GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN CUERPOS LACUSTRES

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL ENLACES SPA

S.I.T. Nº 434

SANTIAGO, DICIEMBRE 2018

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Comercial Juan Andrés Fontaine Talavera

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Oscar Cristi Marfil

Jefa Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos
Ingeniera Civil Mónica Musalem Jara

Inspectora Fiscal
Bióloga Mariela Henríquez Salgado

ENLACES SPA

Jefa de Proyecto
Bióloga Ingrid Ester Alvial Chandía
MSc. Ciencias Biológicas y Dra. en Ciencias Biológicas con mención en Ecología y Biología Evolutiva

Coordinadora de Proyecto
Bióloga Marina María Alejandra Paredes Cid
MSc. Ciencias Biológicas con mención en Ecología y Biología Evolutiva
Dra. Ciencias con mención en Ecología y Biología Evolutiva

Directora de Proyecto
Ingeniera Civil, Sra. María Angélica Alegría Calvo

Diseñadora Gráfica Licenciada en Arte Astrid Gutiérrez Quezada

Cartógrafa Solange Kohler Venegas

Ingeniero Civil Maximiliano Arriagada Ulloa

INDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 14

2 OBJETIVOS 16

2.1 Objetivo General 16

2.2 Objetivos Específicos 16

3 METODOLOGÍA 17

3.1 Ubicación De Los Cuerpos Lacustres En Estudio 17

3.2 Estaciones De Monitoreo 21

3.3 Metodología Para El Desarrollo De Actividades De La Etapa 1 40

3.3.1 Sistematizar la información para el periodo 2014-2017. 40

3.3.2 Sistematizar y generar una base de datos periodo 1986-2000. 53

3.3.3 Sistematizar y analizar la información de alta resolución temporal (boyas con sensores) de los lagos de Aysén 58

3.4. Metodología Para El Desarrollo De Actividades De La Etapa 2. 60

3.3.4 Análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de cuerpos lacustres de la Red de Monitoreo de Lagos. 60

3.3.5 Análisis del componente fitoplanctónico. 65

3.5. Metodología Para El Desarrollo De Actividades De La Etapa 3. 69

4 RESULTADOS 70

4.1 Resultados De Actividades De La Etapa 1. 70

4.1.1 Generar una base de datos para el periodo 2014-2017 70

4.1.2 Sistematizar y generar una base de datos periodo 1986-2000. 79

4.1.3 Sistematizar y analizar la información de alta resolución temporal (sensores) de los lagos de Aysén. 82

4.2. Resultados Actividades Etapa 2. 90

4.2.1. Análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de lagos de la Red de Monitoreo de Lagos. 90

4.2.2. Evolución histórica de la condición trófica de cada sistema lacustre. 169

4.3. Resultados Actividades Etapa 3. 251

5 Discusión 261

6 Bibliografía 269

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica, periodo de registro (años) y tipo de registro (estacional o continuo) de los cuerpos lacustres que conforman la Red de Monitoreo de Lagos. 17
Tabla 2. Caracterización y estaciones de monitoreo de los cuerpos lacustres analizados. 21
Tabla 3. Cuerpos lacustres incluidos en la Red de Calidad de Lagos que fueron sistematizados en el periodo 2014-2017. 40
Tabla 4. Sistematización de Informes de Ensayos (IE) para información fisicoquímica de lagos sistematizados dentro del periodo 2014-2017, el numero corresponde al correlativo dado por el Laboratorio ambiental de la DGA LADGA. 45
Tabla 5. Parámetros meteorológicos, fisicoquímicos y biológicos sistematizados para el periodo 2014-2017. 47
Tabla 6. Cuerpos lacustres con información de alta resolución temporal que fue depurada y analizada para el periodo comprendido entre 2014 y 2017. 48
Tabla 7. Base de datos de fitoplancton que fueron analizadas en la presente consultoría. 49
Tabla 8. Cuerpos lacustres que fueron revisados y sistematizados para periodo 1986-2000. 53
Tabla 9. Listado de parámetros físicos y químicos que fueron revisados en el periodo entre 1986 y 2000. 54
Tabla 10. Cuerpos lacustres donde se encontró datos inconsistentes de nitrógeno total de Kjeldahl (NTK) o nitrógeno total (NT). 56
Tabla 11. Número de datos provenientes de estudios agregados a la base de datos físico-química. 56
Tabla 12. Cuerpos lacustres e información de alta resolución analizada. 58
Tabla 13. Rangos y valores establecidos en Smith et al. (1999) para determinación del estado trófico en cuerpos lacustres. 62
Tabla 14. Estado trófico del sistema de acuerdo al valor de TSI. 63
Tabla 15. Valores establecidos por la OCDE (1982) para determinación del estado trófico. 64
Tabla 16. Índices de diversidad utilizados para caracterizar las comunidades de fitoplancton. 66
Tabla 17. Límites para definir valores atípicos en sector Ensenada del Lago Llanquihue 77
Tabla 18. Resumen de las inconsistencias que fueron encontradas en el proceso de revisión de variables nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y nitrógeno total (NT). 79
Tabla 19. Valores de Z_m promedio por periodo estacional para la estación de muestreo representativa de cada cuerpo lacustre. 90
Tabla 20. Promedio y rango (min. y máx.) de la zona eufótica (Z_{eu}), condición hidrodinámica y la relación Z_m/ Z_{eu} por sistema y periodo estacional. Z_{max} = profundidad máxima del cuerpo de agua (m). 132

Tabla 21. Concentración del nutriente sílice (SiO_2) en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos. 135
Tabla 22. Concentración del nutriente fósforo total en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos. 136
Tabla 23. Concentración del nutriente nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos. 137
Tabla 24. Determinaciones de las razones Si/NT y Si/PT. NT=Nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) y PT=Fósforo total. (-) No existen datos. 138
Tabla 25. Número de casos en que sílice fue el nutriente limitante en relación a NT y a PT, en cada cuerpo lacustre dentro del periodo 1986 − 2017. (-) Sin datos. 139
Tabla 26. Determinaciones de la razón Nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) / Fósforo total y número de casos (y porcentaje) en que el nitrógeno y el fósforo fue el nutriente limitante en cada cuerpo lacustre dentro del periodo 1986 − 2017. (-) Sin datos. 140
Tabla 27. Promedio (Min. − Máx.) de la razón de Redfield, determinación del Nutriente limitante promedio y condición hidrodinámica para cada sistema lacustre por periodo estacional en estación representativa. (S.D.= sin datos) 142
Tabla 28. Estado trófico de los cuerpos lacustres de acuerdo a Smith et al. (1999) para valores superficiales promedio (número de datos) y rango de los valores (Mín − Máx) de nitrógeno total, fósforo total, concentración de clorofila a, y profundidad de disco Secchi considerando toda la base de datos disponible para todas las estaciones de muestreo. (-) No hay datos). El color representa nivel de trofía al valor promedio. 144
Tabla 29. Estado trófico de los cuerpos lacustres de acuerdo a Carlson (1977). El color representa nivel de trofía al valor promedio. 146
Tabla 30. Valores promedio, (número de datos) y rango de los valores (Mín. − Máx) de ITS según Aizaki et al. (1981). (-) No hay datos. El color representa nivel de trofía al valor promedio. 148
Tabla 31. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Chungará de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 150
Tabla 32. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Aculeo de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 150
Tabla 33. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna El Petrel de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 151
Tabla 34. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna El Perro de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 152
Tabla 35. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Torca de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 152
Tabla 36. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Vichuquén de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 152
Tabla 37. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Grande de San Pedro de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 153
Tabla 38. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Lencán de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 154

Tabla 39. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Lloncao de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 154
Tabla 40. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Lanalhue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 155
Tabla 41. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Los Batros de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 156
Tabla 42. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Antiquina de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 156
Tabla 43. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Lleu − Lleu de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 156
Tabla 44. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Butaco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 157
Tabla 45. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Colico de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 157
Tabla 46. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Caburgua de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 157
Tabla 47. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Villarrica de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 158
Tabla 48. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Calafquén de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 159
Tabla 49. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Panguipulli de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 160
Tabla 50. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Neltume de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 161
Tabla 51. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Riñihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 161
Tabla 52. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Riñihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 162
Tabla 53. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Ranco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 162
Tabla 54. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Maihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 163
Tabla 55. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Puyehue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 164
Tabla 56. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Rupanco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 165
Tabla 57. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Todos los Santos de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 165
Tabla 58. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Llanquihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 166
Tabla 59. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Chapo de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 167

Tabla 60. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Tarahuin de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 167
Tabla 61. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Natri de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 168
Tabla 62. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Tepuhueico de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 168
Tabla 63. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago San Antonio de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 168
Tabla 64. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Yaldad de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982). 169
Tabla 65. Estado trófico histórico de la laguna Chungará de acuerdo a Smith et al. (1999). 169
Tabla 66. Estado trófico histórico de la laguna Petrel de acuerdo a Smith et al. (1999). 170
Tabla 67. Estado trófico histórico de la laguna del Perro de acuerdo a Smith et al. (1999). 170
Tabla 68. Estado trófico histórico de la laguna Lloncao de acuerdo a Smith et al. (1999). 171
Tabla 69. Estado trófico histórico de la laguna Los Batros de acuerdo a Smith et al. (1999). 172
Tabla 70. Estado trófico histórico de la laguna Antiquina de acuerdo a Smith et al. (1999). 172
Tabla 71. Estado trófico histórico de la laguna Antiquina de acuerdo a Smith et al. (1999). 173
Tabla 72. Estado trófico histórico del lago Natri de acuerdo a Smith et al. (1999)..... 176
Tabla 73. Estado trófico histórico del lago Tepuhueico de acuerdo a Smith et al. (1999). 176
Tabla 74. Índices de diversidad en Lagunas El Petrel y El Perro. 189
Tabla 75. Índices de diversidad registrados en Laguna Torca. 191
Tabla 76. Índices de diversidad de fitoplancton en periodos y estaciones monitoreadas en Lago Vichuquén. 196
Tabla 77. Taxa de cianofíceas observadas en Lago Vichuquén. 198
Tabla 78. Análisis de Grupos Funciomales del fitoplancton en Lago Vichuquén. 199
Tabla 79. Índices de diversidad en lagunas costeras de la VIII Región. 202
Tabla 80. Análisis de Grupos Funcionales del fitoplancton en Laguna Lencán y Lloncao. 204
Tabla 81. Índices de diversidad analizados en Lago Lanalhue. 206
Tabla 82. Valores de índice biótico (A/C) en los distintos monitoreos de Lago Lanalhue. 206
Tabla 83. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en Lago Lanalhue. 207
Tabla 84. Presencia de algas nocivas (cianofíceas) en Lago Lanalhue. 207
Tabla 85. Índices de diversidad para cada periodo de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro. 209

Tabla 86. Presencia de algas nocivas en Laguna Grande de San Pedro. 210
Tabla 87. Índices de diversidad en tres periodos de monitoreo en estación Z max de Lago Lleu lleu. 211
Tabla 88. Presencia de algas nocivas en lago Lleu lleu. 212
Tabla 89. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Lleu lleu. 212
Tabla 90. Índices de diversidad en verano de 2017 en estación Centro de Lago Caburgua. 214
Tabla 91. Índices de diversidad e índice biótico para estación Centro en Lago Villarica. 216
Tabla 92. Índices de diversidad y biótico en estaciones y periodos de monitoreo de Lago Colico. 220
Tabla 93. Presencia de algas nocivas en Lago Colico. 221
Tabla 94. Análisis de Grupos Funcionales en Lago Colico. 221
Tabla 95. Índices de diversidad en invierno del 2015 en Lago Todos los Santos. 223
Tabla 96. Índices de diversidad en tres periodos de monitoreo en Lago Chapo. 226
Tabla 97. Presencia de algas nocivas en Lago Chapo. 226
Tabla 98. Análisis de Grupos funcionales en Lago Chapo. 226
Tabla 99. Índice de diversidad e índice biótico A/C en Lago Llanquihue. 230
Tabla 100. Índices de diversidad e índice biótico A/C en lago Rupanco. 234
Tabla 101. Presencia de algas nocivas en Lago Rupanco. 234
Tabla 102. Análisis de Grupos Funcionales en Lago Rupanco. 235
Tabla 103. Índices de diversidad e índice biótico (A/C) en lagos de Chiloé. 237
Tabla 104. Grupos funcionales de fitoplancton observados en lagos de Chiloé. 238
Tabla 105. Índices de diversidad e índice biótico en lago Maihue. 240
Tabla 106. Presencia de algas nocivas en lago Maihue. 240
Tabla 107. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Maihue. 241
Tabla 108. Índices de diversidad e índice A/C en Lago Neltume. 242
Tabla 109. Análisis de Grupos Funcionales en estación Centro en lago Neltume. 243
Tabla 110. Índices de diversidad e índice biótico en Lago Puyehue. 244
Tabla 111. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Puyehue. 245
Tabla 112. Presencia de algas cianofíceas en lago Ranco. 248
Tabla 113. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Ranco. 248
Tabla 114. Índices de diversidad e índice biótico A/C en lago Ranco. 249
Tabla 115. Comparación del nivel de trofía por lago según los tres índices que utilizan datos superficiales de clorofila- a y nutrientes. 264
Tabla 116. Cuadro resumen de la condición trófica más alta alcanzada por los cuerpos lacustres de acuerdo a la concentración de clorofila-a bajo el criterio de Smith et al (1999) considerando todas las estaciones de muestreo y durante todo el periodo de estudio (OLIGO= oligotrófica, OLIGO-MESO: oligo-mesotrófica, MESO= mesotrófica, MESO-EU= mesoeutrófica, EU= eutrófica, EU-HIPER= eu-hipereutrófica e HIPER= hipereutrófica). 265

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los 43 cuerpos lacustres monitoreados en el territorio nacional. 20
Figura 2. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Chungará. 32
Figura 3. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Aculeo. 32
Figura 4. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en Lagunas El Petrel y El Perro. 33
Figura 5. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Torca y Lago Vichuquén. 33
Figura 6. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro. 34
Figura 7. Mapa de estaciones de monitoreo e Lago Lanalhue y lagunas Batros y Antiquina. 34
Figura 8. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Lleu Lleu y Laguna Butaco. 35
Figura 9. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagunas Lencán y Lloncao. 35
Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Colico, Villarica y Caburgua. 36
Figura 11. Estaciones de monitoreo en lagos Calafquén, Panguipulli, Neltume y Riñihue. 36
Figura 12. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Ranco y Maihue. ... 37
Figura 13. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Pirihueico. 37
Figura 14. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Puyehue y Rupanco. 38
Figura 15. Estaciones de monitoreo en lagos Todos Los Santos, Llanquihue y Chapo. .. 38
Figura 16. Ubicación geográfica de Lagos de Chiloé: Tarahuin, Natri, Tepuhueico, San Antonio y Yaldad. 39
Figura 17. Ubicación geográfica de lagos de la Región de Aysén: Las Torres, El Toro, Riesco, Frío, La Paloma, Bertrand, Cochrane y Plomo y O'Higgins. Todos estos cuerpos lacustres poseen estaciones vigentes de monitoreo. 39
Figura 18. Box-plot de distribución de datos para variables oxígeno disuelto (a), SAR (b), clorofila a (c) y DQO (d) en Lago Vichuquén. La línea divisoria de color indica la mediana. 72
Figura 19. Rango de distribución de valores de conductividad eléctrica (a), nitrógeno de nitrato (b) y clorofila a (c) en lago Llanquihue. 75
Figura 20. Rango de distribución de valores de oxígeno disuelto (a), SAR (b), clorofila a (c) y sílice (d) en lago Rupanco. 76
Figura 21. Box Plot Temperatura (°C), para meses de enero (a), marzo (b) y septiembre (c) en estación Ensenada, Lago Llanquihue. 77

Figura 22. Perfil Temperatura versus profundidad - Enero − Ensenada − Lago Llanquihue. 78
Figura 23. Perfil Temperatura versus profundidad - Marzo − Ensenada − Lago Llanquihue. 78
Figura 24. Perfil Temperatura versus profundidad - Septiembre − Ensenada − Lago Llanquihue. 78
Figura 25. Box-plot de distribución de datos para variables conductividad eléctrica (a), oxígeno disuelto (b) en Laguna Grande de San Pedro. 81
Figura 26. Box-plot de distribución de datos para variables conductividad eléctrica (a), oxígeno disuelto (b), SAR (c), nitrógeno de nitrato (d), nitrógeno total (e) y sílice (d) en Laguna de Aculeo. 81
Figura 27. Perfiles de temperatura en lago Bertrand. 82
Figura 28. Perfiles de temperatura en lago Cochrane. 83
Figura 29. Perfiles de temperatura en lago El Plomo. 84
Figura 30. Perfiles de temperatura en Lago Frío. 85
Figura 31. Perfiles de temperatura en lago Las Torres. 86
Figura 32. Perfiles de temperatura en Lago O´Higgins 86
Figura 33. Condición hidrodinámica en Lago La Paloma 87
Figura 34. Perfiles de temperatura en lago Riesco. 88
Figura 35. Perfiles de temperatura en Lago Toro 89
Figura 36. Variación estacional de la condición hidrodinámica en Laguna Aculeo. 91
Figura 37. Variación estacional de la concentración de oxígeno disuelto y clorofila a en estación Puntilla de León en Laguna Aculeo. 92
Figura 38. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Caburgua. 93
Figura 39. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro de Lago Caburgua. 94
Figura 40. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro de lago Calafquén. 95
Figura 41. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en lago Calafquén. 96
Figura 42. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Chapo. 97
Figura 43. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Chapo. 98
Figura 44. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Colico 99
Figura 45. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Colico. 100
Figura 46. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Lanalhue. 101
Figura 47. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Lanalhue 101

Figura 48. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Puerto Varas en lago Llanquihue. 102
Figura 49. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Puerto Varas en Lago Llanquihue. 103
Figura 50. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Lleu lleu. 104
Figura 51. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Lleulleu. 105
Figura 52. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Lloncao. 106
Figura 53. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Laguna Lloncao. 107
Figura 54. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Maihue. 108
Figura 55. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Maihue. 109
Figura 56. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Neltume. 110
Figura 57. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Neltume. 111
Figura 58. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Panguipulli. 112
Figura 59. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Panguipulli. 113
Figura 60. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación 1 en lago Pirihueico. 114
Figura 61. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro de lago Puyehue. 115
Figura 62. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Puyehue. 116
Figura 63. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Futrono de lago Ranco. 117
Figura 64. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Ranco. 118
Figura 65. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Riñihue. 119
Figura 66. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Riñihue. 120
Figura 67. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Rupanco. 121
Figura 68. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Rupanco. 122

Figura 69. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Grande de San Pedro. 123
Figura 70. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Grande de San Pedro. 124
Figura 71. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Todos los Santos. 125
Figura 72. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en lago Todos los Santos. 126
Figura 73. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Torca. 127
Figura 74. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Torca. 128
Figura 75. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Vichuquén. 129
Figura 76. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Vichuquén. 130
Figura 77. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Villarica. 131
Figura 78. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en lago Villarica. 131
Figura 79. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo de la laguna Aculeo. 177
Figura 80. Condición trófica histórica para una estación de monitoreo de la laguna Torca. 177
Figura 81. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Vichuquén. 178
Figura 82. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo de la laguna Grande de San Pedro. 178
Figura 83. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo de la laguna Lencán. 179
Figura 84. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Lanalhue. 179
Figura 85. Condición trófica histórica para dos estaciones de monitoreo del lago Lleu - Lleu. 180
Figura 86. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Colico. 180
Figura 87. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Caburgua. 181
Figura 88. Condición trófica histórica para doce estaciones de monitoreo del lago Villarrica. 181
Figura 89. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Calafquén. 182

Figura 90. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Panguipulli. 182
Figura 91. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Neltume. 183
Figura 92. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Riñihue. 183
Figura 93. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Ranco. 184
Figura 94. Condición trófica histórica para dos estaciones de monitoreo del lago Maihue. 184
Figura 95. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Puyehue. 185
Figura 96. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Rupanco. 185
Figura 97. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Todos los Santos. 186
Figura 98. Condición trófica histórica para once estaciones de monitoreo del lago Llanquihue. 186
Figura 99. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Chapo. 187
Figura 100. Estructura comunitaria de Lagunas El Petrel y El Perro. 188
Figura 101. Estructura comunitaria de fitoplancton en Laguna Torca. 190
Figura 102. Análisis de conglomerados en base a taxa de fitoplancton para Laguna Torca. 192
Figura 103. Gráfico de ordenación de ACC para estación Centro en los distintos periodos de monitoreo en Laguna Torca. 193
Figura 104. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en periodos de monitoreo 2014 y 2015 en Laguna Vichuquén. 194
Figura 105. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en periodos de monitoreo 2016 y 2017 en Laguna Vichuquén. 195
Figura 106. ACC entre variables bióticas y abióticas en Lago Vichuquén 200
Figura 107. Composición comunitaria de lagunas costeras de la VIII Región. 201
Figura 108. Gráfico de Análisis de Correspondencia Canónica para periodos de monitoreo, y variables bióticas y abióticas en lagunas costeras de la VIII Región. 205
Figura 109. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en Lago Lanalhue. 206
Figura 110. Gráfico de Análisis de Correspondencia Canónica para periodos de monitoreo y estaciones en Lago Lanalhue. 208
Figura 111. Composición taxonómica de fitoplancton en Laguna Grande de San Pedro. 209
Figura 112. Análisis de ordenación (ACC y Cluster) para los 3 periodos de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro. 210
Figura 113. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago LleuLleu en dos años de monitoreo. 211

Figura 114. Análisis de conglomerados para 3 periodos de monitoreo en Lago Lleu lleu. 213
Figura 115. Composición fitoplanctónica en verano del 2017 en Lago Caburgua. 213
Figura 116. Composición fitoplanctónica en estación Centro de Lago Villarica. 215
Figura 117. Análisis de ordenación para estación Centro en lago Villarica. 218
Figura 118. Estructura comunitaria de clases de fitoplancton en Lago Colico. 219
Figura 119. Análisis de ordenación para estación Centro en Lago Colico. 222
Figura 120. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago Todos los Santos. 222
Figura 121. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago Chapo. 224
Figura 122. Diagrama de análisis de ordenación para dos periodos de monitoreo en Lago Chapo. 227
Figura 123. Composición de clases de fitoplancton en estación Ensenada y Puerto Varas el año 2014 y 2015. 228
Figura 124. Composición de clases de fitoplancton en estación Ensenada y Puerto Varas el año 2014 y 2015 229
Figura 125. Análisis de ordenación en estación Ensenada en Lago Llanquihue. 232
Figura 126. Composición de clases de fitoplancton entre años 2014 y 2016 en Lago Rupanco. 233
Figura 127. Análisis de ordenación en estación Desagüe en lago Rupanco. 236
Figura 128. Composición de clases de fitoplancton en lagos y lagunas de Chiloé. 236
Figura 129. Análisis de ordenación de variables bióticas y abióticas en lagos de Chiloé. 238
Figura 130. Composición fitoplanctónica en lago Maihue. 239
Figura 131. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en Lago Maihue. 241
Figura 132. Composición fitoplanctónica en lago Neltume. 242
Figura 133. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Neltume. 243
Figura 134. Composición fitoplanctónica en Lago Puyehue. 244
Figura 135. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Puyehue. 246
Figura 136. Composición fitoplanctónica en lago Ranco. 247
Figura 137. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Ranco. 250

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ficha confeccionada para lago Vichuquén. 252
Ilustración 2. Infografía confeccionada para Lago Vichuquén. 254
Ilustración 3. Ficha confeccionada para Lago Villarica. 255
Ilustración 4. Infografía confeccionada para lago Villarica..... 257
Ilustración 5. Programa Taller de difusión de resultados..... 258
Ilustración 6. Lista de asistencia Taller de difusión de resultados..... 259

INDICE DE ANEXOS DIGITALES

ANEXO DIGITAL 1. Sistematización datos físicos y químicos Lagos 1986 - 2017.

ANEXO DIGITAL 2. Sistematización datos de fitoplancton Lagos 2014 -2017.

ANEXO DIGITAL 3. Análisis datos continuos Lagos 2014 – 2017.

ANEXO DIGITAL 4. Análisis datos de alta resolución temporal Lagos de Aysén.

ANEXO DIGITAL 5. Análisis de evolución temporal de variables análizadas en Lagos de Aysén.

ANEXO DIGITAL 6. Fichas confeccionadas para cada lago en consultoría 2018.

ANEXO DIGITAL 7. Infografías confeccionadas para cada lago en consultoría 2018.

1 INTRODUCCIÓN

El estado trófico de un ecosistema acuático se define como la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo (Moreno et al. 2010). Por su parte, la eutrofización se puede definir como el enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales o el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por la adición de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Si bien la eutrofización se produce de forma natural, normalmente está asociada a fuentes antropogénicas de nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno y la aplicación de fertilizantes de uso agrícola en las cuencas y el vertido de desechos domésticos y aguas servidas, se encuentran entre las principales causantes de este problema. Así, la creciente eutrofización de los lagos es considerada una de las grandes catástrofes que aquejan a nuestra sociedad. El estado eutrófico es un estado no deseado del ecosistema, debido a que los bienes y servicios que nos brindan (fuente de agua potable, propósitos de recreación, entre otros) son más compatibles con lagos de características oligotróficas o mesotróficas (Pardo & Vila 2006).

