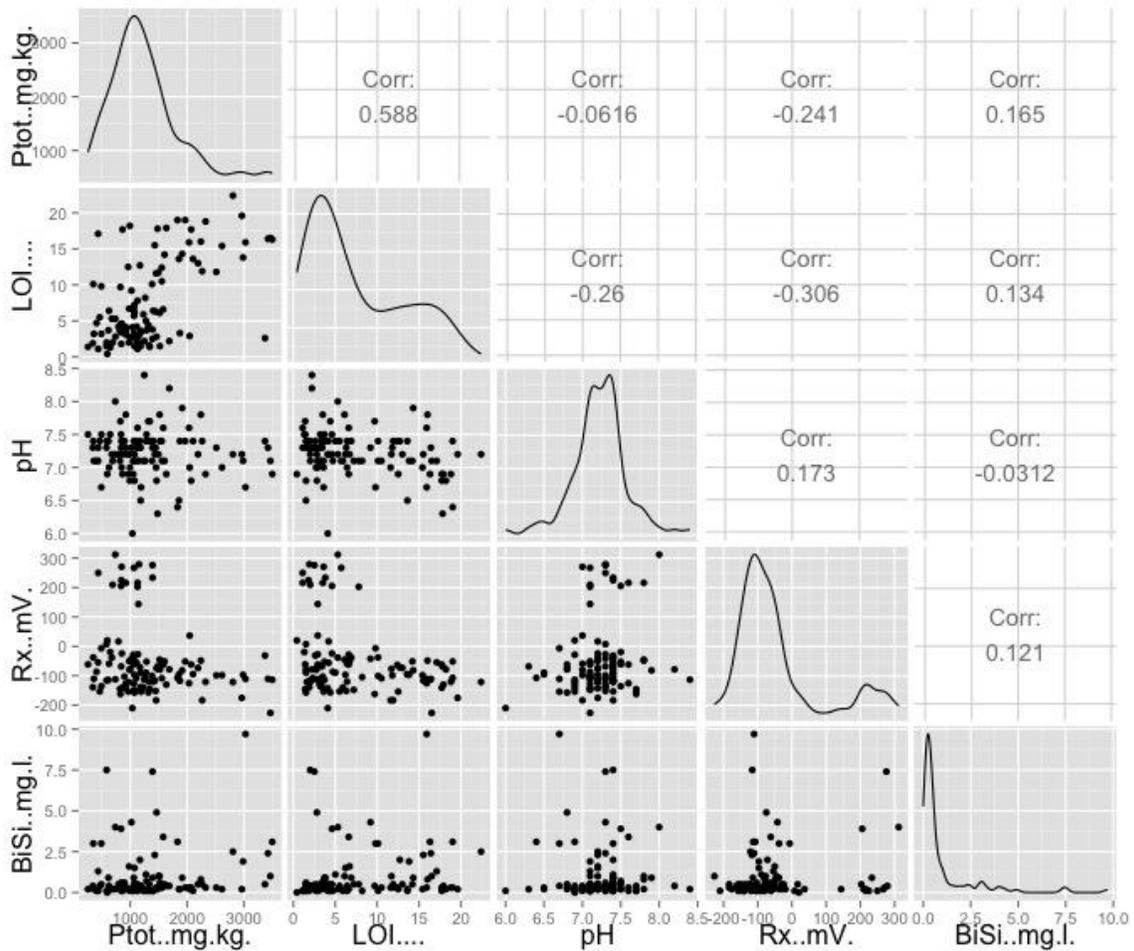


Figura 4.153. Matriz de correlación de las variables ambientales medidas en los sedimentos de los lagos en estudio.

4.7.2.2 Tributarios

El estudio de los parámetros granulométricos de los ríos y esteros tributarios de los lagos analizados, presentó un importante grado de variación tanto en escala espacial como temporal. Los ríos son ambientes muy dinámicos, que pueden cambiar drásticamente su conformación durante períodos de máximo caudal (invierno), a períodos estivales donde disminuye notoriamente el nivel del agua.

Durante las siete campañas de monitoreo, la variabilidad estacional tuvo una marcada influencia sobre la conformación de ríos y esteros, siendo imposible en algunos casos el recolectar una muestra de sedimento, producto de la desaparición del río en cuestión.

En la Figura 4.154 se muestran los porcentajes de facies texturales para los sedimentos de los tributarios, observándose que mayoritariamente están compuestos por arenas, seguido en importancia por la facie "grava". Las estaciones que presentaron una mayor proporción de fracciones finas, se registraron en el Río Fuy, Lipinza y Hua Hum, llegando estas dos últimas a estar constituidas casi en un 40% por fango.

La tendencia observada en las facies texturales, también se replica en la concentración de materia orgánica. En la Figura 4.155, se presentan los valores obtenidos del contenido de materia orgánica de los sedimentos de los tributarios. De forma general se observa que los valores de los tributarios fueron más bien bajos, excepto por los valores determinados en la estación "Río Lipinza", en la cual se encontraron los niveles más altos de todos los tributarios. De esta forma, si dejamos fuera los valores de este río, el contenido de materia orgánica de todas las estaciones entrega un promedio de 1,3%, mientras que al considerar los valores de Lipinza, el promedio llega a 2,6% para el primer monitoreo. Un valor alto también se reportó para la misma estación durante el sexto monitoreo, en el cual la misma estación entregó un valor de 25,7%. Exceptuando estos valores extremos, los niveles obtenidos en todos los tributarios en los siete monitoreos, se encuentran bajo el nivel de referencia de 13%, determinado por Ae Hu et al. (2014)⁵, para ambientes dulceacuícolas.

Los valores extremos reportados para el estero Lipinza, pueden estar relacionados a un mayor aporte estacional de materia orgánica desde la cuenca. Cabe recordar que la cuenca de este río se encuentra cubierta principalmente por bosque nativo, por lo que la contribución de materia orgánica puede ser muy alta.

Los resultados del nutriente fósforo total (Ptot), en los sedimentos de los tributarios (Figura 4.157Figura 4.156) presentan una distribución bastante más heterogénea en comparación con los valores obtenidos para la materia orgánica. No obstante, se puede observar que en cuatro de los siete monitoreos realizados, los valores más altos de Ptot se encontraron en la estación "Río Lipinza", que ya anteriormente había registrado los valores más altos de materia orgánica. Aparte de este río, los sedimentos del Río Neltume, fueron los que registraron los valores más altos de Ptot, llegando a los 3546,7 mg/kg. De forma similar a lo ocurrido con el contenido de materia orgánica, los valores más altos de Ptot corresponden a ríos cuya cuenca está compuesta mayoritariamente por bosque nativo (Ríos Lipinza, Neltume, Hua Hum), que al parecer sería una fuente relevante de aporte de Ptot, hacia el río.

Niveles de referencia para Ptot en sedimentos de ambientes dulceacuícolas, indican que un nivel de 1600 mg/kg, sería un nivel límite sobre el cual se deberían aplicar medidas de manejo (Ae Huh op. cit.). De acuerdo a esto, el único valor de este estudio que estaría por sobre este nivel de referencia, fue la estación Río Neltume durante el quinto monitoreo.

5 Ae Huh et al. (2014). Development of freshwater sediment management standards for organic matters, nutrients, and metals in Korea. *Environ Sci Pollut Res* (2014) 21: 86–94. DOI 10.1007/s11356-013-2093-z.

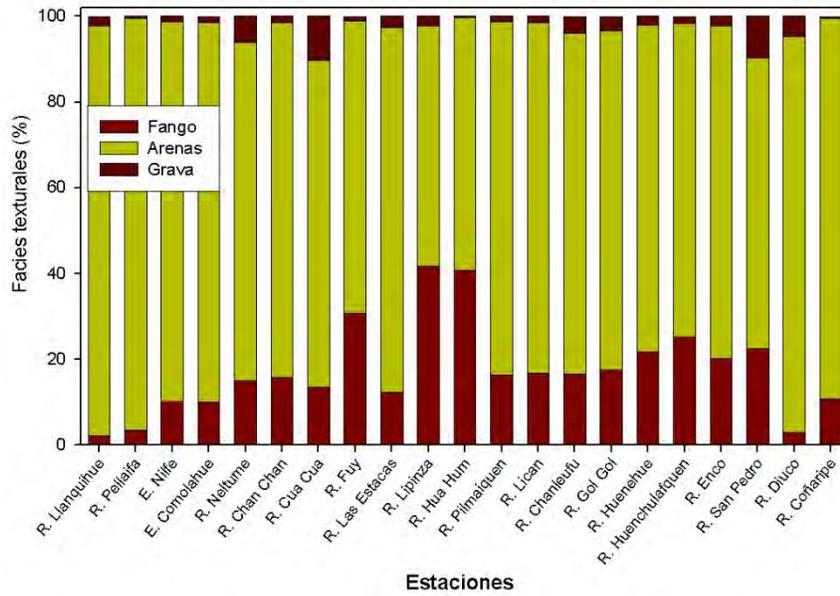


Figura 4.154. Porcentajes de facies texturales en los sedimentos de los tributarios. Se presenta un promedio de estos valores, en los siete monitoreos realizados.

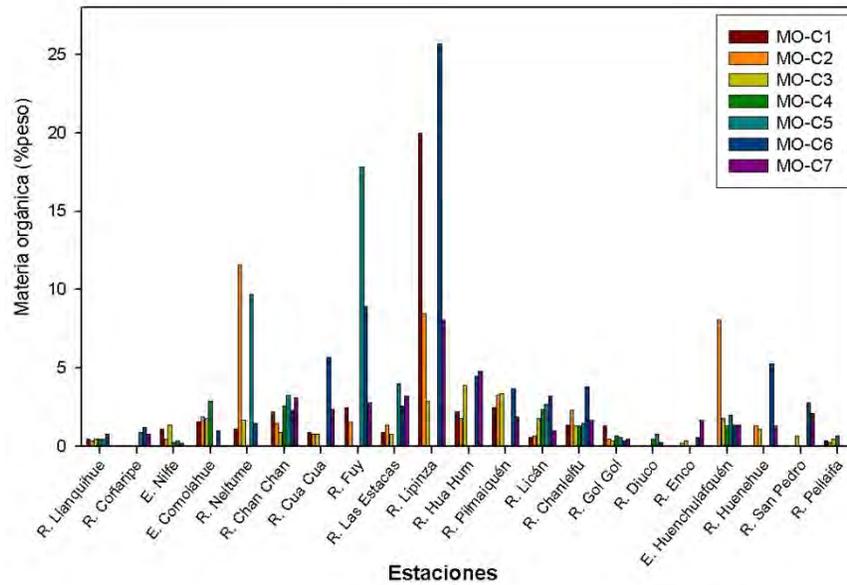


Figura 4.155. Contenido de materia orgánica (%) en los sedimentos de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados

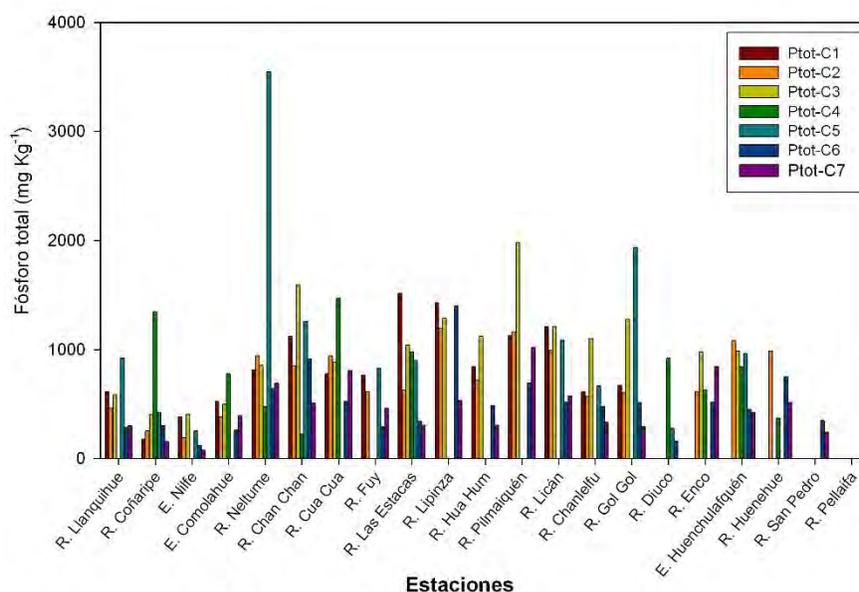


Figura 4.156. Concentración de fósforo total en los sedimentos de los tributarios, a lo largo de los siete monitoreos realizados.

Observaciones

- El análisis de los parámetros granulométricos de los sedimentos de los tributarios, indicó que la mayor parte de los sedimentos están compuestas mayoritariamente por fracciones arenosas.
- Se debe destacar que el muestreo de los sedimentos de los tributarios, estuvo condicionado por las características particulares de cada sitio, puesto que muchas veces el sustrato estuvo compuesto por clastos de gran tamaño, que no permitieron realizar análisis físico químicos (sílice biogénico) ni la medición de parámetros *in situ* (pH y Eh) de las muestras.
- Se detectó una fuerte influencia de la estacionalidad y de la cobertura del uso del suelo, en los valores de materia orgánica y fósforo total de los sedimentos de los tributarios. Registrándose los valores más altos de estos parámetros en sitios con la mayor proporción de bosque nativo en su cuenca y asociados a monitoreos desarrollados en invierno.
- No obstante, la mayoría de los valores detectados se encuentran por debajo de los niveles de referencia para la situación que amerite la toma de acciones de manejo. De este modo se puede concluir que los sedimentos de los tributarios analizados, no reflejan un nivel de alteración suficiente como para alterar el desarrollo de los procesos biogeoquímicos al interior del cuerpo acuático.

4.8 SERVICIOS ECOSISTEMICOS

4.8.1 Identificación de servicios ecosistémicos y presiones actuales

Los servicios ecosistémicos (SE) son las contribuciones que los ecosistemas naturales hacen **al bienestar humano, y surgen de la interacción de procesos bióticos y abióticos"** (Haines & Potschin, 2010), generando beneficios que son utilizados por las personas. De manera directa contribuyen con la provisión de agua y alimentos (servicios de abastecimiento) e indirectamente a la regulación de ciclos naturales, controlando inundaciones, protegiendo de la degradación del suelo (servicios de regulación). También los ecosistemas ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos, espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales) (Costanza, 1997). El interés por los servicios ecosistémicos ha crecido desde 1990, sin embargo, el desarrollo sobre valoración se inicia con Costanza et al. (1997), a pesar de casi tres décadas, los estudios en Chile son recientes, pero con un rápido esparcimiento a nivel científico y gubernamental, aunque en su mayoría carecen de claridad en torno al concepto y versan sobre ejercicios específicos debido a la poca información disponible.

En nuestro país las investigaciones comienzan con los aportes que ha realizado la Universidad Austral de Chile desde el año 2002, dando énfasis en los servicios que proveen los bosques nativos como reguladores de la calidad y cantidad de agua en distintas escalas espaciales y temporales de la ecoregión de los bosques valdivianos. Paralelamente, se han ido desarrollando otros estudios que abarcan políticas de sustentabilidad (RIDES, 2005), pago por servicios ambientales (Lara et al. 2010) y pérdidas de paisaje (Ponce et al. 2011) y servicios culturales (Nahuelhual 2014). En términos productivos Outeiro et al. (2013) señalan que la industria de la acuicultura del salmón desmedra una cantidad importante de servicios ecosistémicos en el sur de Chile. Mientras que O´Ryan et al. (2015) propone una metodología participativa para obtener indicadores de desarrollo sustentable para este sector, captando las necesidades y percepciones de los diferentes grupos relacionados con el cultivo de salmón. Estos estudios pueden ser útiles si se piensa desarrollar la industria del salmón en el área de estudio de los lagos, pues podría perjudicar a otros servicios.

Otros aportes relevantes corresponden a los estudios desarrollados por Nahuelhual et al., (2014a) quienes modelan y mapean los servicios ecosistémicos de patrimonio agrícola (**e.g.** papas nativas de Chiloé), analizando un conjunto de variables bioculturales validadas y ponderadas por expertos, relacionando principalmente tres servicios culturales: el valor del patrimonio, el conocimiento de los cultivadores y las relaciones sociales entre ellos. De esta forma se identifican las áreas más valiosas por su capacidad de producción para poder satisfacer la demanda potencial del producto. En la misma área de estudio Nahuelhual et al., (2014b), buscan establecer la relación entre el cambio de uso de suelo y la prestación de los servicios de los ecosistemas; principalmente relacionados con la degradación y fragmentación del bosque, lo que ocasiona cambios en el paisaje disminuyendo sitios de recreación y oportunidades de ecoturismo, reflejando a su vez una importante pérdida de biodiversidad en el área de estudio. Barrena et al., (2014) por otro lado, realizan en esta

área la valoración de los servicios culturales mediante evaluación contingente. En esta misma escala, Iverson et al. (2014), destaca la importancia de las herramientas desarrolladas y adaptadas para la ecología del paisaje, permitiendo informar y mejorar la situación económica, ambiental y los valores sociales de los servicios de los ecosistemas.

Otras aproximaciones para Chile abordan principalmente la temática de la conservación. Al respecto Cárcamo et al., (2014) plantean que bajo la percepción de diferentes actores, identificando, valorando y priorizando los servicios ecosistémicos presentes relacionados con las actividades y modos de vida que tienen los pescadores, es posible gestionar de manera adecuada la mantención y restauración de áreas marinas protegidas en el norte de Chile. Paralelamente Vásquez et al. (2014) buscan valorar económicamente los bosques de algas marinas en el norte de Chile, utilizando varios indicadores económicos para evaluar de manera integral los bienes y servicios proporcionados por algunas algas pardas. A escala local, el estudio desarrollado por Marín et al. (2014) da cuenta de las transformaciones sufridas por el humedal Tubul Raqui tras la catástrofe natural del 27F, mostrando efectos espacialmente diversificados que actualmente representan oportunidades y amenazas para los diferentes actores en todo el humedal. Permitiendo generar conciencia de la conservación de los servicios claves para las comunidades locales. Mientras que (Outeiro et al. 2015^a, b) aborda las temáticas de conservación de ecosistemas marinos, Valdés-Barrera et al. (2015) conocimiento sobre el valor de conservación de las turberas de Patagonia. Donoso et al. (2014) realiza un análisis para la gestión adaptativa de cuencas que permitan mantener los socio-ecosistemas el paisaje, maximizando los servicios ecosistémicos, incluyendo la comprensión y opinión de los actores interesados, que considere las demandas sociales en complemento con las funciones de los ecosistemas. Mientras que Figueroa et al. (2014) busca por este mismo mecanismo establecer el valor económico en el sistema nacional de áreas protegidas enlazando los servicios de la naturaleza con el bienestar humano, intentando de esta forma ajustar a una visión de mercado más que de protección.

El incremento del número de trabajos es interesante, coincidiendo con la tendencia a nivel mundial que señalan Delgado & Marín (2015), sin embargo, los cuestionamientos persisten como la falta de vínculos entre los propósitos y los procedimientos a la hora de abordar el mapeo de servicios ecosistémicos (Nahuelhual et al. 2015).

Importancia de los lagos como ecosistemas productores de servicios ecosistémicos

Según la literatura (Camacho 2006; De Groot et al. 2006) los lagos suministran un amplio y variado catálogo de servicios a la sociedad, los cuales se manifiestan a distintas escalas espacio-temporales. Lamentablemente el flujo de bienes y servicios no es percibido por la sociedad como el de otros ecosistemas. Los Lagos Araucanos en particular, ubicados entre los 39° a 42° S (Thomasson, 1963) o también llamados Nordpatagónicos, históricamente fueron caracterizados por su estado oligotrófico, con baja productividad primaria, altas transparencias y bajas concentraciones de nutrientes (Soto & Campos, 1995; Soto, 2002). Sin embargo, el proceso de eutrofización natural haberse acelerado en estos cuerpos

lacustres debido a las actividades productivas (e.g concesiones para el cultivo de salmón), el cambio de uso de suelo y a la falta de tratamiento de las aguas servidas, impulsores que modifican las funciones ecosistémicas, principalmente aquellas que implican los procesos hidrológicos que sostienen por ejemplo el servicio de abastecimiento de calidad de buena agua (León-Muñoz et al. 2007)

A pesar de algunos estudios desarrollados a la fecha a nivel nacional (e.g Dirección General de Aguas; Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas de la Universidad Austral de Chile, Armada de Chile, entre otros), no existe información sistematizada ni actualizada del monitoreo de este tipo de sistemas acuáticos, por lo que a la fecha resulta complejo normar en torno a la calidad ambiental del recurso hídrico en los lagos.

No obstante a lo anterior, el objetivo principal de este informe corresponde a la caracterización de los servicios que los lagos suministran a la sociedad, y evaluar la tendencia que éstos experimentarán en el corto y mediano plazo como respuesta a la influencia de distintas presiones.

4.8.2 Caracterización Socio ecosistema 1: Calafquén-Pirehueico-Riñihue.

Este socio ecosistema comprende las comunas de Villarrica, Panguipulli y Los Lagos, las cuales tienen injerencia sobre los Lagos Calafquén, Neltume, Pirehueico, Panguipulli y Riñihue.

4.8.2.1 Servicios de Abastecimiento

- Suministro de agua

Uno de los principales servicios ecosistémicos (SE) provistos por los sistemas acuáticos tiene relación con el **abastecimiento de agua** para diversos usos. En este sentido, los cuerpos de agua evaluados, registran a la fecha un total de 23 derechos de agua otorgados (Tabla 4.107, DGA 2016), encontrándose la mayor parte de estos, sin categoría de aprovechamiento. Sin embargo, al evaluar a los solicitantes, estos en su mayoría corresponden a empresas agrícolas y forestales, por lo que se presume como uso prioritario el riego.

Tabla 4.107. Derechos de agua para lagos en estudio (Fuente: DGA 2016).

COMUNA	LAGO	USO DE APROVECHAMIENTO	Nº DE DERECHOS	PROMEDIO ANUAL DE EXTRACCIÓN
PANGUIPULLI	Riñihue	Riego	1	100 lt/s
PANGUIPULLI	Riñihue	Otros Usos	1	10 lt/s
PANGUIPULLI	Riñihue	Bebida/Uso doméstico/Saneamiento	1	10 lt/s
PANGUIPULLI	Riñihue	Sin categoría de uso	2	5000 lt/s
PANGUIPULLI	Panguipulli	Bebida/Uso doméstico/Saneamiento	2	12,5 lt/s
PANGUIPULLI	Panguipulli	Energía Eléctrica	2	2715,1 lt/s
PANGUIPULLI	Panguipulli	Riego	1	200 lt/s
PANGUIPULLI	Panguipulli	Sin categoría de uso	11	258,43 lt/s
PANGUIPULLI	Pirehueico	Sin categoría de uso	2	12 lt/s

Por otro lado, el suministro de agua para uso humano proviene de fuentes subterráneas y superficiales, concesionando los sistemas urbanos a la empresa ESSAL y abasteciendo al sector rural con sistemas de Agua Potable Rural (APR) (Tabla 4.108), siendo la comuna de Panguipulli la que registra un mayor número de APR (11). Sin embargo, de acuerdo a la información proporcionada por los municipios respectivos (Villarrica, Panguipulli y Los Lagos), desde el año 2015 algunos sectores rurales, están siendo abastecidos por medio de camiones aljibes, señalando que son áreas con déficit hídrico; a pesar de que no han sido decretadas como tal por la Dirección General de Aguas.

En este sentido, no es posible evaluar la tendencia de este indicador, ya que a la fecha no hay datos que cuantifiquen de manera exacta la demanda de agua para cada uso, a pesar de la clara demanda agrícola existente.

Tabla 4.108. Sistema de Agua Potable Rural (APR) en las comunas del socio ecosistema 1 (Fuente: MOP 2014).

COMUNA	NOMBRE APR	AÑO PUESTA EN MARCHA	NÚMERO DE ARRANQUES	POBLACIÓN ABASTECIDA
PANGUIPULLI	Liquiñe	1979	328	1234
PANGUIPULLI	Choshuenco	1980	195	650
PANGUIPULLI	Coñaripe	1981	1040	4160
PANGUIPULLI	Melefquén	1983	282	940
PANGUIPULLI	Huellahue	1993	162	540
PANGUIPULLI	Neltume	1996	680	2558
PANGUIPULLI	Ñancul	2002	127	423
PANGUIPULLI	Pucura	2002	148	493
PANGUIPULLI	Puyehue	2002	130	520
PANGUIPULLI	Puerto Fuy	2005	96	320
PANGUIPULLI	Chauquén bajo	2012	196	653
LOS LAGOS	Folilco	1979	153	579
LOS LAGOS	Antilhue	1979	313	1184
LOS LAGOS	Riñihue	1997	57	216
LOS LAGOS	Ustaritz	2002	97	367
LOS LAGOS	Quilquilco	2003	120	454
LOS LAGOS	El Salto	2013	169	639

- **Generación Hidroeléctrica**

Otro de los SE relevantes corresponde a la *generación hidroeléctrica*, para este socio ecosistema y de acuerdo a la información proporcionada por la Comisión Nacional de Energía (CNE 2015), hasta la fecha sólo la comuna de Panguipulli aporta a la matriz nacional energética a través del funcionamiento de las centrales Pullinque y Reca, emplazada en esta misma comuna, incorporando una producción energética de 53,7 MW. En este sentido, cabe mencionar que la potencialidad de la zona, particularmente de la comuna de Los Lagos (580,6 MW, CNE), si bien beneficia la producción hidroeléctrica (energías renovables), deteriora la provisión de otros servicios acercando a los ecosistemas hídricos a su capacidad de carga, obviando el efecto sinérgico que en muchos casos supone la instalación de minicentrales, impactando directamente sobre el caudal y las comunidades biológicas que allí se asientan.

- **Provisión de alimentos**

La *provisión de alimentos*, derivados de los ecosistemas resultan importantes en términos de bienestar humano. En este sentido, la producción y el consumo de alimentos en este socio ecosistema está dado por la vocación agropecuaria, ganadera, forestal y agrícola, siendo significativo en las comunas el cultivo de forrajeras, cereales y frutales, las cuales abarcan las mayores superficies de explotación a nivel comunal (Tabla 4.109). De acuerdo

al último Censo Agropecuario y Forestal (2007), es la agricultura mapuche la que más contribuye al desarrollo productivo comunal y regional. Particularmente la comuna de Panguipulli, representa el 68,1% de las explotaciones existentes (3.116 explotaciones), abarcando una superficie de 38.499 hectáreas, siendo utilizadas con cultivos anuales, plantaciones frutales, forestales y con cultivos hortícolas.

Tabla 4.109. Superficie (ha) por grupo de cultivo en comunas del socio ecosistema 1. (Fuente: Censo Agropecuario, 2007).

COMUNA	CEREALES	FRUTALES	FORRAJERA	FORESTAL	AGROPECUARIO
VILLARRICA	2248,9	837,8	7216,10	6522,5	84.695
PANGUIPULLI	1429,8	721,8	5599,2	6231,7	193.353,2
LOS LAGOS	1391,6	223,8	10435	6242,7	81.155

Del mismo modo, son las condiciones edafológicas de las comunas de Villarrica, Panguipulli y Los Lagos, las que promueven una producción ganadera extensiva, que se ve reflejado en el número de cabezas bovinas (vacas lecheras), indicadores de los ejes productivos más importantes de la región de los Ríos y Lagos. De acuerdo a lo reportado por el INIA (2009) (Tabla 4.110), de los 1.500 millones de litros recepcionados por las plantas lecheras durante ese año, el 72 % se produjo en estas regiones, siendo la comuna de Los Lagos quien presenta una importante actividad agroindustrial, situándola casi al mismo nivel de las comunas ganaderas por excelencia (Osorno).

Tabla 4.110. Explotaciones agropecuarias (Fuente: INIA, Valdivia).

COMUNAS	GANADO BOVINO (Nº CABEZAS)	NÚMERO DE EXPLOTACIONES	VACAS (Nº CABEZAS)	VACAS LECHERAS (Nº CABEZAS)
VILLARRICA	36.000	1.559	14.700	1900
PANGUIPULLI	49.000	2.000	18.900	5.900
LOS LAGOS	70.000	838	29.100	15.900

Otro rubro importante desarrollado que aporta a la alimentación corresponde a la piscicultura y la pesca artesanal. Para la piscicultura, las principales empresas asociadas a este rubro se emplazan en la comuna de Panguipulli (Tabla 4.111), en los lagos Neltume y Panguipulli. Si bien en la actualidad no hay mayor antecedentes, se puede dar cuenta que los altos niveles de producción y retornos económicos generados por este tipo de industria desde el año 1991 en estas localidades, registraba 33 mil toneladas de producción (US\$ 159 millones por concepto de exportaciones), superando en el año 2006 las 387 mil toneladas (más de US\$ 2.200 millones en exportaciones), lo que ocasionó la continua acumulación de materia orgánica en la columna de agua y fondos de los ecosistemas receptores (McGhie et al., 2000), lo cual va en desmedro de los servicios de regulación hídrica, particularmente el de depuración del agua, servicio que manera natural proporciona

este tipo de ecosistemas y que se refleja en la calidad del agua. Para el caso de la pesca artesanal, y de acuerdo a las entrevistas realizadas podemos mencionar que esta práctica corresponde a una actividad informal de tipo recreativo o de subsistencia. No existiendo datos duros que nos permitan cuantificar y establecer tendencias en esta temática, existiendo un desconocimiento importante en relación a la actividad de este servicio.

Tabla 4.111. Pisciculturas presentes en el socio ecosistema 1 (Fuente: SEA, 2016)

COMUNA	LAGO	NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA
PANGUIPULLI	Neltume	Piscicultura Liquiñe	Río Reyehueico
PANGUIPULLI	Neltume	Piscicultura Río Paimún	
PANGUIPULLI	Panguipulli	Piscicultura Río Niltre	Río Niltre
PANGUIPULLI	Panguipulli	Piscicultura Pullinque	Río Huenehue
PANGUIPULLI	Panguipulli	Piscicultura Llallalca	Río Fui
PANGUIPULLI	Panguipulli	Centro de cultivo de salmónidos Traiguén.	Estero s/n afluente Laguna Pullinque.

- **Materias de origen biológico**

Por otro lado, los lagos y sus áreas adyacentes, son importantes fuentes de *materias primas de origen biológico* que proporcionan recursos genéticos dados por las áreas adyacentes; en este aspecto resulta de gran interés el sentido maderero desarrollado a nivel regional, el cual es evaluado de acuerdo a la producción de astillas (INFOR 2014); considerando el período 2007-2013, evidenciando en promedio una producción anual de 629 m³, tendencia que se ha mantenido estable en tiempo (Figura 4.157), a pesar de las fluctuaciones presentadas el año 2010. Sin embargo, se conserva la estabilidad de este servicio.