Nuestro país posee una gran diversidad de lagos y lagunas, ubicados en diferentes zonas climáticas y ecológicas, que aportan con diversos servicios ecosistémicos. Dentro de estos, los lagos araucanos son un grupo importante de cuerpos lacustres ubicados al sur de nuestro país. Estos sistemas son en su mayoría de origen glacial, monomícticos temperados, con bajas concentraciones de clorofila *a*, alta transparencia del agua, y baja productividad, la que es principalmente afectada por la entrada de nutrientes inorgánicos desde sus afluentes (Campos et al. 1983, Soto 2002). A pesar de las características oligotróficas de estos lagos, el aumento de las actividades humanas alrededor y dentro de ellos como es el caso de la agricultura, el desarrollo urbano y la acuicultura, pueden significar una alta entrada de nutrientes que pueden alteran de forma significativa la calidad ecológica y ambiental de estos importantes sistemas acuáticos (García & Leiva 1999). Este problema también se puede presentar en otros sistemas lacustres del país por lo que es vital contar con un seguimiento de la calidad ambiental de los lagos y lagunas de nuestro territorio.

La Dirección General de Aguas, en virtud de lo establecido en el Art. 299 del Código de Aguas, le confiere atribuciones y funciones entre las que se encuentran las de investigar, medir el recurso y monitorear tanto su calidad como su cantidad, en atención a la conservación y protección de los recursos hídricos. Para ello la DGA debe: Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, el que incluye tanto mediciones de cantidad como calidad de aguas, y proporcionar y publicar la información correspondiente; y Encomendar a empresas u organismos especializados los estudios e informes técnicos que estime conveniente y la construcción, implementación y operación de las obras de medición e investigación que se requiera. Para el cumplimiento de estas funciones la DGA ha implementado el Servicio Hidrométrico Nacional (SHN) que a su vez se compone de las siguientes redes: Red Fluviométrica, Red Hidrometeorológica, Red Sedimentométrica, Red de Medición de Nieves y Glaciares, Red de Control de Aguas Subterráneas y Red de Calidad de Aguas.

Dentro de lo que es la Red de Calidad de Aguas, la DGA a través del Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos (DCPRH), en la década de los 80, comenzó el desarrollo de la "Red Nacional Mínima de Control de Lagos" que tiene como objetivo principal: generar información pública y sistemática que caracterice la calidad de los lagos y lagunas del país, incluido su estado trófico. A la fecha, la Red de Monitoreo de Lagos ha muestreado 51 cuerpos lacustres y 43 cuerpos conforman la red actual. Con la data histórica la DGA ha determinado la condición trófica mediante una serie de estudios que han sistematizado la información levantada por la DGA, algunos de los cuales, además, han incluido las modificaciones correspondientes a esta Red de Lagos a fin de que la misma satisfaga las necesidades de control y monitoreo. Sin embargo, es necesaria una actualización de la información, para lo cual la DGA llamó a una consultoría denominada "Evaluación de la condición trófica en cuerpos lacustres". Esta consultoría incluye la revisión y sistematización de información fisicoquímica y biológica en 2 periodos de análisis: 1986 – 2000 y 2014 – 2017[1], para 43 lagos distribuidos en todo el territorio nacional, desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Aysén; que permita el análisis histórico e integral de la condición trófica.

El largo territorio de nuestro país está compuesto de una secuencia geográfica de cuencas fluviales, donde cada una conforma una unidad práctica para la planificación, conservación y desarrollo sustentable de los recursos naturales, ya que integran la dimensión social con la productiva y la ambiental. Es por esta razón que la información generada en este estudio no sólo permitirá conocer el estado ambiental actual de nuestros sistemas acuáticos, sino que también generará información que respalde la toma de decisiones en materias de gestión y protección ambiental, con miras a la gestión sustentable de actividades productivas y económicas del país.

[1] La información del periodo 2000-2014 fue validada y sistematizada en los siguientes estudios: Redefinición de la red mínima de lagos SIT N°192 DGA-2009 y Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la DGA 2014 SIT N°348 DGA-2014.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Disponer de una evaluación de la condición trófica de los lagos y lagunas chilenas que incluya un análisis de los cambios históricos registrados por la DGA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Disponer de un análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de los lagos utilizando toda la información de manera integral, aplicando la metodología del estudio "Modificación de la red mínima de lagos DGA 2009" y "Evaluación de la condición trófica DGA 2014".
2. Disponer de material para la difusión de los resultados (fichas e infografías por lago que incluya características del lago, principales resultados y fotografías).

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, la presente consultoría estuvo dividida en tres etapas:

i. Etapa 1. Relacionada con el objetivo específico 1: Disponer de un análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de los lagos utilizando toda la información de manera integral; que incluyó la generación de una base de datos para el periodo 2014-2017, la sistematización de la información para el periodo 1986-2000, y la sistematización y análisis de información de alta resolución temporal (sensores) de los Lagos de Aysén.

ii. Etapa 2. Relacionada con el objetivo específico 1: Disponer de un análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de los lagos utilizando toda la información de manera integral; que incluyó el análisis del estado de eutrofización de cada lago, utilizando la información validada en la etapa I, y el análisis de la información de fitoplancton disponible.

iii. Etapa 3. Relacionada con el objetivo específico 2: Disponer de material para la difusión de los resultados; que incluye la presentación del material de difusión para cada lago mediante fichas y poster que contenga información de monitoreo, periodo de medición, variables medidas, estaciones, perfiles de la columna de agua, características morfológicas y evaluación de la condición trófica, y la realización de un taller de difusión en la ciudad de Santiago dando a conocer los resultados de la presente consultoría.

3 METODOLOGÍA

3.1 UBICACIÓN DE LOS CUERPOS LACUSTRES EN ESTUDIO

Los cuerpos lacustres que forman parte de la Red de Calidad de Lagos que fueron incluidos en la validación, depuración y sistematización de variables fisicoquímicas son entregados en la Tabla 1. En la tabla 1 además se entrega el periodo de monitoreo de registros fisicoquímicos que se encuentran disponibles para cada lago, los que fueron obtenidos desde monitoreos estacionales (monitoreo in situ y análisis de laboratorio) y/o desde monitoreos continuos. Los monitoreos continuos de perfiles de temperatura, clorofila, oxígeno disuelto y conductividad fueron obtenidos utilizando una Sonda YSI Multiparamétrica EXO (CTD), a excepción de los lagos de Aysén cuyos registros fueron obtenidos de una boya que cuenta con una estación meteorológica con sensores de temperatura del aire, dirección, magnitud del viento y radiación solar.

Tabla 1. Ubicación geográfica, periodo de registro (años) y tipo de registro (estacional o continuo) de los cuerpos lacustres que conforman la Red de Monitoreo de Lagos.

N	Cuerpo Lacustre	Coordenadas UTM		Región	Monitoreos estacionales	Monitoreos continuos
		Este (WGS84/19H)	Norte (WGS84/19H)			
1	Lago Chungará	483427	7982553	XV	2017	
2	Embalse La Paloma*			IV	2000-2008	
3	Laguna Negra*	395823	6276751	RM	2013	
4	Laguna de Aculeo	322787	6253288	RM	1986-2014	
5	Embalse Rapel*	269487	6219108	VI	2000-2008	
6	Laguna Petrel	224402	6191464	VI	2017	2017
7	Laguna Ancho*	225386	6189561	VI	2015	
8	Laguna Perro	221919	6183916	VI	2017	2017
9	Laguna Torca	221711	6148087	VII	2013-2016	
10	Lago Vichuquén	221027	6143869	VII	2013-2017	2015
11	Laguna Grande de San Pedro	133535	5913057	VIII	1988-2016	2016
12	Laguna Laja*			VIII	2016	
13	Laguna Lencán	105670	5805732	VIII	2016-2017	2017
14	Laguna Lloncao	107225	5799321	VIII	2016-2017	2016-2017
15	Lago Lanalhue	121431	5793952	VIII	1989-2016	2016
16	Laguna Los Batros	111184	5788412	VIII	2016-2017	2017
17	Laguna Antiquina	112554	5783050	VIII	2017	2017
18	Lago LleuLleu	120955	5767679	VIII	2011-2015	2016
19	Laguna Butaco	111005	5761185	VIII	2016-2017	2017
20	Laguna Quidico	634149	5760874	VIII	2015	S.D.
21	Lago Colico	240850	5670452	IX	2013-2016	2014-2016

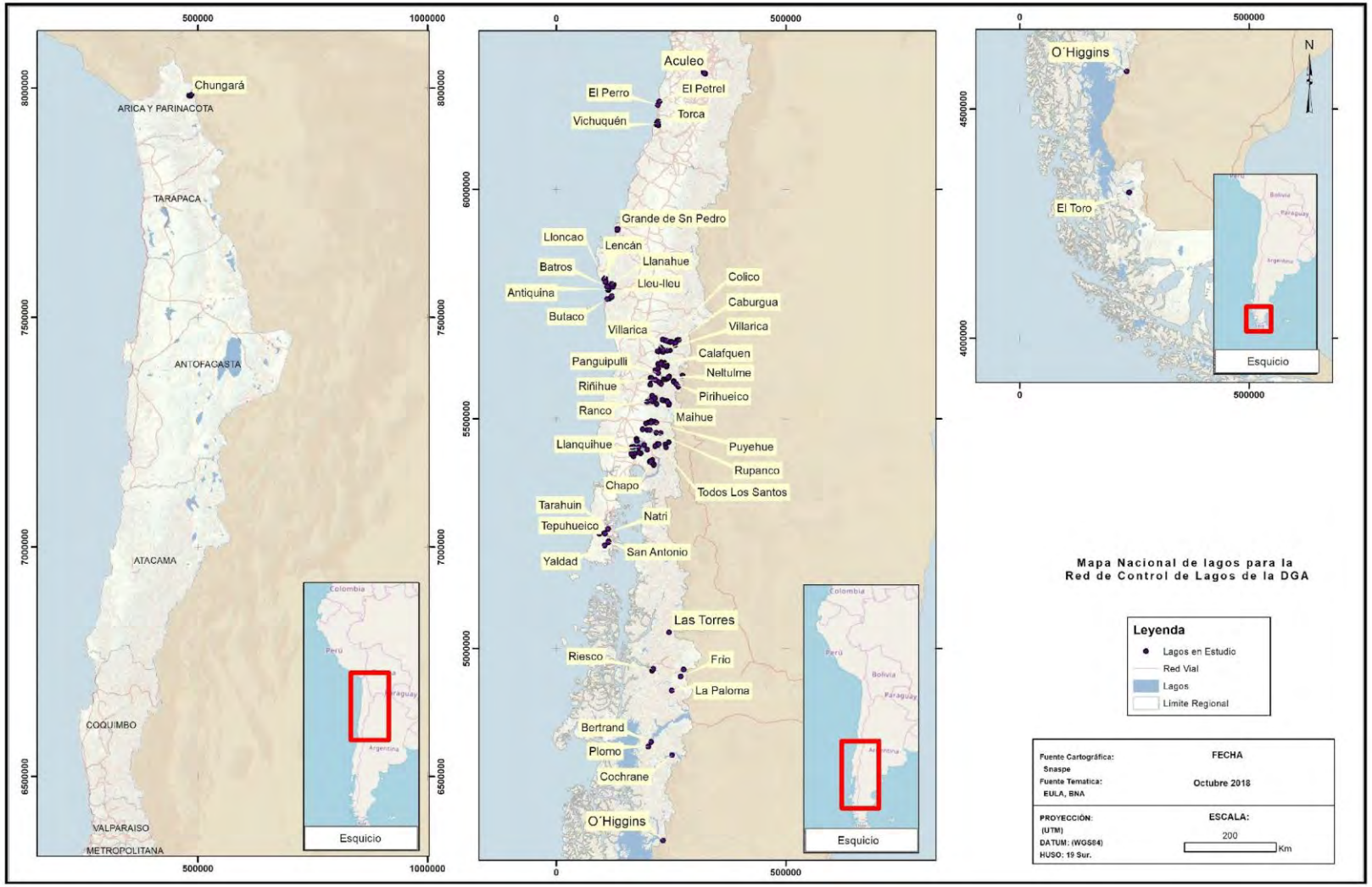
N	Cuerpo Lacustre	Coordenadas UTM		Región	Monitoreos estacionales	Monitoreos continuos
		Este (WGS84/19H)	Norte (WGS84/19H)			
22	Lago Caburgua	259997	5665649	IX	2001-2017	2017
23	Lago Villarrica	232737	5650137	IX	1986-2017	2014-2017
24	Lago Calafquén	228217	5620739	XIV	1997-2015	
25	Lago Panguipulli	222371	5600381	XIV	1997-2015	
26	Lago Neltume	244930	5591233	XIV	2013-2015	
27	Lago Riñihue	216731	5585180	XIV	1987 - 2015	
28	Lago Pirihueico	261506	5576445	XIV	2015	
29	Lago Ranco	207308	5540749	XIV	1987-2016	2014-2016
30	Lago Maihue	242867	5536966	XIV	2001-2016	2014-2016
31	Lago Puyehue	206689	5492190	XIV	2012-2015	
32	Lago Rupanco	203800	5476440	X	2012-2016	
33	Lago Todos Los Santos	223540	5444870	X	2002-2015	
34	Llago Llanquihue	180071	5438611	X	1986-2017	2014-2017
35	Lago Chapo	206139	5407522	X	2001-2017	2017
36	Huillinco	586982	5275350	X	S.D.	S.D.
37	Tarahuin	112736	5259990	X	2017	2017
38	Natri	105927	5250911	X	2017	2017
39	Tepuhueico	93821	5250704	X	2017	2017
40	San Antonio	113561	5232615	X	2017	2017
41	Yaldad	105376	5224637	X	2017	2017
42	Lago Risopatrón	698311	5095945	XI		S.D.
43	Laguna Las Torres	720365	5036253	XI		2014
44	Lago Riesco	677711	4956393	XI		2016
45	Lago Cochrane	252623	4767680	XI		2015-2016
46	Laguna La Paloma	252144	4908593	XI		2012
47	Lago Bertrand	206543	4796330	XI		2011-2012
48	Lago O'**H**iggins	232915	4581674	XI		2010
49	Lago Plomo	200776	4786612	XI		2011-2013
50	Lago Frío	270727	4938780	XI		2012-2017
51	Lago El Toro	657133	4321967	XI		2014-2017

*Obtenidos de DGA/DCPRH Minuta N° 5 del 2018; en negro los lagos que conforman el análisis de la consultoría actual; S.D: sin data actual.

Estos lagos se distribuyen desde el extremo norte del país, en la XV Región de Arica y Parinacota, hasta la Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo en la Patagonia chilena (Figura 1). Razón por la cual estos lagos abarcan la mayoría de los tipos bioclimáticos del país. Según Di Castri & Hajek (1976), las principales tendencias climáticas en Chile son: a) Tendencia al clima desértico, donde se reconocen dos regiones ecológicas, desértica litoral y desértica interior, desde el límite con Perú hasta

Atacama por el Sur, b) Tendencia al clima tropical, con lluvias en verano, que corresponde a la precordillera y cordillera de los Andes de las provincias de Tarapacá, Antofagasta y Atacama, c) Tendencia mediterránea con sequía durante el verano y aumento progresivo de precipitaciones hacia el Sur. Las regiones ecológicas de esta región son la mediterránea, árida, semiárida, subhúmeda, húmeda e hiper-húmeda, d) Tendencia oceánica, que corresponde a todo el sector austral continental e insular, incluye las regiones oceánicas con influencia mediterránea, temperada fría y subantártica y e) Tendencia continental, desde el límite de las nieves permanentes hasta el límite altitudinal de los árboles en el centro-sur del territorio y de los arbustos en el norte grande de Chile.

Figura 1. Ubicación geográfica de los 43 cuerpos lacustres monitoreados en el territorio nacional.



3.2 ESTACIONES DE MONITOREO

En la Tabla 2 se entrega para cada lago una caracterización, su ubicación geográfica y su código correspondiente al Banco Nacional de Aguas. Esta información fue obtenida de minutas desarrolladas por el Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos de la DGA. Cada estación de monitoreo fue clasificada como estación vigente (estación con monitoreo actual) o estación suspendida (estación histórica sin monitoreo actual).

Tabla 2. Caracterización y estaciones de monitoreo de los cuerpos lacustres analizados.

1. LAGO CHUNGARÁ		
Caracterización:	El lago Chungará es uno de los más altos lagos de montaña en el mundo, se localiza al norte de Chile a 4.520 m.s.n.m. (Figura 2). La hoya hidrográfica alcanza los 260 km^2, con un volumen promedio de 400 Hm^3 y una profundidad máxima de 34 m (Dorador et al. 2003). Es un cuerpo de agua Oligo-Mesotrófico por su TSI de luminosidad y clorofila, pero de acuerdo a la disponibilidad de fósforo, sería un lago Eutrófico (DGA/DCPRH 37, 2016).	
Estaciones de monitoreo:		
Nombre	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Centro	483149 E − 7983106 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Sector Ajata	480780 E − 7983733 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Río Chungará	485641 E − 7985036 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
2. LAGUNA DE ACULEO		
Caracterización:	La laguna Aculeo es un cuerpo de agua endorreico ubicado en la hoya hidrográfica del Maipo, comuna de Paine en la región Metropolitana (Figura 3). Al año 2010 poseía una superficie de 11.5 (Km^2), una profundidad media de 3.4 (m), y un volumen de agua de 53.6*106 (m^3) (DGA/DCPRH 215, 2015). Según DGA/POCH (2009) la laguna de Aculeo está en un estado hipereutrófica, con un grado de intervención antrópica alto.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Puntilla de León	323015 E − 6253511 N (PSDA 56, 18)	05716009-8 (Estación vigente)
Sector Desagüe	325004 E - 6253023 N (PSDA 56, 18)	05716010-1 (Estación suspendida)
Frente Casa de Bombas	321306 E - 6255512 N (PSDA 56, 18)	05716008-K (Estación suspendida)
3. LAGUNAS COSTERAS DE LA VI REGIÓN: EL PETREL Y EL PERRO		
Caracterización	Las lagunas El Petrel y El Perro están emplazadas en el borde costero de la ciudad de Pichilemu, Región de O'Higgins (Figura 4). La laguna El Petrel tiene una superficie de aproximadamente 25 ha y una profundidad promedio de 1.1 m. Por su parte, Laguna El Perro tiene una superficie aproximada de 28 ha y una	

		profundidad máxima de 11.1 m, con un volumen aproximado de 0,018 km^3 (DGA/CEA 2015). Según DGA/CEA (2015), ambas lagunas presentan condiciones eutróficas según parámetros de clorofila.	
Lagunas	Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
El Petrel	Z max	6191683 E – 224903 N (WGS84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
	Afluente	6191182 E – 225268 N (WGS84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
El Perro	Z max	6184106 E – 773056 N (WGS84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
4. LAGUNA VICHUQUÉN			
Caracterización		El lago Vichuquén se ubica en el área costera de la séptima región del Maule (Figura 5), su longitud máxima es de 7.1 km, con un perímetro aproximado de 36.3 km y una superficie aproximada de 12.96 km^2 (DGA/DCPRH 31, 2014). El estado trófico estimado por EULA (2016) a través de la clasificación OCDE (1982), clasifica al lago como eutrófico e hipereutrófico de acuerdo a sus niveles de transparencia y fósforo total, respectivamente, mientras que con clorofila muestra una condición de mesotrofía.	
Estación		Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Z max		6144653 N - 219423 E (WGS84, 19)	07000011 (Estación vigente)
Sector Centro		6142635 N - 220061 E (WGS84, 19)	07000009-1 (Estación vigente)
Bahía Vichuquén		6141308 N - 220804 E (WGS84, 19)	07000007-5 (Estación vigente
Estero Llico		6141600 N - 219423 E (WGS84, 19)	07000008-3 (Estación vigente)
Estero Vichuquén		6140069 N - 223034 E (WGS84, 19)	07000008-3 (Estación vigente)
5. LAGUNA TORCA			
Caracterización		Laguna Torca pertenece a la hoya hidrográfica de Vichuquén (Figura 5) y posee una superficie de aproximadamente 186 ha, recibe las aguas de la pequeña subcuenca del mismo nombre, donde no hay cursos de agua permanente y del lago Vichuquén (DGA/DCPRH 31, 2014). Según DGA/M&W Ambientales (2014) esta laguna tendría una condición de hipereutrofia según parámetros de clorofila.	
Estación		Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Centro		6147910 N – 221955 E (WGS84, 19)	07000010 (Estación vigente)
6. LAGUNA GRANDE DE SAN PEDRO			
Caracterización:		La laguna Grande de San Pedro forma parte de un sistema de lagos costeros al Sur del río Biobío (Figura 6). La superficie del cuerpo de agua es de cerca de 156 ha. Siendo su largo máximo 2.67 Km y su ancho máximo de 1.37 Km (DGA/DCPRH 16, 2014). Según DGA/POCH (2009), la evaluación actual del estado trófico de la Laguna Grande de San Pedro presenta una condición de Mesotrófico según criterio de clasificación de clorofila *a*.	
Estaciones de monitoreo:			
Estación		Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Centro		133856 E - 5913729 N (PSDA 56, 19)	08822013-7 (Estación suspendida)

Sector Centro 2	668625 E – 5919569 N (PSDA 56, 19)	08394010-7 (Estación vigente)
Sector Desagüe	668817 E - 5920521 N (PSDA 56, 19)	08394009-3 (Estación suspendida
Sector Sur	668106 E - 5918407 N (PSDA 56, 19)	08394007-7 (Estación suspendida)
7. LAGO LANALHUE		
Caracterización:	El lago Lanalhue pertenece al grupo denominado lagos Nahuelbutanos meridionales (Laguna Grande de San Pedro, Laguna Chica de San Pedro, Laguna Quiñenco, Lago Lanalhue y Lago Lleulleu) (Figura 7). Se encuentra a una altitud de 12 m.s.n.m, posee un volumen de 0.418 km^3, una línea de costa de 60.5 km y un área superficial de 31.9 km^2. Presenta una escasa profundidad, con una media relativa de 13 m (DGA/DCPRH 15, 2012). Según DGA/POCH (2009), la evaluación actual del estado trófico del Lago Lanalhue presenta una condición de Meso-eutrofía.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Centro	120814 E - 5794269 N (PSDA 56, 18)	08822010-2 (Estación vigente)
Puerto Manzano	123133 E - 5788465 N (PSDA 56, 18)	08822012-9 (Estación vigente)
Puerto Peleco	115.086 E - 579418 N (PSDA 56, 18)	08822009-9 (Estación suspendida)
Frente Hosteria	648508 E - 5802015 N (PSDA 56, 18)	08822010-2 (Estación suspendida)
Playa Blanca	652501 E - 5799999 N (PSDA 56, 18)	08822011-0 (Estación suspendida)
8. LAGO LLEU LLEU		
Caracterización:	El lago Lleu lleu también pertenece al grupo de lagos Nahuelbutanos" y se ubica a una altitud de 20 m.s.n.m. en la Provincia de Tirúa (Figura 8). Tiene una línea de costa de 4.2 km, un área de cuenca de 670 km, un volumen de 934 x 10^6 m^3 y una profundidad máxima de 46.9 m. Según DGA/M&W Ambientales (2014) se concluyó que, para parámetros de clorofila y fósforo total, la clasificación del lago era de oligotrofia. En el año 2016 se mantuvo la misma clasificación trófica (DGA/DCPRH 11, 2017).	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Centro	120276 E - 5766401 N (PSDA 56, 18)	Por crear (Estación vigente)
Sector Sur	114836 E - 5762003 N (PSDA 56, 18)	Por crear (Estación vigente)
9. LAGUNAS COSTERAS DE LA VIII REGIÓN: LOS BATROS, LENCÁN, LLONCAO, BUTACO Y ANTIQUINA		
Caracterización	Las lagunas Batros, Lencán y Lloncao se encuentran emplazadas cercanas a la ciudad de Cañete en la VIII Región del Biobío, en la cuenca del río Paicaví (DGA/DCPRH 13, 2016). Se caracterizan por su pequeño tamaño y poseen una cuenca casi completamente dominada por suelos de uso forestal y agrícola. La Laguna Los Batros tiene una superficie aproximada de 35 ha, y alcanza una profundidad máxima de 24 m (Figura 7. La Laguna Lloncao tiene una superficie	

		aproximada de 91 ha, una profundidad máxima que alcanza los 25 metros y un volumen aproximado de 0.112 km^3 (Figura 9) La Laguna Lencán o Pangue tiene una superficie de aproximadamente 40 ha, una profundidad promedio de 2.2 m y un volumen de 726.000 m^3 (Figura 9). La laguna Butaco se ubica a 25 kilómetros al norte de la comuna de Tirúa (Figura 8). Al igual que las anteriores, es una laguna de pequeño tamaño (superficie de 1 km^2) y una profundidad máxima aproximada de 18 m. Finalmente, Laguna Antiquina se ubica a una distancia de 32.6 Km de Cañete (Figura 7) y presenta una profundidad máxima de 4.8 m. Según DGA/CEA (2014), estas lagunas muestran condiciones de oligotrofia de acuerdo al parámetro Clorofila.	
Lago	Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Los Batros	Z max	5796530 E – 638687 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Afluente	5796781 E – 639026 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Efluente	5796949 E – 637734 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lloncao	Z max	5807023 E – 635309 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Efluente	5806512 E – 635147 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lencán	Z max	5814121 E – 633839 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Afluente	5815049 E – 634285 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Efluente	5812663 E – 633095 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Butaco	Z max	5769537 E – 636600 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Antiquina	Z max	5788818 E – 639660 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Afluente	5788744 E – 640250 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
	Efluente	5790014 E – 639325 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
10. LAGO VILLARICA			
Caracterización:		El lago Villarica es un lago monomíctico templado que pertenece a la hoya hidrográfica del río Toltén (Figura 10). Este lago tiene una línea de costa de 71.2 km, un área superficial de 175.9 km^2, un volumen de 21 km^3 y una profundidad máxima de 165 m (DGA/DCPRH 216, 2010). Es importante señalar que bajo Decreto 19 publicado con fecha 16 de octubre del año 2013, se establecen las "Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del lago Villarrica", cuyo objetivo general es proteger la calidad de las aguas del lago, de modo de prevenir un aumento acelerado de su estado trófico, provocado por la actividad antrópica dentro de su cuenca hidrográfica. Según DGA/POCH (2009) la evaluación actual del estado trófico del lago Villarrica es oligotrofia según parámetro de clorofila *a*.	
Estaciones de monitoreo:			
Estación		Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Bahía Pucón		242754 E - 5648660 N (PSDA 56, 19)	09420008-3 (Estación vigente)
Bahía Villarrica		225187 E - 5647655 N (PSDA 56, 19)	09420005-9 (Estación suspendida)
Pelagial Villarrica		225187 E - 5647655 N (PSDA 56, 19)	09420005-9 (Estación vigente)
La Poza		243198 E - 5648363 N (PSDA 56, 19)	09420007-5 (Estación vigente)

Molco	751513 E - 5647004 N (PSDA 56, 19)	09420006-7 (Estación vigente)
Litoral Villarrica	741038 E – 5648014 N (PSDA 56, 19)	09420011-3 (Estación vigente)
Sector Centro	750739 E – 5650548 N (PSDA 56, 19)	09420010-5 (Estación vigente)
Litoral Sur	750780 E - 5646596 N (PSDA 56, 19)	09420012-1 (Estación vigente)
Litoral Norte	746795 E - 56560 N (WGS 84, 18)	09420014-8 (Estación vigente)
Litoral Pucón	243157 E - 5649300 N (PSDA 56, 19)	09420013-K (Estación vigente)
Rio Pucon Pasarela Queulle	247.840 E - 5648833 N (WGS 84, 19)	09418001-5 (Estación vigente)
Río Toltén en Villarica	220979 E - 5647769 N (WGS 84, 19)	09420001-6 (Estación vigente)
11. LAGO CABURGUA		
Caracterización:	El Lago Caburgua pertenece a la hoya hidrográfica del río Toltén (Figura 10), tiene una extensión de 7886 km^2, posee una línea de costa de 42.7 km, un volumen de 8.88 km^3 y una profundidad máxima de 327 m (DGA/DCPRH 220, 2011). Según el estudio de la redefinición de lagos realizado por DGA/POCH (2009), la evaluación actual del estado trófico de este lago es de Oligotrofia.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Norte	264019 E - 5672025 N (PSDA 56, 18)	09417003-6 (Estación suspendida)
Sector Centro	260515 E - 5667012 N (PSDA 56, 18)	09417004-4 (Estación vigente)
Sector Desagüe	259520 E - 5661025 N (PSDA 56, 18)	09417005-2 (Estación suspendida)
Río Blanco	267430 E - 5672579 N (PSDA 56, 18)	09417006-0 (Estación vigente)
12. LAGO COLICO		
Caracterización	El lago Colico es un lago de origen glacial que inicia la cadena de lagos antepuestos a la cordillera que se prolonga hasta el seno de Reloncaví (Figura 10). Tiene una superficie de 60 km^2 (DGA/DCPRH 18, 2016). Este lago mostró en monitoreos del año 2013, condiciones de bajo nivel de trofía (oligotrofia).	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Puerto Colico	5671176 N – 236446 E (WGS84, 19)	9405002 (Estación vigente)
Sector Centro	5669411 N – 242918 E (WGS84, 19)	9405003 (Estación vigente)
Bahía Río Trafampulli	5667597 N – 248581 E (WGS84, 19)	9405004 (Estación vigente)
Río Trafampulli	5667915 N – 251425 E (WGS84, 19)	9405005 (Estación vigente)
Río Curaco	5673107 N – 232462 E (WGS84, 19)	9405006 (Estación vigente)
13. LAGO CALAFQUÉN		
Caracterización:	El lago Calafquén pertenece a la hoya hidrográfica del río Valdivia (Figura 11). Este lago posee una profundidad máxima de 212 m, una profundidad media de 115 m, una línea de costa de 76.4 km y un volumen aproximado de 13.9 km^3 (DGA/DCPRH 32, 2014). Según el estudio de la redefinición de lagos realizado por DGA/POCH (2009), la evaluación actual del estado trófico del Lago Calafquén es Oligotrofia.	
Estaciones de monitoreo:		

Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Centro del Lago	742002 E - 5622026 N (PSDA 56, 19)	10106005-5 (Estación suspendida)
Bahía Coñaripe	754813 E - 5616799 N (PSDA 56, 19)	10106006-3 (Estación suspendida)
Bahía Lican-Ray	28589 E - 5.623.722 N (PSDA 56, 19)	10106004-7 (Estación suspendida)
Rio Coñaripe	241225 E - 5614085 N (PSDA 56, 19)	10105002-5 (Estación suspendida)
Estero Diuco	241623 E - 5617425 N (PSDA 56, 19)	10106009-8 (Estación vigente)
Estero Collico	236427 E - 5621984 N (PSDA 56, 19)	10106010-1 (Estación suspendida)
Estero Nilfe	235897 E - 5622462 N (PSDA 56, 19)	10106001-k (Estación vigente)
Río Melilahuen	744809 E - 5626105 N (PSDA 56, 19)	10106007-1 (Estación suspendida)
Estero Comonahue	237936 E - 5619156 N (PSDA 56, 19)	10106012-8 (Estación vigente)
Estación 1	754395 E – 5616346 N (WGS 84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Estación 2	745438 E – 5621507 N (WGS 84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Estación 3	737824 E – 5621224 N (WGS 84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Canal Hueninca	748724 E – 5618307 N (WGS 84, 18)	Por crear (Estación vigente)

14. LAGO PANGUIPULLI		
Caracterización:	El Lago Panguipulli es un lago monomíctico con estratificación estival perteneciente al distrito de Lagos Araucanos precordilleranos andinos de Chile y Argentina (Figura 11). Este lago posee un área de drenaje de 3811 km^2, un área superficial de 116.9 km^2, una profundidad máxima de 268 m, un volumen de 14.7 km^3 y una línea de costa de 108.10 km (DGA/DCPRH 33, 2012). Según DGA/POCH (2009) el lago posee un estado trófico de Oligotrofía.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Centro del lago	275010 E - 5594884 N (PSDA 56, 19)	10108003-K (Estación vigente)
Choshuenco	234282 E - 5586619 N (PSDA 56, 19)	10108004-8 (Estación vigente)
Bahía Panguipulli	215946 E - 5605938 N (PSDA 56, 19)	10108002-1 (Estación vigente)
Río Huenahue	222438 E - 5610261 N (PSDA 56, 19)	10107001-8 (Estación vigente)
Río Llanquihue	239563 E - 5587250 N (PSDA 56, 19)	10104001-1 (Estación vigente)

15. LAGO RIÑIHUE		
Caracterización:	El lago Riñihue es el último de una cadena de lagos incluidos en la hoya hidrográfica del río Valdivia (Figura 11). Su longitud máxima alcanza los 27 km, posee un área superficial de 90 km^2, una línea de costa de 77 km, un volumen de 14.5 km^3 y. una profundidad máxima de 323 metros (DGA/DCPRH 47, 2015). Según el estudio de la redefinición de lagos realizado por DGA/POCH (2009), la evaluación del estado trófico del Lago Riñihue es de Oligotrofia.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Enco	226801 E – 5578596 N (PSDA 56, 19)	10111005-2 (Estación suspendida)
Bahía Riñihue	207190 E – 5586998 N (PSDA 56, 19)	10111004-4 (Estación vigente)
Desagüe	205968 E – 5590230 N (PSDA 56, 19)	10111003-6 (Estación suspendida)

Sector Centro	730518 E - 5587501 N (PSDA 56, 19)	10111008-7 (Estación suspendida)
Estación 1 (Riñihue 2)	736289 E - 5581971 N (WGS 84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
Estación 3 (Riñihue 3)	721818 E - 5591792 N (WGS 84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
Río San Pedro	717800 E - 5577373 N (WGS 84, 18)	Por Crear (Estación vigente)
Rio Enco	741366 E – 5577373 N (PSDA 56, 19)	10111009-5 (Estación vigente)
16. LAGO MAIHUE		
Caracterización	El lago Maihue se localiza a 70 metros de altitud, en la provincia del Ranco (Figura 12). Posee una superficie cercana a los 49 Km^2, una profundidad promedio de 120 m, una superficie 47.2 km^2, un volumen de 5.670 $km^{3,}$ y una línea de costa aproximada de 50 km (DGA/DCPRH 22, 2014). Según el parámetro de clorofila *a* este lago muestra condiciones de oligotrofia (DGA/DCPRH 22, 2014).	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Los Llolles	744835 E - 5541522 N (PSDA 56, 18)	10304004-3 (Estación suspendida)
Sector Centro	243588 E - 5535919 N (PSDA 56, 18)	10304003 (Estación vigente)
Río Calcurrupe	231570 E - 5542249 N (PSDA 56, 18)	10304006 (Estación vigente)
Río Melipue	245454 E - 5531110 N (PSDA 56, 18)	10302000 (Estación vigente)
Río Hueinahue	246645 E - 5533015 N (PSDA 56, 18)	10301001 (Estación vigente)
Río Blanco ó Pillanleufu	241592 E - 5539762 N (PSDA 56, 18)	10304005 (Estación vigente)
17. LAGO RANCO		
Caracterización:	El lago Ranco es el más grande de la serie de lagos incluidos en la cuenca del río Bueno (Figura 12). Posee un área superficial de 442.6 Km^2, una profundidad máxima que bordea los 199 metros, un volumen de 54 Km^3 y una línea de costa de 154.6 km (DGA/DCPRH 11, 2012). Según DGA/POCH (2009) la evaluación actual del estado trófico del lago Ranco es oligotrofia con un alto potencial para aumentar su condición trófica (limitación periódica de fósforo y nitrógeno) y con un alto grado de intervención antrópicas.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Futrono	720806 E - 5553005 N (PSDA 56, 18)	10307002-3 (Estación suspendida)
Puerto Nuevo	708408 E - 5540611 N (PSDA 56, 18)	10307003-1 (Estación suspendida)
Riñiñahue	729023 E - 5535012 N (PSDA 56, 18)	10307004-K (Estación suspendida)
Riñinahue 2	721392 E - 5540180 N (PSDA 56, 18)	Por crear (Estación vigente)
Sector Bahía Futrono	726243 E –5547881 N (PSDA 56, 18)	Por crear (Estación vigente)
18. LAGO NELTUME		
Caracterización	El lago Neltume es un lago Monomíctico Temperado de origen glacial, situado en la Provincia de Valdivia (Figura 11). Posee un área superficial de 9,8 km^2, una profundidad máxima de 86 m, un volumen de 0,574 km^3 y una línea de costa de 16,9 km (DGA/DCPRH 18, 2014). El parámetro "clorofila *a*" ha indicado un estado	

	ultraoligotrófico -oligotrófico con excepción de algunos valores altos para fósforo total indicando un estado mesotrófico (DGA/DCPRH 18, 2014).	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Estación 1	757369 E – 5589302 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación suspendida)
Estación 2	758372 E – 5590718 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación suspendida)
Estación 3	759627 E – 5591848 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación suspendida)
Sector Centro	244637 E - 5590819 N (WGS84, 19)	10103003-2 (Estación vigente)
Sector Neltume	242743 E - 5588436 N (WGS84, 19)	10103004-0 (Estación vigente)
Río Neltume	756483 E – 5588431 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Rio Chan Chan	758628 E – 5589488 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Estero Huanchulafquén	760469 E – 5592579 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Rio Cua Cua	760158 E – 5592810 N (WGS84, 19)	10103005-9 (Estación vigente)
19. LAGO PIRIHUEICO		
Caracterización	El lago Pirehueico es un lago monomíctico templado conectado con el lago Lacar en Argentina y con el resto del sistema hidrográfico de Valdivia (Figura 13). Posee un área superficial de 30.45 km^2, una profundidad máxima de 145 m, un volumen de 1.901 km^3 y una línea de costa de 61.3 km (DGA/DCPRH 2, 2013). Según análisis del año 1998 y 1999, se puede establecer que lago Pirihueico se encuentra dentro de los niveles de oligotrofia (UACH/DGA. 2000).	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Estación 1 (Eula)	773820 E – 5575400 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Estación 2 (Eula)	768947 E – 5579988 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Estación 3 (Eula)	778359 E – 5568811 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Río Las Estacas	774338 E – 5575645 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Río Lipinza	779522 E – 5565223 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Río Hua Hum	779486 E – 5565057 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
Rio Fuy	766004 E – 5581536 N (WGS84, 19)	Por crear (Estación vigente)
20. LAGO PUYEHUE		
Caracterización	El lago Puyehue se encuentra ubicado en los límites de la Región de los Ríos y de los Lagos (Figura 14). Su área superficial es de 165.4 Km^2, su profundidad máxima es de 123 m y su volumen de 12.6 Km (DGA/DCPRH 36, 2012). Según DGA/M&W Ambientales (2014), este lago presentaría condiciones de oligotrofia según parámetro de clorofila.	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Entre Lagos	195747 E – 5490495 N (PSDA 56, 19)	10323004-7 (Estación vigente)
Sector Centro	207204 E - 5496077 N (PSDA 56, 19)	10323005-5 (Estación vigente)
Sector Caulle	213946 E - 5494906 N (PSDA 56, 19)	10323006-3 (Estación vigente)
Río Pilmaiquen	195483 E - 5490673 N (PSDA 56, 19)	10323001-2 (Estación vigente)
Río Gol Gol	225.083 E - 5493648 N (PSDA 56, 19)	10322003 (Estación vigente)

21. LAGO LLANQUIHUE		
Caracterización:	El lago Llanquihue se encuentra en la Región de los Lagos, a una altitud sobre el nivel del mar de 51 metros (Figura 15). La cuenca drenante es de 1605 km^2 y el suelo es de origen volcánico; posee un área de drenaje de 1605 km, un área superficial de 870,5 km, un volumen de 1586 km^3 y una línea de costa de 195,5 km (DGA/DCPRH 232, 2010). El lago Llanquihue fue el primer lago que cuenta con Norma Secundaria de Calidad Ambiental el cual fue promulgado Decreto Supremo 122 y publicado en el diario oficial el 4 de junio 2010. Según DGA/M&W Ambientales (2014), el análisis a largo plazo (2000 - 2014) de la concentración de Clorofila a en este lago Llanquihue muestra que este sistema ha presentado históricamente una condición de Oligotrofía.	
Estaciones de monitoreo:		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Z max	192196 E – 5443561 N (PSDA 56, 19)	10410011-7 (Estación vigente)
Ensenada	198804 E – 5433576 N (PSDA 56, 19)	10410009-0 (Estación vigente)
Puerto Octay	680019 E - 5462012 N (PSDA 56, 19)	10410006-6 (Estación suspendida)
Puerto Octay 2	176371 E – 5452583 N (PSDA 56, 19)	10410012-0 (Estación vigente)
Frutillar	669009 E - 5445025 N (PSDA 56, 19)	10410007-4 (Estación suspendida)
Frutillar 2	168548 E – 5439251 N (PSDA 56, 19)	10410013-9 (Estación vigente)
Puerto Varas	670803 E - 5425018 N (PSDA 56, 19)	10410008-2 (Estación suspendida)
Puerto Varas 2	170618 E – 5424507 N (PSDA 56, 19)	10410014-7 (Estación vigente)
Río Tepu	184641 E – 5425092 N (PSDA 56, 19)	10410001-5 (Estación vigente)
Río Pescado	180370 E - 5426760 N (PSDA 56, 19)	10410003-1 (Estación vigente)
Río Maullin	163693 E – 5424153 N (PSDA 56, 19)	10411003-7 (Estación vigente)

22. LAGO RUPANCO		
Caracterización	El lago Rupanco pertenece al distrito de los lagos Araucanos y forma parte de la hoya hidrográfica del río Bueno (Figura 14). La hoya de drenaje del lago es relativamente pequeña y alcanza a 909 Km^2, lo cual corresponde a más de cuatro veces el área del lago (235 Km^2), la profundidad máxima del lago es de 274 m y el volumen llega a los 38 km^3 (DGA/DCPRH 36, 2012). Estudios de DGA/M&W Ambientales (2014), indican que el lago Puyehue mostraría condiciones de Oligotrofía.	
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Sector Desagüe	704829 E - 5480251 N (PSDA 56, 19)	10340004-k (Estación vigente)
Sector Cascada	724075 E - 5472130 N (PSDA 56, 19)	10340005-8 (Estación vigente)
Puerto Gaviota	733512 E - 5471158 N (PSDA 56, 19)	10340006-6 (Estación vigente)
Rio Rahue	695003 E - 5482029 N (PSDA 56, 19)	10340001-5 (Estación vigente)

23. LAGO TODOS LOS SANTOS	
Caracterización	El lago Todos los Santos es un lago monomíctico templado que se localiza en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales al oriente de la ciudad de Puerto Montt

	(Figura 15). Posee un área superficial de 178.5 km^2, una profundidad máxima de 337 m, un volumen de 34.4 km^3 y una línea de costa de 125 km (DGA/DCPRH 9, 2012). Estudios de DGA/M&W Ambientales (2014), indican que el lago Todos Los Santos mostraría condiciones de Oligotrofía.		
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)		Código BNA
Sector Centro	725936 E - 5445833 N (PSDA 56, 19)		10454005-8 (Estación actual)
Sector Islas Margaritas	725217 E - 5448263 N (PSDA 56, 19)		10454004-K (Estación suspendida)
Sector Petrohué	719762 E - 5443953 N (PSDA 56, 19)		10454003-1 (Estación suspendida)
Sector Peulla	742303 E - 5445710 N (PSDA 56, 19)		10454002-3 (Estación suspendida)
Rio Blanco	239804 E – 5438450 N (PSDA 56, 19)		10454007-4 (Estación suspendida)
Rio Negro	245713 E – 5449748 N (PSDA 56, 19)		10454006-6 (Estación suspendida)
24. LAGO CHAPO			
Caracterización:	El lago Chapo pertenece a la cuenca hidrográfica del río Chamiza y se ubica a una altura de 240 msnm (Figura 15). Este lago tiene una profundidad máxima de 298 m, una profundidad promedio de 183 m, un área superficial de 45.3 km^2 y un volumen de agua de 8.296 km^3 (Woelfl et al. 2003). Estudios de DGA/M&W Ambientales (2014), indican que el lago Chapo mostraría condiciones de Oligotrofía.		
Estaciones de monitoreo:			
Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)		Código BNA
Sector Canutillar	713930 E - 5403008 N (WGS84, 19)		10430004-9 (Estación suspendida)
Sector Centro	710499 E - 5406319 N (WGS84, 19)		10430002-2 (Estación suspendida)
Sector Chamiza	705249 E - 5410329 N (WGS84, 19)		10430003-0 (Estación suspendida)
Sector Centro 2	205430 E – 5408135 N (WGS84, 19)		10430006-5 (Estación vigente)
Sector Sur Oriente	212861 E - 5400165 N (WGS84, 19)		10430007-3 (Estación suspendida)
Rio Negro	209664 E - 5410605 N (WGS84, 19)		10430008-1 (Estación suspendida)
25. LAGOS Y LAGUNAS DE LA ISLA GRANDE DE CHILOÉ			
Caracterización:	Los lagos de la Isla grande de Chiloé han sido caracterizados como ligeramente ácidos (pH<7), con niveles de nutrientes de carácter eutrófico, de poca profundidad (entre 10 y 60 m), de reducido tamaño y, por ende, de pequeños volúmenes de agua, lo que hace que no se estratifiquen térmicamente (DGA/DCPRH 8, 2017). Los lagos de Chiloé que fueron analizados y sistematizados en la presente consultoría son: Natri, Tepuhueico, Yaldad, San Antonio y Tarahuin (Figura 16).		
Estaciones de monitoreo:			
Lago	Estación	Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Tarahuin	Z max	603921 E - 5270054 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Natri	Z max	596424 E - 5261837 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Tepuhueico	Z max	584781 E - 5261967 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
San Antonio	Z max	603453 E - 5243336 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)

Lago Yaldad	Z max	594191 E - 5235294 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
26. LAGOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN			
Caracterización:		La región de Aysén cuenta con un número importante de recursos hídricos, tanto ríos como Lagos, con bajas presiones que puedan alterar la calidad de las aguas (DGA/DCPRH 5, 2018). Los lagos que cuentan con información de alta resolución temporal y que fueron analizados en esta consultoría son: Bertrand, Cochrane, Frío, O'Higgins, Paloma, Plomo, Riesco, Las Torres y El Toro (Figura 17).	
Estaciones de monitoreo			
Cuerpo lacustre		Coordenadas UTM (Datum, Huso)	Código BNA
Laguna Las Torres		720365 E - 5036253 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago Riesco		677711 E - 4956393 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago Cochrane		252623 E − 4767680 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Laguna La Paloma		252144 E − 4908593 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago Bertrand		206543 E − 4796330 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago O'Higgins		232915 E − 4581674 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago Plomo		200776 E − 4786612 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago Frío		270727 E − 4938780 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)
Lago El Toro		657133 E − 4321967 N (WGS84, 18)	Por crear (Estación vigente)

Figura 2. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Chungará.

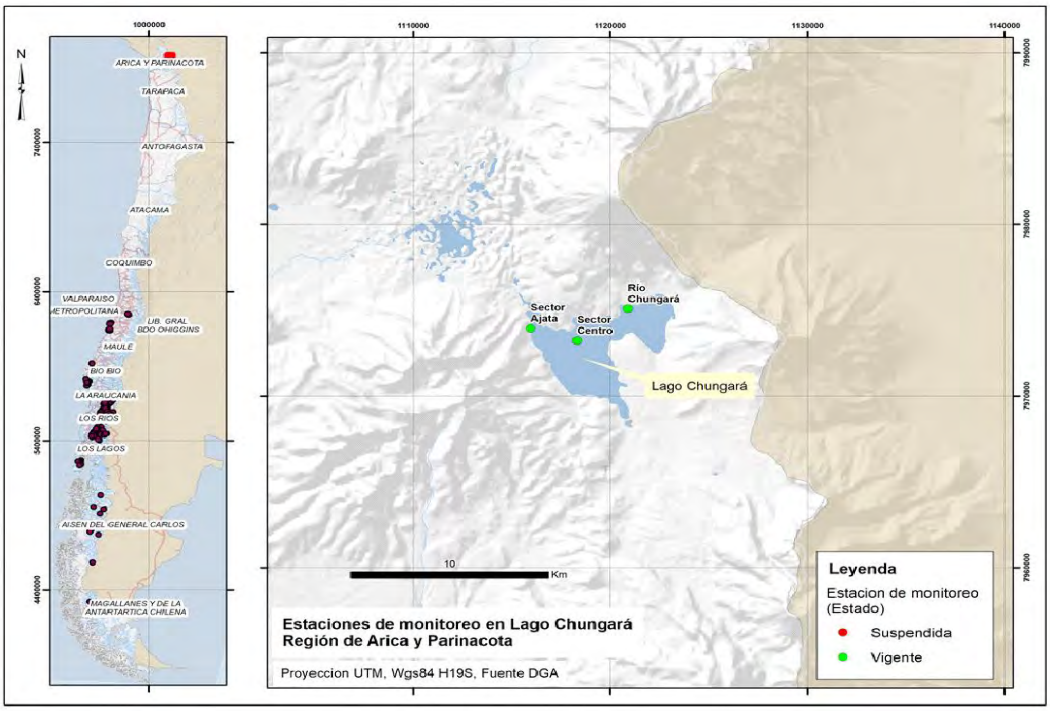


Figura 3. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Aculeo.

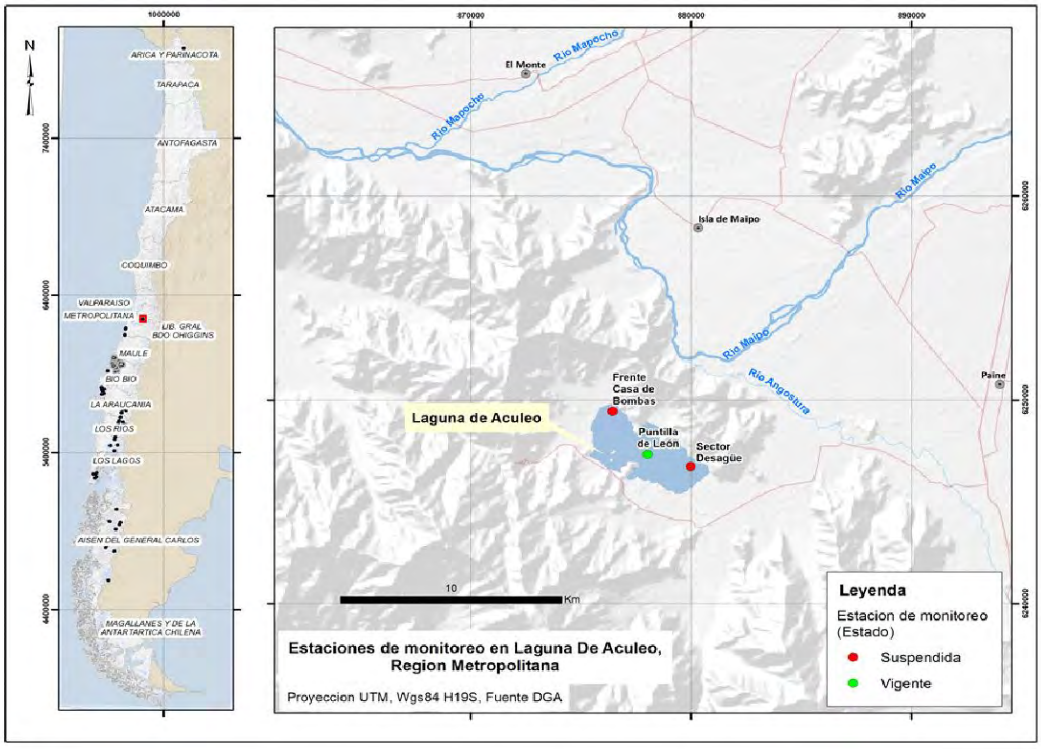


Figura 4. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en Lagunas El Petrel y El Perro.