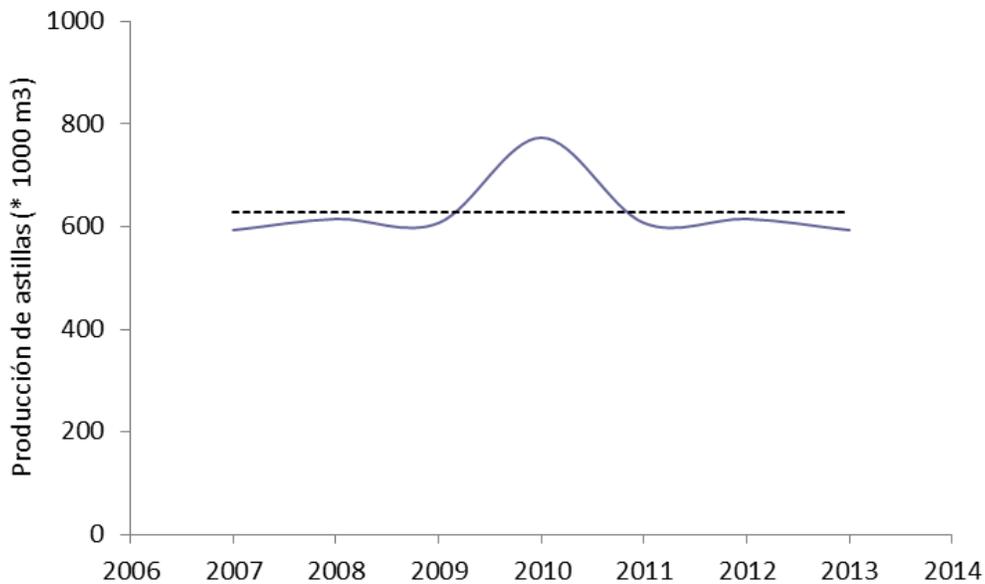


Figura 4.157. Tendencia de la producción de astillas en la región de Los Ríos

El desarrollo maderero para las comunas del socio ecosistema en estudio, tiene su auge entre la década de los 40´ y 60´, resurgiendo en Panguipulli en los años 70, atravesando conflictos políticos que llevaron al establecimiento de 7 empresas forestales localizadas en Panguipulli y en las localidades de Neltume y Choshuenco, caracterizando la explotación y astillado de madera nativa e introducida para producción nacional y exportación (Tabla 4.112).

Tabla 4.112. Industrias forestales en Panguipulli (Fuente: Diagnóstico del capital territorial de Panguipulli, 2007).

EMPRESA	UBICACIÓN
Industria y Maderas Panguipulli	Fundo Neltume
Forestal Neltume Carranco	Neltume
Compañía Forestal y Maderas S.A	Neltume
Forestal Sociedad Ganadera y Forestal	Fundo Chancán, Choshuenco
Maderas de exportación Ltda.	Panguipulli rural
Agrícola y Forestal Bagaro Ltda.	Panguipulli rural
Forestal Rucapequén S.A	Panguipulli

Finalmente, *el acervo genético* presente en la zona habla de un alto nivel de endemismo, ya que particularmente la comuna de Panguipulli forma parte de la red mundial de reservas de la Biósfera, destacando especies autóctonas de aves concón (*Strix ruffipes*), y el carpintero negro (*Campephilus magellanicus*) calificadas como especies inadecuadamente conocidas y en categoría vulnerable en la lista roja de vertebrados de Chile respectivamente (Glade, 1987) y cuyos hábitat se relacionan con la flora nativa. En relación a la flora la vegetación predominante corresponde a bosques nativos adultos densos, los tipos forestales que es posible encontrar aún en las comunas corresponden a Coihue-Raulí-Tepa (46,3%), Roble-Raulí-Coihue (24,5%), Lenga (22,7%), Araucaria (4,7%) y Siempreverde (1,8), los cuales albergan diversas especies de flora y fauna con problemas de conservación (Agenda 21, 2004).

- **Materias primas de origen abiótico**

En relación a las *materias primas de origen abiótico*, la extracción de áridos desde las riberas de ríos y lagos es una de las actividades más recurrentes. En este sentido, desde el año 2002 a la fecha se reconoce la presencia de 3 proyectos de extracción de áridos mayormente ubicados en la comuna de Los Lagos, y que de acuerdo a la reglamentación ambiental vigente extraen un volumen anual cercano al millón de m³ (Tabla 4.113). Sin embargo, de acuerdo a las entrevistas realizadas, hay preocupación por aquellas empresas que de manera informal están alterando y modificando el hábitat, no cuantificando su extracción. Debido a que no es posible mantener una fiscalización permanente.

Tabla 4.113. Empresas que extraen áridos en el socio ecosistema 1. Fuente: Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2016)

NOMBRE	COMUNA	VOLUMEN EXTRACCIÓN
Extracción áridos para ser incorporados en el mejoramiento de la ruta T-35	Los Lagos	611.426 m ³
Aumento extracción áridos Pozo El Pastor	Los Lagos	100.000 m ³
Áridos en tres sectores de borde de río Calle-Calle	Los Lagos/Valdivia	400.000 m ³

4.8.2.2 Servicios de regulación

- Regulación hídrica

Si bien los lagos en estudio en la actualidad no presentan descargas directas, si llegan infiltraciones de aguas utilizadas en la salmonicultura y de aguas servidas provenientes de sectores aledaños que no cuentan con plantas de tratamiento (**e.g** Lago Calafquén). Dicha adición de nutrientes a los cuerpos acuáticos ha sido reconocida internacionalmente como una de las causas de desbalance de los procesos productivos internos y el origen de los cambios en el estado trófico de los cuerpos de agua afectados (Costa-Pierce & Soemarwoto, 1990; Costa-Pierce, 1996), de modo que el servicio de depuración del agua es el que generalmente se encuentra más degradado.

En este sentido, las mediciones de algunos parámetros físico-químicos (**e.g** nutrientes), han permitido elaborar diversos diagnósticos, señalando que en la mayoría de los lagos el fósforo presenta fluctuaciones temporales (Figura 4.158a-d), las cuales tienden a aumentar en la mayoría de los lagos, al igual que el nitrógeno total en los lagos Riñihue y Calafquén, mientras que en Panguipulli y Neltume disminuyen. Estos cambios pueden estar asociados a los cambios de uso de suelo en las respectivas cuencas, siendo progresivo el reemplazo de bosque nativo hacia suelos con usos agrícolas, forestales y turísticos.

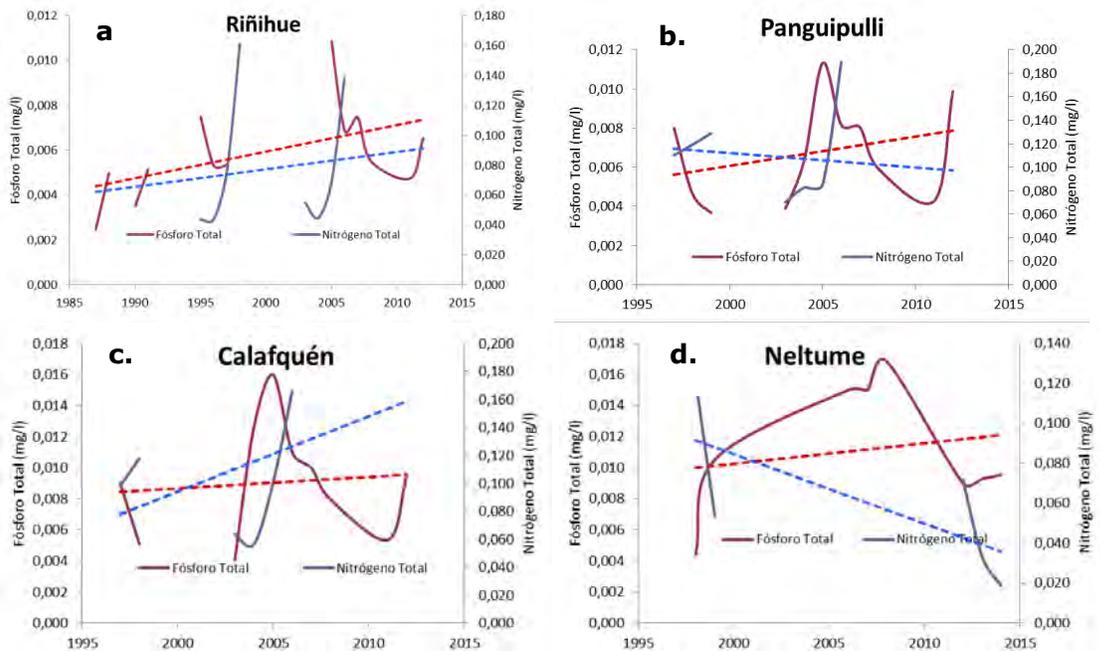


Figura 4.158a. Tendencia nutrientes Lago Riñihue b. Lago Panguipulli c. Lago Calafquén d. Lago Neltume.

- **Regulación climática**

En cuanto a la **regulación climática**, las comunas de este socio ecosistema se caracterizan por presentar un clima templado lluvioso con influencia mediterránea. No obstante, en toda la región se puede evidenciar con claridad, una serie de variaciones climáticas originadas por el efecto del relieve, alcanzando en la comuna de Panguipulli temperaturas medias anuales de 11°C (estaciones Lago Calafquén, Coñaripe, Pirehueico) con precipitaciones durante la mayor parte del año, concentrándose en los meses invernales (entre mayo y agosto) con rangos entre 567 y 623 mm al mes (Pladeco Panguipulli). Es importante también señalar que el alto porcentaje de Bosque Nativo que presentan las comunas, contribuye a la regulación climática, actuando como sumidero de CO₂, sin embargo, no hay datos que puedan cuantificar dicha importancia.

- **Regulación morfosedimentaria**

De acuerdo a lo anterior, y considerando que las comunas en cuestión poseen en su mayoría suelos aptos para cultivos agrícolas (Clase III) y para desarrollo de praderas naturales y artificiales (IV a VI); la se da en términos de calidad de suelo, los cuales advierten suelos de alta calidad (II y III) para uso forestal y ganadero. Reconociendo la tenencia de extensos predios, la mayor parte de estos localizados en los bordes de ríos y lagos, situación que ha

ido en desmedro de otros servicios ecosistémicos que guardan relación con actividades recreativas (*e.g* acceso a playas, GORE 2008).

En este sentido, la calidad de los suelos, la presencia de volcanes con actividad permanente (Volcán Mocho-Choshuenco, Villarrica y Quetrupillán) y los riesgos naturales asociados a estos (*e.g* caída de tefra, actividad sísmica, flujos de lava, proyección de piroclastos, escurrimientos de lavas), nos permiten tener una idea de cómo se **regulan las perturbaciones naturales** en estas zonas, donde la mayor parte del tiempo son los ecosistemas hídricos lo que se ven perjudicados, aumentando la crecida de ríos y esteros; efectos que se agudizan debido a la planificación actual del territorio, las que acentúan el riesgo.

4.8.2.3 Servicios culturales

En las comunas evaluadas existe un gran potencial para el desarrollo de servicios ecosistémicos culturales, principalmente de oportunidades de recreación e interés turístico basados en los atractivos naturales como son los lagos, volcanes, termas, bosques nativos, y en sus recursos culturales e históricos que cada una de las comunas presenta.

- **Paisaje como servicio estético**

La importancia del Paisaje, sitúa a las localidades de Villarrica, Panguipulli y Los Lagos en atractivos naturales con un potencial turístico importante, que las han posicionado tanto a nivel nacional e internacional como un importante destino turístico que aún no ha sido lo suficientemente explotado ni evaluado, principalmente en la comuna de Los Lagos, la cual carece de infraestructura y de empresas especializadas en el rubro. Si bien, los espejos de agua potencian la asistencia de turistas en época estival, también el patrimonio histórico-cultural de estas zonas resulta interesante de visitar no solo para el deleite comunal, sino para proyectar una parte del pasado a los visitantes.

En este sentido, la comuna de Villarrica y Los Lagos en términos de marketing se ha visto desplazada por la comuna de Panguipulli, la cual es reconocida como zona de interés turístico (ZOIT 2012), orientando el desarrollo de los servicios que potencian a las localidades que comprende dicha comuna, constituyendo además la principal puerta de **entrada al destino turístico "Siete Lagos", que considera los** lagos Panguipulli, Pirehueico, Neltume, Calafquén, Riñihue, Pullinque y Pellaifa; las lagunas Kai Ken, Quilmo, Lafit, Lipinza y los ríos Fuy y Enco entre otros. Que cuenta además con importantes recursos turísticos históricos-culturales (*e.g* artesanía y orfebrería mapuche) que relevan el patrimonio histórico-arquitectónico ligado a la colonización europea y tradiciones gastronómicas.

En la actualidad, estas áreas cuentan con aproximadamente el 40% de su superficie bajo un sistema de protección público o privado, destacando el Parque Nacional Villarrica (Figura 4.159) y la Reserva Nacional Mocho-Choshuenco y el Parque Nacional Alerce Andino bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), además de la Reserva Biológica Huilo-Huilo (Figura 4.160) una de las áreas protegidas privadas más grandes del

sur de Chile que además desarrolla actividades de artesanía local asociada, el predio San Pablo de Tregua de la Universidad Austral de Chile (FORECOS, 2007), el predio Pellaifa, Parque Linoico y la Parcela El Rincón, entre otros.



Figura 4.159. Parque Nacional Villarrica

Figura 4.160. Fundación Huilo-Huilo

Una de las formas de cuantificar la preferencia por el valor del paisaje, es el registro del número de visitantes a estas áreas protegidas, lo que de acuerdo a los registros del INE (2015) para la región de Los Ríos denota un aumento significativo en la tendencia del número de personas que tienen esta preferencia (Figura 4.161), haciendo visible que los servicios culturales exigidos por las poblaciones urbanas van en aumento.

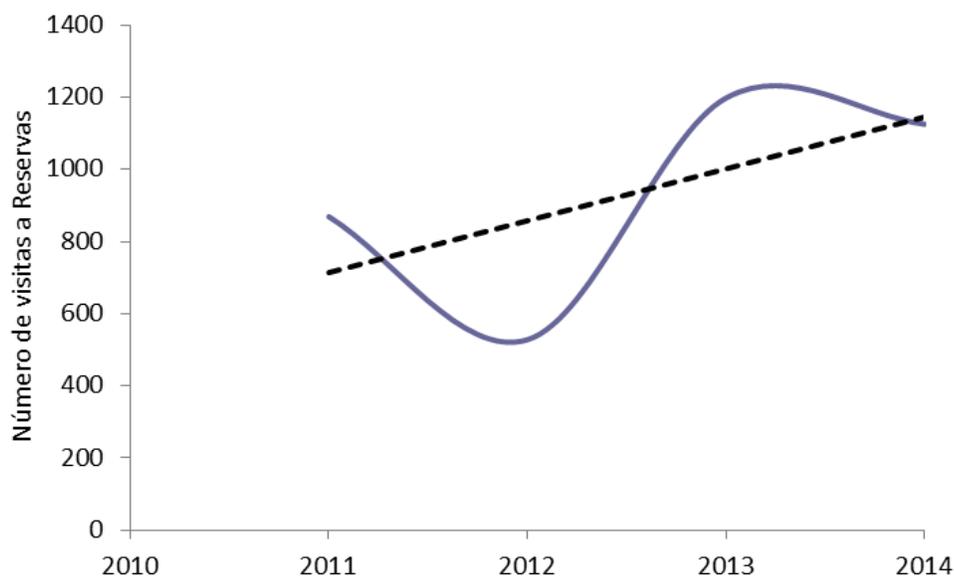


Figura 4.161. Tendencia del número de visitas a Reservas Nacionales de la región de Los Ríos

- **Actividades recreativas y ecoturismo**

Estas actividades también se desarrollan en torno a los recursos naturales existentes, lo cual mueve un importante flujo turístico durante todo el año, acentuándose en época estival donde los Municipios organizan múltiples actividades que involucran tanto a la comunidad local como a los visitantes (Tabla 4.114-Tabla 4.115).

Tabla 4.114. Principales actividades recreativas de las comunas en estudio (Fuente: Programa Eco Región Agenda Local 21 y Municipios).

COMUNA	ACTIVIDADES
VILLARRICA	Orquesta Municipal, Talleres culturales, Muestras audiovisuales, We Tripantu, Ferias, Tuwum (muestra cine indígena)
PANGUIPULLI	Cabildos culturales, Festividad de la madera (Neltume), Feria Artesanal Regle Lafken, Muestras campesinas de Coñaripe y Panguipulli, We Tripantu, Campeonatos de Pesca y kayak
LOS LAGOS	Semana de la Cultura, Semana Laguina, Encuentro Folklórico, We Tripantu, Campeonatos de Pesca y Kayak

De acuerdo a un trabajo de percepción desarrollado por FORECOS (2007) se constata que las principales actividades realizadas por los turistas en Panguipulli corresponden a: Actividades de Pesca (15,8%) desarrolladas principalmente en los lagos Panguipulli, Calafquén y en los ríos Enco y San Pedro, visitas a las termas (11,7% de preferencias), Excursiones fluviales (6,3%), degustación de comidas típicas (6,3%) y visitas a volcanes (6,3%). Mientras que los principales atractivos turísticos visitados por los huéspedes de los establecimientos turísticos fueron los lagos de la comuna (26% de las preferencias), los saltos de Huilo Huilo (14,3%), y el transbordador Hua Hum (13,1%).

Tabla 4.115. Atractivos y actividades de interés recreativo para el socio ecosistema 1.

ATRACTIVO	CLASIFICACIÓN
Lago Riñihue	Sitio Natural, ubicado en el sector precordillerano, lago apto para natación, desarrollo de actividades náuticas recreativas y pesca.
Río San Pedro	Sitio Natural, recorre prácticamente toda la comuna, apto para canotaje y pesca.
Río Quinchilca	Sitio Natural, al noroeste de la ciudad de Los Lagos, afluente del río San Pedro, desarrollo de pesca deportiva.
Río Enco	Sitio Natural, desagüe natural del lago Panguipulli Apto para pesca deportiva, fotografía, descenso en balsa y avistamiento de aves
Reserva Nacional Mocho-Choshuenco	Sitio Natural, abarca parte de las comunas de Panguipulli, Futrono y Los Lagos
Playa Lago Riñihue	Sitio natural con instalaciones para picnic, es posible realizar fotografía, además es apta para el baño y caminatas.
Desagüe del Lago Riñihue	Sitio ya no apto para actividades de pesca deportiva, por desarrollo inmobiliario.
Iglesia Quinchilca	Folclórica, a 8 km de los Lagos declarada Monumento Nacional, en febrero se celebra la fiesta de la Candelaria.
Parroquia Todos Los Santos	Folclórica, ubicada en el radio de Los Lagos,
Plaza de Armas	Manifestación cultural, antiguamente ocupado por el ferrocarril trasandino- Los Andes
Capilla Santuario de San Sebastián	Folclórica, desarrollo de manifestaciones religiosas
Fiesta de la candelaria	Fiesta religiosa que se realiza la primera semana de febrero en la Iglesia de Quinchilca
Año Nuevo Mapuche	Acontecimiento programado, se realiza en el sector de Quilquilco, donde se encuentra la comunidad mapuche de 70 familias, actividad abierta.

Por otro lado, la comuna de Panguipulli bajo el lema "Destino Siete Lagos", trata de sustentar el flujo turístico de la zona, con una oferta de hospedajes y camping importante, que de acuerdo a la información proporcionada por la municipalidad de Panguipulli (2016) reconoce 13 cabañas, 2 hoteles, 6 hospedajes y 37 zonas de camping; 10 de ellos ubicados en la comuna de Panguipulli, 13 en Coñaripe, 7 en la localidad de Pucura, 3 en Liquiñe y Neltume y 1 en Choshuenco. Evidenciando que el flujo turístico está asociado mayoritariamente al circuito termal (Tabla 4.116) de las localidades de Liquiñe - Coñaripe

- Panguipulli “Ruta de la salud” (Figura 4.162-Figura 4.165). No obstante, en época estival esta oferta se ve ampliamente superada, existiendo un desarrollo informal importante de la actividad.



Figura 4.162. Termas El Rincón. Localidad de Coñaripe



Figura 4.163. Localidad de Panguipulli



Figura 4.164. Localidad de Choshuenco



Figura 4.165. Localidad de Neltume

Tabla 4.116. Aguas termales en Panguipulli (Fuente: Departamento de Turismo, Municipalidad de Panguipulli, 2016).

TERMAS	LOCALIDAD
Termas Río Liquiñe	Liquiñe
Termas de Don Hipólito Muñoz	Liquiñe
Termas de Punulaf	Liquiñe
Termas de Manquecura	Liquiñe
Termas de Trafipan	Liquiñe
Termas de Coñaripe	Liquiñe
Termas Carranco	Liquiñe
Termas Eco-Pellaifa	Liquiñe
Termas Geométricas	Coñaripe
Termas Vergara	Coñaripe
Termas Trayenco	Liquiñe
Termas El Rincón	Coñaripe
Termas Armada	Liquiñe

- **Identidad cultural**

La *identidad cultural* arraigada en comunas se caracteriza por los altos índices de ruralidad y población indígena (Tabla 4.117). Es así como en la comuna de Villarrica la población total es de 45.531 habitantes, la población indígena corresponde a un 9,7% de la población total, agrupándose en 89 comunidades y 35 asociaciones indígenas las cuales reciben un importante apoyo en el rescate cultural (INE 2002). Para la comuna de Panguipulli, la población total asciende a 33.273 habitantes (Censo 2002), de los cuales el 31,9% corresponde a población indígena (17.094), albergando al 42% de la población mapuche regional (148 comunidades, Agenda Local 21, 2004). Finalmente la comuna de Los Lagos acoge a 20.117 habitantes, donde 2.164 personas reconocen ser de etnia mapuche.

Tabla 4.117. Antecedentes demográficos de las comunas del socio ecosistema 1. (CENSO 2002).

COMUNA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN TOTAL
VILLARRICA	14.672	30.859	45.531
PANGUIPULLI	17.385	15.888	33.273
LOS LAGOS	10.689	9.479	20.117

Del mismo modo, esta identidad se traduce de acuerdo a las particularidades del territorio, donde la artesanía y mueblería constituyen un elemento cultural importante. La elaboración de productos en madera es potenciado en las ferias tradicionales y muestras costumbristas

que se desarrollan a lo largo de toda la región. Se destaca el trabajo en madera (Panguipulli, Villarrica, Neltume), textilera mapuche (Panguipulli, Los Lagos), cestería en ñocho (Miriquiná, Lanco entre otros).



Figura 4.166. Trabajos en textilera. Comuna de Los Lagos.



Figura 4.167. Trabajos en madera. Localidad de Antilhue.

La historia cultural tras estos elementos de identidad genera un impacto en el desarrollo social y económico de cada comuna, lo cual se vio relevado con la construcción y llegada del ferrocarril, lo que favoreció el progreso, la comercialización de productos y la generación de nuevos mercados. Es así que la fisonomía e historia de muchas de las comunas de la región (Valdivia, Los Lagos, Paillaco, Máfil y Lanco) se encuentran estrechamente vinculadas a la imagen del tren. La comuna de Los Lagos organizó su centro histórico en torno a las vías del tren y hasta la fecha mantiene casi intacto en el sector de Antilhue su vieja estación y el resto de estructuras asociadas a este (Figura 4.166-Figura 4.167). En Máfil, por su parte, se destacan las estaciones, bodegas y puentes como un patrimonio comunal significativo. En Paillaco se vincula el origen de la comuna a la generación de pequeños mercados, que ofrecían servicios a los usuarios del tren. Por último, en Panguipulli se destaca el ramal Panguipulli-Lanco, fundamental para el auge de su explotación maderera, actividad que ha sido puesta en valor por la comunidad a través de la iniciativa de crear un museo de la memoria en Neltume (Figura 4.168-Figura 4.169).



Figura 4.168. Ruta del vapor, Antilhue.



Figura 4.169. Estación de trenes Antilhue.



Figura 4.170. Localidad de Neltume.



Figura 4.171. Museo de la Memoria. Localidad de Neltume.



Figura 4.172. Plaza de Panguipulli que destaca la pendiente, piedra volcánica y arquitectura inclusiva.



Figura 4.173. Paradero elaborado en madera nativa y piedra volcánica.

Otro aspecto relevante de la identidad cultural y el paisaje guarda relación con los caracteres orgénicos que moldean el paisaje, como las glaciaciones y erupciones volcánicas, los cuales han sido rescatadas (comuna de Panguipulli) formando parte de la

estructura urbana (Figura 4.172), siguiendo la morfología natural y adaptando ciertos elementos (piedras volcánicas, Figura 4.173).

Si bien ya se ha mencionado aspectos de identidad fuertemente arraigados a la etnia y el paisaje, otros elementos de **identidad cultural** importante, es la riqueza lingüística (toponimias) que otorgan los rasgos del paisaje local y que reconstruyen los imaginarios territoriales (Región verde 2016), describiendo las condiciones y cualidades de cada uno de los lugares que comprende la región. En la **Tabla 4.118** se dan a conocer algunos ejemplos de toponimia entre el Lago Riñihue y la localidad de Valdivia.

En este mismo sentido, se reconoce a la población mayor a 60 años como un indicador del traspaso de identidad cultural y sentido de pertenencia a las futuras generaciones, ya que son estas poblaciones las que por medio de diálogos e historias reconstruyen la identidad local. De las comunas estudiadas, la localidad de Panguipulli es la que más contribuye a este servicio, registrando el 12,6% de población mayor a 60 años (4188 personas), seguida de la comuna de Villarrica con 5348 adultos mayores (11,7%) y Los Lagos con 2366 personas que representan el 11,3% de la población total. Evidenciando que esta última corresponde a una comuna joven donde más de la mitad de sus habitantes poseen menos de 30 años (SNAM 2003).

Tabla 4.118. Toponimias asociadas a las áreas de estudio.

LOCALIDAD	SIGNIFICADO
Antilhue	Referencia al sol
Collileufú	Río Colorado
Choshuenco	Lugar de aguas amarillas
Malihue	Lugar inundado
Riñihue	Lugar de colihues
Pishuinco	Sanguijuela
Panguipulli	Lugares altos
Pupunahue	Lugar de bajadas
Tralcán	Truenos
Neltume	Lugar libre
Calafquén	El otro lago
Pirehueico	Mancha de nieve
Ñancul	Águila pequeña

- **Disfrute espiritual y religioso**

En relación al **disfrute espiritual y religioso**, las áreas en estudio representan lugares con una gran riqueza para las comunidades indígenas principalmente de la etnia mapuche quienes desarrollan actividades en torno a los cuerpos de agua (**Tabla 4.119**). De acuerdo al diagnóstico del Patrimonio Cultural de la región de Los Ríos (MOP 2010) sujeto a la connotación cultural del secreto, el número de manifestaciones con esta connotación

identificados llega a 79, de los cuales la mayoría (53%) son ceremoniales, 39% funerarios, 5% habitacionales y 3% educativos.

Particularmente el lago Neltume, representa el asentamiento de 4 Comunidades Mapuches (Comunidad Juan Quintuman, Comunidad Inalafken, Comunidad Valeriano Callicul, Comunidad Colotúe,) las cuales conservan aspectos fundamentales de la cultura del pueblo mapuche, como el uso del mapudungun; la vigencia de su estructura espiritual de Ñempin, Pillantufe, Sargento, Conas; su religiosidad ancestral, expresada en actividades que realizan periódicamente en la Pampa Sagrada en la ribera sur del Lago Neltume, en donde participan las comunidades vecinas y ribereñas. Lo cual lo constituye un territorio prioritario para la conservación y el desarrollo sustentable, considerándose como áreas de desarrollo indígena.

Tabla 4.119. Celebraciones tradicionales locales

CELEBRACIÓN	DESCRIPCIÓN
Lepún / Nguillatún	Principal ceremonia religiosa cultural del pueblo mapuche, en donde se manifiesta en forma plena la cosmovisión del pueblo mapuche. Se realiza en las comunas de Lanco, Panguipulli y Lago Ranco, en estas últimas cobran el nombre de Lepún.
Wetripantu	Año nuevo Mapuche, término del año viejo y comienzo de un nuevo ciclo, el cual está determinado por la posición de la luna. Se realiza en las comunas de Panguipulli, Lanco, Los Lagos, Máfil y Lago Ranco.
Machitún	Rito de sanación en donde confluyen factores sicosomáticos que determinan la causa y/o tratamiento de una enfermedad. El ritual es asumido por una Machi o un Chamán. Se realiza en las comunas de Lanco y Panguipulli.
Eluwun	Ceremonia que antecede a la sepultación de un difunto. Se realiza en las afueras del domicilio del difunto.
Fiestas religiosas	Se realiza en todas las comunas de la región. Las más importantes son San Sebastián, La candelaria.

- **Conocimiento ecológico**

Del mismo modo, el **conocimiento ecológico** está ligado al generado en torno a los recursos que sustentan los ecosistemas. Al corresponder a una zona con un nivel cultural arraigado (medido en el porcentaje de población indígena), la utilización de plantas naturales con cualidades terapéuticas corresponde a una actividad característica. La etnobotánica se define como el conocimiento botánico de las plantas por las comunidades indígenas y comprende una estrecha relación entre las plantas y las personas que las utilizan. La etnomedicina, por su parte, comprende el uso de productos como medicamentos y que están derivados de plantas, animales y minerales. Esto ha llevado en las últimas décadas a la industria farmacéutica y/o cosmética a avanzar junto con la investigación y la

tecnología, para lograr un vínculo entre este conocimiento y el desarrollo urbano. Según la medicina mapuche, existen cuatro tipos de hierbas curativas: "*Weychafeke Lawen*" (plantas fuertes), las "*füşkulawen*" (plantas suaves), "*rekelawen*" (plantas nativas de usos comunes pero difíciles de obtener) y las "*rukakelawen*" (de uso común). En el Lago Neltume, encontramos al menos 29 especies de plantas (Tabla 4.120), estas especies tienen directa relación con las aguas.

Tabla 4.120. Especies de plantas medicinales de uso frecuente en la comunidad Inalafken (Humedal Lago Neltume)

NOMBRE	UBICACIÓN	USO	TRATAMIENTO
Vichico	Humedal Lago Neltume	Agua de la planta para limpiar Hoja machacada como cicatrizante	Heridas infectadas y quebraduras
Canelo	Humedal Lago Neltume	Hoja machacada para masajes Antiinflamatorio	Stress, inflamaciones
Arrayán	Humedal Lago Neltume	Los brotes se muelen y se obtienen gotas	Fortalecer la visión en el recién nacido
Ralfún	Humedal Lago Neltume	Hojas machacadas en compresa Infusión de las semillas	Hernias en recién nacidos Problemas de visión
Limpiaplata	Humedal Lago Neltume	Infusión de la flor y la raíz	Problemas de riñones, sangre y piel
Menta blanca	Humedal Lago Neltume	Infusión de la hoja	Problemas intestinales
Avellano	Humedal Lago Neltume	Infusión de la corteza	Afecciones pulmonares
Matico	Humedal Lago Neltume	Infusión de la hoja	Cicatrizante
Siete camisas	Humedal Lago Neltume	Infusión de la planta	Hemorragias Desgarros musculares
Quilloy quilloy	Humedal Lago Neltume	Infusiones	Fiebre Inflamaciones respiratorias
Radal	Humedal Lago Neltume	Infusiones	Fiebre Afecciones respiratorias Antiinflamatorio

Asociado al bosque nativo también hay un uso de productos forestales no maderables que son utilizados como alimentos de temporada. En tiempos de brotes es característico consumir digüeñe (hongo), nalca (tallo silvestre), hierbas del campo (yuyo, romaza, cardo). En tiempos de cosecha se recolectan frutos silvestres como los chupones del bosque,

zarzaparrilla, michay, maqui y avellanas. Mientras que en tiempos de rastrojo los alimentos característicos son brotes de quila, changles, gargales y murta (Sepúlveda 2005).

- **Conocimiento científico**

Por otro lado, el **Cocimiento científico** generado en torno a los ecosistemas estudiados, es de gran importancia como base para la educación y la toma de decisiones sobre el medioambiente (Castillo y González, 2009).