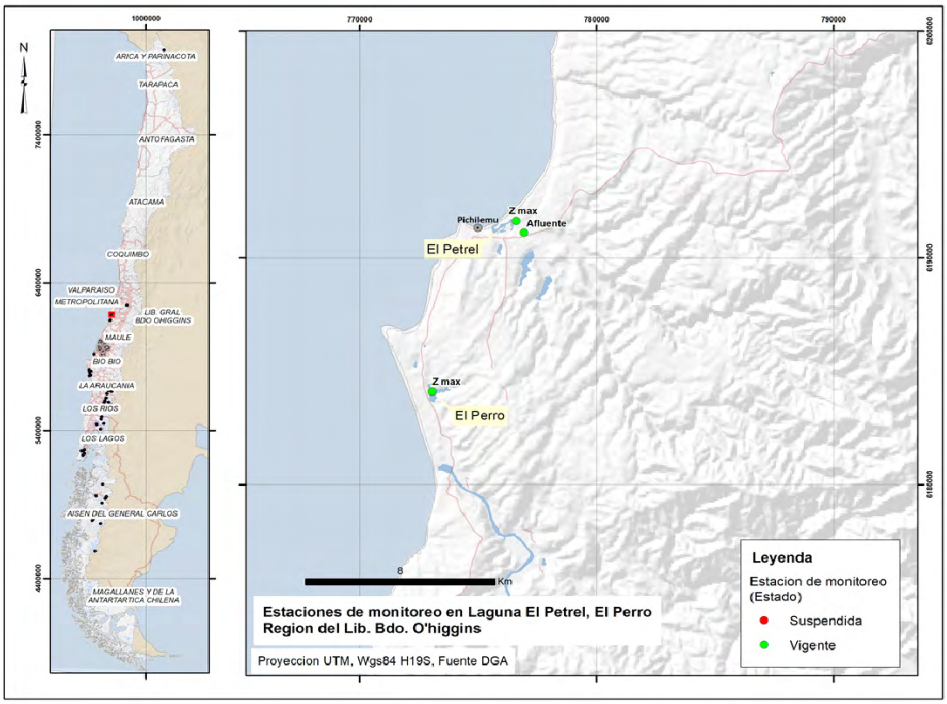


Figura 5. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Torca y Lago Vichuquén.

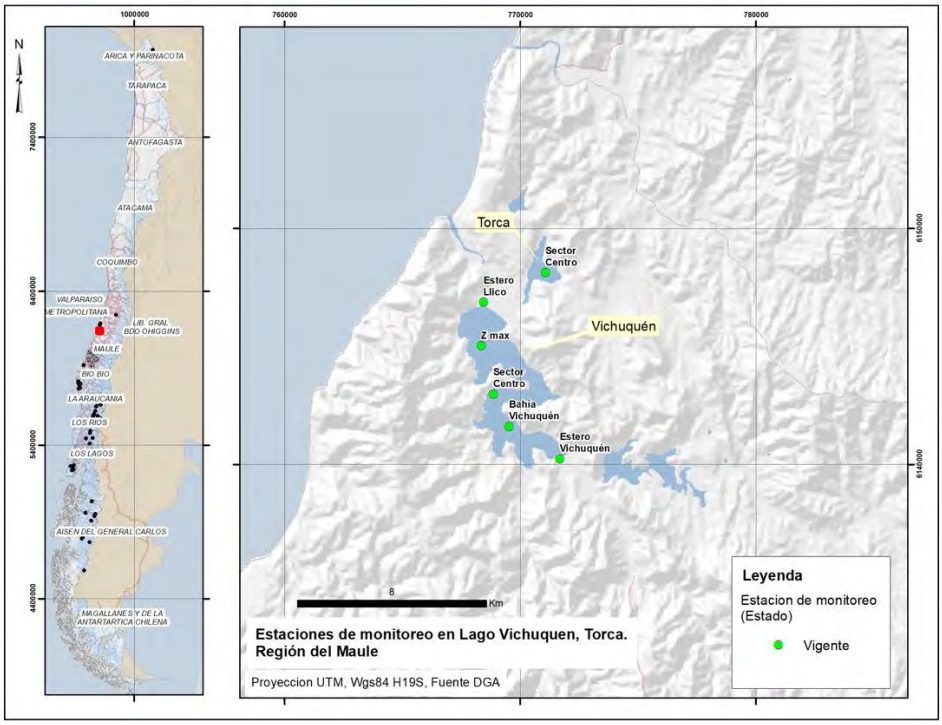


Figura 6. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro.

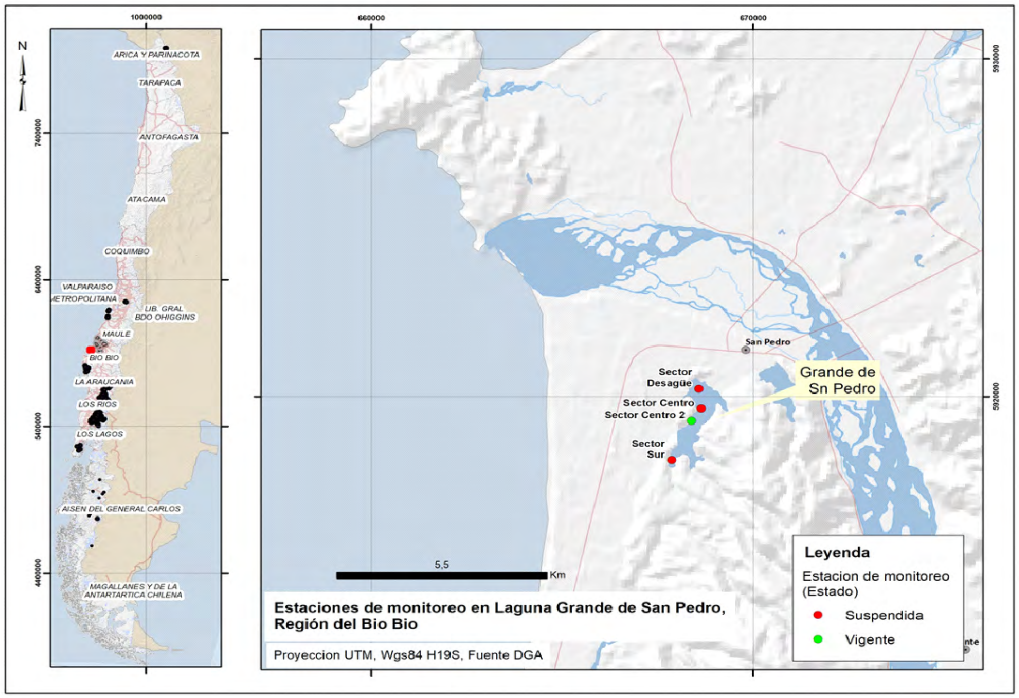


Figura 7. Mapa de estaciones de monitoreo e Lago Lanalhue y lagunas Batros y Antiquina.

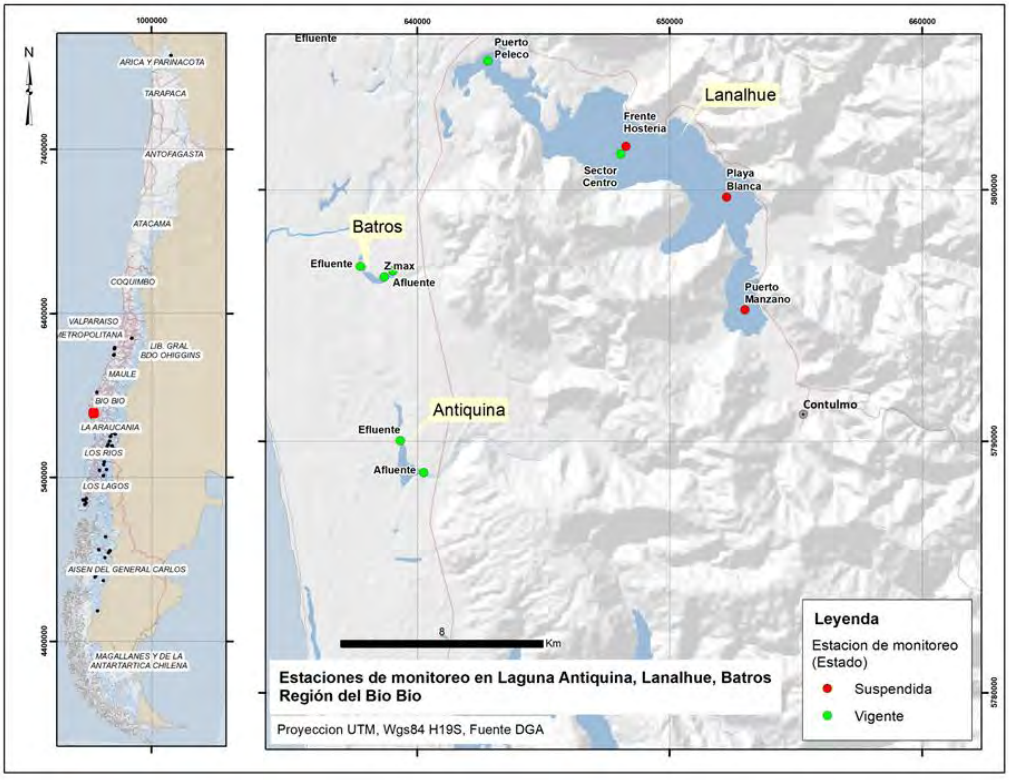


Figura 8. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Lleu Lleu y Laguna Butaco.

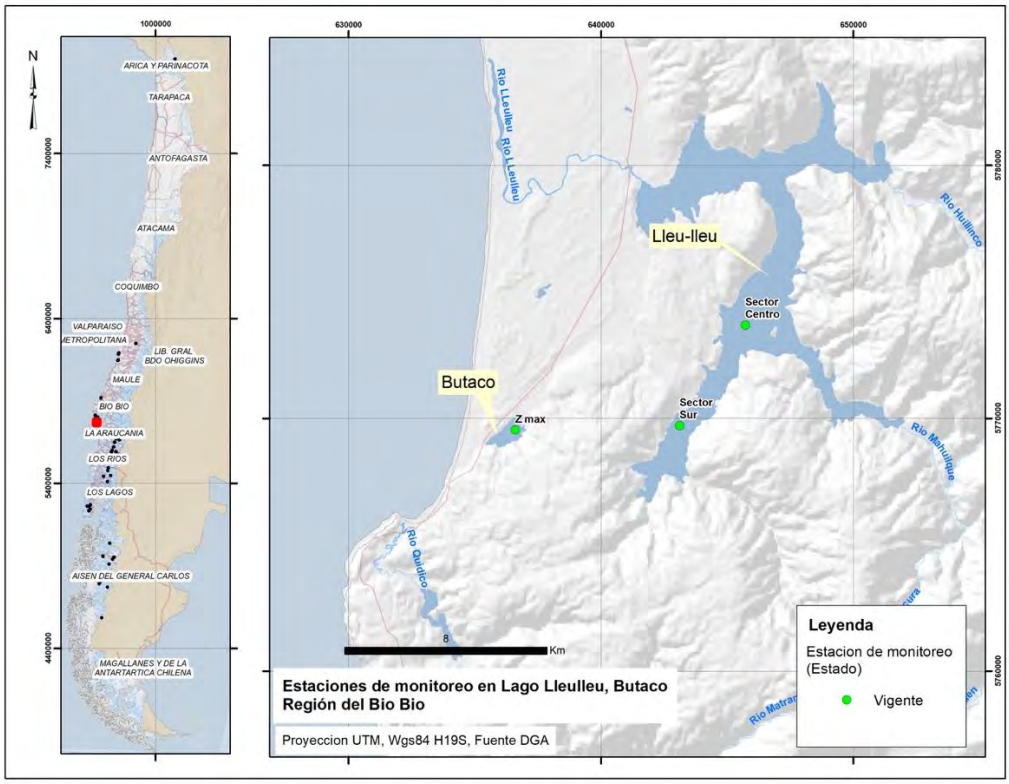


Figura 9. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagunas Lencán y Lloncao.

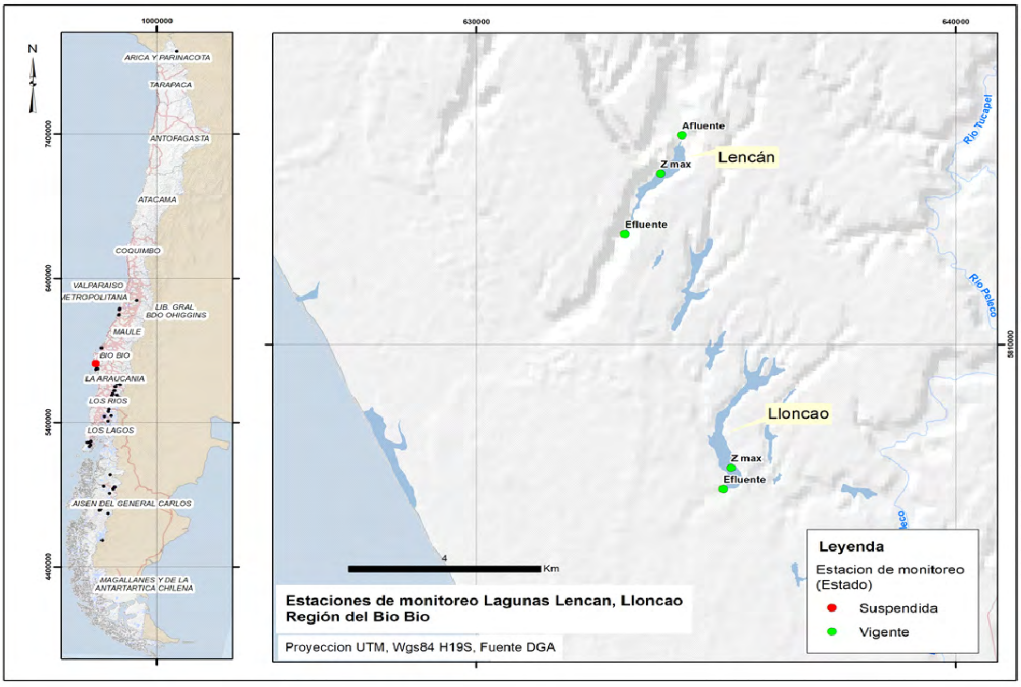


Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Colico, Villarica y Caburgua.

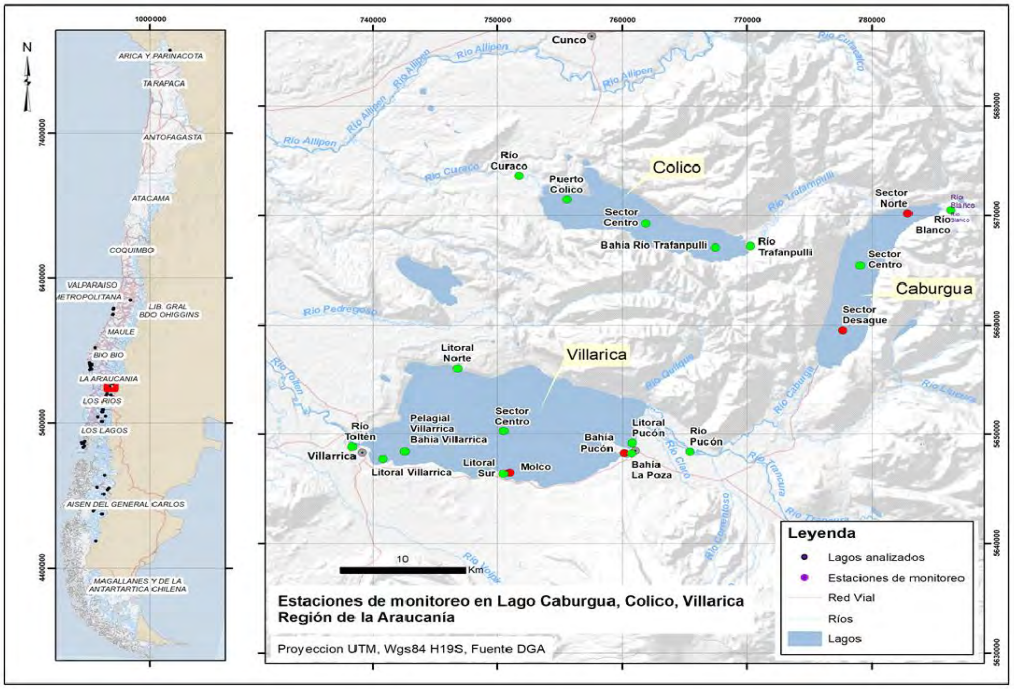


Figura 11. Estaciones de monitoreo en lagos Calafquén, Panguipulli, Neltume y Riñihue.

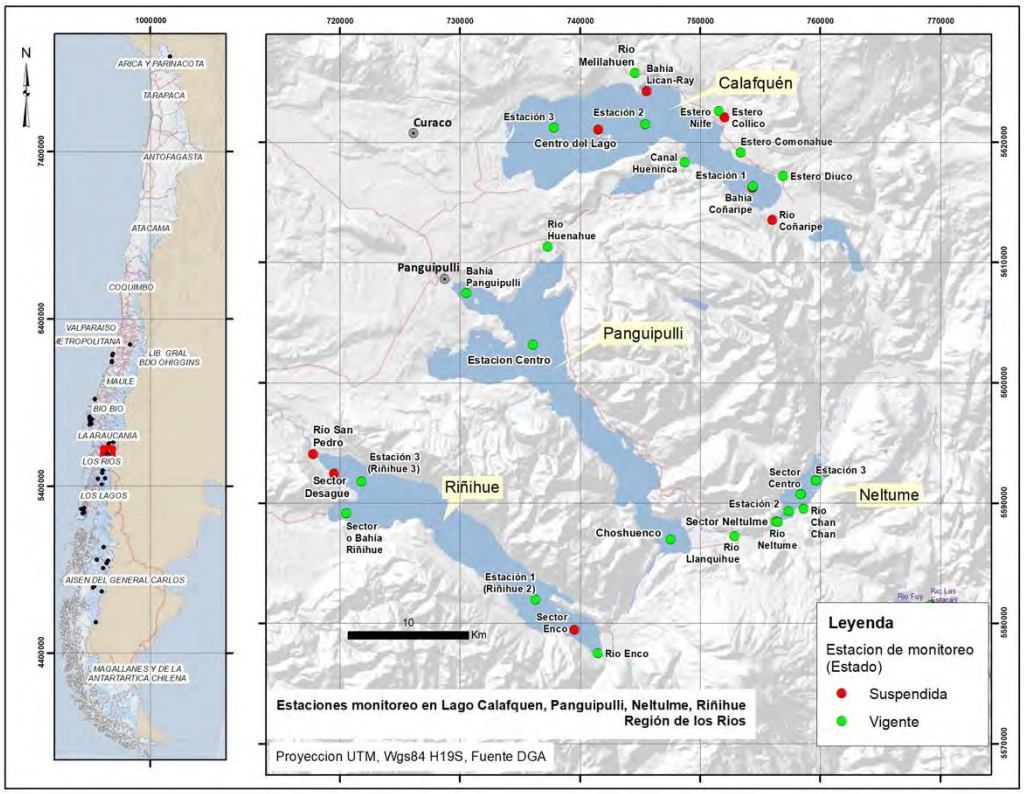


Figura 12. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Ranco y Maihue.

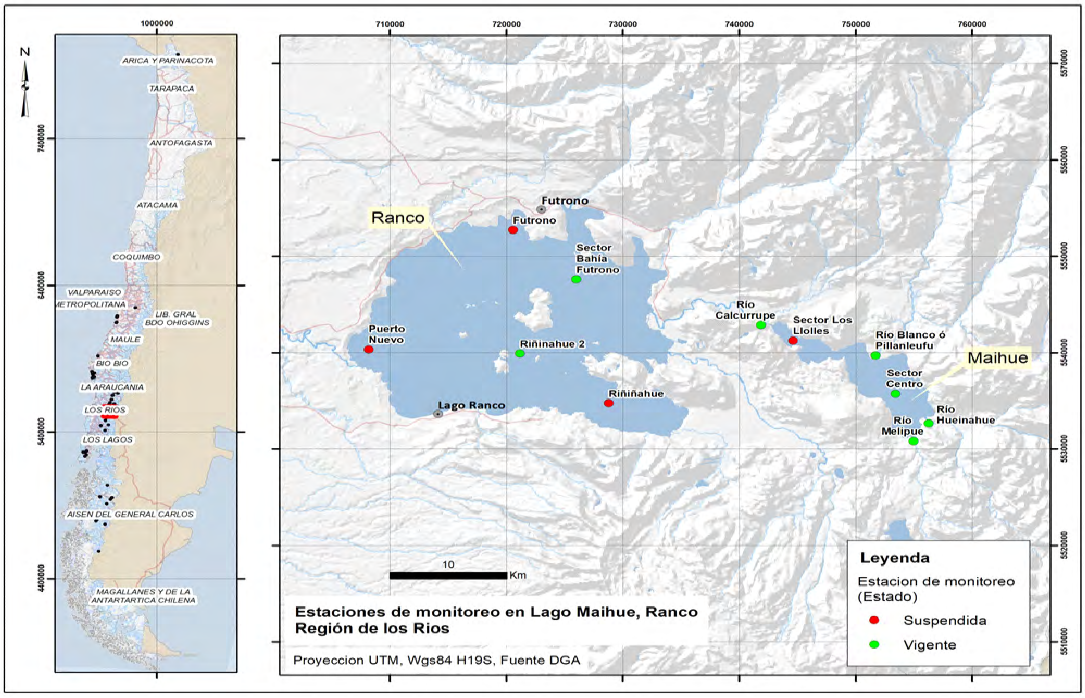


Figura 13. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en Lago Pirihueico.

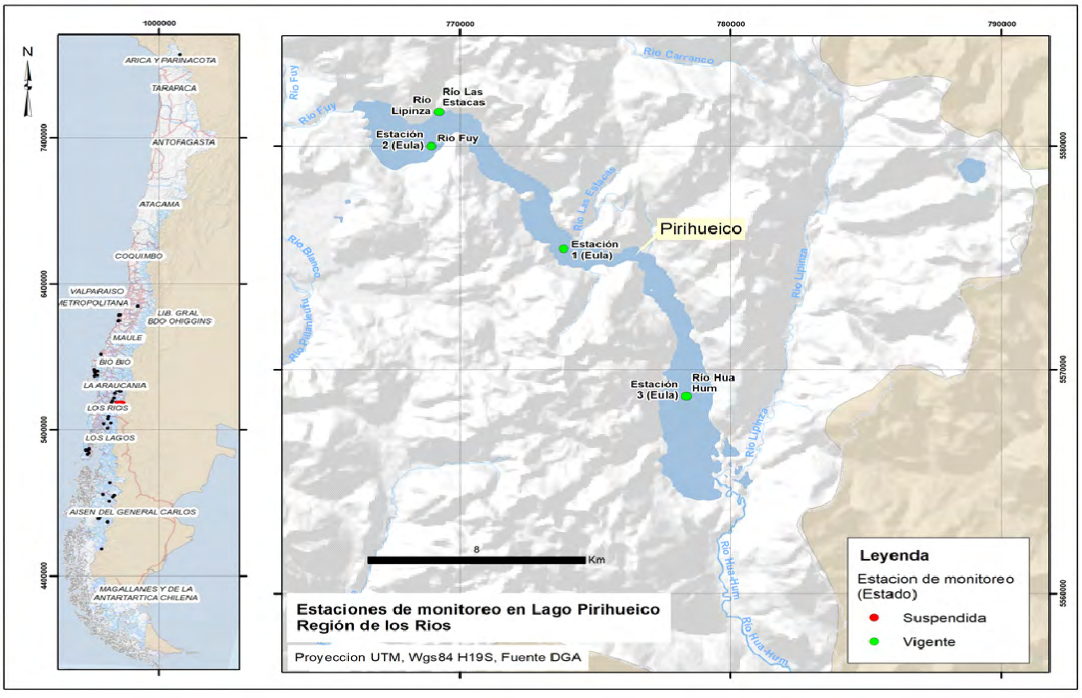


Figura 14. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo en lagos Puyehue y Rupanco.

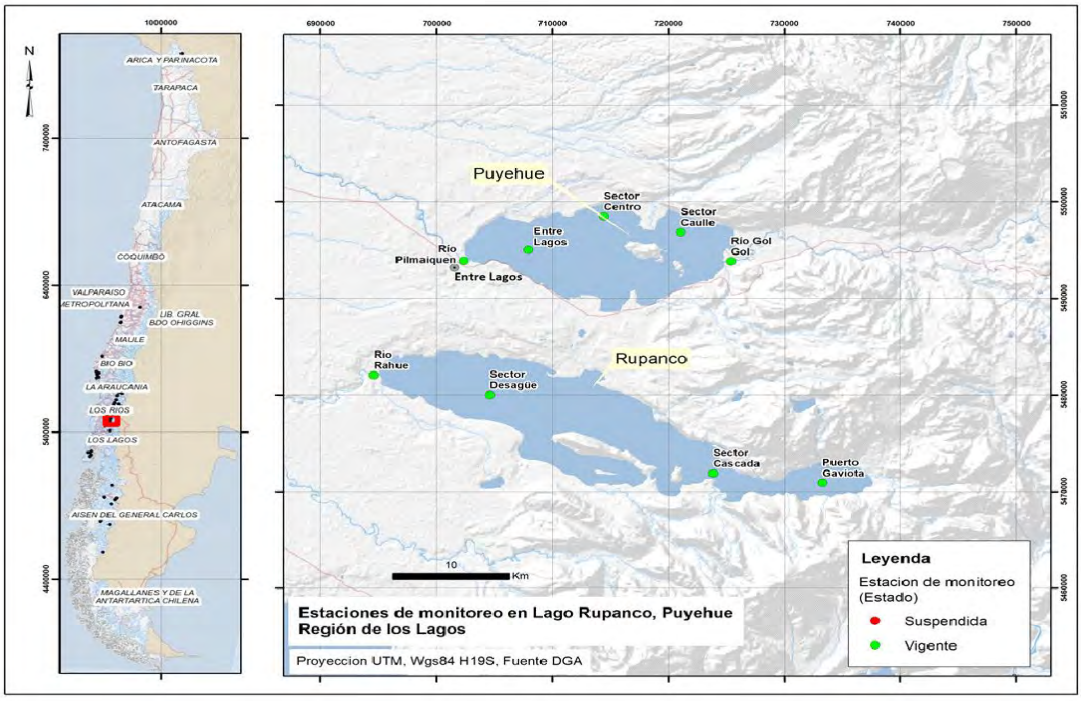


Figura 15. Estaciones de monitoreo en lagos Todos Los Santos, Llanquihue y Chapo.

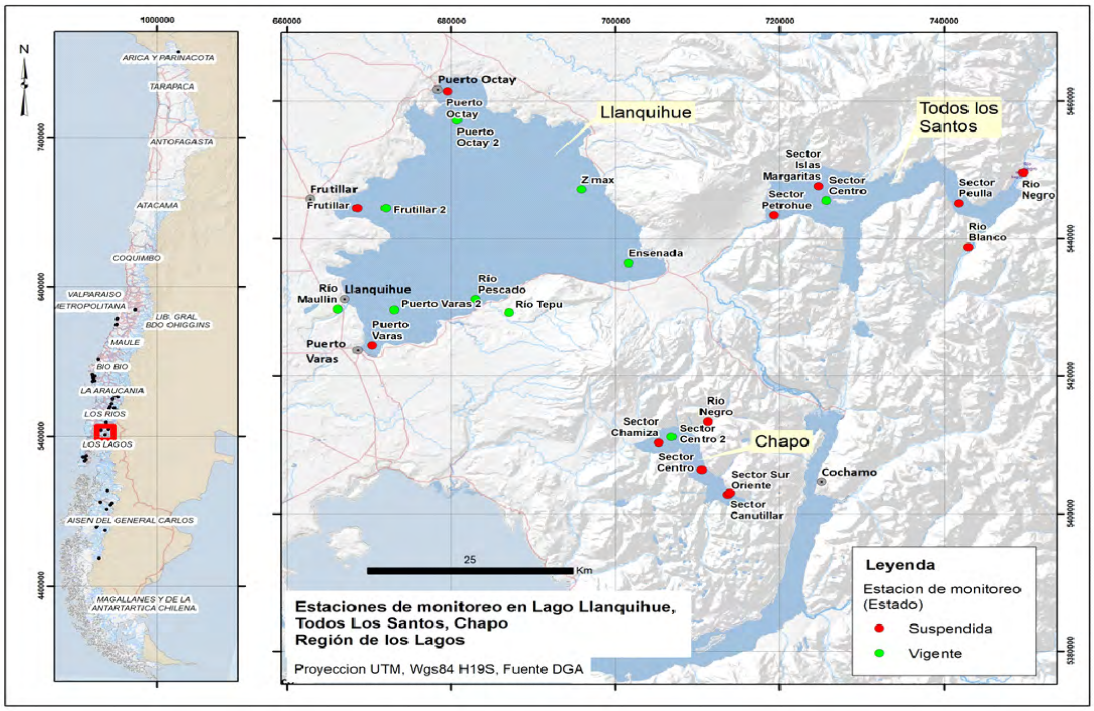


Figura 16. Ubicación geográfica de Lagos de Chiloé: Tarahuin, Natri, Tepuhueico, San Antonio y Yaldad.

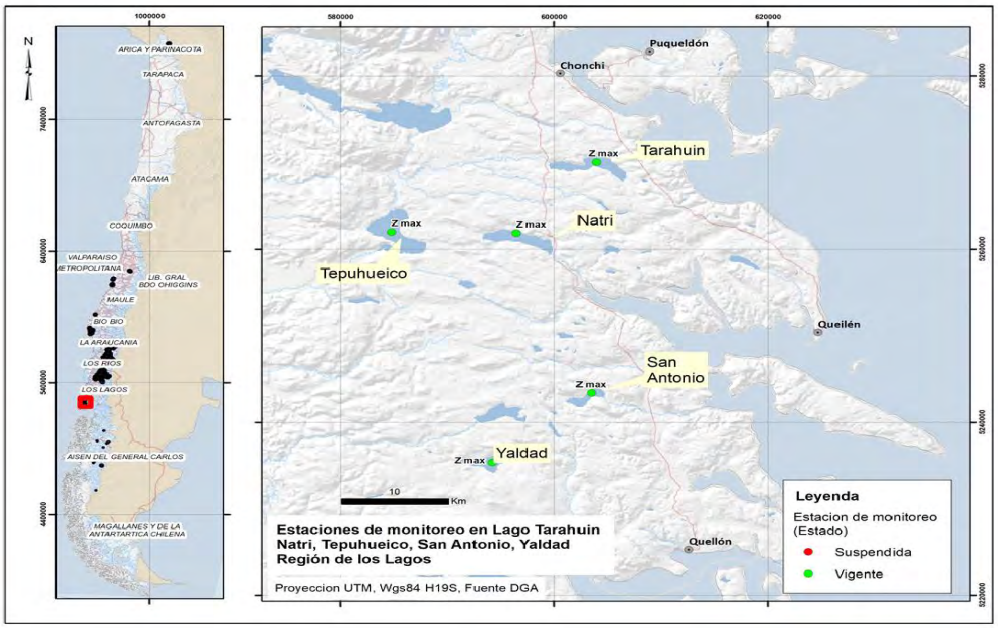
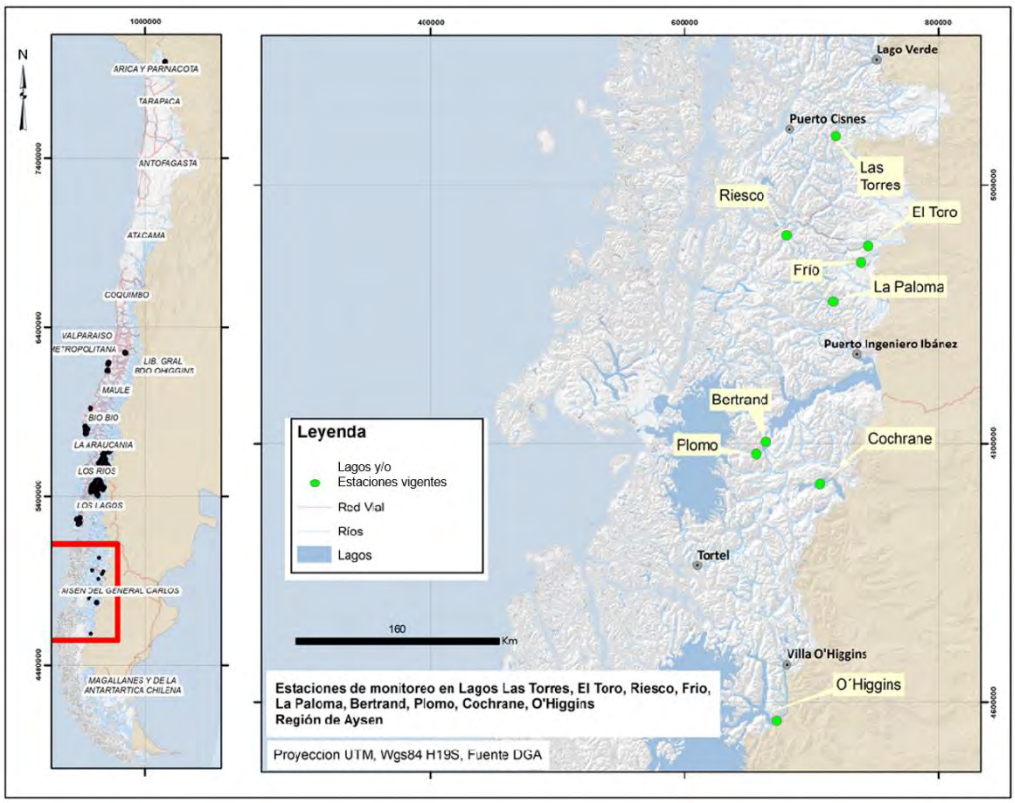


Figura 17. Ubicación geográfica de lagos de la Región de Aysén: Las Torres, El Toro, Riesco, Frío, La Paloma, Bertrand, Cochrane y Plomo y O'Higgins. Todos estos cuerpos lacustres poseen estaciones vigentes de monitoreo.



3.3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE LA ETAPA 1

La Etapa 1 de la presente consultoría tuvo como objetivo "Disponer de un análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de los lagos utilizando toda la información de manera integral". Las actividades incluidas en esta etapa fueron las siguientes:

- Sistematizar la información del periodo 2014-2017,
- Sistematizar y generar una base de datos para el periodo 1986-2000,
- Sistematizar y analizar la información de alta resolución temporal (sensores) de los lagos de Aysén (periodo 2010-2016).

La metodología para el desarrollo de cada una de estas subetapas es indicada a continuación:

3.3.1 Sistematizar la información para el periodo 2014-2017.

a. Cuerpos lacustres sistematizados periodo 2014-2017.

Para el cumplimiento de este objetivo se sistematizaron, siguiendo el formato publicado en la página web de la DGA, los datos contenidos en los informes de ensayos del Laboratorio de la DGA del periodo 2014-2017 y la información de las planillas generadas por Centro EULA en el marco del informe "Análisis y reformulación de la Red de Monitoreo de lagos de la Región de los Ríos del año 2017". En la Tabla 3 se muestran los 34 cuerpos lacustres que presentaron información para este periodo, incluyendo el periodo de muestreo y número de datos sistematizados de las variables meteorológicas (e.g. temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, estado del tiempo, nubosidad), las medidas in situ (temperatura del agua, profundidad máxima, conductividad específica, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y transparencia por Disco Secchi), las químicas y la clorofila *a*. Además, para el periodo en cuestión, fue sistematizada la información de parámetros nitrógeno total y fracciones (nitrógeno de nitrito, nitrógeno de nitrato y nitrógeno total Kjeldahl), y abundancias de especies de fitoplancton.

La información detallada previamente fue agregada a la base de datos pre-existente para el periodo 2000-2014 (http://www.dga.cl/servicioshidrometeorologicos/Paginas/default.aspx).

Tabla 3. Cuerpos lacustres incluidos en la Red de Calidad de Lagos que fueron sistematizados en el periodo 2014-2017.

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
1	Lago Chungará	Meteorológicas	Noviembre 2017	30
		in situ	Noviembre 2017	22
		Clorofila- a	Noviembre 2017	6
2		Meteorológicas	Enero 2014	10

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
	Laguna de Aculeo	*in situ*	Enero 2014	
		Químicos ($N\text{-}NH_4$, NT, $P\text{-}PO_4$) y DQO)	Enero 2014	6
		Clorofila- a	Enero 2014	2
3	Laguna Petrel	Meteorológicas	Enero y noviembre 2017	10
		in situ	Enero y noviembre 2017	13
		Químicos ($P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Enero y noviembre 2017	7
		Clorofila- a	Enero y noviembre 2017	2
4	Laguna El Perro	Meteorológicas	Enero y noviembre 2017	10
		in situ	Enero y noviembre 2017	13
		Químicos ($P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Enero y noviembre 2017	7
		Clorofila- a	Enero y noviembre 2017	2
5	Lago Vichuquén	Meteorológicas	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y diciembre 2015; febrero y mayo 2016; enero y noviembre 2017	432
		in situ	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y diciembre 2015; febrero y mayo 2016; enero y noviembre 2017	485
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y diciembre 2015; febrero y mayo 2016; enero y noviembre 2017	622
		Clorofila- *a*	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y diciembre 2015; febrero y mayo 2016; enero y noviembre 2017	93
6	Laguna Torca	Meteorológicas	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y noviembre 2015; febrero y mayo 2016	94
		in situ	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y noviembre 2015; febrero y mayo 2016	119
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y noviembre 2015; febrero y mayo 2016	148
		Clorofila- *a*	Marzo, junio y diciembre 2014; marzo, junio y noviembre 2015; febrero y mayo 2016	20
7	Laguna Grande de San Pedro	Meteorológicas	Marzo 2014 y febrero 2016	22
		in situ	Marzo 2014; julio 2014 y febrero 2016	38
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Marzo 2014; julio 2014 y febrero 2016	36
		Clorofila- *a*	Marzo 2014; julio 2014 y febrero 2016	6
8	Lago Lanalhue	Meteorológicas	Marzo 2014; julio 2014; febrero 2016 y julio 2016	100
		in situ	Marzo 2014; julio 2014; febrero 2016 y julio 2016	111
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Marzo y julio 2014; febrero y julio 2016	110
		Clorofila- *a*	Marzo y julio 2014; febrero y julio 2016	20
9	Lago Lleu-Lleu	Meteorológicas	Diciembre 2016	36

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
		in situ	Diciembre 2016	34
		Químicos (P-PO_4, PT, Si y DQO)	Diciembre 2016	12
		Clorofila- *a*	Diciembre 2016	6
10	Laguna Butaco	Meteorológicas	Abril y julio 2017	12
		in situ	Abril y julio 2017	12
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Marzo 2016; abril y julio 2017	34
		Clorofila- *a*	Abril 2017	1
11	Laguna Antiquina	Meteorológicas	Abril y julio 2017	12
		in situ	Abril y julio 2017	13
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Abril y julio 2017	18
		Clorofila- *a*	Abril y julio 2017	2
12	Laguna Los Batros	Meteorológicas	Abril y julio 2017	14
		in situ	Abril y julio 2017	30
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Abril y julio 2017	40
		Clorofila- *a*	Abril y julio 2017	3
13	Laguna Lloncao	Meteorológicas	Febrero y julio 2016; abril y julio 2017	46
		in situ	Febrero y julio 2016; abril y julio 2017	47
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Febrero y julio 2016; abril y julio 2017	64
		Clorofila- *a*	Febrero y julio 2016; abril 2017	6
14	Laguna Lencán	Meteorológicas	Febrero y julio 2016; abril 2017	30
		in situ	Febrero y julio 2016; abril 2017	60
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Febrero y julio 2016; abril 2017	76
		Clorofila- *a*	Febrero y julio 2016; abril 2017	10
15	Lago Villarica	Meteorológicas	Febrero y octubre 2014; enero y octubre 2015; marzo y octubre 2016; marzo y octubre 2017	946
		in situ	Febrero y octubre 2014; enero y octubre 2015; marzo y octubre 2016; marzo y octubre 2017	1065
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Febrero y octubre 2014; enero y octubre 2015; marzo y octubre 2016; marzo y octubre 2017	1327
		Clorofila- *a*	Febrero y octubre 2014; enero y octubre 2015; marzo y octubre 2016; marzo y octubre 2017	184
16	Lago Caburgua	Meteorológicas	Febrero y octubre 2017	36
		in situ	Febrero y octubre 2017	42
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT, Si y DQO)	Febrero y octubre 2017	70
		Clorofila- *a*	Febrero y octubre 2017	6
17	Lago Colico	Meteorológicas	Octubre 2014; enero 2015; octubre 2016	240

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
		in situ	Octubre 2014; enero 2015; octubre 2016	251
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Octubre 2014; enero 2015; octubre 2016	431
		Clorofila- *a*	Octubre 2014; enero 2015	43
		in situ	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	416
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	522
18	Lago Calafquén	In situ	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	390
		Quimicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$ y PT)	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	792
19	Lago Panguipulli	*in situ*	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	377
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$)	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	563
20	Lago Riñihue*	*in situ*	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	386
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$ y PT)	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre noviembre y diciembre 2015	711
21	Lago Maihue	Meteorológicas	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	180
		in situ	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	264
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$ y PT)	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	326
		Clorofila- a	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero 2016	48
22	Lago Ranco	Meteorológicas	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	348
		in situ	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	308
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	408
		Clorofila- a	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016	60
23	Lago Neltume*	Meteorológicas	Abril 2014	30
		in situ	Abril 2014; enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	616
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$ y PT)	Abril 2014; enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	711

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
		Clorofila- a	Abril 2014	6
24	Lago Pirihueico	*in situ*	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	428
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4$ y PT)	Enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	791
25	Lago Puyehue*	Meteorológicas	Abril 2014; marzo y junio 2015	222
		in situ	Abril 2014; enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	550
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Abril 2014; enero, febrero, marzo, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre 2015	817
		Clorofila- a	Abril 2014	20
26	Lago Llanquihue	Meteorológicas	Marzo y agosto 2014; marzo y agosto 2015; marzo y agosto 2016; marzo y agosto 2017	809
		in situ	Marzo y agosto 2014; marzo y agosto 2015; marzo y agosto 2016; marzo y agosto 2017	866
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Marzo y agosto 2014; marzo y agosto 2015; marzo y agosto 2016; marzo y agosto 2017	1410
		Clorofila- a	Marzo y agosto 2014; marzo y agosto 2015; marzo 2016; marzo y agosto 2017	164
27	Lago Rupanco	Meteorológicas	Abril 2014; febrero 2105; abril 2016	102
		in situ	Abril 2014; febrero 2105; abril 2016	114
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Abril 2014; febrero 2105; abril 2016	350
		Clorofila- a	Abril 2014; febrero 2105; abril 2016	46
28	Lago Todos Los Santos	Meteorológicas	Julio 2015	18
		in situ	Julio 2015	17
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, Si y DQO)	Julio 2015	23
		Clorofila- a	Julio 2015	3
29	Lago Chapo	Meteorológicas	Febrero y julio 2016; marzo 2017	133
		in situ	Febrero y julio 2016; marzo 2017	124
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Febrero y julio 2016; marzo 2017	211
		Clorofila- a	Febrero y julio 2016; marzo 2017	28
30	Laguna Natri	Meteorológicas	Febrero y octubre 2017	28
		in situ	Febrero y octubre 2017	28
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT, Si y DQO)	Febrero y octubre 2017	24
		Clorofila- a	Febrero 2017	2
31	Laguna Tarahuin	Meteorológicas	Octubre 2017	12
		in situ	Octubre 2017	12
		Químicos ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NT, NTK, $P\text{-}PO_4$, PT y Si)	Octubre 2017	16

N°	Cuerpo lacustre	Variables analizadas	Periodo de monitoreo	N° datos revisados
32	Laguna Tupuhueico	Meteorológicas	Febrero 2017	6
		in situ	Febrero 2017	7
		Químicos (P-PO_4, PT, Si y DQO)	Febrero 2017	4
		Clorofila- a	Febrero 2017	1
33	Laguna San Antonio	Meteorológicas	Octubre 2017	6
		in situ	Octubre 2017	7
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT y Si)	Octubre 2017	8
34	Laguna Yaldad	Meteorológicas	Octubre 2017	6
		in situ	Octubre 2017	7
		Químicos (N-NO_3, N-NO_2, N-NH_4, NT, NTK, P-PO_4, PT y Si)	Octubre 2017	8
		Clorofila- a	Octubre 2017	1

*Cuerpos lacustres cuyas variables físicas y químicas fueron realizadas por laboratorio EULA.

La información de parámetros fisicoquímicos para estos 34 cuerpos lacustres fue obtenida de Informes de ensayos entregados por la contraparte (DGA), los cuales de detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Sistematización de Informes de Ensayos (IE) para información fisicoquímica de lagos sistematizados dentro del periodo 2014-2017, el numero corresponde al correlativo dado por el Laboratorio ambiental de la DGA LADGA.

CUERPO LACUSTRE	2014	2015	2016	2017
Lago Chungará	-	-	-	IE_251-17-L
Laguna de Aculeo	IE_005-14-L	-	-	-
Laguna Petrel	-	-	-	IE_010-17-L IE_225-17-L IE_226-17-L
Laguna El Perro	-	-	-	IE_011-17-L IE_224-17-L IE_227-17-L
Lago Vichuquén	IE_034-14-L IE_073-14-L IE_175-14-L	IE_041-15-L IE_086-15-L IE_181-15-L	IE_026-16-L IE_089-16-L	IE_006-17-L IE_219-17-L IE_228-17-L IE_219-17-L
Laguna Torca	IE_035-14-L IE_074-14-L IE_174-14-L	IE_042-15-L IE_085-15-L IE_182-15-L	IE_027-16-L IE_091-16-L	-
Laguna Grande de San Pedro	IE_028-14-L IE_084-14-L	-	IE_012-16-L	-
Lago Lanalhue	IE_029-14-L IE_084-14-L	-	IE_014-16-L IE_118-16-L	IE_134-17-L
Lago Lleu-Lleu	-	-	IE_259-16-L	-

CUERPO LACUSTRE	2014	2015	2016	2017
Laguna Butaco	-	-	IE_054-16-L	IE_065-17-L IE_122-17-L
Laguna Antiquina	-	-	-	IE_066-17-L IE_121-17-L
Laguna Batros	-		IE_017-16-L IE_122-16-L	IE_064-17-L IE_119-17-L
Laguna Lloncao	-	-	IE_016-16-L IE_120-16-L	IE_060-17-L IE_120-17-L
Laguna Lencán	-	-	IE_015-16-L IE_119-16-L	IE_070-17-L
Lago Villarica	IE_008-14-L IE_123-14-L	IE_007-15-L IE_151-15-L	IE_036-16-L IE_255-16-L	IE_030-17-L IE_195-17-L IE_198-17-L IE_201-17-L IE_210-17-L IE_211-17-L
Lago Caburgua	-	-	-	IE_024-17-L IE_192-17-L
Lago Colico	IE_124-14-L	IE_009-15-L IE_152-15-L	-	-
Lago Calafquén	-	Análisis EULA*	-	-
Lago Panguipulli	-	Análisis EULA*	-	-
Lago Riñihue	-	Análisis EULA*	-	-
Lago Maihue	IE_014-14-L IE_136-14-L	IE_012-15-L IE_147-15-L	IE_009-16-L	-
Lago Ranco	IE_015-14-L IE_135-14-L	IE_014-15-L IE_146-15-L	IE_006-16-L	-
Lago Neltume	IE_049-14-L	Análisis EULA*	-	-
Lago Pirihueico	-	Análisis EULA*	-	-
Lago Puyehue	IE_048-14-L	Análisis EULA*	-	-
Lago Llanquihue	IE_025-14-L IE_111-14-L	IE_033-15-L IE_127-15-L	IE_041-16-L IE_144-16-L	IE_039-17-L IE_044-17-L IE_050-17-L IE_137-17-L
Lago Rupanco	IE_047-14-L	IE_023-15-L	IE_061-16-L	-
Lago Todos Los Santos	-	IE_103-15-L	-	-
Lago Chapo	-	IE_022-15-L IE_101-15-L	-	IE_053-17-L IE_183-17-L
Laguna Natri	-	-	-	IE_016-17-L
Laguna Tarahuin	-	-	-	IE_184-17-L
Laguna Tepuhueico	-	-	-	IE_015-17-L

CUERPO LACUSTRE	2014	2015	2016	2017
Laguna San Antonio	-	-	-	IE_185-17-L
Laguna Yaldad	-	-	-	IE_186-17-L

*Obtenido de estudio "Análisis y Reformulación de Red de Monitoreo de lagos Región de los Ríos" de EULA (2015).

Del listado anterior sólo fueron sistematizados 34 lagos ya que como se indicó en la Tabla 3. Los lagos Tinquilco, Quidico y Huillinco no mostraban información fisicoquímica (no fueron monitoreados) en el periodo de análisis. Toda la información referente a la sistematización de datos físicos y químicos y biológicos es entregado en archivo digital adjunto a la entrega de este informe.

b. Variables ambientales y/o parámetros fisicoquímicos y biológicos sistematizados en el periodo 2014-2017.

1. Parámetros físicos y químicos:

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos que fueron analizados para cada cuerpo lacustre contenidos en las bases de datos entregados por DGA son indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros meteorológicos, fisicoquímicos y biológicos sistematizados para el periodo 2014-2017.

Tipo de medición	Variable y/o parámetro
Medidas tomadas in situ por personal de la DGA	Parámetros meteorológicos: Temperatura ambiental (°C), Humedad relativa (%), Presión atmosférica (mbar), Velocidad del viento (m/seg), Estado del tiempo y nubosidad (octavos).
	Profundidad máxima (m)
	Transparencia (Disco Secchi)
	Temperatura (°C)
	pH
	Oxígeno disuelto (mg/l)
	Saturación de oxigeno (%)
	Conductividad eléctrica (us/cm)
Medidos en Laboratorio Ambiental de la DGA	Sílice (mg/l)
	Demanda química de oxígeno (mg/l)
	Fósforo total (mg/l)
	Fosfato de ortofosfato (mg/l)
	Clorofila *a* (ug/l)
Medidos por laboratorios externos	Nitrógeno total (mg/l)
	Nitrógeno Kjeldahl Total (mg/l)
	Nitrógeno de Amonio ($N\text{-}NH_4$) (mg/l)
	Nitrogeno de Nitrato ($N\text{-}NO_3$) (mg/l)
	Nitrógeno de Nitrito ($N\text{-}NO_2$) (mg/l)
	Fitoplancton

Respecto a los lagos de la Región de los Ríos: Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Neltume, Puyehue y Pirihueico, para el año 2015, la información fue revisada desde las planillas generadas por Centro EULA, cuya metodología y ubicación de las estaciones se encuentran en el informe "Análisis y reformulación de la Red de Monitoreo de lagos de la Región de los Ríos del año 2017". Por otro lado, los datos de Nitrógeno total y sus fracciones (nitrato, nitrito, Kjeldahl, amonio) para los años 2014, 2015 y 2017 fueron obtenidos desde planillas entregadas por la contraparte (DGA). Por su parte, los datos de Nitrógeno total y fracciones para el año 2016 fueron obtenidos desde informes de laboratorios de la empresa ANAM, los cuales se encontraban impresos en papel, siendo revisados y sistematizados junto a las otras planillas, todos los cuales fueron entregados en ANEXO DIGITAL 1. En estos datos se detectó que la fracción de nitrato (NO_3) no correspondía a nitrógeno de nitrato, y que el ortofosfato (PO_4) no correspondía a fósforo de ortofosfato, por lo que se procedió a corregir mediante los factores de corrección 0.2258 para el NO_3 y 0.326 para el PO_4 (DGA/POCH 2009), para mantener en forma homogénea la base de datos histórica, en la cual se ha informado históricamente al nitrógeno de nitrato y al fósforo de ortofosfato.