De acuerdo a la información obtenida desde SCOPUS **data base** para los cinco lagos que forman parte de este socio ecosistema y utilizando los elementos de búsqueda "**Calafquén lake**", "**Neltume lake**", "**Pirehueico lake**", "**Panguipulli lake**" y "**Riñihue lake**", logramos recopilar 48 artículos científicos (Tabla 4.121). El lago con mayor número de estudios es el Lago Calafquén que de acuerdo a la temporalidad evaluada 1977-2015) mantiene una tendencia estable en la cantidad de artículos generados (Figura 4.174). Así mismo, el lago Riñihue desde el año 1977 a la fecha presenta un número considerable de estudios (14), observando un leve aumento en la tendencia del número de publicaciones durante el año 2012 (Figura 4.175). Lo mismo ocurre para el lago Panguipulli (Figura 4.176) observando una tendencia positiva en la generación de conocimiento científico. Finalmente los lagos menos estudiados corresponden al lago Pirehueico (Figura 4.177) con escasa representación en revistas científicas y el lago Neltume comenzando sólo desde el año 2015 a generar información. Sin embargo, a pesar de la información existente y del potencial de conocimiento generado, aún hay desacuerdo sobre el grado de aplicabilidad de las ciencias en la gestión ambiental y la resolución de problemas socioambientales en las comunas.

Tabla 4.121. Número de artículos científicos, relacionados a los lagos pertenecientes al socio ecosistema 1.

LAGO	Nº ARTÍCULOS	TEMÁTICA	AFILIACIÓN
Calafquén	17	Inmunología, Microbiología y Ciencias de la Tierra	Universidad Austral (11), Universidad de Concepción (3)
Neltume	2	Ciencias de la Tierra	Universidad de Oxford (2), Universiteit Gent (2)
Pirehueico	2	Ciencias Agrícolas y Biológicas	Universidad Austral (1) University of Oxford (1)
Panguipulli	13	Parasitología, Medicina Veterinaria	Universidad Austral (7)
Riñihue	14	Hidrobiología, Parasitología	Universidad Austral (10), Universidad de Concepción (4)

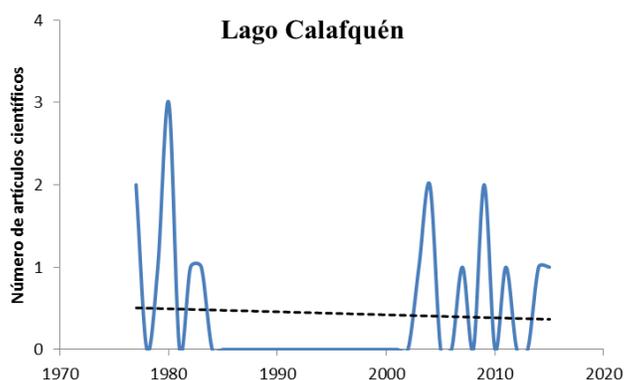


Figura 4.174. Tendencia conocimiento científico Lago Calafquén

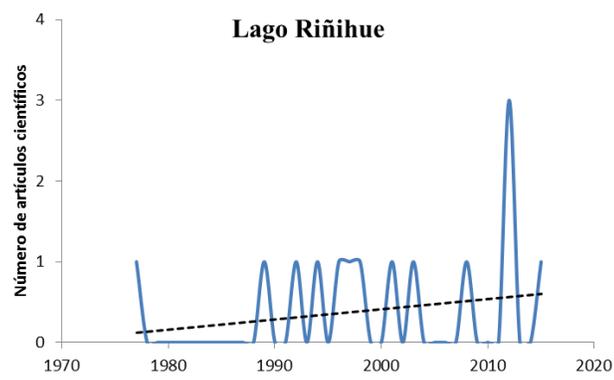


Figura 4.175. Tendencia conocimiento científico Lago Riñihue

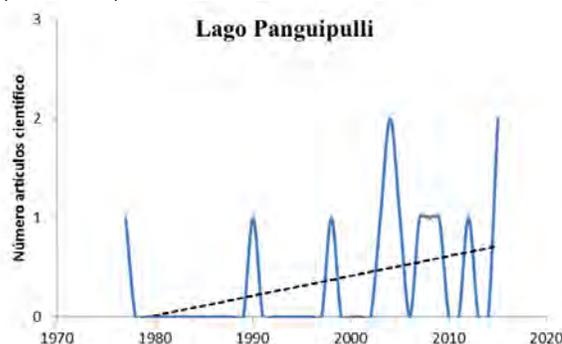


Figura 4.176. Tendencia conocimiento científico Lago Panguipulli

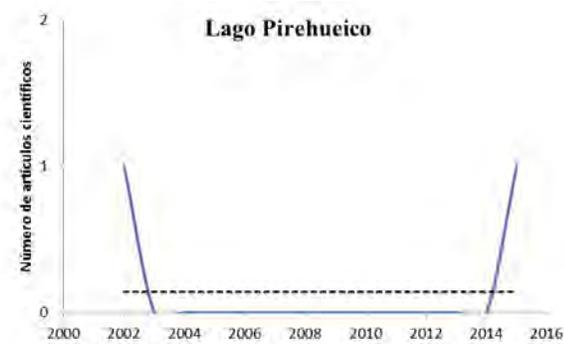


Figura 4.177. Tendencia conocimiento científico Lago Pirehueico

- Educación ambiental

En cuanto a este servicio, se aprecia que los municipios tratan de comprometerse, generar e implementar medidas y/o acciones para proteger el entorno, asumiendo para esto, facultades en relación a la protección y preservación de flora y fauna, difusión de la existencia y valor patrimonial, entre otros.

De esta manera los distintos municipios, por medio de los departamentos encargados de la temática ambiental buscan desarrollar actividades que se orienten a este objetivo. La comuna de Villarrica enfoca su educación ambiental en los habitantes y turistas que comparten diversas áreas de interés, sobre todo en lo que respecta a los micro basurales que se generan en época estival. Una de las prioridades de esta comuna es instalar una planta de tratamiento en la localidad de Licanray para regular las aguas servidas que de alguna manera llegan al lago Calafquén. En este sentido, se hace necesario también controlar el uso habitacional a orillas del mismo lago.

Por otro lado, la comuna de Panguipulli incentiva y asesora a los colegios y a la comunidad en planes educativos en torno a la apreciación del paisaje natural, durante el año 2013 esta comuna lideró el número de Fondos de Protección Ambiental con temáticas preocupadas del reciclaje y de la incursión en el mundo científico y conservación. Actualmente, la iniciativa apunta a una educación ambiental intercultural generando conciencia de la **importancia del bosque nativo, implementando la iniciativa de “Bosque Modelo Panguipulli”** que viene a reforzar en los niños el conocimiento y la valoración de las funciones que cumple el bosque nativo, como hábitat para la biodiversidad del territorio, como proveedor de bienes y servicios para la sociedad y el significado cultural que tiene para la comunidad local.

Finalmente la comuna de Los Lagos, mantiene una constante preocupación tratando de desarrollar y posicionar el área de conservación como un nicho con múltiples potencialidades, integrando la protección del patrimonio natural al desarrollo sustentable, en un territorio con un alto valor de conservación (Proyecto GEF SIRAP). Sin embargo, también se realizan actividades con establecimientos educacionales recuperando humedales urbanos, apostando por asignar un valor social, con la finalidad de que entiendan lo importante que es una reserva de agua. También se trabaja el tema de calidad del aire, cambio climático, compostaje y eliminación de residuos. Este último materializado en la eliminación gradual de las bolsas de plástico en los supermercados, esfuerzo conjunto alcanzado entre los municipios de Panguipulli, Los Lagos y Futrono.

En general, se está tratando de abordar la mayor cantidad de temáticas, de acuerdo al personal humano. Sin embargo, se reconoce la necesidad de capacitación por parte de los profesionales, no sólo para obtener conocimientos básicos, sino para divulgar el conocimiento a los diversos receptores identificados.

4.8.3 Caracterización Socio ecosistema 2: Puyehue

Este socio ecosistema comprende las comunas de Río Bueno y Entre Lagos (Puyehue), las cuales tienen injerencia sobre el lago Puyehue (Tabla 4.122).

4.8.3.1 Servicios de provisión

- Recurso agua

De acuerdo al **abastecimiento de agua**, el Lago Puyehue solo registra tres derechos de agua otorgados (DGA 2016) para uso de pisciculturas, con un volumen de extracción anual promedio de 2700 lt/s. Mientras que el suministro de agua para consumo humano, en las comunas de Río Bueno y Puyehue es a través de sistemas de Agua Potable Rural (APR); registrando 13 y 1 sistema respectivamente (Tabla 4.122). Sin embargo, al igual como ocurre en el ecosistema 1, las autoridades reconocen que han tenido que recurrir a los camiones aljibe para abastecer algunas zonas rurales.

Tabla 4.122. Sistema de Agua Potable Rural (APR) en las comunas del socio ecosistema 2 (Fuente: MOP 2014).

COMUNA	NOMBRE APR	AÑO PUESTA EN MARCHA	NÚMERO DE ARRANQUES	POBLACIÓN ABASTECIDA
Puyehue	Pilmaiquén	1979	250	1000
Puyehue	Entre Lagos	1979	1619	6476
Puyehue	Pajaritos	1987	28	112
Puyehue	Desague Rupanco	2004	90	360
Río Bueno	Vivanco	1979	71	247
Río Bueno	Crucero Río Bueno	1979	183	637
Río Bueno	Cayurruca	1985	136	474
Río Bueno	Trapi	1992	153	533
Río Bueno	Maltihue	1996	171	595
Río Bueno	Nolgehue	2001	80	279
Río Bueno	Litrán	2001	108	376
Río Bueno	Futahuente	2002	66	230
Río Bueno	Cuncun	2002	65	226
Río Bueno	Carimallín	2003	153	533
Río Bueno	Champulli	2003	61	212
Río Bueno	Folilco (Río Bueno)	2003	42	146
Río Bueno	Trehuaco	2003	40	139

- **Generación Hidroeléctrica**

Otro servicio de abastecimiento importante en estas comunas y que guarda relación con el recurso hídrico es la **generación hidroeléctrica**. Las comunas de Río Bueno y Puyehue cuentan con 7 y 1 centrales hidroeléctricas respectivamente (Tabla 4.123). En su mayoría corresponden a centrales hidroeléctricas de pasada no convencionales, las cuales incorporan una producción energética de 63,57 MW y 71,8 MW al sistema interconectado central. Sin embargo, dado el potencial hidroeléctrico identificado por el Ministerio de Energía para la comuna de Río Bueno (136,8 MW, CNE) y en Puyehue (71 MW, CNE), sin duda existirán numerosos proyectos de mini y medianas hidroeléctricas a corto plazo en la comuna, que potenciarán la generación hidroeléctrica, deteriorando de esta manera la provisión de otros servicios como los de regulación (autodepuración).

Tabla 4.123. Centrales hidroeléctricas socio ecosistema 2: Puyehue.

COMUNA	NOMBRE CENTRAL	POTENCIA (MW)	AÑO PUESTA EN MARCHA
Río Bueno	Contra	0,33	2013
	Pilmaiquén	40,8	1944
	Don Walterio	1,1	2013
	El Arrayán	0,2	2013
	Licán	18	2011
	Los Corrales 1	1	2010
	Los Corrales 2	1,04	2013
	Pehui	1,10	2009
Puyehue	Rucatayo	59,5	2009
	Capullo	12	1995
	María Elena	0,30	s/i

*s/i: sin información. Fuente CNE, 2016

- **Provisión de Alimentos**

La provisión de alimento favorece principalmente a la comuna de Río Bueno que presenta las praderas de secano más productivas a nivel nacional, favoreciendo las actividades relacionadas a la agricultura, con una producción importante de cereales y forrajeras (Tabla 4.124). Las que relevan la condición agropecuaria y contribuyen al desarrollo ganadero consolidando a la comuna de Río Bueno y Puyehue en este rubro.

Tabla 4.124. Superficie (ha) por grupo de cultivo en comunas del socio ecosistema 2. (Fuente: Censo Agropecuario 2007).

COMUNA	CEREALES	FRUTALES	FORRAJERAS	FORESTAL	AGROPECUARIO
RÍO BUENO	53885,6	664	19955,5	1790,3	26861,5
PUYEHUE	501	226,3	3911,9	869,4	5138,6

De acuerdo a la actividad ganadera, la comuna de Río Bueno cuenta con un total de 186.423 cabezas de ganado bovino, situándola como la comuna con mayor número de cabezas a nivel regional, seguida de Puyehue con 81.865 cabezas (Censo agropecuario 2007).

La comuna se caracteriza por sistemas productivos que giran en torno al sector agropecuario, particularmente la producción de leche y carne. Respecto de la producción de carne, hay productores que venden su producción a grandes empresas y pequeños que la distribuyen en ferias y mataderos locales. En este sentido el mercado de la carne se ha especializado, es decir, existe gran cantidad de animales sólo destinados a la producción de carne, un ejemplo de esto es el Fundo “El Cardal”. En la producción de leche los principales productores se vinculan con la empresa COLÚN, además de existir pequeños

productores cooperadores. Sin embargo, existen otras empresas como Nestlé y Soprole que compran producción en general a medianos y pequeños productores (Agenda 21, 2009). Cabe mencionar un fenómeno que se ha estado observando en este último tiempo es la incursión de medianos y grandes productores de leche y carne al rubro de berries, por ejemplo en el sector de Mantilhue existe un fundo dedicado a la producción de Arándanos, lo cual está abriendo nuevos mercados, beneficiando la economía regional.

Otro indicador desarrollado para evaluar la provisión de alimentos corresponde a la piscicultura y pesca artesanal. La piscicultura en el lago Puyehue, comprende el emplazamiento de 8 empresas distribuidas en ríos y en el mismo lago (Tabla 4.125), reconociendo un gran impacto por parte de la ciudadanía, los cuales evidencian el deterioro de los ecosistemas acuáticos por esta actividad.

Tabla 4.125. Pisciculturas presentes en el socio ecosistema 2 (Fuente: SEA, 2016).

COMUNA	LAGO	NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA
Río Bueno	Puyehue	Piscicultura El Gol-Gol	Río Gol-Gol
Río Bueno		Piscicultura Las Bandurrias	Estero Cenizo
Río Bueno		Piscicultura Los Manantiales	Vertiente Sin Nombre
Río Bueno		Piscicultura Los Ulmos	Estero Cenizo
Puyehue		Piscicultura Ñilque	Río Ñilque
Puyehue		Piscicultura Río Pescadero	Río Pescadero
Río Bueno		Piscicultura Lican	Lago Puyehue (Sector Licán)
Río Bueno		Marine Harvest (Pisc. Taique)	Punto 1 Lago Puyehue

En términos comparativos si llevamos esta realidad a lo que sucede a nivel regional (Región de Los Lagos), la pesca artesanal como servicio de abastecimiento ha disminuido, a partir del año 2010 se detecta un importante descenso (**Figura 4.178**). En contraste, la acuicultura ha aumentado considerablemente durante los últimos años por sobre la pesca artesanal, esta variación en la producción puede estar relacionada con el tipo de tecnología implementada durante los últimos años. En este sentido, los valores obtenidos desde las tendencias (valor de la pendiente) nos indican que este servicio a pesar de la disminución de uno de sus indicadores, no se encuentra deteriorado, ya que la provisión alimenticia se encuentra resguardada de alguna manera por la producción acuícola.

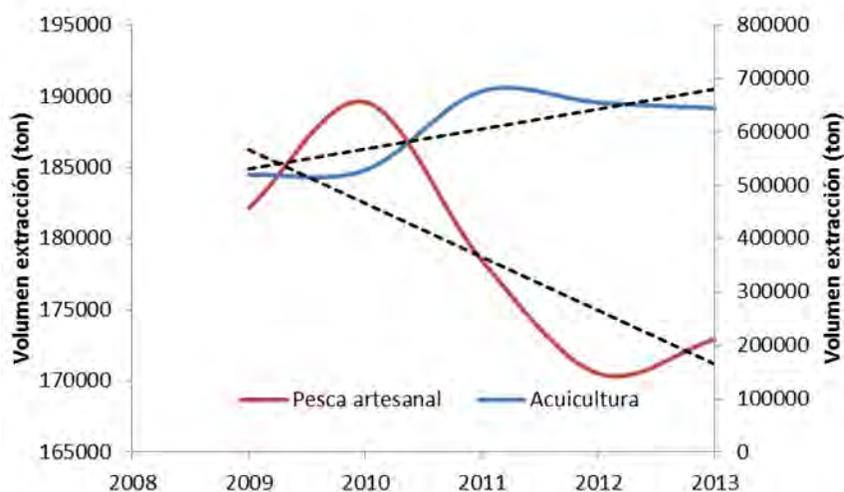


Figura 4.178. Evolución del número de captura de alimentos bajo pesca artesanal y tecnificada (Elaboración propia, utilizando datos de SERNAPESCA).

- **Materias primas de origen biológico**

Otro de los servicios de relevancia corresponde a las fuentes de *materias primas de origen biológico*, donde la madera igual que el socio ecosistema 1, cumple un rol relevante en el desarrollo y consolidación de las comunas en estudio. Es interesante resaltar que el consumo de leña residencial urbano en la comuna de Río Bueno durante el año 2005 (CNE) alcanzó los 39.207 m³ de leña, representando un 7,6 % del consumo urbano residencial regional, situándola como la tercera comuna con mayor consumo detrás de Valdivia y La Unión. A nivel rural para el mismo año, el consumo de leña ascendió a 50.955 m³ de leña, alcanzando un 16,3 % del consumo rural regional y ocupando el segundo lugar detrás de Panguipulli (CNE 2005).

La falta de estudios orientados al mercado de la leña, que identifiquen la oferta, la demanda y además el origen; resultan cruciales en términos de gestión del territorio.

Respecto al acervo genético, se concentra en las áreas de conservación y de acuerdo a la información recogida del Pladeco Río Bueno, dentro de la fauna vertebrada se pueden encontrar especies endémicas de los bosques templados, algunas de ellas con problemas de conservación. Algunos ejemplos corresponden al pudú (*Pudú puda*), el carpintero magallánico (*Campephilus magellanicus*). Del mismo modo, las especies que se ubican en el Parque Nacional Puyehue están compuestas por pumas, zorros chilla, quiques, coipos, güiñas y vizcachas. Entre las aves destacan el cóndor, el choroy, el chercán, la bandurria y la huala. Además de la fauna íctica presente en los esteros, lagos, lagunas y ríos los cuales mantienen una diversidad de invertebrados, como crustáceos del género *Aegla* y *Samasthacus*, también de ciliados y protozoos que tienen un rol clave en los sistemas acuáticos (Woelfl, 2006). Igualmente es posible encontrar en Río Bueno y sus tributarios

poblaciones de nutria de río o huillín (*Lontra provocax*), esta última especie en peligro de extinción (UICN 2006).

- **Materias primas de origen abiótico**

Respecto a las *materias primas de origen abiótico*, destaca la extracción de gravas y arenas, que se utilizan como material para la construcción en la comuna de Río Bueno. Para este socio ecosistema y de acuerdo a los registros hay sólo una empresa que de acuerdo a la reglamentación ambiental vigente extrae 970 mil m³ desde el área de drenaje de la cuenca, la cual está emplazada en el sector Mantilhue.

4.8.3.2 Servicios de Regulación

- **Regulación hídrica**

El servicio de *regulación hídrica* está expresado en la capacidad autodepuradora del lago, en este sentido, si bien se evidenció un aumento en la tendencia del fósforo y el nitrógeno (Figura 4.179). No podemos aseverar que esto se deba a las descargas de los efluentes del lago, ya que debemos considerar que la falta de datos históricos puede estar enmascarando el comportamiento de estos parámetros, lo cual coincide con la información proporcionada por este informe.

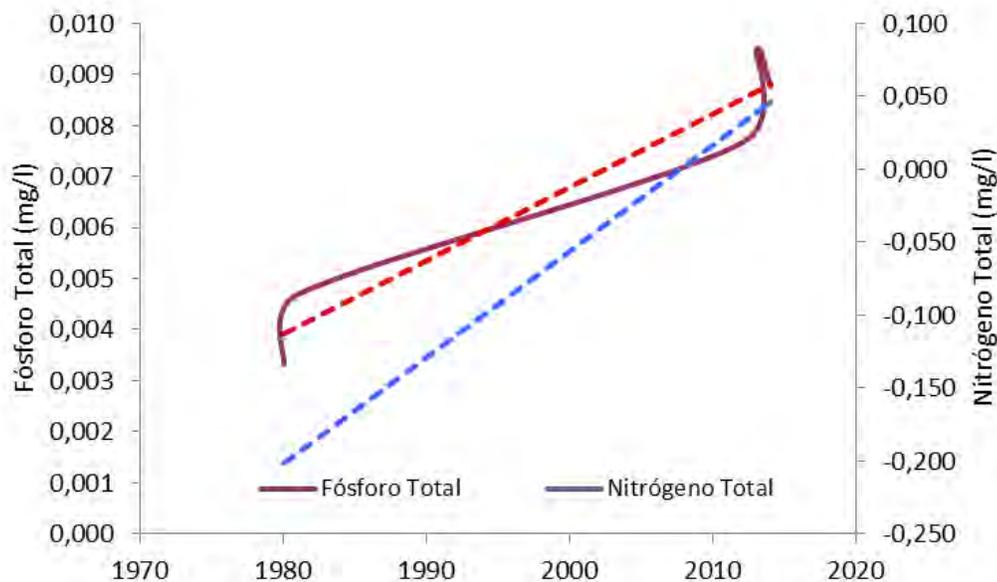


Figura 4.179. Tendencia de los nutrientes en el Lago Puyehue.

- **Regulación climática**

La *regulación climática* en las comunas en estudio está dada por la presencia de un clima templado húmedo con influencia mediterránea, que varía a cálido lluvioso en las secciones intermedias de la comuna de Puyehue. Mientras que en Río Bueno se caracteriza por tener temperaturas medias más elevadas ($7,7^{\circ}\text{C}$), lo que permite tener muy pocas horas de frío al año y un periodo libre de heladas mucho más extenso (7 meses).

Para este servicio y en ausencia de más indicadores, sólo se han evaluado valores de precipitación para la comuna de Río Bueno. De acuerdo a esta información es posible evidenciar fluctuaciones importantes en las precipitaciones (**Figura 4.180**), alcanzando el máximo de pluviosidad durante el año 2012 (149,6 mm); por otro lado, hay meses donde la precipitación es menor, pudiendo verse afectada la capacidad reguladora de las cuencas hidrográficas en estudio. En este sentido, sería muy interesante contar con datos de capacidad de infiltración, evapotranspiración y escorrentía, que nos permitan inferir el comportamiento del ciclo hidrológico y como éste afecta la funcionalidad del servicio.

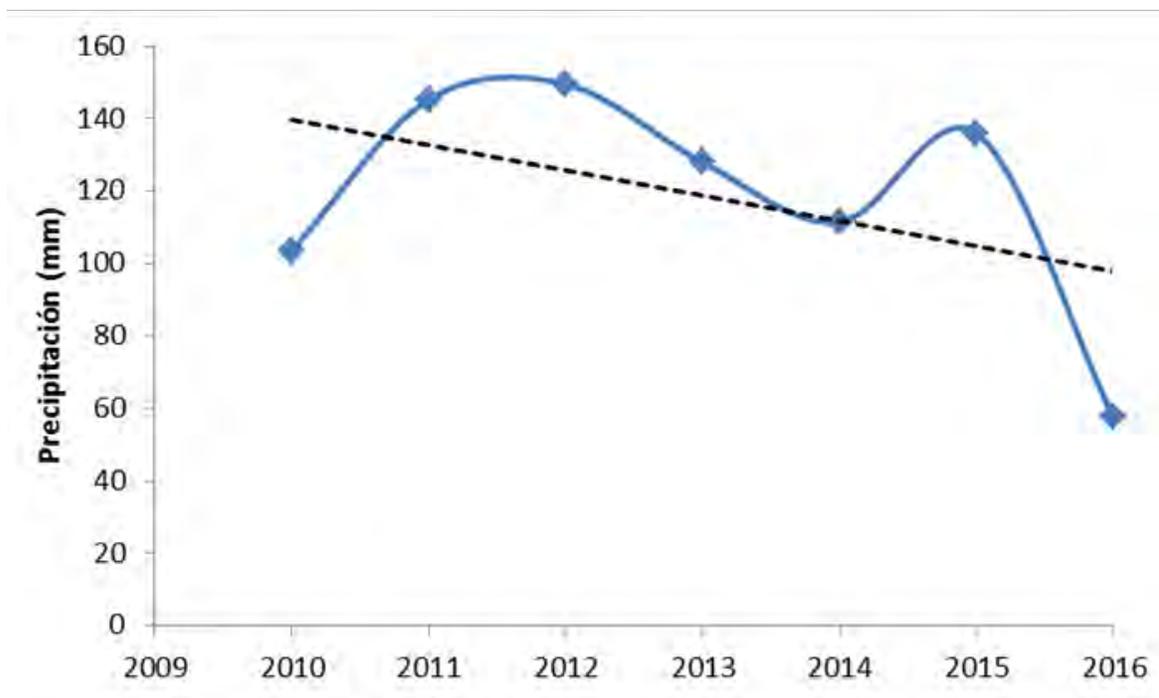


Figura 4.180. Evolución de la precipitación en la comuna de Puyehue como indicador del servicio de regulación hídrica.

Sin embargo, también resulta de gran importancia evaluar el rol que cumple la vegetación nativa en esta temática, principalmente como sumidero de CO₂; considerando la gran superficie cubierta por este uso.

- **Regulación morfosedimentaria**

Con respecto a la *regulación morfosedimentaria*, y al igual que en el socio ecosistema 1, el volcanismo ha definido los tipos de suelo y las asociaciones vegetacionales presentes en estas comunas. Destacando la presencia de suelos aptos para el cultivo, praderas naturales y artificiales, con algunas restricciones asociadas al predominio de bosque nativo de la Reserva de la Biosfera y Parque Nacional Puyehue. En este sentido, la comuna de Río Bueno presenta un 35% del suelo de la comuna con uso de bosque nativo, siendo poco considerable el territorio utilizado por las plantaciones forestales, sin embargo de acuerdo a la percepción de las comunidades, a través de los años se evidencia una transformación del paisaje natural por plantaciones exóticas.

En relación a los elementos a considerar para el *control de desastres naturales*, el complejo Volcánico Cordón Caulle, localizado en el extremo oriental de la comuna de Río bueno representa un riesgo constante. En los últimos cien años han ocurrido tres erupciones importantes (1921, 1960 y 2011), sin embargo, ninguna ha afectado a las comunas en estudio.

4.8.3.3 Servicios Culturales

- **Paisaje como servicio estético**

La configuración en términos geomorfológicos, hidrológicos, climáticos, da lugar a una diversidad paisajística importante en las comunas en estudio, relevando la importancia del *paisaje como servicio estético*. En la comuna de Río Bueno, el atractivo turístico nacional está dado por la belleza escénica del río Bueno, seguida de la playa de Mantilhue y el acercamiento al Parque Nacional Puyehue, zonas que son mayormente utilizadas por los habitantes de Puyehue y de localidades aledañas, sin embargo de acuerdo a la información recogida se encuentran turísticamente abandonadas.

Para el caso de la comuna de Puyehue los atractivos paisajísticos están dados por el lago del mismo nombre que se encuentra inserto en la comuna y por el Parque Nacional Puyehue. El valor que adquieren estas zonas lo evaluamos considerando la importancia que la ciudadanía le otorga mediante las visitas a las áreas protegidas. Para el caso del Parque Nacional Puyehue, se puede evidenciar que indistintamente a lo que sucede en la mayoría de los casos donde los paisajes relacionados al agua son cada vez más valorados; aquí no ocurre. Si bien el número de visitantes nacionales es mayor a los internacionales, ambos presentan una disminución en la preferencia al visitar estos lugares (Figura 4.181) lo que nos lleva a evidenciar un deterioro de este tipo de servicio. Siendo necesario que la comunidad revalore este servicio, haciendo mayor difusión de él y de las áreas adyacentes.

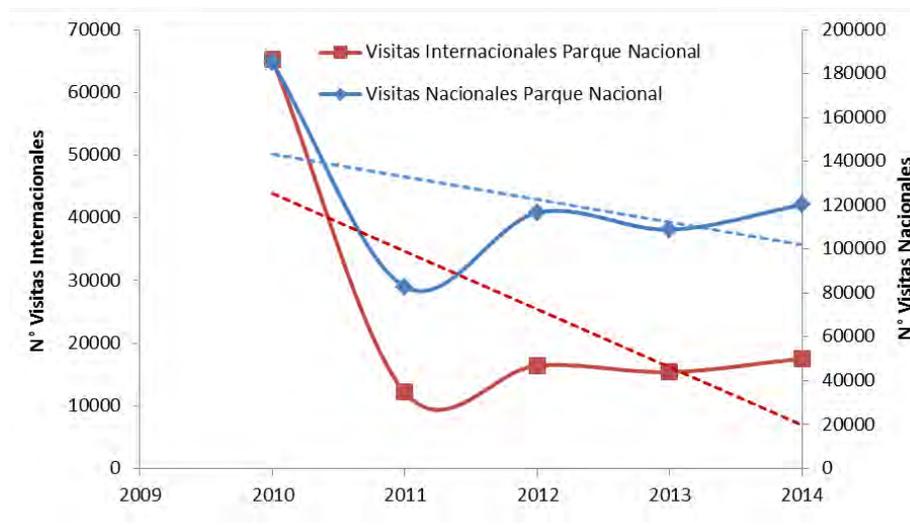


Figura 4.181. Tendencia del número de visitantes a Parque Nacional Puyehue, Región de los Lagos (Fuente: INE 2014).

Por otro lado, las *actividades recreativas y de ecoturismo* se desarrollan en torno a las condiciones naturales de la zona (*e.g.* termalismo, montañas, volcanes), para lo cual las comunas durante todo el año realizan actividades que buscan relevar el patrimonio natural y cultural de la zona (Tabla 4.126).

Tabla 4.126. Principales actividades recreativas de las comunas en estudio (Fuente: Programa Eco Región Agenda Local 21 y Municipios).

COMUNA	ACTIVIDAD
Río Bueno	Feria del chocolate, semana riobuenina, celebración del día del patrimonio cultural, pesca deportiva
Puyehue	Aniversario comuna, Puyehue rock, Festival de la voz de Puyehue, Ferias gastronómicas, campeonatos de pesca.

Del mismo modo, en las comunas de Río Bueno y Puyehue, la pesca constituye una actividad de gran interés; existiendo en cada comuna asociaciones de pesca que prestan servicios de botes y guías turísticos y que han tratado continuamente de regular este servicio, sin embargo el desarrollo de la actividad informal también ha aumentado, no existiendo un ente regulador ni fiscalizador que permita coordinar esta actividad, lo que **hasta la fecha como señalan los integrantes de la asociación de pesca de Puyehue "nos está trayendo más perjuicios que beneficios"**, por lo que se evidencia un deterioro de este

servicio, sin embargo, es necesario contar con datos cuantificables de la actividad que nos permitan concluir más claramente al respecto.

Por otro lado, en la comuna de Río Bueno, existe una gama de recursos que generan oportunidades en términos turísticos (Volcán Puyehue y parte del Cordón Caulle), no existen circuitos turísticos organizados, ni agencias de viajes ni operadores turísticos privados, lo que dificulta la difusión de este tipo de actividades (Pladeco Río Bueno).

Para el caso de Puyehue, el lago del mismo nombre confiere un ambiente turístico propicio para el desarrollo de actividades (Figura 4.182). Favoreciendo el acceso a las escasas playas públicas habilitadas, al museo histórico, oportunidades de camping, caminatas fotográficas, observación de flora y fauna, ferias costumbristas y campeonatos de pesca deportiva. Asimismo constituye un atractivo el Pueblito Artesanal de Entre Lagos (Figura 4.183) integrado por comunidades rurales e indígenas que encuentran en este espacio un lugar para comercializar sus comidas y artesanías. Actividades que han sido difundidas y que hoy forman parte del Plan de Desarrollo Turístico que ha implementado Puyehue. En este sentido, de acuerdo a la información recopilada en Sernatur (2012) y Pladetur (2015) se han logrado identificar 16 atractivos turísticos, siendo la mayoría Sitios Naturales (68,8%), correspondiendo la segunda mayoría a acontecimientos programados (Puihua Cultural). Mientras que otra categoría de atractivo turístico está representada por los museos (Moncopulli) y manifestaciones culturales (6,3%) (Tabla 4.127).



Figura 4.182. Lago Puyehue.



Figura 4.183. Pueblito Artesanal de Entre Lagos.

Tabla 4.127. Atractivos turísticos comuna de Puyehue.

ATRATIVOS	
Terma Aguas Calientes	Lago Puyehue
Centro de Esquí Antillanca	Lago Rupanco
Parque Nacional Puyehue	Cerro Sarnoso
Volcán Casablanca	Salto del Calzoncillo
Parque Nacional Puyehue sector Anticura	Automuseum Moncopulli
Puihua Cultural	La Puntilla Ñilque

La demanda turística se presenta en dos ciclos; uno en época estival y otro en época invernal, por lo que se requiere de un número de alojamientos importante, que en la comuna asciende a 51 establecimientos (Pladetur, 2015), la mayor parte de ellos se localiza en Entre Lagos. Sin embargo, no se desconoce el desarrollo generado en el eje internacional N°215 ni en sectores ya consolidados como Termas de Puyehue y Aguas calientes que también contribuyen en esta temática.

- **Identidad cultural**

La **Identidad cultural** de las comunas, retomando la premisa utilizada para el socio ecosistema 1, también se da por el alto grado de ruralidad y población indígena. En la comuna de Río Bueno la población total es de 32.627, correspondiendo un 53,86% a población rural, donde la población indígena corresponde al 11,91%, existiendo 33 comunidades indígenas (CONADI) tres de las cuales se ubican en sector urbano (**Amoylewfu, Juan Queipul, Futun Mawun**). Por otro lado, la comuna de Puyehue presenta una población mucho menor (11.368 habitantes), donde la población rural corresponde a 7.436 (Tabla 4.128), reconociendo 14 comunidades indígenas y 4 asociaciones indígenas. En ambas comunas se evidencia una tendencia a la disminución de la población urbana, aumentando la ruralidad; pero no se debe a una migración hacia estos sectores, sino hacia otras comunas o regiones en busca de oportunidades laborales y académicas.

Tabla 4.128. Antecedentes demográficos de las comunas del socio ecosistema 2. (CENSO 2002).

COMUNA	POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN TOTAL
Río Bueno	17.573	15.054	32.627
Puyehue	7.436	3.932	11.368

Si evaluamos a la población mayor a 60 años, los cuales de alguna manera, ya sea mediante el uso de distintos vocablos, ritos; heredan conocimiento a las generaciones presentes y futuras, como proxy para identificar la pérdida del saber popular sobre el uso de los

servicios proporcionados por los lagos, podemos evidenciar un envejecimiento de la población en las comunas de Río Bueno y Puyehue, con el 13,98% y 12,65%, respectivamente.

De acuerdo a los *sitios de disfrute espiritual y religioso* en la comuna de Río Bueno, existen sitios en donde se realizan ceremoniales que están asociadas a la relación del hombre con la naturaleza y la cosmovisión mapuche. En el Pladeco se señalan dos categorías de **significancia cultural y sagrada**. Los primeros corresponden a los "Ñienes" y los segundos a los "Lepunes", los cuales se señalan en la Tabla 4.129.

Tabla 4.129. Significancia cultural y sagrada Comuna Río Bueno. Fuente: Municipalidad de Río Bueno.

ÑIENES	LEPUNES (NGUILLATUES)			
Nolguehue	Antu	Marriamo	Boquial 1	Sta. Isabel
Maihue	Aylin	El Roble	Cayurruca centro	Nva. Esperanza
Filuco	Litran	Mañil	Cayurruca Trapi	Champulli
Juaniko	Ayilen	Puelche	Nolguehue	Ñelai Malal
Kintuante	Amancay Rayen	Mantilhue centro	Maihue	Caupolicán
Yamuhuekan	Ticahue	Quinquilco	Filuco	

Puyehue presenta una ruralidad muy importante, que congrega a una comunidad campesina y folclórica, con un conflicto bien marcado entre tradición y cambio. Del mismo modo, presenta una gran potencialidad en términos de patrimonio, que si bien no ha sido completamente desarrollada, manifiesta la importancia de la historia y cultura de la comuna.

- **Conocimiento Ecológico**

En relación al *conocimiento ecológico* no existe mayor documentación al respecto que pueda evidenciar la importancia de este en las comunas estudiadas, existiendo un vacío en la generación de esta información.

Por otro lado, el *conocimiento científico*, según datos obtenidos de SCOPUS *data base*, al año 2015, el número de artículos y documentos que hacen referencia a estudios del lago Puyehue corresponde a 45 artículos. La mayor parte de ellos están afiliados a Universidades Nacionales (Universidad de Concepción 17%, Universidad Austral 13%). A pesar de que existe un aumento en el conocimiento y funcionamiento de los ecosistemas lacustres (Figura 4.184), aún no es posible desarrollar un modelo de gestión territorial para este tipo de ecosistemas.

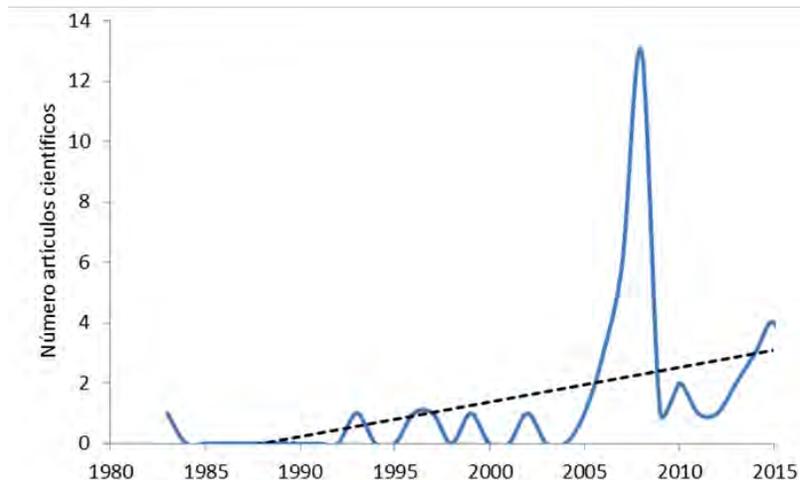


Figura 4.184. Aumento en el conocimiento científico del Lago Puyehue (Elaboración propia con datos extraídos sobre base de datos SCOPUS).

- **Educación ambiental**

Finalmente **la educación ambiental** en Puyehue se maneja desde el municipio, gestionando una serie de propuestas que consideran a la educación como una creadora de conciencia, en este sentido, se ha implementado el taller de turismo y medio ambiente en todos los establecimientos educacionales de la comuna. Además de realizar continuamente exposiciones públicas que promueven la cultura histórica de la región (Figura 4.185). Por otro lado, dentro de las iniciativas de inversión para fomentar el desarrollo de turismo hay líneas de acción que apuntan a esta temática.

Contrario a lo que sucede en la comuna de Río Bueno, donde la educación ambiental se restringe a algunas actividades puntuales organizadas por algunas instituciones (**e.g** CONAF), que buscan relevar la importancia de la recuperación del entorno, para mejorar el medio ambiente y el futuro de la comunidad (CONAF 2016).



Figura 4.185. Exposición educativa Plaza de Puyehue

Importancia de la biodiversidad regional

Independiente de los servicios que fueron asociados a los socioecosistemas 1 y 2, se hace una aproximación general al área de estudio sobre la biodiversidad, considerando a ésta como el mejor indicador del correcto funcionamiento de los ecosistemas y de la continua provisión de servicios ecosistémicos, relevando la importancia de conservar el patrimonio natural.

Al respecto, Chile presenta una gran diversidad de ambientes físicos, con variadas combinaciones de clima y suelos. A pesar de esto, la diversidad biológica es moderada debido al carácter insular del territorio y el relativo aislamiento dado por las importantes barreras naturales. Es esto mismo lo que explica el fuerte endemismo de la flora y la fauna actuales. Sin embargo, al abordar la biodiversidad de los socioecosistemas en estudio, debemos considerar desde el punto de vista geográfico, la importancia de las regiones que comprenden a las comunas en estudio.

En este sentido, Los Ríos, es una región con fuerte presencia de cauces fluviales que en su curso inferior interactúan con su principal centro poblado. En lo que respecta a su clima, este es un medio húmedo donde se presentan precipitaciones que se prolongan todo el año. Debido a su orografía, La Región de los Ríos, se ve favorecida el desarrollo de diversos climas: Templado lluvioso, templado cálido lluvioso con descenso estival de las precipitaciones, templado frío lluvioso o de Montaña y clima de Hielo de Altura. A nivel vegetacional, La Región de los Ríos, presenta una cubierta vegetal de bosques higromórfica, de gran variedad de especies agrupadas en formaciones puras o mixtas, encontrándose bosques de Alerce y Lengua (Gobierno de los Ríos, 2010).

Por su parte, la Región de los Lagos presenta un clima templado lluvioso con influencia Mediterránea, lo que conlleva a una cubierta vegetal de bosques higromórficos de gran variedad de especies agrupadas en formaciones puras o mixtas tales como los bosques de alerce o Lengua e inclusive formaciones semidesérticas andinas de gramíneas (INE, 2007; Gobierno Regional de los Lagos, 2014).

Ambas regiones presentan una alta diversidad de especies destacando diversos tipos de mamíferos, aves; así también gran parte de los peces nativos de nuestro país. En la Tabla 4.130 se entrega un listado faunístico de las principales especies registradas a la fecha en esta zona destacando sus estados de conservación anteriores y actuales.

Tabla 4.130. Antecedentes de los grupos faunísticos identificados para la zona de estudio y su estado de conservación según diversos criterios.

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
MAMÍFEROS								
	<i>Abrothrix brachiotis</i>	Nativo	Rodríguez-Serrano et al., 2008					Riesgo menor
Vison americano	<i>Mustela vison</i>	Introducido	Quinan, 2008					Introducida
Puma	<i>Puma concolor</i>	Nativo	CONAMA, 2010		Vulnerable		Insuficiente mente conocida	Riesgo menor
Zorro chilla	<i>Pseudalopex griseus</i>	Nativo	CONAMA, 2010		Inadecuadamente conocido			No evaluada
Pudú	<i>Pudu pudu</i>	Nativo	CONAMA, 2010	Vulnerable	Vulnerable		Vulnerable	En Peligro
Guiña	<i>Felis guigna</i>	Nativo	CONAMA, 2010	En peligro	En peligro		Insuficiente mente conocida	No evaluada
Huillín	<i>Lontra provocax</i>	Nativo	CONAMA, 2010; Comunidades del Lago Neltume, 2010	En peligro				En Peligro
Monito del monte	<i>Dromiciops gliroides</i>	Nativo	Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Rara			Insuficiente mente conocida	En Peligro
Huemul	<i>Hippocamelus bisulcus</i>	Nativo	Comunidades del Lago Neltume, 2010.	En peligro	En peligro		En peligro	En Peligro
Coipo	<i>Myocastor coypus</i>	Nativo		Fuera de peligro				Riesgo menor
Rata arbórea	<i>Irenomys tarsalis</i>	Nativo						Riesgo menor
PECES								
Cauque	<i>Basilichthys australis</i>	Nativa	Arenas, 1978; Arratia et al., 1981; Peña, 2008; Vila & Pardo, 2008; Instituto de fomento pesquero,			Vulnerable		Vulnerable

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
			2011; Barragan (2010); Torres et al., 2012					
Trucha arcoiris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Introducida	Peña, 2008; Barragan, 2010; Instituto de fomento pesquero, 2011; Torres et al., 2004, 2012			Introducida		Introducida
Trucha Fario	<i>Salmo trutta fario</i>	Introducida	Barragan, 2010; Instituto de fomento pesquero, 2011			Introducida		Introducida
Salmón coho	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Introducida	Barragan, 2010; Instituto de fomento pesquero, 2011			Introducida		Introducida
Robalo	<i>Eleginops maclovinus</i>	Introducida	Instituto de fomento pesquero, 2012			Introducida		Vulnerable
Trucha café	<i>Salmo trutta</i>	Introducida	Instituto de fomento pesquero, 2013			Introducida		Introducida
Perca trucha	<i>Percichthys trucha</i>	Nativa	Torres et al., 1990; Vila & Pardo, 2008; Torres et al., 2013			Vulnerable		No evaluada
Cauque	<i>Odontesthes mauleanum</i>	Nativa	Peña, 2008; Torres et al., 2004, 2012					No evaluada
Salmón atlántico	<i>Salmo salar</i>	Introducida	Instituto de fomento pesquero, 2012			Introducida		No evaluada
Peladilla	<i>Brachygalaxias bullocki</i>	Nativa	Arratia et al., 1981; Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		Indetermina do
Puye	<i>Galaxias platei</i>	Nativa	Peña, 2008; Arratia et al., 1981; Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		No evaluada
Peladilla	<i>Aplochiton zebra</i>	Nativa	Arratia et al., 1981; Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		No evaluada
Tollo de agua dulce	<i>Diplomistes chilensis</i>	Nativa	Arratia et al., 1981; Arratia, 1987; Peña, 2008; Instituto de fomento pesquero,			En peligro		En peligro

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:					
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)	
			2011; Torres et al., 2012						
Bagrecito	<i>Trichomycterus areolatus</i>	Nativa	Arratia et al., 1981; Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		Vulnerable	
Carmelita	<i>Percilia gillissi</i>	Nativa	Arratia et al., 1981; Zunino <i>et al.</i> , 1999			En peligro		Vulnerable	
Pocha del sur	<i>Cheirodon australe</i>	Nativa	Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		No evaluada	
Lamprea	<i>Geotria australis</i>	Nativa	Vila & Pardo, 2008			Vulnerable		No evaluada	
Puyen	<i>Galaxias maculatus</i>	Nativa	Vila & Pardo (2008)			Vulnerable		No evaluada	
Trucha negra	<i>Percichthys melanops</i>	Nativa	Vila & Pardo (2008)			En peligro		No evaluada	
AVES									
Trile	<i>Agelasticus thilius</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
cachudito	<i>Anairetes parulus</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013			Preocupación menor		Riesgo menor	
Pato anteojillo	<i>Lapis specularis</i>		Schlatter, 1976					Casi Amenazado	
Bailarín chico	<i>Anthus correndera</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Rayadito	<i>Aphrastura spinicauda</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Tregle	<i>Vanellus chilensis</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Traro	<i>Caracara plancus</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor	
Jote	<i>Cathartes aura</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Churrete	<i>Cinclodes patagonicus</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Pitio	<i>Colaptes pitius</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	
Torcaza	<i>Patagioenas araucana</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013			Casi amenazada		Riesgo menor	
Jote	<i>Coragyps atratus</i>		Schlatter, 1976			Preocupación menor		Riesgo menor	

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
Tordo	<i>Curaeus curaeus</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Diuca	<i>Diuca diuca</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Garza	<i>Egretta thula</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Fio-Fio	<i>Elaenia albiceps</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Loro Choroy	<i>Enicognathus leptorhynchus</i>		Schlatter, 1976	Vulnerable				Riesgo menor
Churrin grande	<i>Eugralla paradoxa</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Cenicalo	<i>Falco sparverinus</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Run run	<i>Hymenops perspicillata</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Gaviota	<i>Larus dominicanus</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Gaviota cahuil	<i>Chroicocephalus maculipennis</i>		Schlatter, 1976; Torres et al., 1993; Ojeda, 2013)					Riesgo menor
Tijereta	<i>Leptasthenura aegithaloides</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Colegial	<i>Lessonia rufa</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Martin pescador grande	<i>Megaceryle torquata</i>		Schlatter, 1976; CONAMA, 2010; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Cachaña	<i>Microsittace ferruginea</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Tiuque	<i>Milvago chimango</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Tenca	<i>Mimus thenca</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Mirlo	<i>Molothrus bonariensis</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
Perdiz	<i>Nothoprocta perdicaria</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Golondrina barranquera	<i>Riparia riparia</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Huairavo	<i>Nycticorax nycticorax</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Piden	<i>Pardirallus sanguinolentus</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Loica	<i>Sturnella loyca</i>		Schlatter, 2008; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>		Schlatter, 1976					
Pato yeco	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		Torres et al., 1982; 2000; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Come tocino	<i>Phrygilus patagonicus</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Rara	<i>Phytotoma rara</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Huala	<i>Podiceps major</i>		Schlatter, 1977; Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Pollollo	<i>Podiceps occipitalis</i>		Schlatter, 1978; Ojeda, 2013					Riesgo menor
Taguita	<i>Gallinula melanops</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Gallereta	<i>Pteroptochos tarnii</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Comesebo	<i>Pygarrhichas albogularis</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Diucon	<i>Xolmis pyrope</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Chucao	<i>Scelorchilus rubecula</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Churrin	<i>Scytalopus magellanicus</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Picaflor chico	<i>Sephanoides sephanoides</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
jilguero	<i>Sicalis luteola</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Lechuza común canario	<i>Athene cunicularia</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
	<i>Spinus barbata</i>		Schlatter, 1976					Riesgo menor
Cola de paja	<i>Sylviorthorhynchus desmursii</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Golondrina	<i>Tachycineta meyeri</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
	<i>Tachyeres patachonicus</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Insuficiente mente conocida
Bandurria	<i>Theristicus melanopis</i>		Schlatter, 1976; Ojeda, 2013	Preocupación menor	Rara			Riesgo menor
Chercan	<i>Troglodytes aedon</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Zorzal	<i>Turdus falcklandii</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Insuficiente mente conocida
Tórtola	<i>Zenaida auriculata</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Riesgo menor
Chincol	<i>Zonotrichia capensis</i>		Schlatter, 1976	Preocupación menor				Insuficiente mente conocida
Tagua	<i>Fulica armillata</i>		Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Jergon	<i>Anas flavirostris</i>		Ojeda, 2013					Riesgo menor
Pato rana	<i>Oxyura vittata</i>		Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor
Gallareta lija	<i>Fulica armilata</i>		Ojeda, 2013					Riesgo menor
Gaviotín sudamericano	<i>Sterna hirundinacea</i>		Ojeda, 2013	Preocupación menor				Riesgo menor

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>		Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Preocupación menor	Rara			Casi Amenazado
Carpintero negro	<i>Campephilus magellanicus</i>		Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Preocupación menor				No evaluada
Siete colores	<i>Tachuris rubrigastra</i>		Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Preocupación menor				No evaluada
Huairavillo	<i>Lxobrychus inbvolucris</i>		Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Preocupación menor	Rara			No evaluada
Pato cortacorriente	<i>Merganetta armata</i>		Comunidades del Lago Neltume, 2010.	Preocupación menor				No evaluada
MOLUSCOS	<i>Diplodon chilensis</i>		Lara & Moreno (1995); Lara & Parada (2008) Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Potamolithus australis</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina gracilis</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina magellanica</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina oblonga</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina obtusa</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina pachispira</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina pueloensis</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Littoridina santiaguensis</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Chilina dombeyana</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Chilina fluctuosa</i>		Fuentealba et al. (2010)					
	<i>Chilina bulloides</i>		Fuentealba et al. (2010)					

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:					
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)	
	<i>Chilina ampullacea</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina mayor</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina robustior</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina gibosa</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina elegans</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina subcylindrica</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina acuminata</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina olivácea</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina iheringi</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Chilina llanquihuensis</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Biomphalaria chilensis</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Pisidium llanquihuense</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Pisidium chilense</i>		Fuentealba et al. (2010)						
	<i>Pisidium huillichun</i>		Fuentealba et al. (2010)						
ANFIBIOS									
Sapo de pecho espinoso con verrugas	<i>Alsodes verrucosus</i>	nativa	Rabanal & Nuñez (2009); Lobos et al., 2013	Insuficiente mente conocida				No evaluada	
Rana de hojarasca de párpados verdes	<i>Eupsophus emiliopugini</i>	nativa	Rabanal & Nuñez (2009); Lobos et al., 2013					Riesgo menor	

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
Ranita de Darwin	<i>Rhinoderma darwinii</i>	nativa	CONAMA, 2010	Vulnerable	Vulnerable			En Peligro
Sapo austral	<i>Telmatobufo australis</i>	Endémica	Formas et al. (2001); Palma (2011)	Rara				Vulnerable
REPTILES								
	<i>Liolaemus monticola</i>	Endémica		Vulnerable				Preocupación menor
	<i>Liolaemus tenuis</i>	Nativa		Vulnerable				Preocupación menor
	<i>Liolaemus pictus</i>	Nativa	Nuñez (1992); Vera-Escalona et al (2010)					Preocupación menor
	<i>Liolaemus lemniscatus</i>	Endémica		Vulnerable	Vulnerable			Preocupación menor
	<i>Liolaemus cyanogaster</i>	Nativa		Fuera de peligro				Preocupación menor
	<i>Tachymenis chilensis</i>	Endémica		Vulnerable	Vulnerable			Preocupación menor
	<i>Philodryas chamissonis</i>	Endémica		Vulnerable	Vulnerable			Datos insuficientes
CRUSTACEA								
	<i>Aegla abtao</i>		Lara & Moreno (1995); Jackson Douglas (2006)				Fuera de Peligro	
	<i>Boeckella gracilipes</i>		Parra-Coloma & Aguayo-Molina, (2014)					
	<i>Tumeodiptomus diabolicus</i>		Parra-Coloma & Aguayo-Molina, (2014)					
	<i>Mesocyclops araucanus</i>		Parra-Coloma & Aguayo-Molina, (2014)					
	<i>Tropocyclops prasinus meridionalis</i>		Parra-Coloma & Aguayo-Molina, (2014)					
INSECTA								
	<i>Neuroperloopsis patris</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Neuroperla schedingi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Diamphipnoa anulata</i>		Palma & Figueroa (2008)					

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
	<i>Diamphipnoa helgae</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Diamphipnoa helgae</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Diamphipnosis beschi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Diamphipnosis sanali</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Andesobius bariloehensis</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Klapopteryx armillata</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Klapopteryx kuscheli</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Perturoperla barbata</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Antarctoperla michaelsoni</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Aubertoperla illiesi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Ceratoperla fazi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Ceratoperla schwabei</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Chilenoperla beschi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Chilenoperla semitincta</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Claudioperla tigrina</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Limnoperla jaffueli</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Notoperlopsis femina</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Pelurgoperla personata</i>		Palma & Figueroa (2008)					

Nombre común	Nombre específico	Nativo/ Introducido	CITA	ESTADO DE CONSERVACIÓN SEGÚN:				
				Glade (1988)	Ortiz et al (1994)	Arismendi (2009)	CONAMA (2010)	IUCN (2016)
	<i>Potamoperla myrmidon</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Rhithroperla rossi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Senzilloides panguipulli</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Teutoerla rothi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Austronemoura araucana</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Austronemoura caramavidensis</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Austronemoura eudoxiae</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Neofulla areolata</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Neofulla spinosa</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Neonemoura barrosi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Udamocercia antarctica</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Udamocercia arumifera</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Udamocercia frantzi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Inconeuria porteri</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Kempnyella genualis</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Kempnyella walperi</i>		Palma & Figueroa (2008)					
	<i>Pictetoperla gayi</i>		Palma & Figueroa (2008)					

4.8.4 Análisis integrado de los servicios ecosistémicos

De acuerdo al uso de suelo identificado para cada área de drenaje de los cuerpos lacustres, se han logrado identificar para cada socio ecosistema 17 servicios ecosistémicos; 6 de ellos corresponden a servicios de provisión, 4 a servicios de regulación y 7 a servicios culturales. La Tabla 4.131 resume esta información e indica la tendencia de los indicadores sobre los cuales fue posible obtener datos cuantificables.

Es importante señalar que la información (indicadores) que respalda la presencia de estos servicios resultó escasa. Existiendo importantes vacíos a la hora de abordar la caracterización ecosistémica de los lagos. Los pocos datos que existen están dispersos, tienen escaso desarrollo temporal y responden a una clasificación muchas veces regional, por lo que es aconsejable su utilización de un modo prudente y más bien orientativo.

Descriptivamente la información presentada, da cuenta del reconocimiento local de los diversos usos que se hacen del territorio. Resultando menos compleja la identificación de los servicios culturales (*e.g* valor del paisaje como servicio estético, actividades recreativas y de identidad cultural) relevado por las poblaciones locales y temporales que visitan la zona. Sin embargo, aún con estas limitaciones, se intentó abordar el estado en que se encuentran los principales tipos de servicios suministrados por dichos ecosistemas.

En este sentido, respecto a los servicios de abastecimiento y considerando ambos socio ecosistemas podemos concluir que existe un importante vacío de información en lo que respecta a la provisión de agua, considerando los escasos usos que registran los cuerpos lacustres. Del mismo modo, si bien se reconoce la importancia de las regiones en la productividad y provisión alimentaria, a escala local resulta escaso y poco transparente el conocimiento existente, sólo pudiendo evaluar tendencias en relación a las superficies utilizadas.

Por otro lado, la generación hidroeléctrica es un tema complejo a niveles comunales, porque pone en debate los distintos usos alternativos que se pretende dar al recurso hídrico en la cada una de las comunas, manteniendo un nivel de conflicto socio ambiental significativo, sobre todo con la comunidad mapuche que es muy importante en la zona y sería una de las más afectadas con el desarrollo de estos proyectos.

Los servicios de regulación se asocian a la sustentabilidad de los recursos naturales existentes, reconociendo importantes deterioros, dados a conocer por los habitantes de las comunas en estudio, sin embargo, no pudieron ser cuantificados. Descriptivamente están asociados a la intensidad de los usos comerciales y turísticos (cambios de uso de suelo) que se ejerce sobre los recursos hídricos y lacustres de la comuna, los cuales son presionados en sus bordes por usos residenciales y alternativos, el aumento de las subdivisiones prediales; situación que agudiza la eventual contaminación que están experimentando algunos lagos y ríos, como también los accesos. Lo cual se acentúa en épocas estivales considerando que la mayor parte de las comunas están consideradas en

circuitos turísticos que promueven el desarrollo de diversas actividades recreativas, comprendiendo extensas superficies que incluyen áreas de conservación y protección.

Finalmente, los servicios culturales se asocian a las actividades turísticas y recreativas que se desarrollan en torno al paisaje y al recurso hídrico, habiendo un permanente trabajo colaborativo que busca relevar el valor de este. Una de las potencialidades reconocidas de estos territorios es la incorporación del desarrollo turístico rural e indígena, que aportan en la cosmovisión cultural. Generando un interés por salvaguardar, rescatar y difundir el patrimonio, el cual comienza lentamente a posicionarse como un tema de interés público en las comunas. En este sentido, la mayor parte de los servicios tienen una mejora, que va ligada a la percepción que la comunidad tiene de estos servicios.

En términos de conservación de los servicios ecosistémicos identificados, es conveniente considerar que las amenazas están ligadas al desarrollo de la actividad forestal y el avance de la frontera agrícola, lo que está generando fragmentación y pérdida de hábitat para muchas especies que aportan a la diversidad biológica. En este sentido, es alta la diversidad biológica de las regiones que albergan a las comunas en estudio, habitando especies con alto endemismo, en peligro de extinción y con un grado importante de vulnerabilidad asociado principalmente a la actividad antrópica.

En conclusión, y de acuerdo a lo anteriormente planteado, se sugiere una mayor protección de los ecosistemas locales; puntualmente de los recursos naturales contenidos en ellos, en función de los objetivos de desarrollo turístico establecidos. En relación al recurso hídrico; urge contar con información actualizada, monitoreos constantes y confiables de cada cuerpo de agua, que evite la dualidad y la fragmentación de la información. Del mismo modo, es necesaria la implementación de una norma secundaria de calidad ambiental diferenciada para cada cuenca, que vaya de la mano con los planes de ordenamiento territorial, y que incorpore a los servicios ecosistémicos como herramienta en la toma de decisiones.

Tabla 4.131. Resumen Tendencias de los servicios ecosistémico para socio ecosistemas 1 y 2.

TIPO DE SERVICIO	SERVICIO	CATEGORÍA	SOCIO ECOSISTEMA 1	SOCIO ECOSISTEMA 2
ABASTECIMIENTO	Agua dulce	Provisión agua dulce	*	*
	Energías Renovables	Centrales Hidroeléctricas	↓	↓
	Alimentos		↓	↔
	Materias primas origen biológico	Producción de madera (astillas)	↔	*
	Materias primas origen abiótico	Extracción de áridos	*	*
	Acervo genético	Biodiversidad	↑	↑
REGULACIÓN	Regulación Hídrica	Autodepuración	↓	↓
	Regulación Climática	Precipitación	*	↓
	Regulación morfosedimentaria		*	*
	Regulación de desastres naturales		*	*
CULTURALES	Paisaje servicios estético	Visita Áreas Protegidas	↑	↓
	Actividad recreativa y ecoturismo		↑	↑
	Identidad cultural y sentido de pertenencia	Evolución de la población	↑	*
	Disfrute espiritual y religioso		*	*
	Conocimiento ecológico	Usos tradicionales	↑	-
	Conocimiento científico	Artículos científicos	↑	↑
	Educación Ambiental		↔	↔

*: Información solo descriptiva



5 PLAN DE GESTIÓN

Nuestro país presenta condiciones geomorfológicas donde es posible una gestión de los recursos naturales pensando en las cuencas hidrográficas como los lugares más aptos para tales acciones. Según Gregersen y Brooks (1998), dichas unidades físicas son consideradas como unidades topográficamente delimitada que resulta drenada por un sistema de corrientes de agua, o sea, la superficie total que drena hasta u cierto punto de una corriente o río. Por su parte, la Sección Manejo de Cuencas de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), la ha definido como un sistema hombre-sociedad-naturaleza contenido en el territorio delimitado por la línea divisoria a parte de la cual las aguas drenan hacia un río, estero, quebrada, área, sección o punto común. Así, en la actualidad se presenta a la cuenca como un sistema, ya que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan, los más importantes son: el agua, el bosque, del suelo y los estratos geológicos. El territorio de una cuenca facilita la comprensión de las relaciones de sus habitantes -independientemente de la existencia de otros límites político-administrativos- debido a la dependencia común a un sistema hídrico compartido, a la existencia de un cierto tipo de recursos naturales, clima e infraestructura, y porque a menudo deben enfrentar problemas similares. Según Dourojeanni, se puede definir la gestión de recursos hídricos **por cuencas como "la gestión de las intervenciones, que los seres humanos realizan en una cuenca y sobre el agua captada por la misma, con el fin de conciliar metas económicas, sociales y ambientales que permitan mejorar la calidad de vida de todos los seres humanos que dependen del uso de su territorio y sus recursos así como minimizar los conflictos entre los interventores y con el ambiente" (Dourojeanni, 2009).**

Sin embargo, se debe tener presente que en Chile no existe legislación que regule el uso integrado de las cuencas y sus recursos. Por otro lado, el que los límites de las unidades territoriales, tales como regiones, provincias y comunas, no coincidan con los límites de una cuenca hidrográfica dificulta aún más la gestión de ellas. Generalmente estos límites están definidos por densidad poblacional o actividades económicas, en vez de definirlos por cuencas. Es por esta razón que a menudo una cuenca hidrográfica depende de dos (o más) regiones (por ejemplo, lago Puyehue), las cuales pueden tener prioridades diferentes de acuerdo con sus planes de desarrollo regional.