Adicionalmente, cuando la información lo permitió, se calculó el nitrógeno total a partir de las cuatro fracciones analizadas (N- nitrato, N- nitrito, Nitrógeno total de Kjeldahl, y N- amonio). Además, se identificaron los casos en los cuales se observó la condición: $P\text{-}PO_4 > P\text{-total}$, los cuales son resaltadas en color rojo en las planillas digitales.

Por otro lado, se construyeron perfiles de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, temperatura y clorofila *a*, en 23 cuerpos lacustres indicados en la Tabla 6, a partir de la información entregada en formato CTD (conductivity, temperature, deep), que corresponde a información de alta resolución temporal. La metodología para revisión y análisis de estos datos es entregada en el apartado siguiente.

Tabla 6. Cuerpos lacustres con información de alta resolución temporal que fue depurada y analizada para el periodo comprendido entre 2014 y 2017.

N°	CUERPO LACUSTRE	2014	2015	2016	2017
1	Laguna Grande de San Pedro			x	
2	Lago Lanalhue			x	
3	Lago Lleu-Lleu			x	
4	Lago Villarica	x		x	X
5	Lago Caburgua				X
6	Lago Ranco	x		x	
7	Lago Maihue	x		x	
8	Lago Llanquihue	x		x	X
9	Lago Chapo				X
10	Lago El Perro				X
11	Lago El Petrel				X

N°	CUERPO LACUSTRE	2014	2015	2016	2017
12	Lago Colico	x		x	
13	Lago Vichuquén		x		
14	Laguna Lencán				X
15	Laguna Antiquina				X
16	Laguna Lloncao			x	X
17	Laguna Batros				X
18	Laguna Butaco				X
19	Lago Natri				X
20	Lago Tupuhueico				X
21	Lago Yaldad				X
22	Lago San Antonio				X
23	Lago Tarahuin				x

2. Parámetros biológicos (fitoplancton):

Los cuerpos lacustres que presentaban monitoreos biológicos (fitoplancton) que fueron revisados y sistematizados son indicados en la Tabla 7. Esta información fue sistematizada desde carpetas digitales que contenían planillas por año para cada lago, las cuales fueron agrupadas en un mismo archivo y formato, indicando el listado total de especies encontradas, la abundancia total y la riqueza de taxa para cada estación, profundidad y periodo. En ANEXO DIGITAL 2 se entregó la información sistematizada para datos de fitoplancton para cada lago indicado en la Tabla 7. En esta tabla, se indica además las estaciones de cada cuerpo lacustre donde fueron obtenidas las muestras para análisis de fitoplancton y los periodos (meses y años) en que fueron obtenidas estas muestras.

Tabla 7. Base de datos de fitoplancton que fueron analizadas en la presente consultoría.

Fitoplancton	Estaciones de monitoreo	Periodos de monitoreo (meses)
Lago Petrel	Z max	Enero 2017
Lago El Perro	Zmax	Enero 2017
Lago Vichuquén	Z max, Centro, Bahía Vichuqúen, Estero Llico, Estero Vichuquén	Marzo, junio 2014 y diciembre 2014; marzo, junio, noviembre y diciembre 2015; febrero, mayo, y noviembre 2016; enero 2017
Laguna Torca	Centro	Enero, junio y diciembre 2014; marzo, junio y noviembre 2015; mayo, noviembre y diciembre 2016
Laguna Grande de San Pedro	Centro 2	Marzo 2014, febrero y julio 2016
Lago Lanalhue	Centro, Puerto Manzano	Marzo 2014; febrero y julio 2016
Lago Lleu Lleu	Zmax	Mayo y diciembre 2017
Laguna Butaco	Zmax	Abril y julio 2017
Lago Antiquina	Zmax	Abril y julio 2017

Fitoplancton	Estaciones de monitoreo	Periodos de monitoreo (meses)
Lago Batros	Efluente	Enero 2016
Laguna Lloncao	Zmax, Efluente	Febrero, julio y abril 2016; julio 2017
Laguna Lencán	Zmax, Efluente	Febrero y julio 2016
Lago Villarica	Centro, Pelagial Villarrica, Litoral Villarrica, Litoral Sur, Bahía La Poza, Litoral Norte, Litoral Pucón	Febrero y octubre 2014; enero y octubre 2015, marzo y octubre 2016; marzo y octubre 2017
Lago Caburgua	Centro	Febrero 2017
Lago Colico	Centro, Puerto Colico	Octubre 2014; enero 2015
Lago Maihue	Centro	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016
Lago Ranco	Riñinahue 2, Bahía Futrono	Febrero y octubre 2014; febrero y octubre 2015; enero y octubre 2016
Lago Neltume	Sector Centro	Octubre 2013; abril 2014
Lago Puyehue	Entrelagos, Centro, Sector Caulle	Abril 2014
Lago Llanquihue	Ensenada, Puerto Octay 2, Frutillar 2, Puerto Varas 2, Zmax	Marzo y agosto 2014; marzo 2015; marzo y agosto 2016; marzo, julio y agosto 2017
Lago Rupanco	Sector Desague, Sector Cascada, Puerto Gaviota	Abril 2014; febrero 2015; abril 2016
Lago Todos los Santos	Centro	Julio 2015
Lago Chapo	Centro, Sur Oriente	Marzo 2017
Lago Natri	Zmax	Febrero y octubre 2017
Lago Tarahuin	Zmax	Octubre 2017
Lago Tepuhueico	Zmax	Febrero 2017
Lago San Antonio	Zmax	Octubre 2017
Lago Yaldad	Zmax	Octubre 2017

c. Metodología para la validación y sistematización de datos.

1. Registros estacionales:

La revisión, validación y sistematización de la información fisicoquímica estuvo constituida por los siguientes pasos:

a. Revisión inicial de la información: Este primer ordenamiento de la información consistió en una revisión y ordenamiento de las bases de datos disponibles para la sistematización. Esta revisión inicial permitió tener un primer reporte de los lagos que fueron efectivamente monitoreados, las variables que fueron efectivamente medidas en terreno y en laboratorio, las estaciones y las profundidades en las que fueron medidas las variables in situ u obtenidas las muestras de agua para el análisis en laboratorios respectivos, y los periodos en que cada cuerpo lacustre fue monitoreado. Este mismo

procedimiento fue realizado con las bases de datos que contenían las variables que fueron externalizadas (nitrógeno total y fracciones, y fitoplancton).

b. Validación y depuración de los datos dudosos: El trabajo con personal de la DGA permitió aclarar dudas respecto a datos dudosos o raros encontrados en las bases de datos que permitió finalizar la etapa de revisión. Por ejemplo, se calculó la suma de las fracciones de nitrógeno (nitrógeno total) y se comparó con los valores de nitrógeno total entregados por la contraparte, y se identificaron los casos en los cuales se observó la condición: $P\text{-}PO_4$ > P-total.

c. Elaboración de las planillas en formato entregado por la DGA que corresponde a la sistematización de las bases de datos analizadas: Las planillas sistematizadas de parámetros físicos y químicos para este periodo fueron entregados en la primera etapa de este proyecto.

d. Determinación de valores atípicos (outliers): Tal como se indicó en la propuesta técnica de la presente consultoría, se revisó e informó la existencia de datos dudosos, datos outliers y errores de digitación. La detección de outliers es uno de los primeros pasos para obtenerun análisis coherente de datos, ya que indican desviaciones marcadas del resto de las observaciones. Si bien estos valores pueden ser considerados como erróneos, ellos pueden aportar información sobre eventos ambientales puntuales en los sistemas lacustres en estudio. Por esta razón, es que cada vez que se detecta un valor anómalo hay que verificar si correspondió a un error de digitación, a un error del instrumento o/a una observación extraordinaria. El método para detección de valores outliers incluyó dos pasos:

a. Calculo de parámetros estadísticos para cada agrupación de datos definidas anteriormente:

- Promedio.
- Desviación estándar.
- Valor mínimo de la serie.
- Valor máximo de la serie.
- Primer cuartil (percentil 25%) (Q1).
- Segundo cuartil (percentil 50%) (Q2).
- Tercer cuartil (percentil 75%) (Q3).
- Rango intercuartil (IQR).

b. Calculo de valores atípicos y construcción de diagramas de caja:

- Valores atípicos leves.
- Inferior. Q1 − 1.5*IQR.
- Superior. Q2 + 1.5*IQR.

c. Elaboración de gráficos Box-Plot para cada agrupación antes identificada.

2. Registros de alta resolución temporal:

Como se indicó, se sistematizaron los perfiles registrados en terreno mediante sondas CTD, las variables sistematizadas corresponden a: pH, conductividad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, temperatura y clorofila. Para la validación y depuración de la información analizada para la construcción de los perfiles se realizaron los siguientes pasos:

a. Agrupación por estación de control, mes y profundidad de datos por cada variable en planillas Excel Office 365. Se trabajó con Office 365, que presenta una herramienta denominada Power Pivot, la que permite trabajar las bases de datos en forma más eficiente, disminuyendo los tiempos de los procesos y permitiendo calcular en tablas dinámicas todos los parámetros estadísticos necesarios para el análisis.

2. Se sistematizó la base de datos en tres planillas Excel. Se generaron filtros los cuales consideraron como datos válidos aquellos en que la profundidad no es negativa, además se consideraron válidos los datos con valores registrados de subida de la sonda[2].

3. Identificación de valores atípicos.

a. Calculo de parámetros estadísticos para cada agrupación de datos definidas anteriormente:

- Promedio.
- Desviación estándar.
- Valor mínimo de la serie.
- Valor máximo de la serie.
- Primer cuartil (percentil 25%) (Q1).
- Segundo cuartil (percentil 50%) (Q2).
- Tercer cuartil (percentil 75%) (Q3).
- Rango intercuartil (IQR).

b. Calculo de valores atípicos y construcción de diagramas de caja:

- Valores atípicos leves.
- Inferior. Q1 − 1.5*IQR.
- Superior. Q2 + 1.5*IQR.

c. Elaboración de gráficos Box-Plot para visualización de datos valores atípicos.

[2] La sonda se lanza en un lago y registra de forma continua valores tanto al sumergirse el equipo como al subirlo.

d. Identificación gráfica de valores atípicos. Otra forma de ver valores atípicos y comportamientos anómalos es a través de gráficos hora versus variable analizada.

Se generaron ejemplos de perfiles para cada mes de cada año y para cada estación de cada lago. Los resultados de análisis estadísticos para los lagos con información de alta resolución temporal (continua) son entregados en ANEXO DIGITAL 3.

3.3.2 Sistematizar y generar una base de datos periodo 1986-2000.

a. Cuerpos lacustres sistematizados periodo 1986-2000.

Los datos físico − químicos del periodo 1986 − 2000 fueron generados por el Laboratorio de la DGA (LADGA), el laboratorio limnología de la Universidad de Chile y del Instituto de zoología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. Gran parte de esta información se encontraba recopilada en el Banco Nacional de Aguas (BNA), mientras que otra parte se encontraba en archivos originales de informes de laboratorio o planillas de terreno en papel o escaneados. La Tabla 8 muestra los cuerpos lacustres que contienen información para este periodo, el número de estaciones de muestreo, el número total de datos informados en las bases técnicas, el total de datos obtenidos al agregar los datos de los registros originales al archivo Excel del BNA, y el número de datos que se logró validar mediante la metodología que se explica en el punto C.

Tabla 8. Cuerpos lacustres que fueron revisados y sistematizados para periodo 1986-2000.

Cuerpo lacustre	Periodo de monitoreo	N° de estaciones	Nº total de datos (BNA + registros originales)	N° de datos validados
Laguna de Aculeo	1986 - 2000	3	4132	3992
Laguna Grande de San Pedro	1988 - 2000	3	4230	3500
Lago Lanalhue	1989 - 2000	3	4948	4129
Lago Villarica	1986 - 2000	4	5924	4611
Lago Calafquén	1997 - 1998	3	1153	833
Lago Panguipulli	1989 - 2000	3	1955	895
Lago Riñihue	1987 - 1998	3	3896	3870
Lago Ranco	1987 - 1998	3	3602	3586
Lago Llanquihue	1986 - 2000	3	5432	4734

b. Variables ambientales y/o parámetros fisicoquímicos sistematizados periodo 1986-2000.

Las variables que fueron revisadas y validadas en el periodo de datos mencionado se encuentran indicados en la Tabla 9.

Tabla 9. Listado de parámetros físicos y químicos que fueron revisados en el periodo entre 1986 y 2000.

Tipo de medición	Variable y/o parámetro
Medidas in situ por personal DGA	Temperatura en cuerpo lacustre (°C)
	Transparencia (Disco Secchi) (m)
	Turbiedad (NTU)
	Profundidad máxima (m)
	pH
	Oxígeno disuelto (mg/l)
	Saturación de oxigeno (%)
	Conductividad eléctrica (us/cm)
Medidos en laboratorio	Sílice (mg/l)
	Demanda química de oxígeno (mg/l)
	Fósforo total (mg/l)
	Clorofila *a* (ug/l)
	Fósforo de ortofosfato (mg/l)
	Nitrógeno total (mg/l)
	Nitrógeno Kjeldahl Total (mg/l)
	Nitrógeno de Amonio ($N\text{-}NH_4$) (mg/l)
	Nitrogeno de Nitrato ($N\text{-}NO_3$) (mg/l)
	Nitrógeno de Nitrito ($N\text{-}NO_2$) (mg/l)
	DQO (mg/l)

c. Metodología para la validación y sistematización de datos.

Los cuerpos lacustres que fueron revisados, validados y sistematizados para el periodo 1986-2000 son entregados en la Tabla 8. Estos datos fueron generados a partir de los informes de laboratorio entregados por el Laboratorio Ambiental de la DGA y de la información de calidad de aguas que se encuentra disponible en el Banco Nacional de Aguas (BNA). El procedimiento para revisión y validación para este periodo se detalla a continuación:

1. Revisión y ordenamiento de las bases de datos: La contraparte (DGA) hizo entrega de las bases de datos BNA para el periodo 1986 - 2000 de estos lagos en formato digital en archivos Excel, los cuales fueron trabajados para lograr su sistematización. Previo a la sistematización se realizaron revisiones de todos los datos que estaban presentes en las bases de datos del BNA y en documentos originales de muestreo. En primer lugar, los datos fueron contrastados con aquellos publicados en el portal de la DGA y en el laboratorio Ambiental de la DGA junto a la experta de laboratorio. Sin embargo, al encontrar algunas inconsistencias en algunos valores se procedió a revisar y validar toda

la información que estaba contenida en los archivos de los documentos originales de laboratorio con informes originales de laboratorio tanto de LADGA, como de la Universidad de Chile y la Universidad Austral de Chile que fueron facilitados en papel y en formato digital por el personal de la DGA.

Las bases de datos de parámetros físico − químicos para el periodo 1986- 2000 de los 9 lagos listados en la Tabla 9 fueron entregados en la primera etapa de este proyecto, junto a los datos de los periodos 2000 − 2014 analizados en estudios anteriores y el periodo 2014 − 2017, analizados en el presente estudio. Al revisar la base de datos en su conjunto se encontró que la cantidad de datos en cada lago no coincidió con la entregada en las bases técnicas de la presente licitación.

Esto porque se debió agregar datos de otros estudios en la laguna Aculeo y en la laguna Grande de San Pedro, los lagos Villarrica, Llanquihue, Ranco y Riñihue, a que el periodo de análisis del lago Panguipulli fue desde 1989 - 2000, en vez de 1997 − 2000, como fue considerado en las bases técnicas, lo cual sumo datos a las bases de datos originales. lo cual sumo datos a las bases de datos originales. Por otro lado, se encontraron valores ingresados como ceros o 10.000 en situaciones donde no hubo registro real de valores.

En los casos en que se confirmó esta situación se eliminaron los ceros y 10.000, lo cual pudo restar valores a la base de datos original.

2. Validación y depuración de los datos dudosos con personal de la DGA: En esta etapa se consideraron validos todos los datos que se encontraban en dichos documentos, y fueron cambiados solamente aquellos que estaban mal digitados en las tablas del archivo Excel. No obstante, una parte de los datos no pudo ser validada por la falta de registros originales de muestro, especialmente para los años 1986, 1987, 1988, 1999 y 2000, y para los parámetros nitrógeno, nitrógeno Kjeldahl, clorofila *a*, fósforo total y nitrógeno total, la mayoría de los cuales fueron externalizados Tabla 9. Por otro lado, se digitaron datos que se encontraban en los originales, pero no estaban ingresados en el Excel de la base de datos 1986 - 2000.

En el caso particular del nitrógeno total de Kjeldahl (NTK) y nitrógeno total (NT) informado por la DGA, se encontraron datos confusos que no pudieron resolverse desde los informes de laboratorio para los lagos Lanalhue, Aculeo, Llanquihue, Laguna Grande de San Pedro y Villarrica, ya que, por ejemplo, no quedaba claro si los valores correspondían a NTK o a NT, o a alguna otra fracción. Para aclararlo, se verificó la naturaleza real de los datos revisando en las bases de datos de BNA de LADGA con ayuda de la especialista (Tabla 10).

Tabla 10. Cuerpos lacustres donde se encontró datos inconsistentes de nitrógeno total de Kjeldahl (NTK) o nitrógeno total (NT).

Cuerpo lacustre	Naturaleza de la inconsistencia en los datos
Aculeo	Hay casos con el mismo valor tanto en NTK como en NT. En las fechas que hay datos de NTK, no hay datos de NT.
Laguna Grande de San Pedro	En algunos casos el valor de NTK era igual al valor de amonio.
Lanalhue	Solamente hay datos de NT en el año 1998. No hay datos de NTK desde 1998.
Villarrica	Los valores de NT son menores a NTK en hasta 3 órdenes de magnitud.
Llanquihue	En algunos casos el NT es menor a NTK.

Adicionalmente, se agregaron datos de 1986 y 1987 de la laguna Aculeo que se encontraban en los documentos originales y que fueron originados en el estudio limnológico de la laguna de Aculeo (DGA/Universidad de Chile, 1987) y para la laguna Grande de San Pedro para el año 1988 que fueron parte del estudio realizado por la Universidad de Concepción (Parra 1989). Se agregaron datos adicionales del año 1986 y verano de 1987 para los lagos Villarrica y Llanquihue presentes en los estudios de la operación parcial de la Red Mínima de Lagos (Campos et al. 1987) y para los lagos Riñihue y Ranco para los años 1987 y 1988 (Campos et al. 1988). La Tabla 11 detalla el número de datos agregados en cada cuerpo lacustre utilizando estos estudios.

El trabajo con personal de la DGA permitió aclarar dudas respecto a datos dudosos encontrados en las bases de datos que permitió finalizar la etapa de revisión. Por ejemplo, se calculó la suma de las fracciones de nitrógeno (nitrógeno total) y se comparó con los valores de nitrógeno total entregados por la contraparte, y se identificaron los casos en los cuales se observó la condición: $P\text{-}PO_4$ > P-total.

Tabla 11. Número de datos provenientes de estudios agregados a la base de datos físico- química.

Cuerpo lacustre	Nº de datos agregados	Fechas de muestreos	Fuente
Lago Villarrica	879	Febrero, abril, julio y octubre 1986; enero 1987	Campos et al. 1987
Lago Llanquihue	1001	Mayo, agosto, noviembre 1986; enero 1987	Campos et al. 1987
Lago Riñihue	670	Mayo, agosto, noviembre 1987; enero 1988	Campos et al. 1988
Lago Ranco	886	Mayo, agosto, octubre 1987; enero 1988	Campos et al. 1988

3. Elaboración de una matriz con los datos que fueron validados, eliminados y sistematizados: Las planillas con los datos revisados y validados son entregados en ANEXO DIGITAL 1.

4. Determinación de valores atípicos (outliers): Al igual que para el periodo 2014 − 2017, se revisó e informó la existencia de datos dudosos, datos atípicos y errores de digitación en esta base de datos

(1986 − 2000). La detección de valores atípicos es uno de los primeros pasos para obtener un análisis coherente de datos, ya que indican desviaciones marcadas del resto de las observaciones. Si bien estos valores pueden ser considerados como erróneos, ellos pueden aportar información sobre eventos ambientales puntuales en los sistemas lacustres en estudio. Por esta razón, es que cada vez que se detecta un valor anómalo hay que verificar su correspondió a un error de digitación, a un error del instrumento o a una observación extraordinaria. El método para detección de valores atípicos incluyó dos pasos:

a. Calculo de parámetros estadísticos para cada agrupación de datos definidas anteriormente:

- Promedio.
- Desviación estándar.
- Valor mínimo de la serie.
- Valor máximo de la serie.
- Primer cuartil (percentil 25%) (Q1).
- Segundo cuartil (percentil 50%) (Q2).
- Tercer cuartil (percentil 75%) (Q3).
- Rango intercuartil (IQR).

b. Calculo de valores atípicos y construcción de diagramas de caja:

- Valores atípicos leves.
- Inferior. Q1 − 1.5*IQR.
- Superior. Q2 + 1.5*IQR.

c. Construcción de gráficos Box plot para visualización de datos atípicos.

3.3.3 Sistematizar y analizar la información de alta resolución temporal (boyas con sensores) de los lagos de Aysén.

a. Cuerpos lacustres con información de alta resolución en la Región de Aysén.

Los sistemas lacustres que cuentan con información de alta resolución registrada por sensores, y las variables que fueron analizadas y sistematizados son indicados en la Tabla 12.

Tabla 12. Cuerpos lacustres e información de alta resolución analizada.

Lago	Variables	Periodo de datos	N° de datos
Lago Bertrand	Temperatura	Agosto y noviembre 2011; agosto y diciembre 2012	243.887
	Intensidad	Agosto y noviembre 2011; agosto y diciembre 2012	172.354
	Conductividad	Agosto y noviembre 2011	11.921
Lago Cochrane	Temperatura	Enero y diciembre (2015 - 2016)	449.974
	Intensidad	Enero y diciembre (2015 - 2016)	232.728
Lago Frío	Temperatura	Enero y mayo 2012; agosto y diciembre 2014; enero y diciembre 2015; enero, noviembre y diciembre 2016; enero y abril 2017	1.193.277
	Intensidad	Enero y abril 2012; agosto y diciembre 2014; enero y diciembre 2015; enero, noviembre y diciembre 2016; enero y abril 2017	820.108
Lago O'Higgins	Temperatura	Noviembre 2010	2.321
	Intensidad	Noviembre 2010	2.175
Lago Paloma	Temperatura	Enero y julio 2012	252.812
	Intensidad	Mayo y julio 2012	73.061
Lago Plomo	Temperatura	Agosto y diciembre 2011; enero y diciembre 2012; enero 2013	635.596
	Intensidad	Agosto y diciembre 2011; enero, febrero, agosto y diciembre 2012; enero 2013	271.852
	Conductividad	Agosto y diciembre 2011; enero, marzo y noviembre 2012; enero 2013	49.036
Lago Riesco	Temperatura	Febrero y junio 2016	70.250
	Intensidad	Febrero y junio 2016	17.564
Lago Las Torres	Temperatura	Enero y noviembre 2014	156.834
	Intensidad	Enero y agosto 2014	69.918
Lago El Toro	Temperatura	Septiembre y diciembre 2014; enero y diciembre 2015 y 2016; enero y julio 2017	1.130.894
	Intensidad	Septiembre y diciembre 2014; enero y diciembre 2015 y 2016; enero y mayo 2017	534.899

b. Metodología para la validación y sistematización de datos continuos.

Para este objetivo, se depuró y validó la base de datos entregada por sensores de registro con intervalos de 10 minutos a diversas profundidades; y luego, se generó un análisis temporal y espacial de las variables, mediante gráficos con los datos validados para los cuerpos lacustres indicados anteriormente. La metodología planteada para validar estos datos se compone de dos etapas, la primera corresponde a la revisión de valores atípicos estadísticamente identificados y la segunda corresponde a la revisión de los valores dentro de rangos adecuados.

A continuación, se presenta una descripción de la metodología implementada:

1. Identificación de valores atípicos según parámetros estadísticos.

a. Agrupación por estación de control, mes y profundidad de datos por cada variable. Planillas Excel Office 360.

b. Identificación de valores atípicos.

i. Calculo de parámetros estadísticos para cada agrupación de datos definidas anteriormente.

- Promedio.
- Desviación estándar.
- Valor mínimo de la serie.
- Valor máximo de la serie.
- Primer cuartil (percentil 25%) (Q1).
- Segundo cuartil (percentil 50%) (Q2).
- Tercer cuartil (percentil 75%) (Q3).
- Rango intercuartil (IQR).

ii. Calculo de valores atípicos y construcción de diagramas de caja.

a. Valores atípicos leves.

- Inferior. Q1 − 1.5*IQR.
- Superior. Q2 + 1.5*IQR.

2. Elaboración de gráficos Box-Plot para cada agrupación antes identificada.

Los resultados de análisis temporales y espaciales para esta base de datos son entregados en ANEXO DIGITAL 2.

3.4. Metodología Para El Desarrollo De Actividades De La Etapa 2.

3.3.4 Análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de cuerpos lacustres de la Red de Monitoreo de Lagos.

Para determinar la evolución del estado trófico de los lagos y lagunas chilenas para el periodo comprendido entre 1986 y 2017, utilizando la información validada en la Etapa 1, se utilizó la metodología que se describe a continuación.

a. Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Monitoreo de Lagos.

La condición hidrodinámica afecta significativamente la disponibilidad de nutrientes y consecuentemente la condición trófica del sistema acuático. El análisis de la condición hidrodinámica consistió en determinar los periodos de mezcla y estratificación en un año promedio para cada periodo estacional en cada cuerpo lacustre analizado utilizando la información discreta de temperatura. Para aquellos lagos donde existió la información continua se revisaron perfiles sub-acuáticos de temperatura obtenidos estacionalmente por la DGA con un equipo CTD entre los años 2014 y 2017 (Tabla 12). Para determinar estratificación térmica se cuantificó una variación de temperatura en la columna de agua mayor o igual a 1 °C en un metro de profundidad (Wetzel 2001), lo cual permitió determinar la profundidad de la zona de mezcla (Z_m). Se analizaron perfiles para cada periodo estacional y en cada estación de muestreo en las cuales se registró la ocurrencia de estratificación, la profundidad de la termoclina y la profundidad del Epilimnion, Metalimnion e Hipolimnion (Wetzel 2001). Con estos datos se obtuvieron perfiles verticales representativos de cada estación de muestreo y de cada periodo estacional de un determinado rango de años.

b. Disponibilidad sub-acuática de irradiancia: Zona eufótica (ZEUF).

Un factor alternativo a la disponibilidad de nutrientes que podría estar limitando la producción biológica principalmente en los sistemas eutróficos e hipertróficos es el clima lumínico subacuático (Wetzel 2001). El factor irradiancia sub-superficial en la columna de agua afecta la producción biológica de los ensambles autótrofos, principalmente de aquellos suspendidos en la columna de agua de los sistemas lénticos (fitoplancton). La disponibilidad sub-superficial de irradiancia fue analizada para los lagos de la Red de Control de Lagos que fueron analizados en el presente proyecto. Debido a esto, se determinó la profundidad a la que llega el 1 % aproximado de la irradiancia superficial lo cual se define como Zona Eufótica (Z_{eu}). La Z_{eu} fue determinada mediante los valores del Disco Secchi (DS) y a través de la expresión $Z_{eu} = 3 \times DS$, (Montecino 1991). El cálculo de ZEUF fue basado en los datos de DS obtenidos dentro del periodo 1986 y 2017. Se obtuvo el valor promedio y el rango de valores (máximo-mínimo) de Z_{eu} medidos en los periodos estacionales de una estación representativa de cada sistema lacustre.

La relación Z_m / Z_{eu} determina la cantidad de luz disponible para el fitoplancton en la zona de mezcla de la columna de agua (Riley et al. 1949, Sverdrup 1953). Una columna de agua en que la zona eufótica alcance menor profundidad que Z_m constituiría un alto nivel de alteración para el fitoplancton, ya que este está limitado por luz mientras permanece en la parte más profunda de Z_m; donde coincidan las profundidades de Z_m con Z_{eu}, se puede definir como un nivel intermedio de alteración, debido a que la intensidad de la luz puede variar con la profundidad, pero siempre se dispone de ella; y aquel lugar donde Z_{eu} se presente a mayor profundidad que la zona de mezcla la alteración sería mínima, dependiendo de la homogeneidad y la cantidad de luz disponible en la columna de agua en la capa de mezcla. Por lo tanto, la relación Z_m/ Z_{eu} puede tomar valores iguales a 1 si coinciden las profundidades, >1 si la Z_{eu} es menor que la Z_m y <1 si la Z_{eu} es mayor a Z_m (Paredes 2005). Para determinar la razón Z_m/Z_{eu} en este estudio, se utilizaron los valores de la profundidad de la zona de mezcla y en los casos donde se encontró una columna de agua completamente mezclada, se utilizó el valor de la profundidad máxima promedio para el periodo estacional analizado (Z_{max}).

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

Para la totalidad de datos de nutrientes registrados en el periodo de estudio completo de cada cuerpo lacustre, se determinó la concentración de los principales nutrientes que limitan la producción en un sistema léntico: Nitrógeno total (NT= $N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK), fósforo total (PT) y Sílice (SiO_2) para cada cuerpo lacustre, utilizando la base de datos completa involucrada dentro del periodo 1986 – 2017. Para ello se consideraron los datos de todas las estaciones de muestreo, en todas las profundidades de cada sistema.

i) <u>Análisis de Sílice (SiO_2) como nutriente limitante</u>:

Se analizaron las razones SiO_2/PT y SiO_2/NT para determinar la importancia del SiO_2 como nutriente limitante. Un valor de la razón SiO_2/NT menor a 2 (en gramos) indica limitación por Sílice y un valor de la razón SiO_2/PT menor a 14 (en gramos) indica limitación por Sílice de acuerdo a la razón C:Si:N:P = 106:15:16:1 de Redfield-Brzezinski (Brzezinski 1985).

ii) <u>Análisis de Nitrógeno y Fósforo como nutrientes limitantes</u>:

Se utilizó la razón de Redfield (1934) para determinar limitación por Nitrógeno o Fósforo, la cual indica que cuando la razón de nitrógeno total/ fósforo total (NT/ PT) presenta un valor igual o mayor que 7 existe limitación por Fósforo, y en caso contrario, el nitrógeno sería el nutriente limitante de la producción biológica (Redfield 1934). Se determinó la razón NT /PT promedio de cada estación de muestreo considerando los periodos de estratificación y mezcla de cada una. También se determinó la razón NT /PT promedio en cada periodo estacional para cada lago. Se muestra el número de casos en que el Fósforo o el Nitrógeno fueron limitantes de la producción biológica respecto del total de

casos analizados. El número total de casos analizados correspondió a la suma de los casos de limitación por Fósforo o Nitrógeno. El nutriente limitante fue definido cuando hubo una mayoría de casos que respaldaron este resultado.

d. Determinación de la condición trófica en los cuerpos lacustres.

i) Determinación de la condición trófica de acuerdo a la clasificación de Smith et al. (1999):

Se determinó la condición trófica en cada cuerpo lacustre según los rangos de los valores definidos para cuerpos lacustres en base a Nürnberg (1996, fide in Smith et al. 1999) que se basan en los valores superficiales de nitrógeno total, fósforo total, clorofila *a* y profundidad de Disco Secchi (Tabla 13).

Tabla 13. Rangos y valores establecidos en Smith et al. (1999) para determinación del estado trófico en cuerpos lacustres.

Sistema	Estado trófico	Nitrógeno total (ug/L)	Fósforo total (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)	Disco Secchi (m)
Lagos	Oligotrófico	< 350	< 10	< 3,5	> 4
	Mesotrófico	350 - 650	10- 30	3,5 -9	2 - 4
	Eutrófico	650 - 1200	30 - 100	9 - 25	1 - 2
	Hipereutrófico	> 1200	> 100	> 25	<1

ii) Índice de Trofía de Carlson (1977):

Para establecer una relación entre la profundidad de visibilidad del disco Secchi, la concentración de fósforo (cuando este es limitante) y la biomasa a través de la clorofila *a*, con el nivel de trofía se utilizará el índice de trofía (TSI) propuesto por Carlson (1977), el cual se basa principalmente en la transparencia de la columna del agua y es uno de los más utilizados en el mundo debido a la facilidad de su interpretación. El ITS en base a concentración de clorofila y de fósforo superficial se ajusta a una relación directa con el ITS basado en la profundidad del disco Secchi, es por ello que se aplicó a los valores superficiales de la columna de agua de cada estación de muestreo en cada campaña de muestreo. El rango de valores fluctúa entre 0 a 100, siendo el primero un estado oligotrófico y el último Hipereutrófico. Las fórmulas para estimar el estado trófico son:

a) A partir de la visibilidad (transparencia, DS) del disco Secchi en metros, mediante la siguiente fórmula:

$$TSI(DS) = 10\left(6 - \frac{\ln DS}{\ln 2}\right)$$

b) A partir de la concentración de fósforo total en ug/l, mediante la siguiente fórmula:

$$TSI(PTOT) = 10\left(6 - \frac{ln\frac{48}{PTOT}}{\ln 2}\right)$$

c) A partir de la concentración de clorofila en ug/l, mediante la siguiente fórmula:

$$TSI\ (Cl) = 10\left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Cl}{\ln 2}\right)$$

Una vez calculados los valores de trofía para cada lago en base a las variables antes mencionadas, se determinará el estado trófico según clasificación de la Tabla 14.

Tabla 14. Estado trófico del sistema de acuerdo al valor de TSI.

Rangos	Estado trófico
TSI < 30	*Oligotrófico:* Agua clara, con contenido de oxígeno en el hipolimnion durante todo el año.
30 < TSI < 60	*Mesotrófico:* Agua moderadamente clara; Aumenta la probabilidad de tener un hipolimnion anóxico durante el verano
60 < TSI >90	*Eutrófico:* Hipolimnion anóxico; Posibles problemas con macrófitas; Domino de algas-azules (cianofíceas).
90 < TSI >100	*Hipereutrófico:* Productividad limitada por luz; alta densidad de algas y macrófitas; se genera espuma superficial

iii) Índice de Trofía de Aizaki et al. (1981):

A fin de otorgar mayor robustez de los análisis del estado trófico del agua, se consideró la versión modificada del Índice de trofía de Carlson (1977) por Aizaki et al. (1981), que pone énfasis en la concentración de clorofila a más que en la transparencia del agua y al igual que el índice de Carlson, se utilizan los valores superficiales de clorofila y fósforo total de la columna de agua. Las fórmulas modificadas de Aizaki et al. (1981) son las siguientes:

a) A partir de la visibilidad (transparencia, DS) del disco Secchi en metros:

$$TSI(DS) = 10(2.46 + \frac{3.76 - 1.57 lnDS}{\ln 2.5})$$

b) A partir de la concentración de fósforo total en mg/l:

$$TSI(PTOT) = 10\left(2.46 + \frac{6.68 + \ln PTOT}{\ln 2.5}\right)$$

c) A partir de la concentración de clorofila en ug/l:

$$TSI\ (Cl) = 10\left(2{,}46 + \frac{\ln Cl}{\ln 2.5}\right)$$

Los estados tróficos del ITS modificado por Aizaki et al. (1981) utiliza las siguientes categorías: Oligotrófico (TSI < 30), Mesotrófico (30 < TSI ≤ 60), Eutrófico (60 < TSI <90), Hipereutrófico (TSI > 90).

iv) Determinación del estado trófico de acuerdo a OCDE (1982):

Los datos de transparencia del agua medida con el Disco Secchi y las concentraciones de fósforo total (PT) y clorofila *a* se compararon con los rangos establecidos por la Organización de la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982) (Tabla 15), la cual agrega la categoría cuerpos de agua ultraoligotróficos para diferenciar de los cuerpos de agua oligotróficos. Los valores que considera la OCDE (1982) *fide in* Cruz−Pizarro et al. (2003) en la caracterización trófica de sistemas acuáticos son 1) Concentración promedio anual de PT (ug/L); 2) Concentración promedio anual de la Cl- a en la zona eufótica (ug/L); 3) Concentración máxima anual de Cl−a en la zona eufótica (ug/L); 4) Promedio anual de la transparencia del agua (m) y 5) Mínimo anual de la transparencia del agua.

Tabla 15. Valores establecidos por la OCDE (1982) para determinación del estado trófico.

Categoría trófica	PTOT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotróficos	< 4.0	< 1.0	< 2.5	> 12	> 6
Oligotróficos	< 10.0	< 2.5	2.5 - 8	> 6	> 3
Mesotróficos	10 - 35	2.5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 − 1.5
Eutróficos	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 − 1.5	1.5 − 0.7
Hipertrófico	> 100	> 25	> 75	< 1.5	< 0.7

V) Evolución histórica de la condición trófica de cada sistema lacustre:

Para evaluar y evidenciar la evolución histórica del nivel de trofía de cada sistema lacustre se realizaron gráficos de series de tiempo utilizando el criterio de Smith et al. (1999) de los valores superficiales de la clorofila-a, por tratarse de la base de datos más completa y con menos errores de medición dentro del periodo de estudio.

3.3.5 Análisis del componente fitoplanctónico.

Las muestras de algas planctónicas desde la capa superior de los cuerpos lacustres (epilimnio) pueden ser usadas para definir el estado trófico de los lagos en términos de productividad y de composición de especies. La composición de especies puede ser relacionada al estado trófico a través de cuatro vías: sucesión estacional, biodiversidad, especies bioindicadoras y determinación de bioíndices (Bellinger & Sigee 2010).

a) Sucesión estacional: En lagos temperados el desarrollo de floraciones algales y la secuencia de poblaciones de fitoplancton está directamente relacionado a la disponibilidad de nutrientes. En estos lagos es común la presencia de floraciones estivales de diatomeas. En lagos oligotróficos temperados, las diatomeas suelen dominar durante todo el año, junto a crisofíceas y clorófitas. En lagos mesotróficos temperados hay un periodo más corto de dominancia de diatomeas (principalmente *Asterionella*), seguido por presencia de crisofíceas, dinoflagelados, cianofíceas y floraciones de clorofíceas, ya al final del verano. En lagos temperados eutróficos, hay más dominancia de algas unicelulares (colonizadores y de rápido crecimiento), seguido por unicelulares de gran tamaño (e.g. *Ceratium*), algas filamentosas (e.g. *Anabaena*) y cianofíceas globulares (e.g. *Microcysts*) (Reynolds et al. 2002).

b) Diversidad de especies: Los índices de diversidad de especies pueden ser derivados a partir de conteos de especies. En esta categoría se encuentra, por ejemplo, el índice de diversidad de Simpson y Shannon, y el índice de dominancia, que serán explicados más adelante. Durante la fase de crecimiento estival, la diversidad de especies suele ser baja en lagos oligotróficos, aumentando progresivamente en lagos mesotróficos y eutróficos, para disminuir nuevamente en lagos hipereutrofico. En este sentido, la diversidad de especies también está altamente relacionada a la disponibilidad de nutrientes, y, por ende, al estado trófico.

c) Especies bioindicadoras: Algunas especies y grupos taxonómicos de algas muestran una clara preferencia por condiciones particulares de lago, y esto las convierte en potenciales indicadores acuáticos. En sentido amplio, las clorofíceas tienen a dominar en lagos con bajos nutrientes (oligotróficos), mientras que algas cianofíceas coloniales son más frecuentes en aguas eutróficas. Sin embargo, esto no es absoluta ya que algunas clorofíceas como *Cosmarium* y *Staurastrum* suelen ser típicas en aguas meso-eutróficas, y el alga cianofícea *Gomphosphaeria* también se ha encontrado en lagos oligotróficos (Reynolds 1990).

d) Índices tróficos de fitoplancton: Las muestras de algas pueden ser cuantitativamente expresadas como índices bióticos para caracterizar el estado trófico (Bellinger & Sigee 2010). Estos índices pueden ser basados en principales grupos taxonómicos (Stockner 1972), basados en especies indicadoras (Heinonen 1980) y basados en tasas de tolerancias y sensibilidades de las especies (Brettum 1989).

El análisis del componente fitoplanctónico de los lagos analizados en esta consultoría, comprendió: análisis de estructura comunitaria, índices de diversidad, índices bióticos, análisis de Grupos Funcionales y presencia de algas nocivas (cianofíceas).

a. Índices de diversidad.

Los índices de diversidad analizados serán los siguientes (Tabla 16).

Tabla 16. Índices de diversidad utilizados para caracterizar las comunidades de fitoplancton.

Índices	Significado
Abundancia total (N)	Número de células observadas por unidad de volumen de agua (Cél/L).
Índice de riqueza específica (S)	La riqueza de especies corresponde a la cantidad total de especies o taxa registradas en cada punto de muestreo.
Índice de diversidad de Shannon (H')	Determina la diversidad de cada muestra analizada en base a la riqueza y abundancia de los taxa. $H' = \sum_{i=1}^{S} (p_i)(log_2 p_i)$ Donde: H' = índice de diversidad de especies, p_i: es la proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total de individuos de todas las especies (ni/N), N: Abundancia total de especies, n_i: número de Individuos de la especie i, S: número de especies (Shannon & Weaver 1949).
Índice de diversidad de Simpson (1-D)	El índice se Simpson (Simpson 1949) está basado en la dominancia, indica la probabilidad de encontrar dos individuos de especies diferentes en dos extracciones sucesivas al azar sin reposición. Toma en cuenta esencialmente a las especies con mayor representatividad, minimizando el efecto de las especies con menos individuos. Este índice toma valores entre 0, cuando existe solo una especie, y se aproxima a 1 cuando la diversidad aumenta. $D = \sum_{i=1}^{S} p_i^2$ Donde: D= Medida de concentración de especies; S= Número total de especies de la comunidad; P_i = Proporción de individuos de la especie i.
Índice de Equidad de Pielou (J')	Determina la representatividad numérica de los organismos en la muestra o unidad de análisis; su valor va de 0 a 1, donde el máximo valor (1) indica que todas las especies son igualmente abundantes (Pielou 1969). *J' = H' /H' máx* Donde: H'= índice de diversidad de Shannon; H'= máx: máxima diversidad.

Estos índices fueron calculados en el programa Past 3.20 de Hammer et al. (2001).

b. Índices bióticos de fitoplancton.

Para la estimación del estado trófico será utilizado el índice trófico de Stockner (1972). Este índice se basa en la presencia de dos grupos taxonómicos principales: diatomeas pennadas arafídeas (A) y diatomeas céntricas (C), por eso se expresa como A/C. Este índice fue utilizado por Byron & Eloranta (1984) en el lago Tahoe en USA y entregó una clara estimación de los cambios en el estado trófico que ha experimentado este lago posterior a la década de los 50. Este índice entrega un rango entre <1: indicando condición de oligotrofia, 1-2: indicando mesotrofía y >2: sugiriendo eutrofia (Bellinger & Sigee 2010).

c. Presencia de algas nocivas.

Dado la estrecha relación entre la disponibilidad de nutrientes y la composición del fitoplancton, es que un aumento excesivo de nutrientes en cuerpos acuáticos cambiará la composición taxonómica y abundancia del fitoplancton, y provocará un aumento de grupos más tolerantes a estas condiciones, vale decir de las algas azules o Cianobacterias (De León 2002). Más allá de la calidad estética que se ve empeorada por la presencia de estas algas, son sus efectos sobre la malla trófica y el deterioro en la calidad del agua, los factores de gran importancia para analizar. Una gran variedad de cianobacterias produce toxinas (cianotoxinas) que pueden tener efectos nocivos sobre los organismos. Las cianotoxinas son metabolitos secundarios producidos en el interior de las células y liberados al agua al producirse la lisis (destrucción) de la pared celular; hay dos grupos básicos: hepatotoxinas y neurotoxinas. Las hepatotoxinas (péptidos cíclicos) causan necrosis de los hepatocitos pudiendo provocar tumores hepáticos (Domitrovic & Forastier 2005). Las especies productoras de hepatotoxinas tienen representantes en los géneros *Microcystis, Anabaena, Nodularia, Oscillatoria, Nostoc, Hapalosiphon, Coelosphaerium, Cylindrospermopsis, Gloeotrichia, Lyngbya, Tolypothrix y Anabaenopsis*. Por su parte, las neurotoxinas son alcaloides que actúan bloqueando la transmisión neuromuscular (Domitrovic & Forastier 2005). Las especies que pueden producir neurotoxinas son *Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria, Raphidiopsis y Trichodesmium.*

La presencia de cada una de estas algas fue evaluada e informada para cada cuerpo lacustre analizado.

d. Determinación de Grupos Funcionales de Fitoplancton.

Los grupos funcionales (GF) de fitoplancton son asociaciones de especies de fitoplancton basado en caracteres morfológicos, ecológicos y conductuales de las especies. Estos grupos de especies tienen similares requerimientos y tolerancia a disponibilidad de nutrientes, luz y mezcla; y responden de manera similar, aumentando o disminuyendo su biomasa, frente a similares cambios en el ambiente (Reynolds et al. 2002, Padisák et al. 2009). Por esta razón, su análisis y/o cambio en el tiempo permite evaluar el cambio en las condiciones ambientales predominantes de cada lago. Para la

determinación de GF se seleccionaron especies que hayan presentado abundancias relativas mayores al 10%, y se clasificaron según Padisák et al. (2009). Padisák et al. (2009) entrega una clasificación de 20 GF basados en la clasificación previa de Reynolds et al. (2002) y para cada grupo entrega el tipo de hábitat característico y las especies más representativas. Entonces para cada lago fueron determinados los GF característicos para cada estación y periodo.

e. Análisis de Ordenación del Componente Fitoplanctónico.

La ordenación de los taxa de fitoplancton analizados se realizó mediante dos métodos: análisis de conglomerados (Cluster) y análisis de correspondencia canónica (ACC). El análisis de correspondencia canónica examina la relación lineal entre un grupo de variables, X, y un grupo, o más de un grupo, de variables Y. La técnica consiste en encontrar una combinación lineal de las variables X y otra combinación lineal de las variables Y de tal manera que la correlación entre U y V sea máxima. A estas combinaciones lineales se denominan variables canónicas, y las correlaciones entre los correspondientes pares de variables canónicas se denominan correlaciones canónicas (Ter Braak 1986).

Los análisis de ordenación sólo fueron realizados en lagos que mostraron un número mayor a 3 fechas de monitoreo. Para el análisis de conglomerados los datos fueron primero estandarizados por porcentaje y dendrogramas usando el algoritmo "Paired group" y el índice de similitud de Bray-Curtis, fueron elaborados considerando todos los periodos de monitoreo.

El ACC permite la elaboración de un gráfico tipo triplot que incluye localidades, variables abióticas y variables bióticas. Este análisis se realizó para evaluar la relación entre variables abióticas (T°, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, Sílice y DQO; cuando había registros) y variables bióticas (taxa representativos del fitoplancton, con abundancias relativas mayor al 10%). Para este análisis los datos biológicos y físico químicos fueron estandarizados antes de su análisis. Ambos análisis (Cluster y ACC) fueron realizados usando el programa PAST 3.20 de Hammer et al. (2001).

3.5. Metodología Para El Desarrollo De Actividades De La Etapa 3.

El objetivo de la Etapa 3 fue: disponer de material para la difusión de los resultados, esto se realizó a través de la confección de material de difusión tipo fichas e infografías para cada lago que contuvieron información de los periodos de monitoreo, de las estaciones monitoreadas y las principales características en condición hidrodinámica, condición trófica y composición fitoplanctónica.

Para lograr este objetivo, se diseñaron dos tipos de material de difusión: las fichas técnicas y una infografía referencial de lagos. El trabajo de diseño y elaboración de fichas e infografías para el estudio Evaluación de la Condición Trófica de Los Cuerpos Lacustres DGA 2018 se realizó a través del programa de diseño digital Adobe In Desing CS 6, de acuerdo al diseño consensuado con el equipo de DGA para la realización de estos productos gráficos. Adicionalmente al trabajo de diseño, se contrató una campaña de fotografía de los lagos para incorporarlas en el material que fue diseñado por una diseñadora gráfica que incluyó las fotografías ya señaladas.

Las 43 fichas técnicas diseñadas son entregadas en ANEXO DIGITAL 6 y están en formato pdf y tamaño carta. Por su parte las infografías son entregadas en ANEXO DIGITAL 7 en formato pdf y jpg.

Por otro lado, se incluyó el desarrollo de un taller de difusión donde se mostraron los principales resultados de condición trófica y de composición fitoplanctónica obtenidos en la presente consultoría, cuyo programa y lista de asistencia se entregan en la sección de resultados para Etapa 3 en página 252.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE LA ETAPA 1.

4.1.1 Generar una base de datos para el periodo 2014-2017

a. Datos físicos y químicos 2014 – 2017.

Las bases de datos sistematizadas para el periodo 2014 − 2017 para los 34 lagos listados en la Tabla 3 son entregados en ANEXO DIGITAL 1.

1. Detección de valores atípicos en cuerpos lacustres sistematizados en periodo 2014-2017:

El análisis de datos atípicos para las variables que fueron sistematizadas en el periodo 2014-2017 fue realizado para cada lago y es entregado a continuación. Para la detección de valores atípicos, primero se realizó una inspección visual de los datos y luego se procedió a la detección de los valores que estuvieron por debajo del límite inferior o por sobre el límite superior del rango intercuartil. Gráficos tipo Box-plot mostrando la distribución de los rangos intercuartiles fueron elaborados sólo cuando el número de valores atípicos era mayor a 5 por lago.

Lago Chungará

Este lago ubicado en el altiplano chileno que fue monitoreado en noviembre de 2017 no mostró valores anómalos en las variables temperatura, pH, transparencia ni clorofila *a.* Sin embargo, se registró un valor atípico de conductividad eléctrica por debajo de su límite inferior de 283.7 uS/cm en el río Chungará. No obstante, valores similares ya habían sido reportados dentro del cuerpo lacustre por Dorador et al. (2003).

Laguna de Aculeo

Laguna de Aculeo fue muestreada en el verano del 2014 en una solo estación de monitoreo (Frente a Puntilla de León). Una inspección visual de los datos no reportó valores atípicos en las variables temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, transparencia, nitrógeno de amonio y fósforo de ortofosfato. Pero si sobresale un valor de saturación de oxígeno de 124.8 % y un valor de clorofila *a* sobre 120 ug/l. No obstante, valores similares habían sido ya registrados en los años 2001 y 2005 (DGA/M&W Ambientales, 2014), los cuales posiblemente están relacionados con los fuertes cambios en el volumen de agua que ha experimentado este sistema lacustre de la Región Metropolitana.