La gestión integrada de cuencas, es un instrumento que existe en todos los países miembros de la OCDE, organización internacional del cual nuestro país es integrante. Tanto en el Primer Informe del año 2005 como en el segundo Informe del presente año, la OCDE ha indicado e insistido, en esta gran falencia que tiene nuestro país respecto a la gestión de sus recursos hídricos y de los servicios ecosistémicos que ellos prestan a la sociedad. Sobre la base de lo anterior, no es posible proponer un Plan de Gestión del Sistema de lagos estudiados, que tenga a la cuenca como instrumento de manejo, por lo cual la presente propuesta se basa sustancialmente, en la actual legalidad vigente relacionada con el uso de los recursos hídricos del país y la realidad de los territorios e instituciones públicas y privadas con responsabilidades e intereses en los cuerpos de aguas estudiados.

5.1 Objetivos de la propuesta de gestión

El objetivo principal del presente plan de gestión es implementar medidas para conservar el estado trófico de los lagos Calafquén, Neltume, Pirehueico, Panguipulli, Riñihue y Puyehue, a través del desarrollo de programas específicos.

Para poder garantizar el cumplimiento de este objetivo, se definieron los siguientes objetivos específicos, los cuales apuntan a:

- Promover y desarrollar actividades turísticas y recreativas alternativas a las actuales desarrolladas en los seis lagos de acuerdo con la calidad de agua objetivo propuesta (**Turismo y Recreación**).
- Generar información para el establecimiento de una norma de calidad de agua para cada uno de los lagos estudiados, privilegiando los usos actuales y futuros señalados por la comunidad (**Norma secundaria y Monitoreo**).
- Concientizar a los usuarios de los seis lagos, frente a la necesidad de tener presente que estos son sistemas complejos sobre los cuales se requiere conocer como están estructurados y cómo funcionan para desarrollar el sentido de responsabilidad ante los problemas ambientales que afectan a los lagos y como enfrentarlos (**Educación Ambiental**).
- Gestionar e implementar proyectos de investigación, con el objeto de ampliar el conocimiento de ellos y así la capacidad de manejarlos, los cuales sean considerados en la elaboración de planes de gestión específicos para cada uno y en conjunto de los lagos y su área de drenaje (**Investigación**).
- Crear e implementar un modelo de gestión administrativa, territorial y financiera para la gestión de los Lagos, que permita asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos (**Administración**).
- Desarrollar planes de conservación de los recursos hídricos de las cuencas de los lagos estudiados (**Especies invasoras y Protección de cauces y riberas**).

5.2 Diagnóstico participativo

Los procesos participativos organizados, permiten que las comunidades locales, tengan la oportunidad de plantear sus expectativas y colaborar en el logro de los productos implementados en el plan de gestión.

El siguiente subcapítulo, se sustenta en los antecedentes entregados por la comunidad vinculada a los seis lagos, a través de dos talleres participativos, realizados en las comunas de Los Lagos y Puyehue durante el mes de Mayo de 2016. Con esta actividad, se logró obtener una visión local de las posibles problemáticas vinculadas a los lagos y sus cuencas de drenaje.

Al respecto, se identificaron los actores que mantienen una relación directa y/o indirecta con los seis lagos y sus alrededores. También se definieron los usos actuales y potenciales, las problemáticas ambientales y se proponen *a priori*, las posibles instituciones públicas y

privadas que deberían conformar un Comité de Gestión, el cual tendrá como principal función, la implementación del proyecto del Plan de Gestión.

A continuación se resumen los aspectos más importantes de ambos talleres. En el Anexo 3, se puede encontrar en más detalle, la metodología y resultados de cada uno de estos talleres.

5.2.1 Identificación de actores

Los actores involucrados se pueden clasificar en tres categorías: sector público, sector privado y sociedad civil. Dentro del sector público, los participantes de los talleres identificaron a las municipalidades de las comunas de Villarrica, Panguipulli, Los Lagos, Río Bueno y Puyehue, como las principales instituciones responsables del cuidado ambiental de los lagos, lo cual guarda relación con la débil institucionalidad ambiental y administrativa aplicable para las áreas en consideración. Por otro lado, la Dirección General de Aguas (DGA), Seremi de Medio Ambiente y la Corporación Nacional Forestal (CONAF), son catalogadas como instituciones claves para hacer efectivas las diversas normativas que debieran regir a los seis lagos y sus cuencas.

Al sector privado, están vinculados todos los empresarios y/ o empresas que realizan actividades turísticas y económicas en el cuerpo de agua y en el área de las cuencas de los lagos. Principalmente, destacan, los rubros de la acuicultura, turismo e hidroelectricidad, y los emprendimientos de empresas forestales y agrícolas emplazadas dentro del área en estudio.

En el ámbito de la sociedad civil, se destaca a las diversas organizaciones con personalidad jurídica, establecimientos educacionales, turistas y comunidad en general.

5.2.2 Usos actuales y potenciales identificados por los participantes de los talleres

Las principales observaciones formuladas por los participantes, en relación a los usos actuales y potenciales de los seis lagos, permitió determinar las principales categorías de uso, acorde con las actividades desarrolladas en la actualidad y las anheladas en el futuro para cada uno de los lagos.

Los principales usos actuales identificados por los participantes fueron:

- (a) Turismo y Recreación: actividades de pesca deportiva, campismo, deportes náuticos y remo.
- (b) Productivo: comercio de subsistencia, acuicultura, ganadería, forestal, hidroeléctrico.
- (c) Infraestructura: asentamientos humanos permanentes y transitorios (esta última, principalmente en época estival), vial.
- (d) Cultural/Ancstral: de acuerdo a los diferentes usos que hacen las comunidades indígenas asociadas.

(e) Receptor de aguas residuales:

En relación a los usos potenciales, los participantes de los talleres, destacaron las siguientes categorías:

- (a) Turismo y Recreación; considerando el espejo de agua y las zonas ribereñas de los lagos en estudio, definiendo dichas zonas como áreas para uso exclusivo (e.g., zonas de campismo, las cuales debieran estar o ser agrupadas en un solo sector).
- (b) Productivo: se deben conservar los mismos usos actuales, pero indicando o deseando que la acuicultura e hidroelectricidad no sigan expandiéndose.
- (c) Infraestructura: desarrollo más acorde con la planificación del territorio.
- (d) Científico: considera un aumento del aporte de conocimiento para el desarrollo de futuros planes de gestión del territorio (lagos y respectivas cuencas hidrográficas).

Un aspecto importante a destacar, es que los diferentes actores participantes en el taller, en general, no manifestaron intereses opuestos en términos a los usos de los lagos y sus alrededores, observándose coincidencias en potenciar y privilegiar el uso turístico-recreacional.

5.2.3 Problemáticas ambientales identificados por los participantes de los talleres

En cuanto a la situación ambiental actual de los sistemas de lagos, fue posible identificar las siguientes problemáticas ambientales en la zona de estudio:

- a. Falta de norma secundaria de calidad de agua para los lagos.
- b. Acceso libre a playas y riberas de los lagos.
- c. Contaminación del agua y sedimentos por la acuicultura.
- d. Modificación del nivel del lago y caudales de ríos por la presencia de centrales hidroeléctricas.
- e. Descargas de aguas servidas y riles clandestinos de la agroindustria (lecherías).
- f. Contaminación de combustibles (bencina y aceite) por uso de embarcaciones con motor fuera de borda.
- g. Falta de derechos de agua para las comunidades indígenas.
- h. Falta de fiscalización ambiental por los servicios públicos.
- i. Contaminación con basuras (ej. bolsas plásticas) por turistas.
- j. **Presencia de especies invasoras (ej. La diatomea “Didymo”).**

5.2.4 Propuesta de integrantes para formar el futuro Comité de Gestión para la implementación del plan de gestión

De acuerdo a lo planteado en la discusión plenaria de ambos talleres, los asistentes propusieron la conformación del "Comité de Gestión" para los cuerpos de agua y sus cuencas en estudio, la que se señala en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Actores relevantes que debieran conformar el Comité de Plan de Gestión para los lagos en estudio.

COMITÉ DE GESTIÓN	LAGO PUYEHUE	LAGOS PANGUIPULLI, CALAFQUÉN, NELTUME Y PIREHUEICO	LAGO RIÑIHUE
Públicos	<ul style="list-style-type: none"> • Comité ambiental municipal (CAM) • Ministerio medio ambiente • Dirección General de Aguas (DGA) • Servicio Nacional de pesca (SERNAPESCA). • Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) • Municipalidad de Puyehue • Comité ambiental salud • Corporación Nacional Forestal (CONAF) 	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad de Panguipulli • Armada de Chile • Dirección General de Aguas (DGA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio Medio Ambiente • Dirección General de Aguas (DGA) • Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). • Municipalidad de Los Lagos
Privados	<ul style="list-style-type: none"> • Asociaciones de pesca • Asociación de boteros • Turismo urbano y rural • Asociación turismo Entre Lagos • Corporación redes turísticas 	<ul style="list-style-type: none"> • ESSAL • Empresas forestales • Empresas agrícolas • Empresas hidroeléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> • No se identifican
Comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Comunidad indígena • Consejo de comunidades ej. Presidente o consejero • Comité ambiental civil (CAC) • Comité de agua potable Pilmaiquén y Entrelagos • Consejo comunidades indígenas • Unión comunal de juntas de vecinos urbanas y rurales • Centro de alumnos liceos las Américas • Escuela básica Entre Lagos (SNCAE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades • Comunidad organizada • Comunidad mapuche 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimientos educacionales • Universidad Austral de Chile (UACH) • Juntas de vecinos (J.J.VV.)

5.3 Programas específicos de gestión

Los programas específicos de gestión, tienen por objetivo servir como guía para la ejecución de acciones destinadas a implementar, a través de diversas actividades, los objetivos propuestos para cada programa de manejo. Estos programas incluyen una propuesta específica, donde se establecen los lineamientos generales y directrices, a modo de objetivos, para la planificación futura de las áreas en cuestión.

Por cada programa se detallan los objetivos generales y específicos, las actividades a realizar y un horizonte de planificación de dos a cuatro años para cada programa específico de gestión.

En la Tabla 5.2 se entregan los problemas ambientales y programas específicos asociados a cada uno de ellos. Además se indican los programas de desarrollo comunal que fueron considerados para desarrollar cada uno de los programas.

Tabla 5.2. Problemas ambientales y programas específicos asociados a cada uno de ellos.

PROGRAMA	PROBLEMAS AMBIENTALES	PLANES DE DESARROLLO COMUNAL INVOLUCRADOS
Turismo y Recreación	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de playas públicas. • Acceso libre a playas y riberas de los lagos. • Contaminación con basuras (bolsas plásticas) por turistas. • Presencia de especies invasoras (Didymo). • Contaminación acuática. • Falta de difusión de ceremonias étnicas/religiosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO Panguipulli: <i>C. Desarrollo turístico.</i> <i>E. Desarrollo social</i> • ZOIT Panguipulli. • PLADETUR de Puyehue. • PLADECO de los Lagos. • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.
Norma secundaria de calidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de norma secundaria de calidad de agua para los lagos. • Contaminación del agua y sedimentos por la acuicultura. • Descargas de aguas servidas y riles clandestinos de la agroindustria (lecherías). • Contaminación difusa de combustibles (bencina y aceite) por uso de embarcaciones con motor fuera de borda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Red mínima de Lagos de la DGA. • PLADECO Panguipulli: <i>D. Sustentabilidad y recursos naturales.</i> <i>D.I. Mejorar la calidad y sustentabilidad ambiental de los recursos.</i> <i>D.II. Proteger los recursos naturales y la biodiversidad comunal.</i> • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.
Monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de norma secundaria de calidad de agua para los lagos. • Contaminación del agua y sedimentos por la acuicultura. • Descargas de aguas servidas y riles clandestinos de la agroindustria (lecherías). • Contaminación difusa de combustibles (bencina y aceite) por uso de embarcaciones con motor fuera de borda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Red mínima de Lagos de la DGA. • PLADECO Panguipulli: <i>D. Sustentabilidad y recursos naturales.</i> <i>D.I. Mejorar la calidad y sustentabilidad ambiental de los recursos.</i> • PLADECO de los Lagos • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.

PROGRAMA	PROBLEMAS AMBIENTALES	PLANES DE DESARROLLO COMUNAL INVOLUCRADOS
Educación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación con basuras (bolsas plásticas) por turistas. • Descargas de aguas servidas y riles clandestinos de la agroindustria (lecherías). • Contaminación difusa de combustibles (bencina y aceite) por uso de embarcaciones con motor fuera de borda. 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO Panguipulli: <i>D.IV. Implementación de una política y un programa de educación comunal.</i> • PLADECO de los Lagos. • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación del nivel del lago y caudales de ríos por la presencia de centrales hidroeléctricas. • Presencia de especies invasoras (Didymo). • Contaminación del agua y sedimentos por la acuicultura 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.
Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso libre a playas y riberas de los lagos. • Falta de fiscalización ambiental por los servicios públicos. • Falta de derechos de agua para las comunidades indígenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO Panguipulli: <i>A.III. Mejorar la coordinación intersectorial y regional de la inversión comunal.</i> <i>B.I. Potenciar las localidades estratégicas de la comuna de Panguipulli.</i> <i>F.II. Desarrollar un gobierno local moderno e inclusivo.</i> • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.
Especies invasoras (Didymo)	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de especies invasoras (Didymo). 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO Panguipulli: <i>D.I. Mejorar la calidad y sustentabilidad ambiental de los recursos.</i> <i>D.II. Proteger los recursos naturales y la biodiversidad comunal.</i> • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.

PROGRAMA	PROBLEMAS AMBIENTALES	PLANES DE DESARROLLO COMUNAL INVOLUCRADOS
Protección de cauces y riberas de lagos y ríos	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación acuática (puntual y difusa). • Plantaciones forestales. • Protección de la flora y fauna nativa. • Pesca furtiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • PLADECO Panguipulli: <ul style="list-style-type: none"> <i>D.I. Mejorar la calidad y sustentabilidad ambiental de los recursos.</i> <i>D.II. Proteger los recursos naturales y la biodiversidad comunal.</i> • PLADECO de Río Bueno. • Estrategia Regional de Desarrollo de los Ríos y de los Lagos.

5.3.1 PROGRAMA DE GESTIÓN EN TURISMO Y RECREACIÓN

i) Objetivo general

- Promover y desarrollar actividades turísticas y recreativas alternativas a las actuales desarrolladas en los lagos en estudio.

ii) Objetivos específicos

- Identificar y delimitar sectores con potencialidades y aptitudes para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas.
- Implementar medidas de mitigación para prevenir y/o corregir impactos ambientales derivados de la actividad turística.
- Diseñar señalética permanente, la cual debe incluir las actividades recreativas permitidas y no permitidas en los lagos.
- Diversificar las actividades turísticas que actualmente se desarrollan en los lagos.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Turismo y Recreación.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido a este punto está la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Turismo y Recreación.
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Turismo y Recreación, en temáticas medioambientales.
- d. **Coordinación de los diferentes programas.** Esta actividad está orientada a coordinar los diferentes programas de desarrollo turísticos desarrollados por los distintos municipios, a modo de optimizar los recursos y el personal.
- e. **Diversificación de la actividad turística.** Esta actividad está orientada a buscar alternativas de desarrollo turístico por parte de los empresarios que actualmente se apoyan en el atractivo ambiental que brinda la Región de los Ríos y de Los Lagos, principalmente por la utilización de los cuerpos de agua para actividades recreativas. La diversificación de la actividad turística futura, apunta a realizar actividades hacia el turismo comunitario, agroturismo y turismo rural. Esta actividad podría ser apoyada por SERNATUR, a través de un Programa de capacitación que permita dinamizar el desarrollo turístico en zonas rurales.

- f. **Diseño de señalética permanente.** Diseño, elaboración e instalación de señalética en la zona, a fin de dar a conocer todas las actividades turísticas recreativas permitidas y no permitidas en cada uno de los lagos.
- g. **Regularización de camping.** Incentivar a la regularización de los *campings* frente a municipios y autoridad sanitaria.
- h. **Programa de control de Norma Primaria de Calidad.** Implementar un programa de control de la norma primaria a través de la SEREMI de Salud.
- i. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Turismo y Recreación.

iv) Resultados esperados

- a. Identificar y delimitar sectores con potencialidades y aptitudes para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas.
- b. Medidas de mitigación para prevenir y/o corregir impactos ambientales derivados de la actividad turística.
- c. Diseño de señalética permanente, la cual debe incluir las actividades recreativas permitidas y no permitidas en los lagos.
- d. Identificación de actividades turísticas que actualmente se desarrollan en los lagos.
- e. Zonificación de las áreas destinadas al desarrollo turístico.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.3, muestra las actividades a desarrollar para el plan específico de investigación, por un periodo de tres años.

Tabla 5.3. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE TURISMO Y RECREACIÓN													
Actividades		Año 1				Año 2				Año 3			
		Trimestre				Trimestre				Trimestre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación												
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura												
c.	Capacitaciones en temas ambientales												
d.	Coordinación de los diferentes programas												
e.	Diversificación de la actividad turística.												
f.	Diseño de señalética permanente												
g.	Programa de control de Norma Primaria de Calidad.												
h.	Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones												
		Actividad a corto plazo											
		Actividad a mediano plazo											
		Actividad a largo plazo											

5.3.2 PROPUESTA DE UNA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DEL AGUA.

i) Objetivo general

- Gestionar la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua para los seis lagos estudiados para ser presentada al Ministerio del Medio Ambiente y solicitar su tramitación.

ii) Objetivos específicos

- Análisis de la base de datos calidad de agua para cada uno de los lagos estudiados.
- Establecer áreas de vigilancia para el cumplimiento y fiscalización de la norma en cada lago.
- Determinar los niveles de calidad del agua para mantener el estado trófico de los lagos.

- Diseñar un programa de monitoreo para verificar el cumplimiento de la norma propuesta.
- Elaborar un documento de línea base para la formulación de normas secundaria de calidad de las aguas de los 6 lagos estudiados.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes en la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Este punto está referido a la identificación y cuantificación de las necesidades de personal, equipos y servicios necesarios para la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua.
- c. **Informativo comunicacional.** Realizar un traspaso de la información sobre la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua, que contenga la información de línea base de los sistemas lacustres y sus respectivas cuencas, que permita la elaboración de documentos de divulgación científica que puedan ser transmitidos a través de medios locales y nacionales.
- d. **Elaboración de base de datos de calidad de agua para los lagos.** Este punto está orientado a la elaboración e implementación de una base de datos con la información de la calidad del agua en los diferentes lagos.
- e. **Determinación de áreas de vigilancia para el cumplimiento y fiscalización de la norma en cada lago.** Es el cuerpo de agua continental superficial, o parte de él, para efectos de asignar y gestionar su calidad ambiental.
- f. **Catastro de sistemas de descargas domiciliarias (urbanas y rurales) e industriales.** Esta actividad está dirigida a determinar el número y ubicación de descargas urbanas e industriales dentro de las cuencas de los lagos, de modo de establecer un control sobre dichas descargas.
- g. **Determinación de niveles de calidad del agua para mantener el estado trófico de los lagos.** Corresponde a las concentraciones de nutrientes y otros parámetros de calidad del agua que deben ser establecidos para mantener el estado trófico actual de los lagos.

iv) Resultados esperados

- a. Base de datos de calidad de agua para los lagos.

- b. Áreas de vigilancia para el cumplimiento y fiscalización de la norma en cada lago.
- c. Niveles de calidad del agua para mantener el estado trófico de los lagos.
- d. Catastro de sistemas de descargas domiciliarias (urbanas y rurales) e industriales.
- e. Documento de línea base con toda la información relevante y requerida para proponer la norma secundaria de calidad del agua para el sistema de lagos estudiados.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.4, muestra las actividades a desarrollar para el programa de norma Secundaria de Calidad de Agua por un periodo de dos años.

Tabla 5.4. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE ELABORACION DE NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DEL AGUA									
Actividades		Año 1				Año 2			
		Trimestre				Trimestre			
		1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación								
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura								
c.	Informativo comunicacional								
d.	Elaboración de anteproyecto de norma								
e.	Elaboración de base de datos de calidad de agua								
f.	Determinación de áreas de vigilancia								
g.	Catastro de sistemas de descargas domiciliarias e industriales								
h.	Determinación de niveles de calidad del agua								
		Actividad a corto plazo							
		Actividad a mediano plazo							

5.3.3 PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL

i) Objetivo general

- Sensibilizar a los usuarios de la Región de los Ríos a que desarrollen su sentido de responsabilidad y que tomen conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas ambientales de los sistemas lacustres y de los servicios ecosistémicos que ellos otorgan a la región y el país.

ii) Objetivos específicos

- Contribuir al desarrollo de una mayor sensibilidad y conciencia ambiental en la comunidad local y actores relevantes, con el fin de promover la conservación y protección de los cuerpos de agua y su entorno.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Educación Ambiental.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Educación Ambiental.
- c. **Capacitaciones en temas ambientales.** Sobre la base de un Programa de Educación Ambiental elaborado para el sistema lacustre estudiado, se deben realizar capacitaciones del personal designado para implementar el Plan de Gestión en Educación Ambiental en temáticas medioambientales.
- d. **Promoción de la educación ambiental.** Esta actividad abordaría a promocionar la educación ambiental de dos formas. Primero, a través del sistema de educación formal en establecimientos educativos de las comunas de Villarrica, Panguipulli, Los Lagos, Río Bueno y Puyehue a través de cada uno de los respectivos DAEM (Departamento de Educación Municipal), y por otra parte, la educación ambiental del tipo informal que sería dictada para la comunidad local y actores relevantes del área de estudio, a través de **Organizaciones No Gubernamentales (ONG's)** interesadas en este tema.
- e. **Elaboración de material informativo.** Esta actividad está orientada a la elaboración, diseño e impresión de material informativo para difusión tanto a nivel local como regional.

- f. **Instalación de señalética permanente.** Esta actividad apunta a la instalación de letreros en los lugares más concurridos por la comunidad o visitantes, respecto a control de la basura, la contaminación acuática y la conservación de la biodiversidad.
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Plan de Gestión en Educación Ambiental.

iv) Resultados esperados

- a. Material educativo y de divulgación con información de los atributos ecológicos, paisajísticos y culturales de los lagos en estudio.
- b. Talleres de capacitación permanente para los servicios públicos y la comunidad en general a través de actividades recreativas y de educación ambiental.
- c. Infraestructuras, equipamiento y servicios necesarios para el desarrollo de actividades de recreación y turísticas suficientemente gestionadas.
- d. Consolidación de proyectos de recreación y de educación ambiental compatibles con la conservación.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.5, muestra las actividades a desarrollar para el programa de Educación Ambiental, por un periodo de cuatro años.

Tabla 5.5. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL																
Actividades	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
	Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación															
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura															
c.	Capacitaciones en temas ambientales															
e.	Promoción de la educación ambiental															
f.	Elaboración de material informativo															
g.	Instalación de señalética permanente															
h.	Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones															
Actividad a corto plazo																
Actividad a mediano plazo																
Actividad a largo plazo																

5.3.4 PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

i) Objetivo general

- Implementar proyectos de investigación que se consideren prioritarios para la conservación y manejo sustentable de los lagos y sus cuencas de drenaje.

ii) Objetivos específicos

- Definir las acciones y estrategias que permitan la investigación sobre la interacción entre las actividades antrópicas y el uso sustentables de los recursos naturales.
- Incentivar estudios de investigación que resulten atractivos para los usuarios, particularmente aquellos orientados a mejorar el manejo de los recursos naturales hídricos.
- Establecer convenios y acuerdos con instituciones académicas para desarrollar proyectos de investigación.
- Establecer normas sobre el uso del área para la investigación, reglamentando el acceso, la recolección de material y el uso de la información generada.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Programa de Investigación.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Programa de Investigación.
- c. **Cartera de proyectos en investigación.** Esta actividad corresponde a priorizar y gestionar una cartera de proyectos de investigación, los que deben centrarse en generar nueva información ambiental de los lagos en estudio, a fin, que permita la toma de decisiones técnicas, respecto a las actividades que se desarrollen en los lagos y su cuenca.

Las investigaciones relevantes a efectuar serían:

- Balance de nutrientes para los lagos en estudio.
 - Determinación de coeficientes de exportación de nutrientes específicos para los lagos en estudios.
 - Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas lacustres.
 - Modelación de la calidad del agua de los lagos.
 - Estudios del efecto de las especies invasoras sobre la estructura de las comunidades acuáticas (*Didymosphenia geminata*, *Ceratium hirundinella*).
 - Impacto de las actividades productivas sobre los ecosistemas acuáticos (acuicultura, ganadería, hidroelectricidad, turismo, etc.)
- d. **Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos.** Esta actividad apunta a desarrollar estrategias de fomento para la investigación y definición de mecanismos para formalizar los acuerdos entre instituciones interesadas. Para la obtención de fondos, se podría recurrir a instituciones tanto nacionales como internacionales que apoyen iniciativas para investigaciones aplicadas.

iv) Resultados esperados

- a. Conformación de un Consejo Consultivo de Investigación Científica conformado por investigadores de Universidades nacionales interesadas en la temática.
- b. Propuesta de una cartera de proyectos de investigación.
- c. Creación de un Centro de investigación Limnológica para el estudio de los lagos Araucanos.

d. Actualización de la información limnológica para los lagos Araucanos.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.6, muestra las actividades a desarrollar en el Programa de Investigación, para un periodo de cuatro años.

Tabla 5.6. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE GESTION EN INVESTIGACIÓN																	
Actividades		Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
		Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación																
	Constitución del Consejo Consultivo de Investigación																
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura																
c.	Cartera de proyectos en investigación																
d.	Implementación de estrategias y mecanismos para obtención de fondos																
		Actividad a corto plazo															
		Actividad a mediano plazo															
		Actividad a largo plazo															

5.3.5 PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN

- El programa de administración integra todas las necesidades administrativas del resto de los programas.

i) Objetivo general

- Crear e implementar un modelo de gestión administrativa, territorial y financiera para la gestión de los Lagos, que permita asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos.

ii) Objetivos específicos

- Definir e implementar un modelo de administración, validado por las comunas y usuarios de los lagos en estudio.
- Definir un directorio, asamblea o consejo que aborde las tareas de gestión, administración, vigilancia, protección y monitoreo de los lagos.
- Definir un estatuto de administración, que incluya responsabilidades, líneas de investigación y financiamientos.
- Proveer del personal, infraestructura y equipamiento básico para la adecuada administración y seguimiento del área donde serán aplicados los demás programas de gestión.
- Diseño e implementación del programa de prevención de riesgos.

iii) Comité de gestión

El Comité de Gestión debería estar liderado por los municipios de Villarrica, Los Lagos, Panguipulli, Río Bueno y Puyehue debido a que éstos tienen influencia directa sobre los lagos estudiados.

Es importante destacar, que actualmente, no todos los municipios cuentan con departamentos de medio ambiente, lo cual dificulta la puesta en marcha de este plan de gestión; sin embargo es posible derivar algunas actividades a otras unidades municipales. Solamente las municipalidades de Panguipulli y Puyehue cuentan con departamento de Medioambiente, los otros municipios desarrollan la actividad medioambiental a través del departamento de Obras o de Aseo y Ornato.

Se sugiere, a futuro desarrollar un proyecto colaborativo entre estos municipios, con el fin de crear una entidad que vele por la calidad ambiental de los lagos y su entorno, la cual podría estar a cargo, de a lo menos, dos profesionales, con experiencia en gestión ambiental.

Luego del diagnóstico ambiental realizado en los talleres participativos y las diversas entrevistas realizadas con los distintos representantes de la comunidad y el equipo

consultor, se propone la formación de un Comité de Gestión a Nivel Local, como primera instancia de organización para la implementación de este plan de gestión

En la Figura 5.1, se puede observar la estructura grafica del Comité.

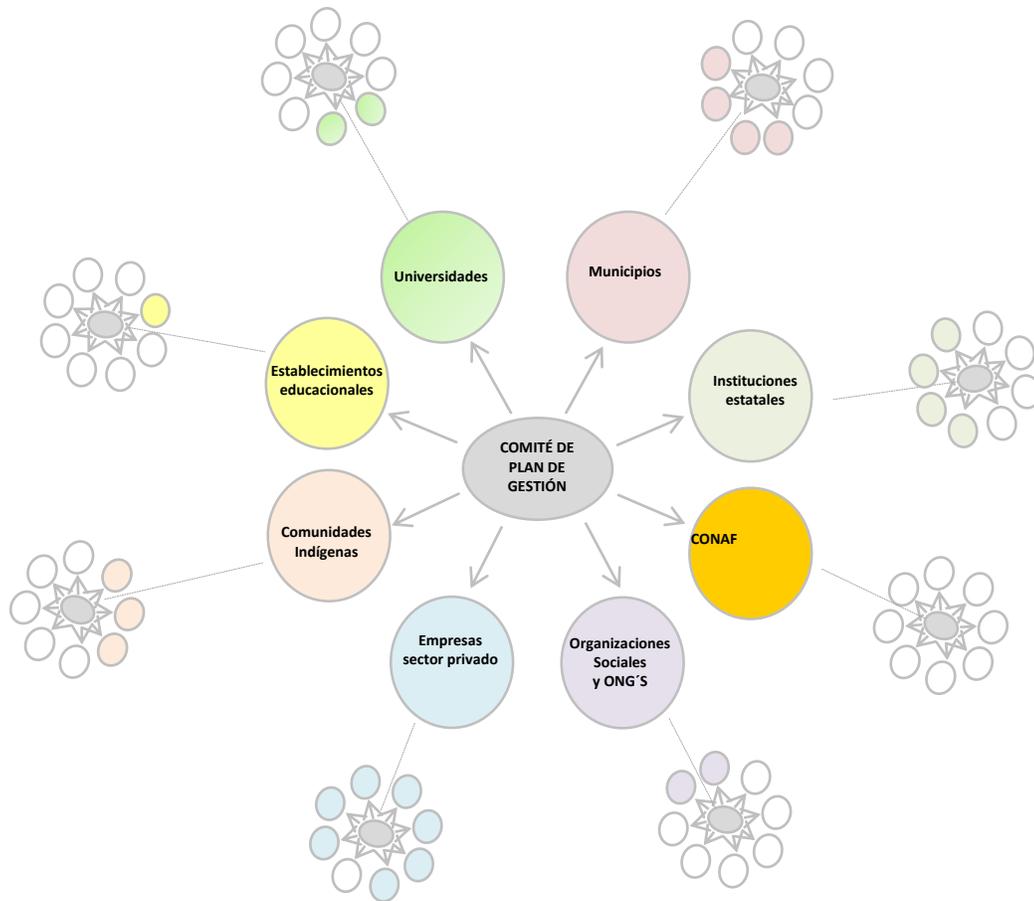


Figura 5.1. Propuesta de comité de gestión local (modificado de PEDAL, 2010).

iv) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Plan de Gestión en Administración.

- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Plan de Gestión en Administración.
- c. **Seguimiento y control de planes de gestión específicos.** Esta actividad está orientada a la elaboración de un plan de seguimiento y control de las actividades establecidas en los otros planes de gestión, a saber, Turismo y Recreación, Monitoreo, Norma secundaria de calidad, Educación Ambiental e Investigación. A su vez, se deberá definir al personal encargado y responsables de llevar a cabo este programa de seguimiento.
- d. **Capacitaciones en administración.** Identificación y ejecución de capacitaciones necesarias para el personal, encargado de llevar a cabo el Plan de Gestión en Administración.
- e. **Implementación de estrategias de cooperación institucional.** Esta actividad apunta en generar redes estratégicas para la cooperación institucional, definiendo sistemas de acuerdos o contratos con terceros para labores de administración del área.
- f. **Implementación de sistemas contables.** Definición de sistemas administrativos y gestión financiera, incluyendo registro de ingresos y egresos y otros sistemas contables.
- g. **Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.** Esta actividad está orientada a proveer un mantenimiento de toda la infraestructura a utilizar para llevar a cabo el Programa de Gestión en Administración.

v) Resultados esperados

- a. Implementación de un modelo de administración de los lagos para toda la Región.
- b. Obtención de recursos económicos y humanos permanentes (profesionales, administrativos y técnicos).
- c. Integración y desarrollo de planes de gestión específicos.
- d. Programa de prevención de riesgos y accidentabilidad.

vi) Cronograma de actividades

La Tabla 5.7, muestra las actividades a desarrollar para el programa de Administración, por un periodo de cuatro años.

Tabla 5.7. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN																	
Actividades		Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
		Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación																
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura																
c.	Seguimiento y control de planes de gestión específicos																
d.	Capacitaciones en administración																
e.	Implementación de estrategias de cooperación institucional																
f.	Implementación de sistemas contables																
g.	Mantenimiento de los equipos y de las instalaciones.																
		Actividad a corto plazo															
		Actividad a mediano plazo															
		Actividad a largo plazo															

5.3.6 PROGRAMA DE CONTROL DE ESPECIES INVASORAS

i) Objetivo general

- Monitoreo y alerta temprana de la presencia de Didymo en los principales ríos de la Región de los Ríos y de Los Lagos.

ii) Objetivos específicos

- Elaboración de una base de datos de los ríos con y sin presencia de Didymo.
- Capacitación de funcionarios públicos en relación a floraciones del Didymo.
- Diseño de señalética y material educativo con información del Didymo.
- Implementación medidas de para evitar la propagación del Didymo.

iii) Actividades

- Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Programa de protección de cauces y riberas de lagos y ríos.

- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Programa de protección de cauces y riberas de lagos y ríos.

- c. **Identificación de zonas con y sin presencia de Didymo.** Actividad relacionada con la elaboración de cartografía temática de las cuencas, que incluya la cantidad y calidad de los recursos hídricos en la cuenca. Además debe incluir los emplazamientos de las distintas actividades productivas y centros urbanos.

- d. **Diseño de señalética y material educativo con información del Didymo.** Esta actividad apunta a diseñar un programa de recuperación y restauración priorizado de humedales y vegetación ribereña asociada lagos, ríos, esteros y quebradas. Además deberá incluir un programa priorizado de acciones para erradicar los factores de presión y amenaza sobre los ecosistemas dulceacuícolas y su entorno.

- e. **Diseño e implementación de medidas de para evitar la propagación del Didymo.** Corresponde la implementación de medidas para la limpieza y desinfección de materiales deportivos, equipos de pesca, vehículos, embarcaciones, etc. para evitar la propagación de la plaga de Didymo a zonas sin su presencia.

iv) Resultados esperados

- a. Base de datos con información de los ríos con y sin presencia de Didymo.
- b. Funcionarios públicos capacitados en el control de la propagación del Didymo.
- c. Construcción de señalética e impresión de material educativo con información del Didymo.
- d. Implementación medidas de para evitar la propagación del Didymo.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.8, muestra las actividades asociadas en el programa de Control de Especies Invasoras, para un periodo de cuatro años.

Tabla 5.8. Cronograma de actividades.

PROGRAMA DE CONTROL DE ESPECIES INVASORAS																
Actividades	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
	Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación.															
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.															
c.	Identificación de zonas con y sin presencia de Didymo.															
d.	Diseño de señalética y material educativo.															
e.	Diseño e implementación de medidas de para evitar la propagación															
Actividad a corto plazo																
Actividad a mediano plazo																
Actividad a largo plazo																

5.3.7 PROGRAMA DE PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS DE LAGOS Y RÍOS

i) Objetivo general

- Proteger y conservar la vegetación ribereña de lagos y ríos presentes en el área de estudio.

ii) Objetivos específicos

- Elaboración de cartografía base de cada cuenca con la red hídrica, identificando los principales cuerpos de agua y zonas húmedas.
- Evaluación del estado de conservación de las formaciones vegetacionales presentes en el área de estudio.
- Identificación de zonas con problemas de conservación por cuencas.
- Identificación de amenazas para la conservación y protección cauces, riberas y zonas húmedas.
- Diseño de un programa de protección, recuperación y restauración priorizado de humedales y vegetación ribereña asociada lagos, ríos, esteros y quebradas.

iii) Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes del Comité de Gestión para implementar el Programa de protección de cauces y riberas de lagos y ríos.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades del personal, construcciones, equipos y servicios para la aplicación del Programa de protección de cauces y riberas de lagos y ríos.
- c. **Identificación de zonas con problemas de conservación por cuencas.** Actividad relacionada con la elaboración de cartografía temática de las cuencas, que incluya la cantidad y calidad de los recursos hídricos en la cuenca. Además debe incluir los emplazamientos de las distintas actividades productivas y centros urbanos.
- d. **Identificación de amenazas para la conservación.** Esta actividad corresponde a catastrar las solicitudes de parcelación, urbanización, emplazamiento de proyectos industriales y energéticos, disposición de residuos líquidos, extracción de áridos, y otras amenazas.
- e. **Diseño de programa de protección y restauración de riberas.** Esta actividad apunta a diseñar un programa de recuperación y restauración priorizado de humedales y vegetación ribereña asociada lagos, ríos, esteros y quebradas. Además deberá incluir un programa priorizado de acciones para erradicar los factores de presión y amenaza sobre los ecosistemas dulceacuícolas y su entorno.

iv) Resultados esperados

- a. Zonificación de los cauces y riberas a proteger por cuencas.
- b. Identificación de zonas con problemas de conservación por cuencas.
- c. Identificación de zonas de humedales por cuenca.
- d. Programa de protección y restauración de riberas.
- e. Identificación de amenazas para la conservación y protección cauces, riberas y zonas húmedas.

v) Cronograma de actividades

La Tabla 5.9, muestra las actividades asociadas en el programa de Protección de Cauces y Riberas de lagos y ríos para un periodo de cuatro años.

Tabla 5.9. Cronograma de actividades.

PLAN DE PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS DE LAGOS Y RÍOS																	
Actividades		Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
		Trimestre				Trimestre				Trimestre				Trimestre			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
a.	Reuniones y Coordinación																
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura																
c.	Identificación de zonas con problemas de conservación																
d.	Identificación de amenazas para la conservación																
e.	Diseño de programa de protección y restauración																
		Actividad a corto plazo															
		Actividad a mediano plazo															
		Actividad a largo plazo															

6 PROGRAMA DE MONITOREO

6.1 Objetivo general

- Redefinir el actual programa de monitoreo de la calidad del agua para los lagos Calafquén, Neltume, Pirihueico, Panguipulli, Riñihue y Puyehue.

6.2 Objetivos específicos

- Complementar la base de datos de calidad de agua y sedimentos para cada lago.
- Caracterizar de la calidad del agua y sedimentos de cada lago en periodo de verano e invierno.
- Caracterizar la calidad del agua de los afluentes y efluentes de cada lago en periodo de verano e invierno.
- Complementar la red fluviométrica con estaciones de aforo para la medición de los caudales de entrada y salida de los lagos.

6.3 Actividades

- a. **Reuniones y Coordinación.** Deben existir instancias para la coordinación entre los distintos participantes en la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua.
- b. **Necesidad de personal y apoyo de infraestructura.** Referido este punto a la identificación y cuantificación de las necesidades de personal, equipos y servicios necesarios para la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua.
- c. **Informativo comunicacional.** Realizar un traspaso de la información sobre la elaboración de un anteproyecto de norma secundaria de calidad de agua, a través de medios locales y nacionales, como diarios y radio.
- d. **Elaboración de base de datos de calidad de agua para los lagos.** Este punto está orientado a la elaboración e implementación de una base de datos con la información de la calidad del agua los diferentes lagos.
- e. **Instrumentalización de las cuencas.** Esta actividad está dirigida a la implementación de las estaciones meteorológicas y fluviométricas en las cuencas, afluentes y efluentes que no cuentan (X) con este tipo de medición (Tabla 6.1). En la actualidad las estaciones meteorológicas existentes solo tienen sensores de precipitación y temperatura, por lo que sería necesario modernizarlas con los sensores de radiación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

Tabla 6.1. Estado actual de las estaciones meteorológicas y fluviométricas en las cuencas de los lagos en estudio.

Lago	Limnómetro	Estación Meteorológica*	Cauces afluentes y efluentes	Estación fluviométrica**
Calafquén	✓	✓	Coñaripe	X
			Hueinica	X
Neltume	✓	✓ (suspendida)	Cua Cua	X
			Neltume	X
Pirehueico	✓	✓	Hua hum	✓
			Fui	✓
Panguipulli	✓	X	Llanquihue	X
			Huenehue	X
			Enco	X
Riñihue	✓	✓	Enco	X
			San Pedro	✓
Puyehue	✓	X	Gol gol	X
			Pilmaiquén	✓

* Precipitación, temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

** Medición de caudal horario con sensor de presión o ultrasónico.

f. **Programa de monitoreo.**

g. **Programa de monitoreo.**

El programa de monitoreo propone la relocalización de las estaciones de muestreo en los lagos Calafquén, Riñihue y Puyehue, considerando evaluar el efecto de las actividades urbanas sobre la columna de agua y sedimentos en estos lagos. Del mismo modo se propone la eliminación de dos de las tres estaciones de muestreo en los lagos Neltume y Pirehueico. Además se adicionan dos nuevas estaciones de monitoreo, una en el río Niltre (Lago Panguipulli) y otra en el río Pescadero (Lago Puyehue). Estas modificaciones están señaladas en las minutas respectivas de cada lago.

- **Lago Calafquén**

El lago Calafquén es parte de la cuenca del río Valdivia y se ubica entre los 39°32' S y los 72°09' O. Este sistema léntico de origen glaciar, tiene una profundidad máxima de 212 m y se clasifica como lago fiordo tipo 28b, según la clasificación propuesta por Hutchinson (1957). Este lago tiene una cuenca hidrográfica de 554 km², cubriendo las laderas Sur del volcán Villarrica y Suroeste del volcán Quetrupillán. Sus principales tributarios son el río Coñaripe y los esteros Diuco, Collico, Nilfe y Comonahue. El régimen térmico es templado monomítico, con estratificación térmica de verano y mezcla completa en invierno (Van Daele et al., 2014).

En la Tabla 6.2 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.1), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.2. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Calafquén	Estación 1	754395 - 5616346	
	Estación 2	746563 - 5623787	
	Estación 3	741855 - 5621346	
	Río Coñaripe	755490 - 5614371	
	Estero Diuco	756389 - 5616793	
	Estero Nilfe	751362 - 5621656	
	Estero Comonahue	752895 - 5618623	
	Canal Hueinica	748724 - 5618307	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones lago	Verano Invierno	0/10/30/70/100 metros 0/30/70 metros	
Periodos y profundidad de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e invierno	Superficial	
Parámetros			
Físico-químicos	Temperatura, Conductividad, pH, oxígeno disuelto y transparencia		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		



Figura 6.1. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Calafquén y sus tributarios.

Lago Neltume

El lago Neltume está situado a la latitud 39°47´S y longitud 71°59´W a una altitud que alcanza solo 186 m s.n.m. Es un lago de la Cordillera de los Andes que se conecta al sistema hidrográfico de Valdivia. El litoral del lago presenta 20% de pantanos ribereños y en el resto predomina una costa con vegetación terrestre que llega hasta el nivel de agua. El lago tiene un afluente principal, río Cua Cua, que está constituido por tres tributarios. Además posee un afluente secundario, el río Chan Chan. Todos los afluentes drenan una extensa área de 763 km² que equivale a 75,1 veces el área del lago. El único efluente es el río Neltume que tiene un recorrido cercano a un kilómetro. Este río al unirse con el río Fui constituye el río Llanquihue que desagua en el lago Panguipulli. Se eliminan las estaciones E-1 y E-3.

En la Tabla 6.3 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.2), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.3. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Neltume	Estación 1	758372 - 5590718	
	Río Neltume	756483 - 5588431	
	Río Chan Chan	758628 - 5589488	
	Río Cua Cua	760158 - 5592810	
	Estero Huechulafquén	760469 - 5592579	
Periodos y profundidades de muestreo estación Lago	Verano Invierno	0/10/30/50/80 metros 0/30/80 metros	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e Invierno	Superficial	
Parámetros			
Fisicoquímicos	Temperatura, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, Transparencia.		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		

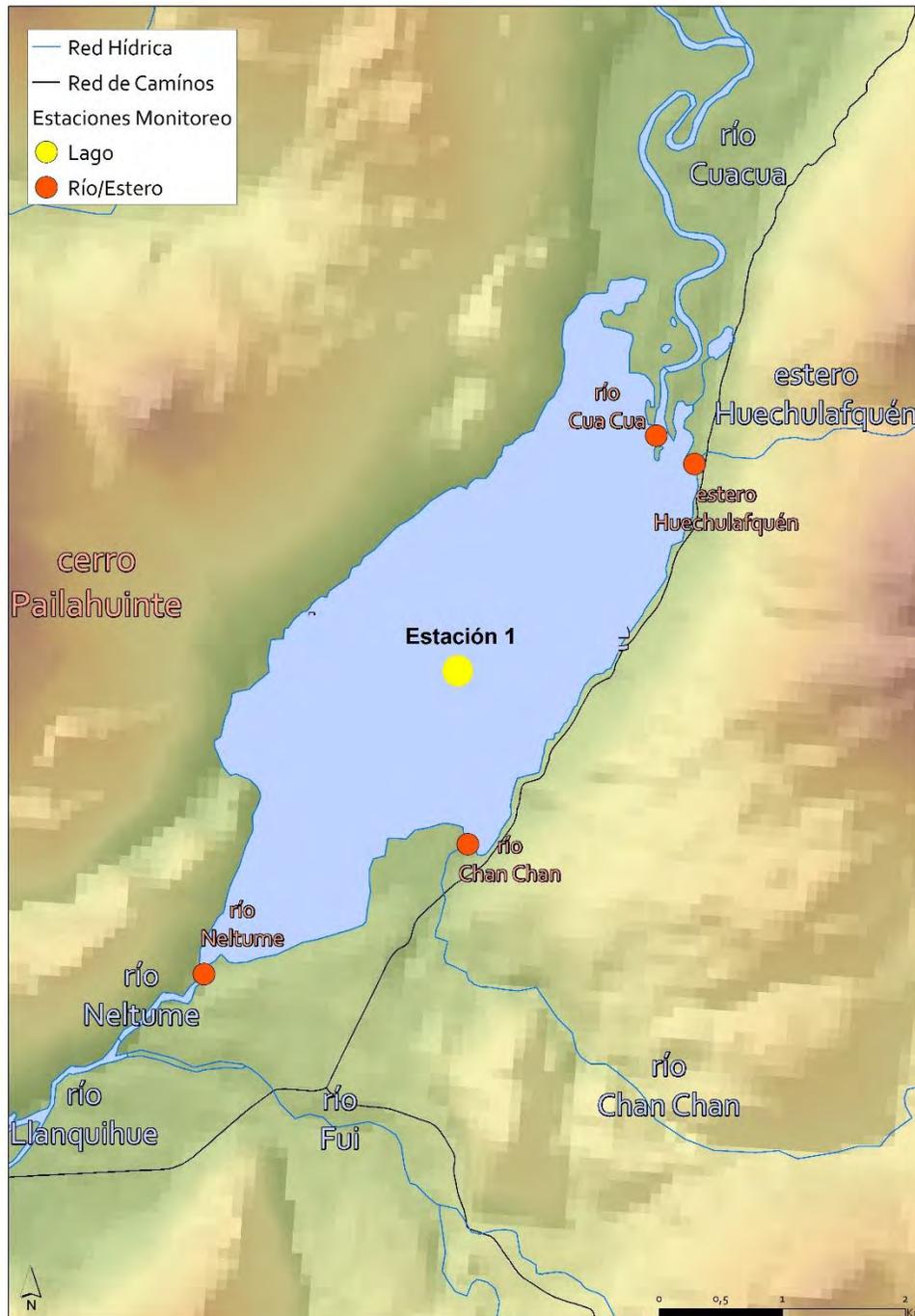


Figura 6.2. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Neltume y sus tributarios.

- **Lago Pirihueico**

El lago Pirihueico se sitúa a una latitud de 39°57´S y longitud 71° 48´W a una altitud de 586 m. Está ubicado en la Cordillera de los Andes en un valle relativamente bajo en comparación a la altura de las montañas y volcanes que lo rodean (alrededor de los 2000 m). Este lago se conecta con el lago Lácar (Argentina) y con el resto del sistema hidrográfico de Valdivia. El principal afluente del lago es el río Hua Hum que trae aguas del lago Lácar, y de varios afluentes secundarios. Todos estos afluentes drenan un área de 1466 km², equivalente a 48 veces el área del lago Pirihueico. El único efluente es el río Fuy que transporta las aguas desde el lago Pirihueico hacia el lago Panguipulli (Campos et al., 1978).

En la Tabla 6.4 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.3), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.4. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Pirihueico	Estación 1 (estación Fuy)	778359 - 5568811	
	Río Fuy	766004 - 5581536	
	Río Lipinza	779522 - 5565223	
	Río Hua Hum	779486 - 5565057	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones lago	Verano	0/10/30/70/100 metros	
	Invierno	0/30/70 metros	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e Invierno	Superficial	
Parámetros			
Físico-químicos	Temperatura, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, Transparencia.		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		

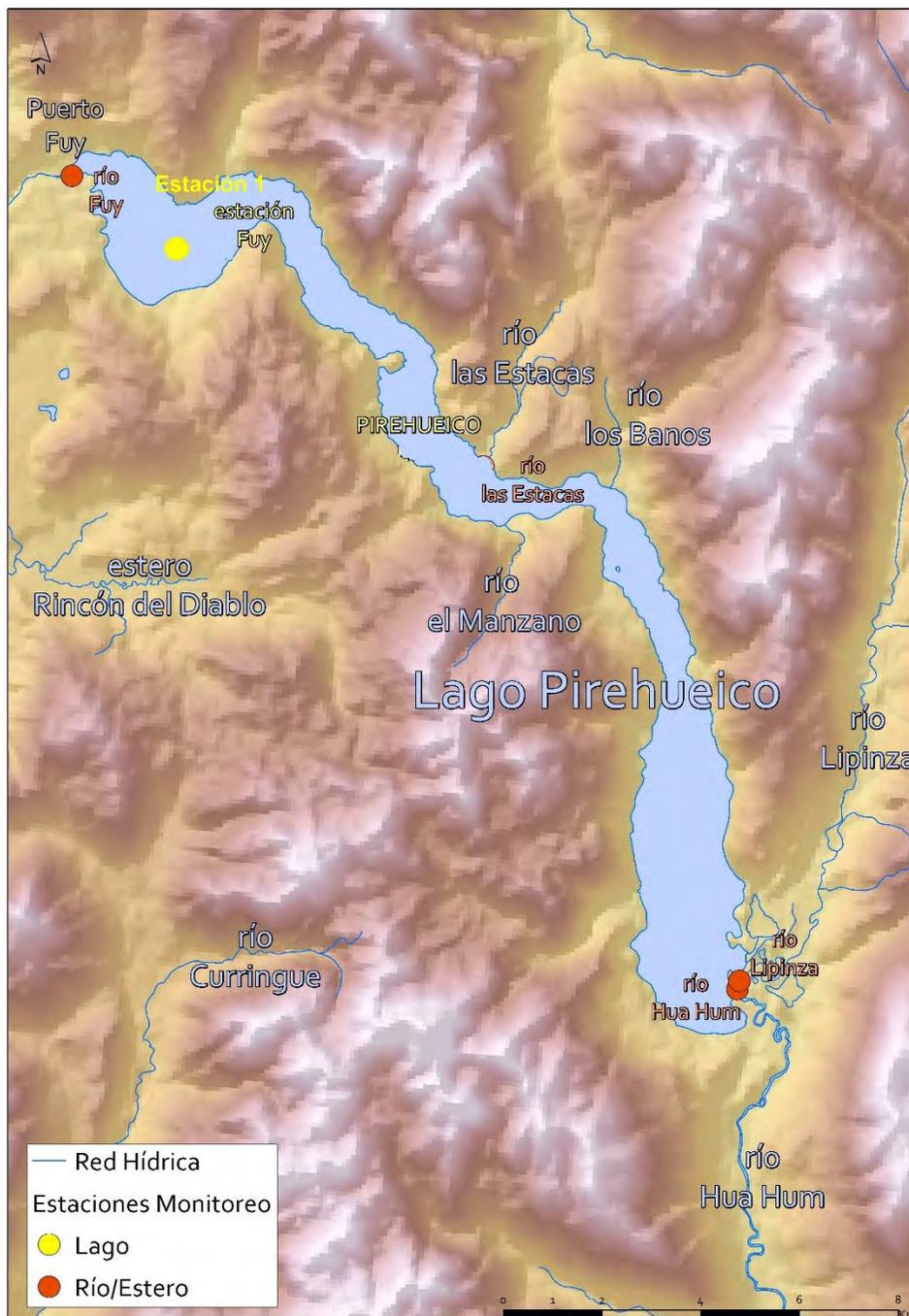


Figura 6.3. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Pirehueico y sus tributarios.

• **Lago Panguipulli**

El lago Panguipulli se encuentra ubicado entre los 39°43' S y los 72°13'O, en la precordillera de la Región de los Ríos, a 140 m s.n.m. Este cuerpo de agua tiene una cuenca hidrográfica de 3811 km², con una profundidad máxima de 268 m y una criptodepresión de 128 m. Su batimetría está asociada a su origen glaciar y su cubeta tiene una forma sub-rectangular elongada que recibe agua de siete tributarios principales, siendo los más importantes los que traen agua de otros lagos. El río Huanehue entrega agua del lago Pullinque, que a su vez tiene una corta conexión con el lago Calafquén, que está conectado con el lago Pellaifa. El lago tiene una relación área de drenaje área del lago correspondiente a 32,6 veces la superficie del lago. El lago tiene una única salida a través del río Enco.

En la Tabla 6.5 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.4), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.5. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Panguipulli	Estación 1* (Panguipulli)	747759 - 5587222	
	Estación 2 (Centro)	736336 - 5603785	
	Estación 3 (Choshuenco)	730761 - 5607720	
	Río Llanquihue	749057 - 5587519	
	Río Huanehue	738051 - 5610474	
	Río Niltre	739330 - 5600440	Nueva estación
Periodos y profundidades de muestreo	Verano	0/10/20 metros(estación E 1)* 0/10/30/70/100 metros	
	Invierno	0/10/20 metros(estación E 1)* 0/30/70 metros	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e Invierno	Superficial	
Parámetros			
Físico-químicos	Temperatura, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, Transparencia.		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		

*: Estación con profundidad máxima de 20 m.



Figura 6.4. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Panguipulli y sus tributarios.

• **Lago Riñihue**

El lago Riñihue está localizado a los 39°50' de latitud Sur y a los 72°20' de longitud Oeste en la precordillera de los Andes. Este sistema lacustre de origen es glaciar tiene una superficie de 77.5 m², una profundidad máxima de 323 m y su se encuentra ubicado a una altitud de 117 m s.n.m. Este lago es monomítico cálido, lo cual significa que durante el periodo de verano se encuentra estratificado y, durante los meses de invierno, la columna de agua se encuentra mezclada. El principal afluente es el río Enco, que drena las aguas del lago Panguipulli y su efluente corresponde al río San Pedro.

En la Tabla 6.6 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.5), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.6. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Riñihue	Estación 1 (Riñihue 2)	729721 - 5587640	
	Estación 2 (Bahía Riñihue)	720114 - 5589299	
	Estación 3 (Riñihue 3)	721818 - 5591792	
	Río Enco	741366 - 5577373	
	Río San Pedro	717800 - 5594011	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones lago.	Verano Invierno	0/10/30/70/100 metros 0/10/30/50 metros (estación 2) 0/30/70 metros 0/30/50 metros (estación 2)	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e Invierno	Superficial	
Físico-químicos	Temperatura, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, Transparencia.		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		

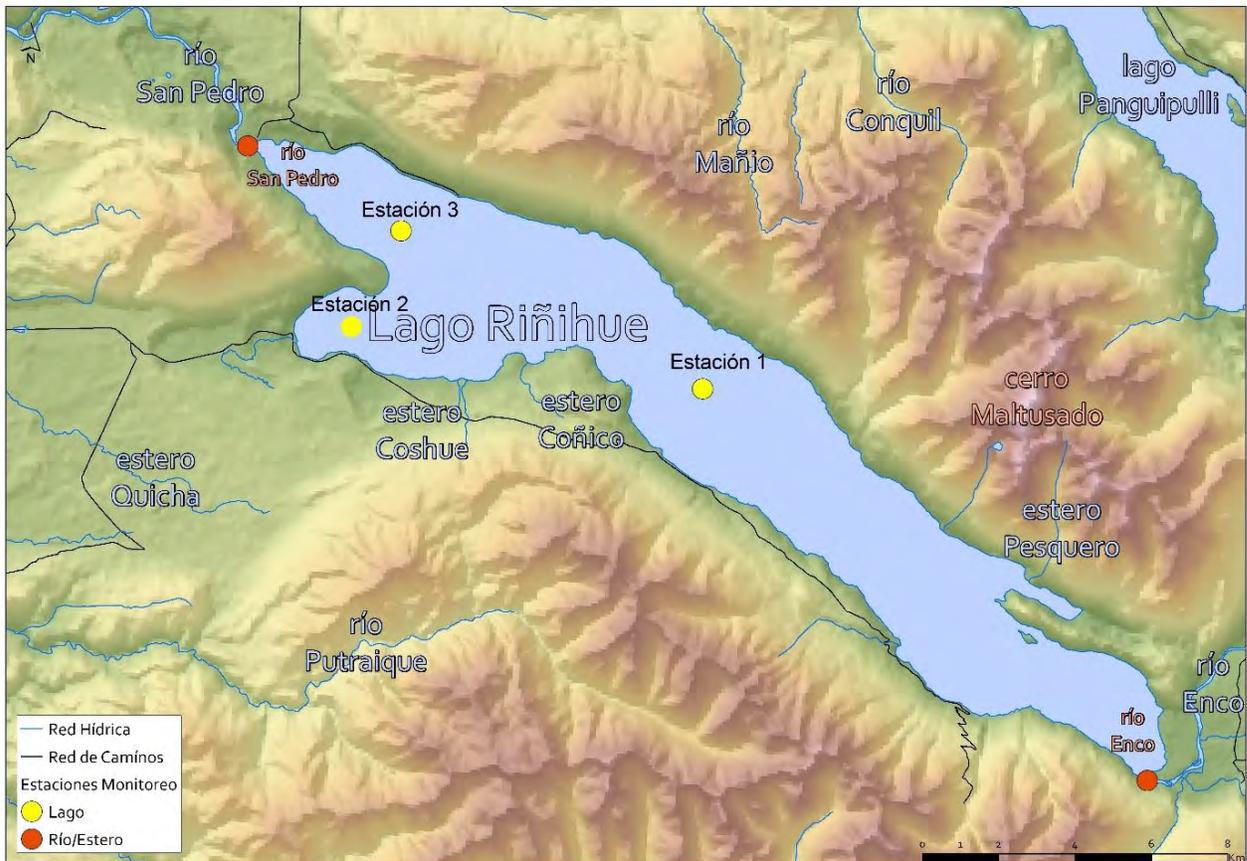


Figura 6.5. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Riñihue y sus tributarios.

• **Lago Puyehue**

El lago Puyehue está ubicado en los 40°40' Sur y en los 72°28' Oeste a 184 m s.n.m. Este lago es de origen glaciar y tiene un área superficial de 165,4 km². Su volumen es de 12,6 km³, con una profundidad máxima y media de 123 m y 76 m, respectivamente. Sus principales afluentes son los ríos Licán, Chanlelfu, Gol Gol y Pescadero. El lago desagua a través del río Pilmaiquen, que es un tributario del río Bueno. De acuerdo con sus factores fisicoquímicos este lago puede caracterizarse como oligotrófico, monomóctico temperado, lo cual significa que está estratificado en primavera, verano y otoño y mezclado durante el invierno.

En la Tabla 6.7 se entrega un resumen con la ubicación de las estaciones de muestreo (Figura 6.6), periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Tabla 6.7. Ubicación de las estaciones de muestreo, periodos y profundidades de muestreo y parámetros a monitorear en la columna de agua y sedimentos.

Lago	Estación	Coordenadas	Código BNA
Puyehue	Estación 1 (Caulle)	722781 - 5497393	
	Estación 2 (Centro)	713888 - 5494053	
	Estación 3 (Entrelagos)	719119 - 5489777	
	Ríos Pilmaiquén	702624 - 5494113	
	Río Licán	718796 - 5497190	
	Río Chanlelfu	724863 - 5493468	
	Río Gol Gol	724960 - 5493820	
	Río Pescadero	719119 - 5489777	Nueva estación
Periodos y profundidades de muestreo estaciones lago.	Verano	0/10/30 metros (estación 1) 0/10/30/70/100 metros	
	Invierno	0/10/30 metros (estación 1) 0/30/70 metros	
Periodos y profundidades de muestreo estaciones afluentes y efluentes	Verano e Invierno	Superficial	
Parámetros			
Físico-químicos	Temperatura, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, Transparencia.		
Nutrientes	Sílice, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Fósforo total y Nitrógeno total.		
Biológicos	Fitoplancton		
Sedimentos	pH, Potencial Redox, Fósforo total, granulometría y materia orgánica		
Perfiles CTD	Perfiles de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y fluorescencia.		

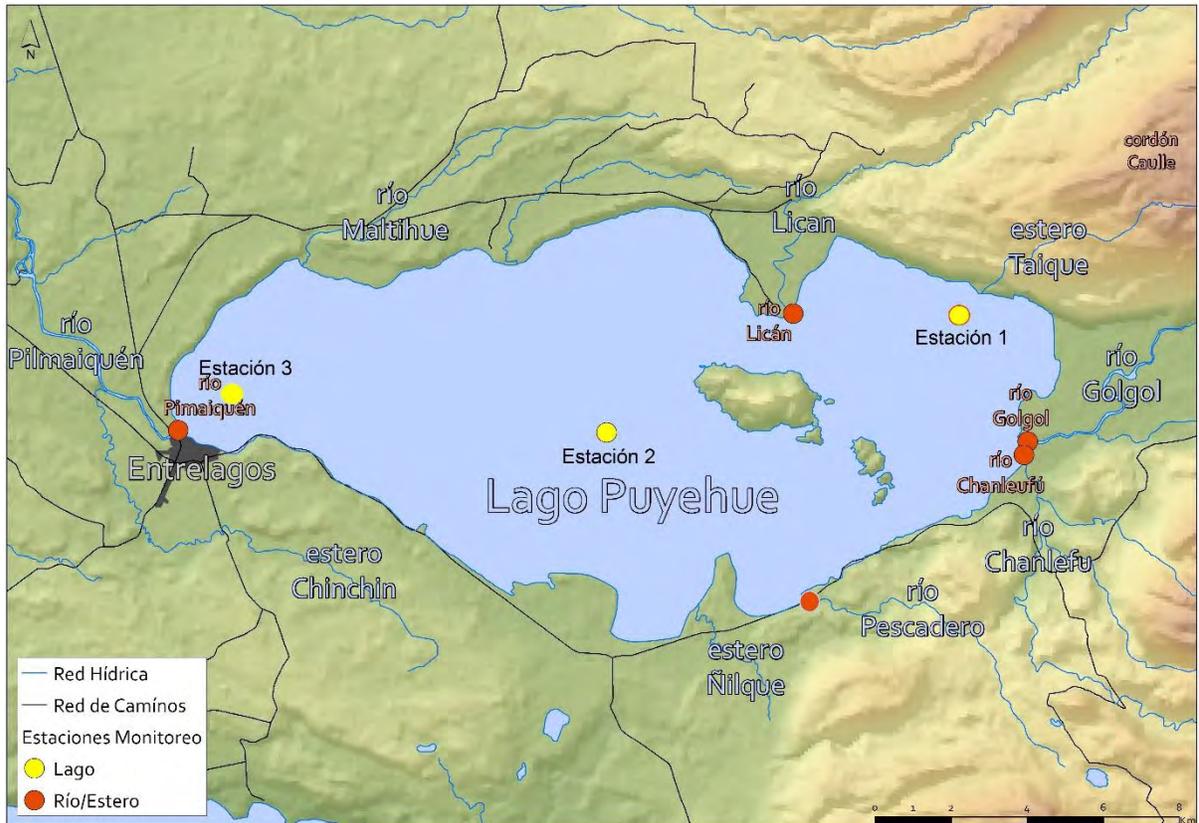


Figura 6.6. Ubicación de las estaciones monitoreo de calidad del agua del lago Puyehue y sus tributarios.

Tabla 6.8. Propuesta de costos por actividad.

PROGRAMA DE MONITOREO		COSTOS (UF)
ACTIVIDADES		Año 1
a.	Reuniones y coordinación	20
b.	Necesidad de personal y apoyo de infraestructura	*
c.	Informativo comunicacional	40
d.	Mantenimiento de la base de datos de calidad de agua para los lagos	*
e.	Instrumentalización de las cuencas	2.900.-
f.	Monitoreo calidad del agua y sedimentos de seis (6) lagos	1.980.-
COSTO TOTAL		4.940.-

*: El presupuesto no incluye los costos del pago del personal de apoyo ni de la mantención de la base de datos debido a que estas actividades deberían ser desarrolladas por personal de la DGA.

A continuación, se entrega un detalle aproximado de los costos para cada una de las actividades, mostradas en la tabla anterior.

- a. Reuniones y Coordinación. Se consideran los costos para la realización de reuniones (3) de coordinación del programa de monitoreo, considerando una al inicio, después de la entrega de los resultados del primer muestreo y una a la entrega del informe final.
- b. Necesidad de personal y apoyo de infraestructura. Los costos asociados a esta actividad, están definidos por el pago de honorarios al personal encargado de dirigir este plan específico de gestión y a pagos por concepto de arriendo de infraestructura y servicios básicos (luz, agua, gas, etc.).
- c. Informativo comunicacional. Los costos asociados a esta actividad, se relacionan con la elaboración de material de difusión, con los resultados del programa de monitoreo, e incluye los costos de diseño e impresión de dípticos y posters, así como el pago de los medios de comunicación (radios y diarios).
- d. Elaboración de base de datos de calidad de agua para los lagos. Este ítem corresponde a los costos del personal responsable de mantener y alimentar la base de datos con los resultados del monitoreo de los lagos.
- e. Instrumentalización de las cuencas. Esta actividad está dirigida a la compra de equipos e instalación de 2 estaciones meteorológicas en las cuencas de los lagos Neltume y Panguipulli y de 9 estaciones fluviométricas para completar el equipamiento faltante en los afluentes y efluentes de acuerdo a lo descrito en la Tabla 6.8.
- f. Monitoreo calidad del agua y sedimentos de seis (6) lagos. Los costos de esta actividad consideran el monitoreo de la calidad del agua y sedimentos de los Calafquén, Neltume, Pirehueico, Panguipulli, Riñihue y Puyehue, de acuerdo la minuta desarrollada para cada lago.

7 CONCLUSIONES GENERALES

En general, el estado trófico de los lagos estudiados se clasificó como oligotrófico a ultraoligotrófico, lo que se relaciona con una buena calidad del agua. Esto se reflejó en los altos valores de la transparencia (disco Secchi) y las bajas concentraciones de clorofila *a*, fósforo y nitrógeno total. Al mismo tiempo ortofosfato, amonio y nitrito registraron valores bajo el límite de detección durante todo el periodo analizado.

Los resultados del análisis estadístico mostraron que no hay diferencias significativas entre los sitios y profundidades de muestreo en cada uno de los lagos. Sin embargo, se registraron diferencias entre los distintos periodos de muestreo (verano-otoño-invierno y primavera).

La comunidad fitoplanctónica de los seis lagos estudiados presentaron una composición típica de ambientes oligotóxicos. Las clases dominantes fueron las diatomeas (*Aulacoseira granulata*, *Asterionella formosa*), seguidas por las Crisofíceas (*Dinobryon cylindricum*, *Dinobryon divergens*) y Dinophyceae (*Ceratium hirundinella*). En tanto, la riqueza taxonómica fue similar entre los lagos, con un número de taxa que fluctuó entre 98 y 112.

La gran diversidad de especies de fitoplancton (ca. de un centenar en cada lago), sumado a sus bajas densidades medias, la presencia de representantes de la familia Desmidiáceae y la ausencia de floraciones algales de cianobacterias, son elementos indicadores de la condición de oligotrofia del grupo de lagos estudiados.

La presencia de *C. hirundinella* en todos los lagos estudiados indica que esta especie ha ido ampliando su rango de distribución. La rápida dispersión y establecimiento en el país debe ser considerada con mayor cuidado debido a que podría ser un indicador del incremento de la trofia de los lagos. En cuanto a la especie *Didymosphenia geminata* esta fue detectada en afluentes y efluentes de los lagos Calafquén, Neltume, Panguipulli y Riñihue. No fue detectada en los afluentes y efluentes de los lagos Pirehueico y Puyehue.

El balance de nutrientes, realizado con las formulas predictivas de Vollenweider (1976), muestran que los seis lagos estudiados presentaron una carga actual de nutrientes muy inferior a la carga critica estimada para cada uno de ellos. Esta condición podría estar determinada por el alto porcentaje de cobertura de bosque nativo presente en el área de drenaje de los lagos. Otra posible explicación sería la escasa intervención antrópica de las cuencas, determinado por la ausencia de fuentes puntuales que descarguen a los lagos y el bajo porcentaje de las actividades productivas como la agricultura y ganadería. Resultados similares fueron obtenidos para el nitrógeno en los lagos Calafquén, Neltume, Panguipulli y Riñihue. Sin embargo, el año 2015 en el lago Puyehue, la carga actual de nitrógeno resultó levemente mayor que la carga crítica estimada. Esto podría deberse a la metodología empleada en la estimación de la carga actual, ya que al extrapolar la medición puntual del caudal para todo un mes, se sobreestimaría el aporte de nitrógeno del río Gol Gol. A diferencia de lo que ocurre en los tributarios de los otros lagos, el caudal del río Gol

Gol no tiene regulación lacustre, por lo que su régimen hidrológico es mucho más variable. Por esta razón es fundamental la implementación de estaciones fluviométricas en los tributarios más importantes de los lagos.

El balance de nutrientes resultó ser más sensible al coeficiente de exportación que al valor curva-número en todos los lagos. Por otra parte, los resultados del balance estuvieron dentro del rango de concentraciones registradas en los lagos, tanto para los valores históricos como de los medidos en el presente estudio. La falta de estaciones fluviométricas en los afluentes y efluentes sumado a una escasa serie temporal de datos meteorológicos históricos para algunos lagos, impidió obtener un mejor ajuste en el balance de nutrientes.

Respecto de los sedimentos, es posible señalar que el fósforo total y el contenido de materia orgánica, fueron los parámetros más informativos, siendo capaces de registrar el efecto de la contaminación antrópica. Las concentraciones más altas de fósforo se registraron en el lago Panguipulli, en la estación más cercana a la ciudad, donde hasta la década de 1990 existió una descarga de aguas servidas. Por otra parte, el contenido de materia orgánica, se correlacionó con la concentración de fósforo total, con valores altos en la misma estación. Una excepción a esta situación se manifiesta en el lago Neltume, cuyos altos valores de materia orgánica no estarían asociados a una descarga de tipo antrópica, sino a una mayor contribución por parte del denso bosque nativo que compone su cuenca. A pesar de la alta correlación entre la materia orgánica y el fósforo total, esta relación debe investigarse mejor ya que la estimación de materia orgánica a través del método de pérdida de peso por ignición (que es barato y rápido), podría ser un buen predictor del fósforo total y por ende de la productividad de un sector.

Se lograron identificar para cada socio ecosistema 17 servicios ecosistémicos; 6 de ellos corresponden a servicios de provisión, 4 a servicios de regulación y 7 a servicios culturales. Es importante señalar que la información (indicadores) que respalda la presencia de estos servicios resultó escasa. Los pocos datos existentes están dispersos, tienen escaso desarrollo temporal y responden a una clasificación muchas veces regional, por lo que es aconsejable su utilización de un modo prudente y más bien orientativo.

La participación ciudadana permitió identificar que los principales usos actuales son: Turismo y Recreación, Productivo; Infraestructura; Cultural/Ancentral y Receptor de aguas residuales. En relación a los usos futuros, los participantes de los talleres coinciden en que es necesario potenciar y privilegiar el uso turístico-recreacional, por sobre las otras actividades. Además consideran necesario aumentar la investigación científica de los ecosistemas lacustres de modo mejorar los planes de manejo actuales y futuros (lagos y respectivas cuencas hidrográficas).

Los principales problemas ambientales identificados por la comunidad fueron el acceso libre a las playas, la contaminación acuática (fuentes puntuales y difusas), falta de normas secundarias de calidad de agua, presencia de centrales hidroeléctricas, especies introducidas y la falta de fiscalización ambiental. En función a dichos problemas se

diseñaron los diferentes planes de manejo, que solo consideraron las temáticas que involucran directamente a los cuerpos lacustres.

Para la redefinición de la red de monitoreo de los lagos estudiados, se consideraron los resultados de los análisis físico-químicos del presente monitoreo, que muestran una homogeneidad espacial de las estaciones de muestreo y una variabilidad temporal, asociada a los periodos de estratificación y mezcla de los lagos. Esto permitió eliminar, relocalizar e incorporar nuevas estaciones de modo de optimizar los recursos y maximizar la información obtenida.

Finalmente, una de las principales limitaciones de este estudio fue la falta de información hidrológica (estaciones fluviométricas en afluentes), calidad del agua y parámetros asociados al balance de nutrientes (coeficientes de exportación, tipos de suelo, tasas de sedimentación, etc.), que permitieran disminuir el error asociado a la modelación.

8 EQUIPO DE TRABAJO

Integrantes	Profesión y Postgrado	Función en el estudio	Horas
Roberto Urrutia Pérez	Biólogo, Dr. En Ciencias Ambientales	Jefe de proyecto. Caracterización columna de agua. Determinación estado trófico. Elaboración plan de gestión. Campañas de terreno.	600
Alejandra Stehr Gesche	Ing. Civil mención Hidráulica, Dr. En Ciencias Ambientales	Balance de masa en lagos. Estimación de cargas aportantes y egresos de cada lago de forma puntual y difusa. Determinación de capacidad de carga de lagos.	120
Oscar Parra Barrientos	Lic. En Biología, Dr. En Recursos Naturales	Caracterización fitoplancton. Elaboración plan de gestión.	80
Cristián Vargas Gálvez	Biólogo Marino, Dr. En Ciencias m. Oceanografía	Análisis de productividad primaria. Análisis de datos del Fluoroprobe.	40
Alberto Araneda Castillo	Biólogo Marino, Dr. en Ciencias Ambientales	Análisis de sedimentos. Análisis estadísticos de base de datos. Campañas de terreno.	400
Ricardo Figueroa Jara	Prof. de Biología y Dr. En Ciencias Biológicas	Determinación de servicios ecosistémicos y presiones actuales.	120
Jorge Féliz Bernal	Lic. en Geografía y Master en Tecnologías de la Información Geográfica para la Información del Territorio: SIG y Teledetección	Sistema de información geográfica. Distribución espacial de datos	240
Pablo Pedreros Troncoso	Biólogo Marino, Dr. En Ciencias Ambientales	Apoyo de actividades de terreno y talleres participativos. Campañas de terreno.	500
Niela Araneda	Ingeniero Ambiental	Balance hídrico, determinación carga crítica. Elaboración de informes. Talleres participativos.	500

Integrantes	Profesión y Postgrado	Función en el estudio	Horas
		Campañas de terreno.	
Viviana Almanza	Biólogo. Dr. En Ciencias Ambientales	Caracterización fitoplancton. Elaboración de informes	60
María Elisa Díaz	Biólogo. Dr. (c) en Ciencias Ambientales	Servicios ecosistémicos. Talleres participativos.	120
Fabiola Lara Salinas	Biólogo Marino, Magíster en Gestión Integrada	Recopilación de información y elaboración informes.	50
Héctor Alonso Horstmeier	Técnico analista de sistemas. Diplomado en Análisis y Gestión del Ambiente.	Encargado de campañas de muestreo.	350
Yely Ambiado	Secretaria	Edición de informes	40

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENDA 21 Panguipulli. 2004. Diagnóstico Comuna de Panguipulli. Programa Ecoregión de los Lagos Sustentables. 134 pp.
2. ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D., SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Roma, 1998
3. ALVEAL, K. 1995. Manual de Métodos Ficológicos. Editorial Anibal Pinto S.A., Concepción, Chile. 863 pp.
4. ARENAS, 1978. Análisis de la alimentación de *Salmo gairdneri* Richardson en el Lago Riñihue y Río San Pedro, Chile. Medio Ambiente. 3: 50-58.
5. ARISMENDI, I & B, PENALUNA. 2009. Peces nativos en aguas continentales del Sur de Chile/ Native inland fishes of Southern Chile. Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 56 pp.
6. ARRATIA, G 1987. Description of the primitive family Diplomystidae (Suliformes, Teleostei, Pisces): Morphology, taxonomy and phylogenetic implications. Bonner Zoologische Monographien, 24: 1-120.
7. ARRATIA, G. 1981. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural. Publicación ocasional. 34(1): 3-108.
8. ASPREY, G.F., K. BENSON-EVANS & J. FURET. 1964. A contribution to the study of South American freshwater phytoplankton. Gayana Botánica. 10: 1-18.
9. ANDERSEN, R.A. 2007. Molecular systematics of the Chrysophyceae and Synurophyceae. En: J. Brodie & J. Lewis (Eds.) Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics. The Systematic Association, Special Volume Ser. 75 pp. 285-314. CRC Press.
10. BAHAMONDE, N. CARVACHO, A., JARA, C., LÓPEZ, M., PONCE, F., RETAMAL, M. E, RUDOLPH. 1998. Categorías de conservación de los decápodos nativos de aguas continentales de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Numero especial. 47: 91-100.
11. BARRAGÁN, E. V. 2010. Caracterización de los peces en cinco lagos del Sur de Chile. Seminario de título para optar al grado de Médico veterinario en la Universidad Austral de Chile. 64 pp.
12. BARRENA J., NAHUELHUAL L., BÁEZ A., SCHIAPPACASSE I. & C. CERDA. 2014. Valuing cultural ecosystem services: Agricultural heritage in Chiloé island, southern Chile. Ecosystem Services, Volume 7, Pages 66-75.
13. BELLINGER, E.G. & D.C. SIGEE. 2010. Freshwater Algae: Identification and Use as bioindicators. 120 pp.
14. BERTRAND, 2005. Sedimentation lacustre postérieure au Dernier Maximum Glaciaire dans lacs Icalma et Puyehue (Chili Meridional): Reconstitution de la variabilité climatique et des événements sismo-tectoniques. Tesis de doctorado en Ciencias Universidad de Lieja. 266 pp.
15. BICUDO, C. E. & D. BICUDO. 1996. Towards assaying biodiversity in freshwater algae. In: C. Bicudo & N. Menezes (eds.), Biodiversity in Brazil: a first approach. Sao Paulo CNPq: 5-16.

16. BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (BCN). 2002. Participación ciudadana en la gestión ambiental: Argentina, Chile, México y Unión Europea. 42 pp.
17. BOCK, C., T. PRÖSCHOLD & L. KRIENITZ. 2011. Updating the genus *Dictyosphaerium* and description of *Mucidosphaerium* gen. nov. (Trebouxiophyceae) based on morphological and molecular data. *Journal of Phycology*. 47: 638-652.
18. BERGEY, E.A., J.T. COOPER & C.R. TACKETT. 2009. Occurrence of the invasive diatom *Didymosphenia geminata* in Southeast Oklahoma. *Publications of the Oklahoma Biological Survey, 2nd Series*. 9: 13-15.
19. BORCARD D, GILLET F, LEGENDRE P (2011) Numerical ecology with R. 306pp.
20. CAMACHO. A. 2006. “El Valor de los Humedales”. En: *Jornada d’Educació Ambiental de la Ribera*. Ajuntament d’Alzira, Alzira (Valencia), pp. 83-92.
21. CAMPOS, H. 1984. Limnological studies of Araucarian lakes (Chile). *Intern. Verein. f. Limnologie*. 22:1319-1327.
22. CAMPOS, H., W. STEFFEN, G. AGÜERO, O. PARRA & L. ZUÑIGA. 1987. Limnology of lake Riñihue. *Limnologica*. 18(2): 339-357.
23. CAMPOS, H., W. STEFFEN, G. AGÜERO, O. PARRA & L. ZUÑIGA. 1989. Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. *Medio Ambiente*. 10(2): 36-53.
24. CHAPRA, S.C., 1997. *Surface Water Quality Modeling*. McGraw-Hill, New York.
25. CLARKE, K.R. & R.M. WARWICK. 2001. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2 ed. PRIMER-E: Plymouth. 94 pp.
26. CÁRCAMO P. F., GARAY-FLÜHMANN R., SQUEO F. A. & C. F. GAYMER. 2014. Using **stakeholders’ perspective of ecosystem services and biodiversity** features to plan a marine protected area. *Environmental Science & Policy*, Volume 40, Pages 116-131.
27. CASTILLO A. & E. GONZÁLEZ. 2009. *Educación ambiental y manejo de ecosistemas*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. 260 pp.
28. CENSO NACIONAL AGROPECUARIO Y FORESTAL. 2007. 45 pp.
29. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2005.
30. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2016. <http://www.cne.cl/>, <http://datos.energiaabierta.cne.cl/dataviews/228007/centrales-hidroelectricas/>
31. COMUNIDADES DEL LAGO NELTUME. 2010. Informe Complementario. Proyectos Central Hidroeléctrica Neltume y Línea de Alta Tensión S/E Neltume – Pullinque de Endesa ENEL. Panguipulli Reserva de vida. 68 pp.
32. CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF) 2016. <http://www.conaf.cl/alumnos-de-siete-escuelas-rurales-de-rio-bueno-aprenderan-y-disfrutaran-de-areas-verdes/>
33. COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 2010. Estrategia de conservación de la biodiversidad de la Región de los Ríos. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 189 pp.
34. CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 1999. catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Proyecto CONAF, CONAMA, BIRF. 89 pp.
35. COSTA-PIERCE, B. & SOEMARWOTO, O. 1990. Reservoir Fisheries and Aquaculture Development for Resettlement in Indonesia. ICLARM Technical Report, 378 pp.

36. COSTA-PIERCE, B. 1996. Environmental impacts of nutrients discharged from aquaculture: towards the evolution of sustainable, ecological aquaculture systems, p. 81 – 113. In Baird, D., Beveridge, M., Kelly, L. & Muir, J (eds.), Aquaculture and Water Resources Management. Blackwell, Oxford.
37. COSTANZA R. 1997. La economía ecológica de la sostenibilidad. Invertir en capital natural. En: Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Más allá del Informe Brundtland. Madrid: Ed. Trotta.
38. DE GROOT, R., STUIP, M., FINLAYSON, M. Y DAVIDSON, N. (2006). Valoración de humedales: Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales, Informe Técnico de Ramsar núm. 3, Núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB, <http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-27-es.pdf>.
39. DELGADO LUISA E., MARÍN VÍCTOR H. 2015. Ecosystem services: Where on earth?. Ecosystem services 14 24–26.
40. DGA 2011-2012. Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. Agosto 2011-Marzo 2012. Informe preparado para la DGA-MOP. 45 pp.
41. DGA 2013. Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. 2013. Informe preparado para la DGA-MOP.
42. DÍAZ, C., X. MOLINA & V. MONTECINO. 2011. Manual para el Monitoreo e Identificación de la Microalga Bentónica *Didymosphenia geminata*. Subsecretaría de Pesca, Gobierno de Chile. 74 pp.
43. DIAGNÓSTICO DEL CAPITAL TERRITORIAL de Panguipulli, Programa Chile Emprende 2007, en base a datos del CENSO 2002. 214 pp.
44. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2016. Derechos de aguas. Ministerio de Obras Públicas. <http://www.dga.cl/sitioDerechos/Paginas/default.aspx>
45. DONOSO P. J., FRÈNE C., FLORES M., MOORMAN M. C., OYARZÚN C. E. & J. C. ZAVALETA. 2014. Balancing water supply and old-growth forest conservation in the lowlands of south-central Chile through adaptive co-management. *Landscape Ecol* 29:245–260.
46. ELOSEGI, A. & S. SABATER. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. La biota de los ríos: los microorganismos autótrofos. En: A. Elosegui. & S. Sabater (eds.), Conceptos y técnicas en ecología. Fundación BBVA, Bilbao. 26 pp.
47. FIGUEROA E. & R. PASTEN. 2014. Economically valuing nature resources to promote **conservation: An empirical application to Chile’s national system of protected areas**. PAPERS IN REGIONAL SCIENCE. Volúmen: 93 Número: 4.
48. FORECOS. 2007. Estudio preliminar de Lineamientos Específicos para la generación de un Plan de Desarrollo de la Pesca Recreativa de Panguipulli. SERCOTEC, Valdivia. 102 páginas.
49. FORMAS, R. J., NUÑEZ, J. & BRIEVA, L. 2001. Osteología, taxonomía y relaciones filogenéticas de las ranas del genero *Telmatobufo* (Leptodactylidae). *Revista Chilena de Historia Natural*. 74: 365-387.
50. FUENTEALBA, C., FIGUEROA, R. & J. MORRONE. 2010. Análisis de endemismo de moluscos dulceacuícolas de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 83:289-298.
51. GLADE A. 1987. Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile. Corporación Nacional Forestal. Chile. 67 pp.

52. GLADE, A. 1988. Libro rojo de los Vertebrados Terrestres chilenos. Corporación Nacional Forestal, impresiones comerciales S. A., Santiago, Chile. 67 pp.
53. GOBIERNO DE CHILE. 2009. Biografía de María Cordero Rojas. Museo Nacional de Historia Natural. 16 pp.
54. GOBIERNO REGIONAL DE LOS LAGOS. 2007. Plan Regional de Gobierno. Región de los Lagos 2017-2018. Gobierno de Chile. 56 pp.
55. GOBIERNO REGIONAL DE LOS RÍOS. 2007. Plan Región de los Ríos. Gobierno de Chile. 15 pp.
56. GOBIERNO REGIONAL DE LOS RÍOS (GORE de los Ríos) & I. Municipalidad de Los Lagos, 2008
57. HABIT, E., DYER, B. & I, VILA. 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana*. 70(1): 100-113.
58. HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. 2010. Proposal for a Common International Classification of Ecosystem Goods and Services (CICES) for Integrated Environmental and Economic Accounting. Department Of Economic And Social Affairs Statistics Division United Nations. Paper prepared by Centre for Environmental Management, University of Nottingham, United Kingdom. 23 pp. Report to the European Environment Agency, Background document.
59. HÖTZEL, G. & R. CROOME. 1999. **A Phytoplankton Methods Manual for Australian Freshwaters’, LWRDC Occasional Paper 22/99. Land and Water Resources Research and Development Corporation. Australian. 66 pp.**
60. ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PANGUIPULLI. 2012. Plan de Ordenamiento Territorial ZOIT. 114 pp.
61. INSTITUTO FORESTAL (INFOR). 2014. Estadísticas Forestales. http://wef.infor.cl/estadisticas_regionales/estadisticasregionales.php
62. INSTITUTO INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2009. Desarrollo de una línea base para la Potencial Generación de Productos Lácteos Diferenciados y Protocolos de Producción de Leche y Derivados de Alto Valor Nutricional. 72 pp.
63. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2002. Censo de Población 2002.
64. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2007. División Político administrativa y censal. Región de los Lagos. Gobierno de Chile. 241 pp.
65. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2014. Anuario Medio Ambiente Gobierno de Chile. 241 pp.
66. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). 2015. Anuario Medio Ambiente Gobierno de Chile. 241 pp.
67. IVERSON L., ECHEVERRIA C., NAHUELHUAL L. & S. LUQUE. 2014. Ecosystem services in changing landscapes: An introduction. *Landscape Ecol* 29: 181–186.
68. JACKSON, D. 2006. El género *Aegla* Leach (Crustacea: Decapoda) en la dieta del Martín Pescador, *Ceryle torquata*, (Linné) (Alcedinidae) *Aegla* Leach (Crustacea: Decapoda) in the diet of the Ringed Kingfisher, *Ceryle torquata* (Linné) (Alcedinidae). *Boletín Chileno de Ornitología*. 12: 26 -27.
69. JALABERT, D. 2012. Identidades ecosistémicas: La construcción social del paisaje lacustre en la cuenca del río Valdivia. Tesis para optar al título de Antropóloga y Licenciada en Antropología. Facultad de Filosofía y Humanidades. Universidad Austral de Chile. 164 pp.

70. KOMÁREK, J. 2013. Cyanoprokaryota - 3. Teil/ 3rd Part: Heterocystous Genera. En: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner, L. Krienitz & M. Schagerl (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/3, Springer Spektrum, Heidelberg, Berlin. 1130 pp.
71. KOMÁREK J., J., KAŠTOVSKÝ, J. JAN MAREŠ & J. R. JOHANSEN. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*. 86: 295-335.
72. LARA, A.; URRUTIA, R.; LITTLE, C. & A. MARTÍNEZ. 2010. Servicios Ecosistémicos y Ley del Bosque Nativo: No basta con definirlos. *Revista Bosque Nativo* 47: 3 – 9.
73. LARA, G. & MORENO, C. 1995. Efectos de la depredación de *Aegla abtao* (Crustacea, Aeglidae) sobre la distribución espacial y abundancia de *Diplodon chilensis* (Bivalvia, Hyriidae) en el Lago Panguipulli, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68: 123-129.
74. LARA, G. & PARADA, E. 2008. Mantención del patrón de distribución espacial, densidad y estructura de tamaños de la almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* (Bivalvia: Hyriidae) en el Lago, Panguipulli, Chile. *GAYANA*. 72(1): 45-51.
75. LARA, G. 1988. Ordenamiento espacial y abundancia de *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) (Bivalvia: Hyriidae) en el Lago Panguipulli. Valdivia, Chile. Tesis de Magíster para optar al grado de Magíster en Ecología. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 83 pp.
76. LELIAERT, F., D.R. SMITH, H. MOREAU, M.D. HERRON, H. VERBRUGGEN, C.F. DELWICHE & O. DE CLERCK. 2012. Phylogeny and molecular evolution of the green algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 31: 1-46.
77. LARNED, S., D. ARSCOTT, N. BLAIR, B. JARVIE, D. JELLYMAN, K. LISTER, M. SCHALLENBERG, S. SUTHERLAND, K. VOPEL & B. WILCOCK. 2007. Ecological studies of *Didymosphenia geminata* in New Zealand, 2006-2007. NIWA Client Report CHC2007-070; NIWA Project MAF07507: 120 pp.
78. LEÓN-MUÑOZ J., TECKLIN D., FARÍAS A. & S. DÍAZ. 2007. Salmonicultura en los Lagos del Sur de Chile-Ecorregión Valdiviana: Historia, tendencias e impactos ambientales. WWF Valdivia. 40 pp.
79. LOBOS, G., VIDAL, M., CORREA, C., LABRA, A., DÍAZ-PÁEZ, H. & CHARRIER, A. 2013. Anfibios de Chile, un desafío para Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Fundación, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de herpetología. Santiago. 104 p.
80. MARGALEF R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona. 1010 pp.
81. MARÍN A., GELCICH S. & J. C. CASTILLA. 2014. Ecosystem Services and Abrupt Transformations in a Coastal Wetland Social-Ecological System: Tubul-Raqui after the 2010 Earthquake in Chile. *Ecology and Society* 19(1): 22.
82. MATSUMURA-TUNDISI, T., J.G. TUNDISI, A.P. LUZIA & R.M. DEGANI. 2010. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 70 (3): 825-829.
83. MEICHTRY, N., R.E., VOGLER, M.J. MOLINA & V.M. LLANO. 2016. Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America. *J. Phycol.* DOI: 10.1111/jpy.12382.

84. MCGHIE, T. K., CRAWFORD, C. M., MITCHELL, I. M. AND O'BRIEN, D. 2000, "The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing", *Aquaculture*, vol. 187, pp. 351-366.
85. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
86. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) 2010. Diagnóstico patrimonio cultural región de los Ríos. Universidad austral de Chile. 1650paginas
87. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 2014. Informe Diagnóstico; Identificación de brechas para la disponibilidad de agua potable rural, Chile: todos con agua; Regiones piloto Atacama y Los Ríos. http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Uploads/ListasContenido/Documentos/DIAGNOSTICO_CHILE_TODOS_CON_AGUA.pdf
88. MOESTRUP, O. & N. DAUGBJERG. 2007. On dinoflagellate phylogeny and classification. En: J. Brodie & J. Lewis (eds.), *Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics*. The Systematic Association, Special Volume Ser. 75. 215-230 pp.
89. NAHUELHUAL L., CARMONA A., AGUAYO M. & C. ECHEVERRIA. 2014b. Land use change and ecosystem services provision: a case study of recreation and ecotourism opportunities in southern Chile. *LANDSCAPE ECOLOGY* Volumen: 29 Número: 2 Páginas: 329-344.
90. NAHUELHUAL L., CARMONA A., LATERRA P., BARRENA J. & M. AGUAYO. 2014a. A mapping approach to assess intangible cultural ecosystem services: The case of agriculture heritage in Southern Chile. *Ecological Indicators*, Volume 40, Pages 90-101.
91. NAHUELHUAL L. ET AL. 2015. Ecosystem Mapping of ecosystem services. Missing links between purposes and procedures. *Services* Volume 13, June2015. Pág 162-172.
92. NICHOLLS, K. M., W. KENNEDY & C. HANNET. 1980. Fish kill Heart Lake, Otario, associated with the colapse of a masive population of *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae). *Freshwater Biology*. 10(6): 553-561.
93. NUÑEZ, H. 1992. Geographical data of Chilean lizards and snakes in the Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, Chile. *Smithsonian Herpetological Information Service*. 91: 1-9.
94. O'RYAN R. & M. PEREIRA. 2015. **Participatory indicators of sustainability** for the salmon industry: The case of Chile. *Marine Policy* 51 322–330.
95. OJEDA, P. 2013. Monitoreo ambiental participativo y Ciencia ciudadana en el Lago Panguipulli: análisis de caso y propuestas para su conservación, Región de los Ríos, Chile. Tesis de pregrado para optar al grado de Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. 67 pp.
96. ORTIZ, J. C., QUINTANA, V. & H, IBARRA-VIDAL. 1994. Vertebrados terrestres con problemas de conservación en la cuenca del Bio y mar adyacente. Editorial Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 152 pp.
97. OUTEIRO L. & VILLASANTE S. 2013. Linking Salmon Aquaculture Synergies and Trade-Offs on Ecosystem Services to Human Wellbeing *Constituents AMBIO*, 42:1022–1036.

98. OUTEIRO L. ET AL, 2015b. Framing local ecological knowledge to value marine ecosystem services for the customary sea tenure of aboriginal communities in southern Chile. *Ecosystem Services*. doi:10.1016/j.ecoser.2015.04.004.
99. OUTEIRO L. ET AL. 2015. Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in Southern Chile under scenario assessment. *Ecosystem services*. doi 10.1016/j.ecoser.2015.03.004.
100. OKSANEN JR, KINDT P, LEGENDRE, O'HARA RB (2005) **Vegan: community ecology package version 1.15-3**. (<http://cc.oulu.fi/~jarioksa/>)
101. PALMA, A. & R, FIGUEROA. 2008. Latitudinal diversity of plecoptera (Insecta) on local and global scales. *Illiesia*. 4(8):81-90.
102. PALMA, C. (2011). New geographic records of *Telmatobufo australis* Formas, 1972 (Amphibia: Anura: Calyptocephallellidae) in Southern Chile. *Boletín de Biodiversidad de Chile*. 5: 28-35.
103. PARRA-COLOMA, L. & AGUAYO-MOLINA, M. F. 2014. Distribución y diversidad de crustáceos zooplanctónicos en lagos y lagunas de la región de la Araucanía, Chile: Orden Calanoida y Cyclopoida (Maxillopoda, Copepoda). *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. 2(3): 57-66.
104. PARRA O. 1998. Una aproximación sistémica para la evaluación de la biodiversidad algal en ambientes acuáticos continentales de Chile. *Sociedad Ficológica de América Latina y el Caribe, Sociedad Brasileña de Ficología*. 167-178.
105. PARRA, O., M. GONZÁLEZ, V. DELLAROSSA, P. RIVERA & M. ORELLANA. 1982-1983. *Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile*. Editorial de la Universidad de Concepción, Concepción. Vol. 1 70 pp., Vol. 2 82 pp., Vol. 3 99 pp., Vol. 4 97 pp. y Vol. 5 353 pp.
106. PARRA, O., VALDOVINOS, C., BASUALTO, S. & R. URRUTIA. 2005. Diversidad fitoplanctónica de los lagos nahuelbutanos (Chile Central). In Smith-Ramírez, C., J. Armesto & C. Valdovinos (eds.) *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*. Editorial Universitaria. 146- 157 pp.
107. PEÑA, A. 2008. Tesis de pregrado para optar al título de Licenciado en Ciencias biológicas. Infección por *Acanthocephalus tumescens* (Von Linstow, 1896) (Acanthocephala: Echinorhynchidae) y su relación con la talla, sexo, alimentación y estacionalidad en peces del Lago Panguipulli (Chile). 71 pp.
108. PLAN DE DESARROLLO COMUNAL (PLADECO). 2014. Actualización Plan de Desarrollo Comunal de Panguipulli 2013-2017. Pragma Consultory. 214 pp.
109. PLAN DE DESARROLLO (PLADECO) 2013. Actualización Plan de Desarrollo Comunal Río Bueno 2014-2017. Ilustre Municipalidad de Río Bueno. 228 pp.
110. PLAN DE DESARROLLO TURÍSTICO (PLADETUR). 2015. Plan de Desarrollo Turístico Comuna de Puyehue. Ilustre Municipalidad de Puyehue. 83 pp.
111. PONCE R. D., VÁSQUEZ F., STEHR A., DEBELS P., & C ORIHUELA. 2011. Estimating the Economic Value of Landscape Losses Due to Flooding by Hydropower Plants in the Chilean Patagonia. *Water Resour Manage* DOI 10.1007/s11269-011-9820-3.

112. POCH. 2011. Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones XIV, X, XI y XII y elaboración de material de difusión tendiente a su control. Para Subsecretaría de Pesca, enero 2011. 76 pp.
113. QUINAN, E. 2008. Determinación de la dieta del visón americano (*Mustela vison* Schreber, 1777, carnívora: mustelidae) y su impacto sobre las poblaciones de avifauna nativa en isla Fresia, lago Puyehue, Región de los Lados, Chile. Tesis de Grado, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Católica de Temuco, Chile.
114. RABALAIS, N. N., R. E. TURNER, et al. 2009. "Global change and eutrophication of coastal waters." *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 66(7): 1528.
115. REGIÓN DE LOS RÍOS, 2000. Plan de ordenamiento territorial de la comuna de Panguipulli. Zona de interés turístico, Región de los Ríos. 114 pp.
116. RESOLUCIÓN EXENTA 3612 (2009). Aprueba Resolución que Fija las Metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA). Ministerio De Economía, Fomento Y Reconstrucción Subsecretaría De Pesca. 29 pp.
117. RIVERA, P. & M. GEBAUER. 1989. Diatomeas chilenas en las Colecciones de Boyer, Cleve & Moeller, Schulze y Smith, depositadas en la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, Estados Unidos. *Gayana Botánica*. 46: 89-116.
118. RIVERA, P., S. BASUALTO & C. FABIOLA. 2013. Acerca de la diatomea *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: su morfología y distribución en Chile. *Gayana Bot.* 70(1): 154-158.
119. RODRÍGUEZ-SERRANO, E., HERNÁNDEZ, C. E. & PALMA, R. E. 2007. A new record and an evaluation of the phylogenetic relationships of *Abrothrix olivaceus markhami* (Rodentia: Sigmodontinae). *Mammalian Biology*. 73(1):309-317.
120. RUMRICH, U., H. LANGE-BERTALOT & M. RUMRICH. 2000. Diatomeen der Anden: Von Venezuela bis Patagonien/Feuerland und zwei weitere Beiträge. *Iconographia Diatomológica*. Volume 9. Koeltz scientific Books, Koenigstein, Germany. 673 pp.
121. SANTOS-MARTÍN F, MARTÍN-LÓPEZ B, GARCÍA-LLORENTE M, AGUADO M, BENAYAS J, MONTES C., 2013. Unraveling the Relationships between Ecosystems and Human Wellbeing in Spain. *PLoS ONE* 8(9): e73249. doi:10.1371/journal.pone.0073249.
122. **SEPÚLVEDA J. (2005) "Principios de Alimentación Mapuche como un aporte a la soberanía alimentaria". Centro de educación y tecnología para el desarrollo del sur (CET SUR), Publicación semestral CET SUR Número 06 del 2005, Temuco – Chile.**
123. SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA). 2016. <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php?nombre=Piscicultura&presentacion=AMBOS®iones=2420135>
124. SERVICIO NACIONAL DEL ADULTO MAYOR. (SNAM). 2003. Adultos mayores por regiones, comunas y porcentajes. Instituto nacional de estadísticas. 28 páginas.
125. SCHLATTER, R. 1976. Aves observadas en un sector del lago Riñihue, Provincia de Valdivia, con alcances sobre su ecología. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*. 50(1): 133-145.

126. SHANNON, C.E. & W. WEAVER. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.
127. SILVERIO, M. J., MONTAÑEZ, G. FRA, E. SARACHO, M. ARJONA, M. AMAYA & B. TRACCANNA. 2009. Variación Poblacional de *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae) en Embalses Eutróficos de Catamarca (Argentina) y su relación con parámetros ambientales. *Huayllu-Bios*. 3: 13-31.
128. SMITH, V. H. 2003. "Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem." *Environmental Science and Pollution Research* 10(2): 126-139.
129. SØNDERGAARD, M, JENSEN, J.P. & JEPPESEN, E. (2003) Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509: 135-145.
130. SOTO, D. & H. CAMPOS. 1995. Los lagos oligotróficos asociados al bosque templado húmedo del Sur de Chile. En Armesto, Khalin y Villagran (eds.) *Ecología del Bosque Chileno*. Ed. Universitaria. 134-148.
131. SOTO D & H CAMPOS (1995) Los lagos oligotrofos asociados al bosque templado húmedo del sur de Chile. In: Armesto J, M Khalin & C Villagrán (eds) *Ecología de los bosques templados de Chile*: 134-148. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
132. SOTO, D. & CAMPOS, H. 1996. Los lagos oligotróficos del bosque templado húmedo del sur de Chile, p. 317-333. In Armesto. J, C. Villagrán, & M. Arroyo (eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Chile.
133. SOTO, D. 2002. Oligotrophic patterns in southern Chile lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 377-393.
134. STOATE, C., A. BÁLDI, ET AL. 2009. "Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe-A review." *Journal of environmental management* 91(1): 22-46.
135. SUBDERE. 2008. Diagnóstico Comuna de Río Bueno. Consultoría: implementación de procesos de planificación territorial participativa para la nueva región de los Ríos
136. SUBPESCA. 2010. Informe Técnico D. AC. N° 2064-2010. Presencia de *Didymosphenia geminata* en Río Espolón y Río Futaleufú, Región de Los Lagos. Propuesta de Area de Plaga (D.S. MINECON N° 345-2005). 19 pp.
137. THOMASSON, K. 1963. Araucanian Lakes. Plankton studies in North Patagonia with notes on terrestrial vegetation. *Acta Phytogeographica Suecica* 47: 1- 141.
138. TORRES, P., CUEVAS, C., TANG, M., BARRA, M., FRAMJOLA, R., NAVARRETE, N., MONTEFUSCO, A. OTTH, L. & GWENDOLEN, W. 2004. Introduced and Native Fishes as infection foci of *Diphyllbothrium* spp. In *Humans and Dogs from two Localities at lake Panguipulli in Southern Chile*. *Comparative Parasitology*. 71(2): 111-117.
139. TORRES, P., J. VALDIVIESO, R. SCHLATTER, A. MONTEFUSCO, J. REVENGA, F. MARÍN, J. LAMILLA & G. RAMALLO. 2000. Infection by *Contraecaecum rudolphii* (Nematoda: Anisakidae) in the Neotropic cormorant *Phalacrocorax brasilianus*, and

- fishes from the estuary of the Valdivia river, Chile. *Studies Neotropical, Fauna & Environment* 35: 101-108.
140. TORRES, P., L. FIGUEROA, A. SALDIVIA & J. BARRIENTOS. 1982. Gastrointestinal Heminths of Fish-Eating Birds from the Valdivia River, Chile. *Journal Parasitology* 68: 1157.
141. TORRES, P., LEYÁN, V. & PUGA, S. 2011. Prevalence, intensity, and abundance of infection and pathogenesis caused by *Diphyllobothrios* in vulnerable, native fish and introduced trout in lake Panguipulli, Chile. *Journal of Wildlife Disease*. 48(4): 937-950.
142. TORRES, P., R. SCHLATTER, A. MONTEFUSCO, W. GESCHE, E. RUIZ & A. CONTRERAS. 1993. Helminth parasites of piscivorous birds from lakes in the south of Chile. *Memorias Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*. 88: 341-343.
143. TORRES, P., TEUBER, S. & MIRANDA, C. 1990. Parasitismo en dos ecosistemas de agua dulce de Chile. Nematodos parásitos de *Percichthys trucha* (Pisces: Serranidae) con la descripción de una nueva especie de *Camallanus* (Nematoda: Spiruroidea). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 25(2): 111-119.
144. TUNDISI, J. G., Y. SAIJO & T. SUNAGA, 1997. Ecological effects of Human Activities in the Middle Rio Doce Lakes. In: *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. J. G. Tundisi & Y. Saigo (eds.).
145. UICN, 2016. La Lista Roja de la UICN de especies amenazadas. Versión 2016-1. < [Www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) >. Consultado el 12 de julio del año 2016.
146. UTERMÖHL, H. 1959. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik Mitt. *Int Ver Theor Angew Limnol*. 9: 1-38.
147. VALDÉS-BARRERA ET AL. 2012. Conocimiento y valoración de las turberas de la Patagonia.. *Anales Instituto Patagonia Vol. 40 no. 2*. 67-82.
148. VÁSQUEZ J. A., ZUÑIGA S., TALA F., PIAGET N., RODRÍGUEZ D. C. & J. M. ALONSO VEGA. 2014. Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *J Appl Phycol* 26: 1081-1088.
149. VERA-ESCALONA, M., CORONADO, T., MUÑOZ-CORONADO, C. VICTORIANO, P. 2010. Distribución histórica y actual de la lagartija *Liolaemus pictus* (Dumeril & Bibron, 1837) (Liolaemidae) y un nuevo límite continental sur de distribución. *GAYANA*. 74(2): 139-146.
150. VICTORIANO, P. F., GONZÁLEZ, L. A. & SCHLATTER, R. 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. *GAYANA*. 70(1): 140-162.
151. VIDAL-ABARCA M. ROSARIO & M. LUISA SUÁREZ. 2013. Which are, what is their status and what can we expect from ecosystem services provided by Spanish rivers and riparian areas?. *Biodivers Conserv*. DOI 10.1007/s10531-013-0532-2
152. VILA, I. & PARDO, R. Diversidad de especies. *Peces límnicos*. 2008. En: *Biodiversidad de Chile: Patrimonios y Desafíos*, Ocho libros. Editores Santiago de Chile, Chile. 640 pp.
153. VOLLENWEIDER, R.A. 1976. Fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Tech. Rep. DAS/CSE/68 27, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 250 pp.

154. WETZEL, R.G. & G.E. LIKENS, G.E. 1991. *Limnological analysis*. 2^o Editions. Saunders. 1982.
155. WOELFL S., L. VILLALOBOS & O. PARRA. 2003. Trophic parameters and method validation in Lake Riñihue (North Patagonia, Chile) from 1978-1997. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76(3): 459-474.
156. WOELFL S. 2006. Estado de conocimiento de los protozoos planctónicos dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70: 24-26.
157. ZUNINO, S. O., BAEZA, M. S. QUIROZ. & RIVERA, R. 1999. Ampliación distribucional de la Carmelita *Pericilia gillissi* Girard, 1854 (Pisces: Percillidae). *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso*. 24: 119-120.

10 GLOSARIO LIMNOLOGICO

Abundancia por taxa: Corresponde al número de individuos de una determinada especie, presentes por unidad de superficie.

Aeróbico: Organismos que pueden desarrollarse cuando las concentraciones de oxígeno son más o menos abundantes. Condición que indica la presencia de oxígeno disuelto en el agua intersticial de los primeros tres centímetros del sedimento. En el caso de sustratos duros o semiduros o sitios con profundidades superiores a 60 metros, ésta se constatará en la columna de agua en el decil más profundo, medida a una distancia máxima de 3 metros desde el fondo

Agua dulce: Agua que generalmente contiene menos que 1 miligramo por litro de sólidos disueltos.

Agua subterránea (o freática): Agua que se infiltra en el suelo y se acumula en depósitos subterráneos que fluyen y se renuevan con lentitud, conocidos como mantos freáticos o acuíferos; agua subterránea situada en la zona de saturación, por debajo del nivel de la meseta freática.

Aguas superficiales: toda agua naturalmente expuesta a la atmósfera (ríos, lagos, embalses, lagunas, esteros, arroyos, estuarios, mares, etc.).

Alcalinidad: Capacidad de un agua para neutralizar ácidos, que en las aguas dulces equivale al contenido en carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos (Na, K) y alcalino-térreos (Ca, Mg, Sr). La capacidad de combinación ácida de una solución (carbonatos), expresada en miliequivalentes; medida de la concentración del ión hidróxido (OH⁻) en solución acuosa.

Alóctono: De procedencia externa al área en que se encuentra.

Amíctico: Dícese del lago que nunca se mezcla.

Anaerobio: Dícese del organismo capaz de vivir en un medio sin oxígeno disuelto. Condición que indica la ausencia de oxígeno disuelto en el agua intersticial de los primeros tres centímetros del sedimento

Autóctono: Propio del lugar donde se encuentra.

Balance hídrico: Estudio de los flujos y capacidad de almacenamiento de los diferentes componentes de un sistema determinado a una escala temporal concreta.

Biodiversidad: la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas

Biomasa: Peso medio (húmedo o seco) de un organismo o conjunto de organismos existente en una superficie o volumen en un momento dado.

Biótico: Viviente. Organismos vivos que conforman las partes bióticas de los ecosistemas. Compárese con abiótico.

Capacidad de carga: La carga teórica de materiales que un río puede transportar. Masa o número de organismos que pueden ser mantenidos en una condición ambiental particular.

Capacidad asimilativa: La capacidad de un cuerpo de agua para recibir aguas de desechos o material tóxico, sin efectos deletéreos y sin dañar la vida acuática o humana que consume o habita esa agua.

Ciclo biogeoquímico: Movimiento cíclico de un elemento o compuesto entre los organismos vivos y el ambiente.

Ciclo hidrológico: Ciclo biogeoquímico por el que se concentra, purifica y distribuye el abasto fijo de agua en la Tierra que procede del entorno, hacia los seres u organismos vivos y de regreso al ambiente.

Ciencia ambiental: Estudio de la manera en que los humanos y otras especies interactúan entre sí y con el ambiente no vivo (abiótico). Es una ciencia holística que utiliza e integra conocimientos de física, química, biología (en especial, ecología), geología, ingeniería y tecnología de recursos, conservación y administración de los recursos, demografía (el estudio de la dinámica poblacional), ciencias económicas y políticas, y el manejo de desechos sólidos.

Clorofila: Las clorofilas son una familia de pigmentos que se encuentran en prácticamente todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células, lo que incluye a las plantas y a los diversos grupos de protistas que son llamados micro o macroalgas.

Compensación (nivel de compensación): Profundidad en la cual la iluminación tiene la intensidad precisa para que un organismo vegetal consuma en la respiración la misma cantidad de oxígeno que produce en la fotosíntesis.

Comunidad: En ecología, un grupo de poblaciones interactuantes en tiempo y espacio.

Concentración: Cantidad de una sustancia química en un volumen o peso particular de aire, agua, suelo u otro medio.

Contaminación: La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Contaminante: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

Corriente fluvial: Cuerpo fluyente de agua superficial. Ejemplos son los ríos y los arroyos.

CTD: Sonda electrónica empleada para la medición de la temperatura, conductividad y presión. Opcionalmente puede medir otros parámetros tales como oxígeno disuelto y fluorescencia, entre otros (conductividad, temperatura, profundidad).

Cuenca de drenaje: Área de tierra que encauza agua, sedimentos y sustancias disueltas, en forma de pequeñas corrientes fluviales y las dirige hacia una corriente mayor (río).

Cuerpo receptor: Un río, lago, océano, arroyo u otro curso o cuerpo de agua dentro del cual efluentes urbanos o industriales son descargados.

Dominancia: Expresión de la abundancia cuantitativa de una especie dentro de una comunidad.

Embalse: Cuerpo de agua dulce inmóvil, creado por humanos; con frecuencia constituido tras un dique. Compárese con lago.

Diversidad biológica (o biodiversidad): Variedad de especies (diversidad de especies), variabilidad genética entre individuos dentro de cada especie (diversidad genética) y variedad de ecosistemas (diversidad ecológica). Compárese con diversidad ecológica, diversidad genética, diversidad de especies.

Ecología: El estudio de las interacciones de los seres vivos entre sí y con su ambiente inanimado o no vivo de materia y energía; el estudio de la estructura y funciones de la naturaleza.

Ecosistema acuático: Cualquier ecosistema basado en agua, como en corriente fluvial, estanque, lago o mar.

Ecosistema: Comunidad de diferentes especies que interactúan entre sí y con los factores físicos y químicos que conforman su entorno no vivo.

Epifiton: Comunidad de algas que viven sobre un sustrato compacto, pero que no llegan a formar una cubierta continua sobre el mismo.

Epilimnio: Es la capa superficial de la columna de agua de un lago, en la cual la temperatura es más elevada en verano y más rica en organismos; se sitúa por encima del estrato de mayor discontinuidad térmica (termoclina); y por encima del hipolimnio.

Erosión: Procesos o grupos de procesos por los que los materiales térreos, sueltos o consolidados, se disuelven, disgregan y desgastan, pasando de un lugar a otro.

Escorrentamiento superficial: Flujo de agua por la superficie de tierras hacia cuerpos de aguas superficiales.

Especie: Grupo de organismos semejantes en apariencia, comportamiento, constitución y procesos químicos y estructura genética. Los organismos que se reproducen sexualmente se clasifican como miembros de la misma especie sólo si son capaces, de hecho o potencialmente de entrecruzarse y tener descendencia fecunda o fértil.

Especies indicadoras: Especies que sirven como avisos iniciales de la degradación de una comunidad o de un ecosistema.

Especies nativas: especies que normalmente viven y medran en un ambiente particular. Compárese con especies inmigrantes, especies indicadoras, especies dominantes.

Estándar de calidad del agua: el estándar prescribe el uso de un cuerpo acuático y establece el criterio de calidad del agua que debe ser alcanzado para proteger un uso designado

Estructura comunitaria: Métricas que caracterizan a las comunidades, como por ejemplo el índice de Diversidad de Shannon (H') y la Equidad (j'), que consideran de manera integrativa la proporción de las abundancias por especie.

Eutroficación: Cambios físicos, químicos y biológicos que tienen lugar después de que un lago, un estuario o una corriente fluvial de flujo lento, reciben nutrimentos vegetales, en su mayor parte nitratos y fosfatos por la erosión natural y los escurrimientos desde la cuenca circundante.

Eutroficación cultural: Enriquecimiento de ecosistemas acuáticos con nutrientes (sobre todo nitrógeno y fósforo) a causa de actividades humanas tales como agricultura, urbanización y descargas desde plantas industriales y plantas de tratamientos de aguas servidas.

Factor limitante: Factor que limita el crecimiento, abundancia o distribución de la población de una especie en el ecosistema.

Fertilizante: Sustancia por la que se agregan nutrimentos vegetales, orgánicos o inorgánicos, al suelo, y se mejora así la capacidad de éste para sostener cultivos de alimentos, árboles y otros tipos de vegetación. Véase fertilizante inorgánico comercial, fertilizante orgánico.

Fitoplancton: Pequeñas plantas, en su mayor parte algas y bacterias, y que se encuentran en los ecosistemas acuáticos. Compárese con plancton y zooplancton.

Floración algal o “bloom”: Crecimiento explosivo de la población algal en aguas superficiales debido a un incremento de los nutrimentos vegetales (nitratos y fosfatos) y a la elevación de la temperatura o ambas causas.

Fluorescencia: La Fluorescencia es un tipo particular de luminiscencia, que caracteriza a las sustancias que son capaces de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda diferente.

Fluorómetro: Un fluorómetro es un dispositivo de laboratorio utilizado para medir los parámetros de la fluorescencia: su intensidad y la distribución de longitudes de onda del espectro de emisión después de la excitación por un cierto espectro de luz.¹ Estos parámetros se utilizan para identificar la presencia y la cantidad de ciertas moléculas

específicas en un medio. Los fluorómetros modernos son capaces de detectar concentraciones de moléculas fluorescentes tan bajas como 1 parte por billón.

Fotosíntesis: Proceso complejo que tiene lugar en plantas verdes. La energía radiante que llega del sol se utiliza para combinar dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) para producir oxígeno (O₂) y carbohidratos (como glucosa, C₆H₁₂O₆) y otras moléculas nutritivas. Compárese con respiración aerobia, quimiosíntesis.

Hábitat: Lugar o tipo de lugar en donde vive un organismo o una población de organismos.

Hidrosfera: Conjunto del agua líquida que cubre gran parte de la Tierra (mares, océanos, lagos y otros cuerpos de agua superficial, además del agua subterránea), el agua congelada telúrica (casquetes polares glaciares, cuerpos de hielo flotantes en el mar y el hielo incrustado en el suelo, el que se conoce como permafrost o permagelo); así como las cantidades de vapor de agua (nubes) que ocurren en la atmósfera.

Hoya hidrográfica o cuenca fluvial: el área terrestre drenada por un río y sus tributarios.

Indicador biológico: Un organismo, especie o comunidad cuyas características muestran o “indican” la presencia de una condición ambiental específica. Organismo que responde con cambios identificables de estado (presencia/ausencia, capacidad de bioacumulación, actividad fisiológica) a acciones ambientales particulares.

Índices bióticos: Métricas que permiten la evaluación del estado de una comunidad biológica.

Infiltración: Movimiento o filtración hacia abajo del agua a través del suelo.

Isóbata: Línea continua o curva de nivel trazada sobre todos los puntos de igual profundidad.

Lago: Gran cuerpo natural de agua dulce estática que se forma cuando agua procedente de precipitación, escurrimientos superficiales y flujo de agua subterránea llena una depresión creada en la superficie de la Tierra por glaciación, movimiento de tierras, actividad volcánica o por un meteorito gigantesco.

Laguna: Sistema semicerrado, transicional entre ambientes dulceacuícolas y marinos, generalmente separados del mar por una barra de arena.

Latitud: Distancia angular sobre la superficie terrestre medida a partir del Ecuador (hacia el norte o hacia el sur).

Léntico: Los ambientes lénticos son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir, como los lagos, las lagunas, los esteros o los pantanos.

Estos ambientes cambian con el tiempo, disminuyendo su profundidad y aumentando su vegetación hasta la desaparición total del cuerpo de agua. Por lo general tienen poca

profundidad y menor variación de la temperatura. En estos ambientes se distinguen zonas bien definidas: la litoral, la limnética y la profunda.

Lótico: Se refiere a las aguas corrientes o fluyentes.

Macronutriente: Elemento que una planta o un animal necesita para permanecer vivo y saludable. Ejemplos son el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio.

Micronutriente: Elemento que una planta o un animal necesita, en cantidades pequeñas o trazas, para seguir vivo y saludable. Ejemplos son el hierro, cobre, zinc, cloro y yodo.

Monitoreo: vigilancia periódica o continua o control para determinar el nivel de cumplimiento con requerimientos normativos y/o contaminantes en varios medios (agua, suelo, aire) o en humanos, plantas y animales.

Nicho ecológico: Modo de vida o función total de una especie en un ecosistema. Incluye todas las condiciones físicas, químicas y biológicas que necesita una especie para vivir y reproducirse en un ecosistema.

Nivel de agua freática: Superficie superior de la zona de saturación acuosa en la que todos los poros disponibles en suelo y roca de esta porción de la corteza terrestre, se encuentran llenos de agua.

Nivel trófico: Todos los organismos que se sitúan al mismo número de niveles de transferencia de energía más allá de la fuente energética original (por ejemplo, la luz solar) que ingresa en un ecosistema. Así todos los productores pertenecen al mismo nivel trófico y todos los herbívoros al segundo nivel trófico, de una cadena o de una red alimentaria.

Nutriente: Cualquier elemento que necesita un organismo para vivir, crecer y reproducirse.

Oxígeno disuelto (OD): Cantidad de oxígeno (O₂) disuelto en un volumen determinado de agua a una presión y temperatura particulares, que suele expresarse como una concentración en partes de oxígeno por millón de partes de agua.

Parámetro: una variable, apropiadamente medida, cuyo valor es un determinante de la característica de un sistema: e.g., temperatura, pH, salinidad, son parámetros que se miden en un cuerpo acuático.

Perifiton: Comunidad formada por organismos vegetales microscópicos que viven fijados sobre un sustrato sólido.

Pesca recreativa: Actividad pesquera realizada por personas naturales que tiene por objeto la captura de especies hidrobiológicas con aparejos de pesca de uso personal, sin fines de lucro para el pescador y con propósito de deporte, turismo o entretención.

pH: Índice numérico que señala la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia en una escala de 0 a 14, con el punto de neutralidad en 7. Las soluciones ácidas tienen pH menor que 7, y las básicas o alcalinas, pH mayor que 7.

Plaga: (1) Organismo indeseable que interfiere de manera directa o indirecta con actividades humanas. (2) Se entenderá como plaga hidrobiológica o plaga, la población de una especie hidrobiológica que por su abundancia o densidad puede causar efectos negativos en la salud humana, en las especies hidrobiológicas o en el medio, originando detrimento en las actividades pesqueras extractivas o de acuicultura y pérdidas económicas

Plaguicida: Cualquier sustancia elaborada para matar o inhibir el crecimiento de un organismo que se considera indeseable.

Plancton: Pequeños organismos vegetales (fitoplancton) y animales (zooplancton) que flotan y residen en los ecosistemas acuáticos.

Planta (o central) hidroeléctrica: Obra técnica en que la energía de agua que cae o fluye puede impulsar una turbina hidráulica que mueve un generador eléctrico.

Población: Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área o región en particular.

Potencial Redox: De reducción y oxidación. Sistema redox es el constituido por dos formas, oxidada y reducida de una misma sustancia, que puede transformarse fácilmente entre sí, colaborando en los procesos de oxidación o reducción exteriores al sistema. Un sistema redox tiene un potencial redox (rH) característico que corresponde a cantidades iguales de las formas oxidada y reducida.

ppb: (partes por mil millones): Número de partes de un producto o sustancia que se encuentran en mil millones de partes de un gas, líquido o un sólido en particular.

Precipitación: Agua en forma de lluvia, aguanieve, granizo o nieve que cae desde la atmósfera sobre tierra y cuerpos de agua.

Prevención de la contaminación: Acción o proceso que impide la formación de un contaminante potencial o su entrada al ambiente, o bien que reduce de manera importante las cantidades que ingresan al ambiente.

Productividad primaria: La tasa a la cual los productores de un ecosistema capturan y almacenan una cantidad de energía química o en forma de biomasa en un período o tiempo dado.

Productor: Organismo que utiliza energía solar (plantas verdes) o energía química (algunas bacterias) para fabricar los compuestos orgánicos que necesita como nutrientes, a partir de compuestos inorgánicos más simple que obtiene de su entorno o ambiente.

Recurso: Cualquier cosa que se obtiene del ambiente vivo y no vivo, para satisfacer necesidades y aspiraciones humanas.

Riqueza específica: Número total de especies presentes en una comunidad.

Resiliencia: Capacidad que tiene un sistema vivo para restituirse a sí mismo a su condición original, después de estar expuesto a perturbación externa que no resulta demasiado rigurosa.

Resistencia del ambiente: Todos los factores limitantes que actúan en conjunto para restringir o limitar el crecimiento de una población.

Salinidad: Cantidad de diversas sales disueltas en un volumen dado de agua.

Sistema de vigilancia: una serie de dispositivos de monitoreo diseñados para controlar condiciones ambientales.

Sobrepesca: Nivel de captura excesivo de una especie por unidad de tiempo en relación con su reserva y su capacidad de regeneración.

Temperatura: Medida de la velocidad media del movimiento de átomos, iones o moléculas, en una sustancia o combinación de sustancias en un momento determinado.

Termoclina: Zona de disminución gradual en la temperatura entre el agua superficial, más caliente, y el agua más fría y profunda en un lago, rebalse, mar u océano.

Tratamiento primario: Tratamiento de las aguas que consiste en la remoción física de los sólidos presentes por sedimentación, floculación, filtrado y métodos similares.

Tratamiento secundario: Tratamiento de las aguas que consiste en remoción de la materia orgánica o de nutrientes por descomposición biológica aeróbica o anaeróbica.

Uso múltiple de un recurso hídrico: uso de un recurso hídrico para diversos propósitos (recreacional, acuicultura, aprovisionamiento potable e industrial, hidroelectricidad, riego, etc.).

Zona fótica: Se refiere a la zona iluminada de los lagos donde se realiza la fotosíntesis oxigénica, determinada por la profundidad en la que la intensidad de la luz queda reducida a un 1% de la que ha penetrado la superficie.

Zona afótica: La zona afótica también llamada zona oscura se define como la zona, tanto oceánica como lacustre, en la que no es posible el desarrollo de procesos fotosintéticos, ya que menos del 1% de la luz solar penetra en ellas.

Zona pelágica: Se refiere a la zona que comprende la columna de agua de lagos y otros ecosistemas acuáticos.