Lagunas costeras de la VI y VIII Región

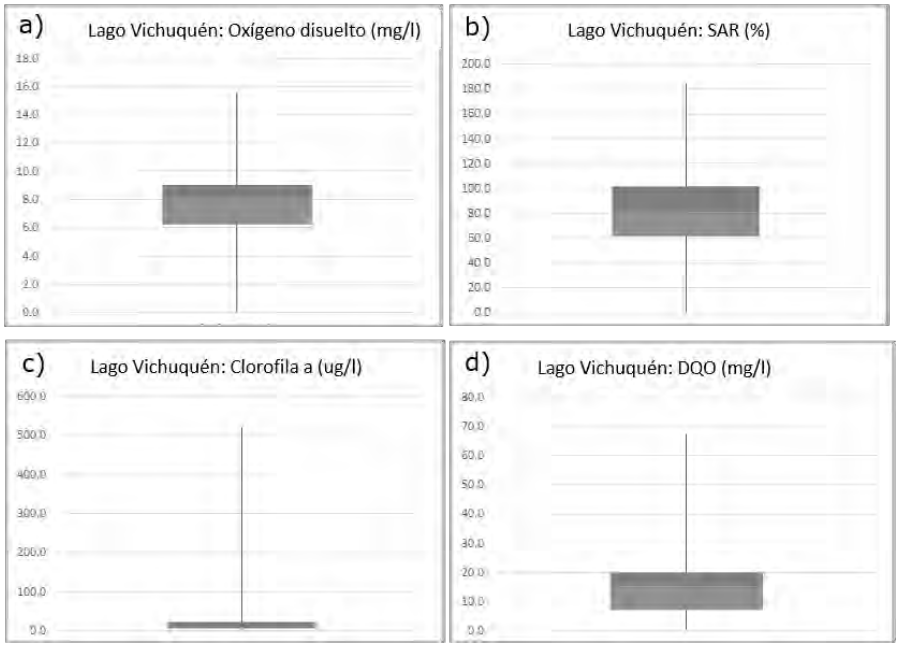
Las lagunas costeras de la VI y VIII Región (El Petrel, El Perro, Los Batros, Lencán, Lloncao, Butaco y Antiquina) mostraron pocos periodos de monitoreo y en varios no fue posible realizar los análisis estadísticos, por tanto, el análisis de valores atípicos en este set de lagunas fue visual y los valores anómalos fueron comparados con los registros realizados por el estudio "Diagnóstico y caracterización del estado trófico y batimétrico de lagos costeros" por Centro de Ecología Aplicada (2015).

En lagunas Antiquina, El Perro, El Petrel, Batuco, Los Batros y Lloncao no se detectaron valores anómalos en ninguna variable fisicoquímica. Sólo se reportaron valores altos de conductividad eléctrica en laguna El Petrel > 15.000 uS/cm en verano y primavera del 2017. No obstante, valores altos para esta variable en este mismo lago también fueron registrados en el invierno del año 2015 (>30.000 uS/cm) por el estudio efectuado por CEA (2015). De igual manera, Laguna Lencán mostró valores altos de turbiedad (198 NTU) en invierno de 2016, valores de clorofila *a* mayores a 200 ug/l (verano 2016) y valores de nitrógeno de nitrato sobre 4 mg/l en otoño de 2017, los cuales son mucho más altos que los reportados in invierno del año 2015 por CEA (2015).

Lagos de la VI Región: Lago Vichuquén y Laguna Torca

Lago Vichuquén: Este lago fue monitoreado los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017. Durante esos años, se reportaron valores atípicos en las variables oxígeno disuelto (concentración en mg/l y saturación en %). En O.D. (concentración) se detectaron 14 valores bajo el límite inferior de 2 mg/L y 3 valores sobre el límite superior de 13.2 mg/l. Los valores bajo el límite de detección Para SAR (saturación), se detectaron 8 valores bajo límite inferior de 1.7 % y 2 valores sobre el límite superior de 161 %. Para clorofila *a* se detectaron 13 valores atípicos por sobre el límite superior de 47 ug/l, alcanzando valores de hasta 520 ug/l en verano del año 2015. No obstante, valores altos de clorofila a también fueron registrados en el periodo de análisis anterior (2009 − 2013) en verano del 2013 en Estero Llico. Para DQO también se detectaron valores atípicos, 3 específicamente por sobre el límite superior de 38 mg/l (Figura 18), posiblemente debido a condiciones anóxicas predominantes en el fondo de este lago. Sin embargo, en verano del 2013, también en Estero Llico fueron encontrados valores de 125.8 mg/l. Por su parte, no se encontraron valores atípicos en las variables temperatura, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de amonio, fósforo de ortofosfato y sílice. Para la variable nitrógeno de nitrato y por ende nitrógeno total, el análisis tampoco reportó valores atípicos pero los valores fluctuaron entre un rango de 0.03 mg/l en otoño del 2014 hasta valores de 87.8 mg/l en primavera del 2015, año en que particularmente se registraron valores muy altos para este lago, donde los valores anteriormente registrados (2009-2013) no habían superado los 2 mg/l. De igual manera, estos valores fueron particularmente altos comparados con aquellos publicados por Eula 2016 en el estudio "Diagnóstico y caracterización del estado trófico del lago Vichuquén". Razón por la cual se solicitará una revisión de estos datos a la contraparte (DGA) previa a la realización de los análisis correspondientes a la etapa 2.

Figura 18. Box-plot de distribución de datos para variables oxígeno disuelto (a), SAR (b), clorofila a (c) y DQO (d) en Lago Vichuquén. La línea divisoria de color indica la mediana.



Laguna Torca: Laguna Torca fue monitoreada los años 2014, 2015 y 2016 y no mostró valores atípicos en las variables temperatura, pH, conductividad eléctrica, transparencia, turbiedad, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de amonio, fósforo de ortofosfato, sílice y DQO. Oxígeno disuelto, SAR y clorofila *a* mostraron valores atípicos con dos valores bajos el límite inferior de 22.5 mg/l en O.D., un valor bajo el límite inferior de 0.9 mg/l en SAR y dos valores sobre el límite superior de 416 ug/l de clorofila *a*. Valores altos de clorofila *a* también fueron registrados en el periodo de análisis anterior (2009 − 2013).

Lagos de la VIII Región: Laguna Grande de San Pedro, Lanalhue y Lleu lleu

Laguna Grande de San Pedro: Esta laguna fue monitoreada el año 2014 y 2016, y no registró valores atípicos en las variables analizadas (temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, SAR, transparencia, turbiedad, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de amonio, nitrógeno total, fósforo de ortofosfato, clorofila *a*, sílice y DQO).

Lago Lanalhue: Este sistema lacustre fue monitoreado el año 2014 y 2016. Este sistema mostró sólo valores atípicos en la variable SAR con tres valores sobre el límite superior de 108 %. No obstante, este valor se encuentra dentro de lo esperado para lagos costeros según informó Parra et al. (2005).

Lago Lleu lleu: Este cuerpo lacustre fue monitoreado en primavera del 2016. Durante este periodo se observó sólo un valor atípico por sobre el límite superior en clorofila *a* (3.4 mg/l). No obstante, este valor se encuentra dentro de lo esperado para lagos oligotróficos (DGA/DCPRH 51, 2015).

Lagos de la IX Región: Villarica, Caburgua y Colico

Lago Villarica: Este importante sistema lacustre fue monitoreado los años 2014, 2015, 2016 y 2017. Durante este periodo mostró dos valores atípicos de pH en estaciones Río Pucón pasarela Queule y Río Tolten en Villarica de 10.95 y 10.81 respectivamente; un valor atípico de O.D. de 29 mg/l en Litoral Villarica (primavera 2017) y dos valores atípicos de turbiedad de 34.8 NTU (Litoral Sur en verano 2014) y 37.1 NTU (Rio Pucón Pasarela Queulle en verano 2015). No obstante, valores similares fueron registrados en el periodo 2009-2014 por DGA/M&W Ambientales (2014).

Lago Caburgua: Este sistema presenta solo dos monitoreos el año 2017. Para ambos monitoreos sólo se encontró un valor atípico en la variable sílice de 19 mg/l en sector centro en verano de 2017. No obstante, valores sobre 10 mg/l ya habían sido registrados en periodos anteriores (DGA/M&W Ambientales 2014).

Lago Colico: Este cuerpo lacustre fue monitoreado el año 2014, 2015 y 2016. En este periodo no se observaron valores atípicos en ninguna variable medida in situ ni en laboratorio.

Lagos de la Región de los Ríos monitoreados por EULA el año 2015

Los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Puyehue, Neltume y Pirihueico para el periodo actual de análisis (2014 − 2017), salvo monitoreos realizados el año 2014 en Puyehue y Neltume, fueron monitoreados por Centro EULA el año 2015. El análisis de la información limnológica para este periodo se encuentra en el estudio "Análisis y reformulación red de monitoreo de lagos Región de los Ríos" Centro EULA (2016). Para el periodo de análisis, ninguno de los lagos muestreados mostró valores atípicos estadísticos en variables físicas y químicas medidas in situ (temperatura, pH y conductividad eléctrica), como en laboratorio (nitrógeno total, nitrato y fósforo total). Sin embargo, fueron registrados valores inusualmente altos de nitrato en Lago Puyehue en Estación Río Gol Gol (invierno del 2015) de 2.11mg/l, mientras que en los demás cuerpos lacustres fueron registrados valores de nitrato (NO_2) bajo el límite de detección (0.015 mg/l).

Como se señaló anteriormente, lagos Puyehue y Neltume fueron monitoreados el año 2014 por la DGA. En Lago Puyehue en el monitoreo efectuado en otoño del 2014, se reportaron valores de nitrógeno de nitrito (NO_2), nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$), fósforo de ortofosfato ($P\text{-}PO_4$) y DQO bajo el límite de detección. Por su parte, no se registraron valores atípicos en variables temperatura, conductividad, pH, transparencia, nitrógeno de nitrato (NO_3) y clorofila *a*, pero si se registraron 3 valores atípicos en la variable oxígeno disuelto en Sector Entre Lagos: 1 valor por debajo del límite

inferior (1.27 mg/l) y 2 valores mayores al límite superior (10.5 y 12.08 mg/l). Estos mismos tres valores fueron registrados en SAR: 1 valor por debajo del límite inferior (11.3 %) y 2 valores mayores al límite superior (104.6 y 105 %). De igual manera, Lago Neltume en un monitoreo efectuado en otoño del 2014, tampoco reportó valores anómalos en variables: nitrógeno de nitrito (NO_2), nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_3$), fósforo de ortofosfato ($P\text{-}PO_4$), DQO, temperatura, conductividad, pH, transparencia, nitrógeno de nitrato (NO_3) y clorofila *a*. Pero, al igual que el lago Puyehue, si mostró dos valores anómalos en las variables oxígeno disuelto y SAR (ambos bajo el límite inferior de 0.03 mg/l y 0.3 %, respectivamente).

Otros lagos de la Región de los ríos: Ranco y Maihue

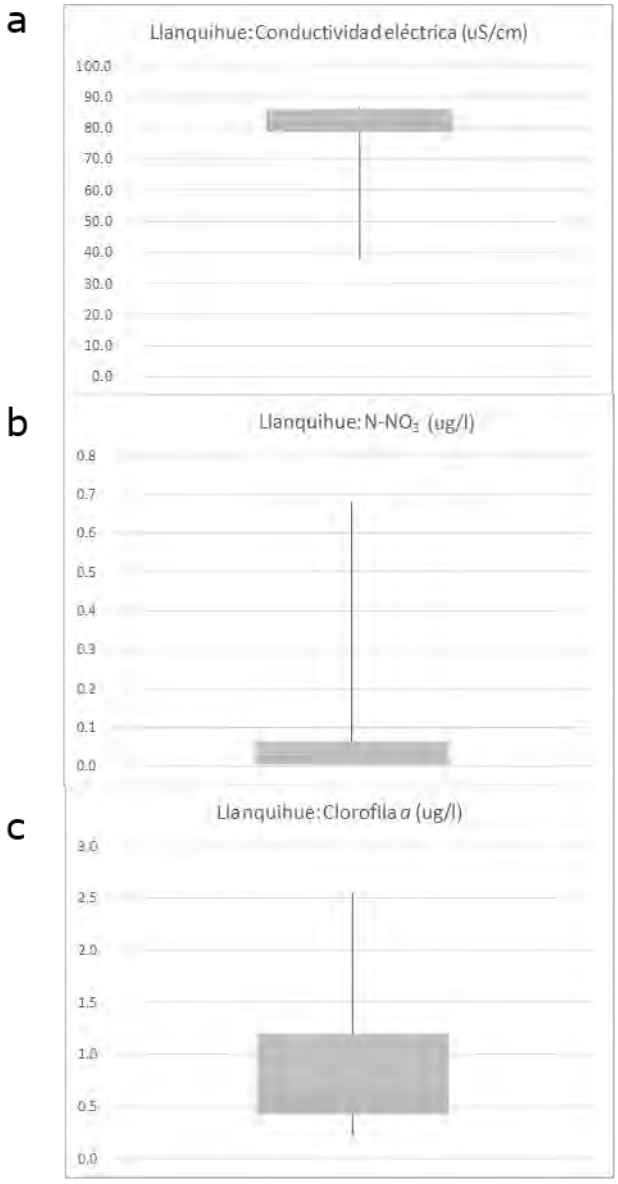
Lago Ranco: Este sistema lacustre presenta monitoreos el año 2014, 2015 y 2016. En estos periodos sólo mostró dos valores atípicos en la variable nitrógeno de nitrato sobre su límite superior de 0.249 mg/l.

Lago Maihue: Este lago presenta 4 periodos de monitoreo entre 2014 y 2016. En este periodo se observaron dos valores atípicos de turbiedad (319.7 y 59.9 NTU en río Hueinahue), dos valores atípicos de clorofila *a* (21.01 y 13.3. mg/l en estación Zmax y Río Calcurrupe), cinco valores atípicos de DQO (sobre el límite superior de 4.7 mg/l) y cinco valores atípicos de conductividad eléctrica (sobre el límite superior de 67.6 uS/cm).

Lagos de la Región de los Lagos

Lago Llanquihue: Este cuerpo lacustre fue monitoreado los 4 años de este periodo (2014-2017). Las variables que mostraron valores atípicos fueron conductividad eléctrica, SAR y clorofila *a*. Conductividad eléctrica mostró 9 valores bajo el límite inferior de 68 uS/cm, saturación de oxígeno mostró un valor atípico sobre el límite superior de 108%, nitrógeno de nitrato registró 7 valores atípicos sobre el límite superior de 0.151 mg/l y clorofila *a* mostró 12 valores sobre el límite superior de 2.35 ug/l (Figura 19).

Figura 19. Rango de distribución de valores de conductividad eléctrica (a), nitrógeno de nitrato (b) y clorofila *a* (c) en lago Llanquihue.

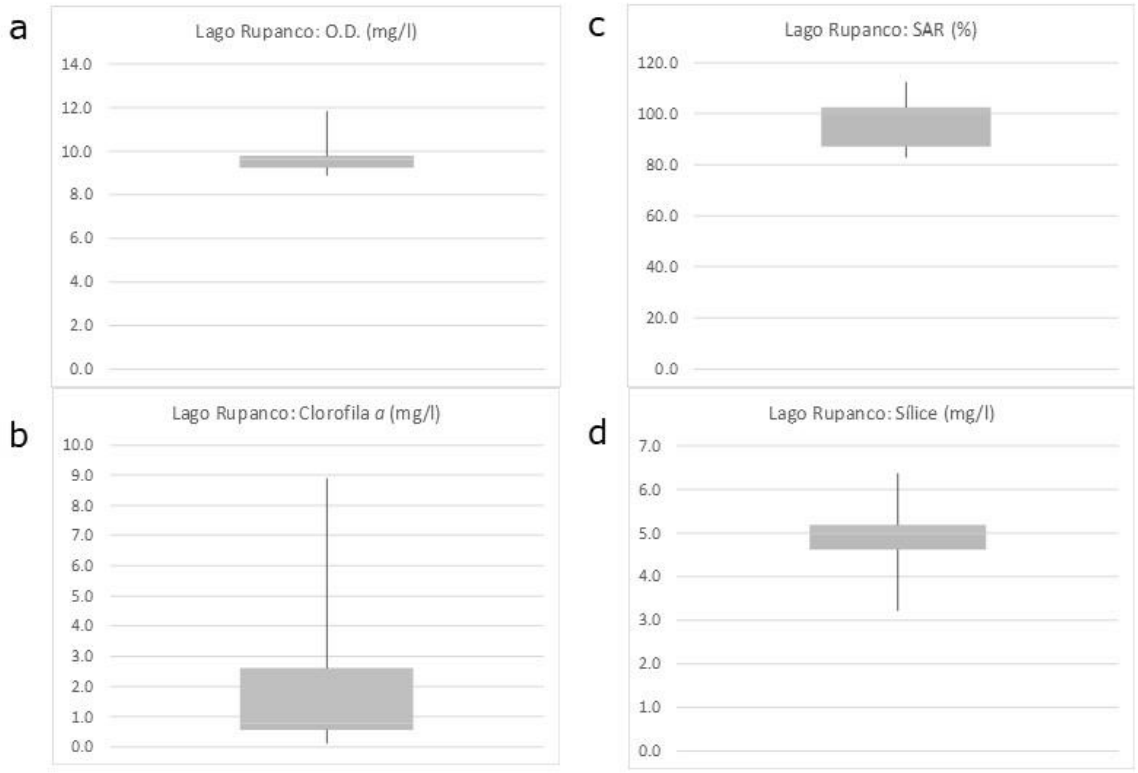


Lago Chapo: Este cuerpo lacustre presenta dos monitoreos el año 2015 y uno el 2017. El análisis de la información para estos periodos mostró que sólo dos variables mostraron valores atípicos, un valor atípico de oxígeno disuelto de 12.35 mg/l en Río Negro y un valor atípico de clorofila *a* de 9.63 mg/l. No obstante, valores similares ya habían sido registrados en periodos anteriores (DGA 2014).

Lago Todos los Santos: Este lago presentó un monitoreo el año 2017 y no se observaron datos anómalos en ninguna variable medida en aquel monitoreo.

Lago Rupanco: Este lago posee tres monitoreos, uno el 2014, otro el 2015 y otro el 2016. Durante estos monitoreos, presentó 6 valores atípicos de oxígeno disuelto (sobre el límite superior de 10.57 mg/l), 6 valores atípicos de SAR (sobre el límite superior de 125.7 %), 6 valores atípicos de clorofila *a* (sobre el límite superior de 5.6 mg/l) y 2 valores atípicos de sílice (uno sobre el límite superior de 6.05 mg/l y uno bajo el límite inferior de 3.74 mg/l) (Figura 20).

Figura 20. Rango de distribución de valores de oxígeno disuelto (a), SAR (b), clorofila *a* (c) y sílice (d) en lago Rupanco.



Lagos de la Isla Grande de Chiloé

Dado que los lagos que fueron analizados en esta zona geográfica (Lago Natri, Lago San Antonio, Lago Tarahuin, Lago Tepuhueico y Lago Yaldad) sólo mostraban 1 o 2 periodos de monitoreo, no se aplicaron análisis estadísticos para determinación de cuartiles. Sin embargo, una inspección visual inicial no detectó valores anómalos y aún más, los valores de parámetros físicos y químicos son similares a los reportados por Villalobos et al. (2003), quienes realizaron un estudio limnológico en cinco lagos de Chiloé (a saber, Lagos Natri, Tepuhueico, Tarahuín, Huillinco y Cucao).

b. Sistematización de datos biológicos (fitoplancton) 2014 – 2017.

Las planillas sistematizadas de datos disponibles de fitoplancton fueron entregadas en la primera etapa de este proyecto. Los análisis de composición comunitaria, índices de diversidad, presencia de algas tóxicas, aplicación de índices bióticos y análisis de ordenación para el componente fitoplanctónico para cada lago fue entregado en el punto 4.2.

c. Sistematización y análisis de datos de alta resolución temporal (2014-2017).

En la Tabla 17 se entregan los resultados de valores atípicos para estación Ensenada en Lago Llanquihue. Por su parte en Figuras 21, 22, 23 y 24 se entregan gráficos Box-Plot y perfiles de temperatura versus profundidad para esa estación. Los resultados completos para todos los lagos son entregados en ANEXO DIGITAL 3.

Tabla 17. Límites para definir valores atípicos en sector Ensenada del Lago Llanquihue

TEMPERATURA °C	ENERO	MARZO	SEPTIEMBRE
Límite inferior leve	11,20	1,95	10,95
Límite superior leve	11,22	26,65	11,80

Figura 21. Box Plot Temperatura (°C), para meses de enero (a), marzo (b) y septiembre (c) en estación Ensenada, Lago Llanquihue.

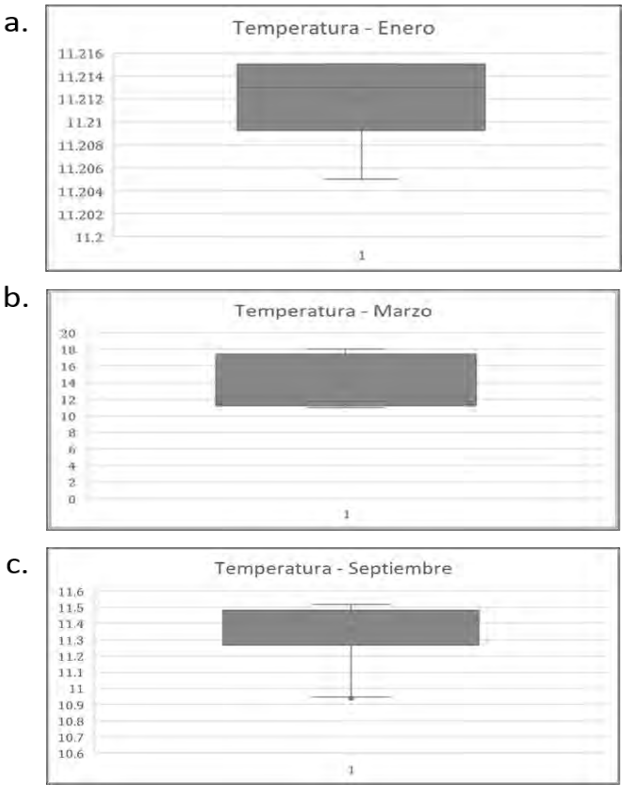


Figura 22. Perfil Temperatura versus profundidad - Enero – Ensenada – Lago Llanquihue.

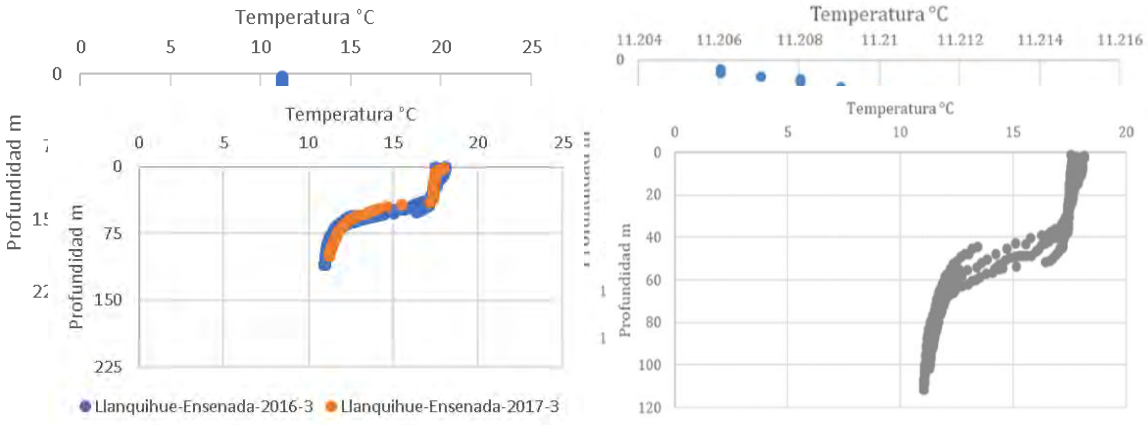
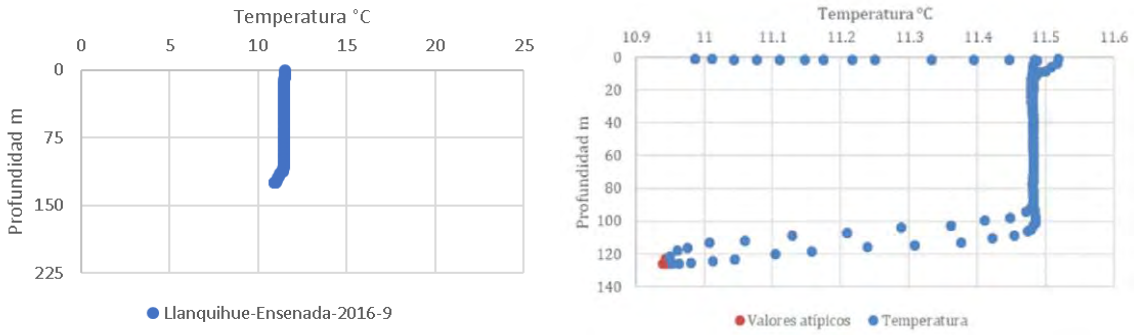


Figura 23. Perfil Temperatura versus profundidad - Marzo – Ensenada – Lago Llanquihue.

Figura 24. Perfil Temperatura versus profundidad - Septiembre – Ensenada – Lago Llanquihue.



4.1.2 Sistematizar y generar una base de datos periodo 1986-2000.

Una vez revisados en LADGA los datos de NTK y NT que presentaban inconsistencias en las bases de datos entregadas por DGA para su sistematización, se determinó el origen de los datos y se tomaron decisiones para su corrección que se señalan en la Tabla 18. Para los casos en que no se pudo determinar el origen de los datos se entregan recomendaciones a DGA para su fututo manejo.

Tabla 18. Resumen de las inconsistencias que fueron encontradas en el proceso de revisión de variables nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y nitrógeno total (NT).

Cuerpo lacustre	Naturaleza de la inconsistencia en los datos	Resultado de la revisión en LADGA
Aculeo	- Hay casos con el mismo valor tanto en NTK como en NT. -En las fechas que hay datos de NTK, no hay datos de NT.	En los casos de valores repetidos, se confirmó que correspondían a NTK. Además, la base de datos de LADGA indica que los datos están clasificados correctamente, por lo que se conserva la información tal como estaba ingresada en la base de datos original.
Laguna Grande de San Pedro	En algunos casos el valor de NTK es igual al valor de amonio.	De acuerdo a la base de datos de LADGA, los valores correspondían a amonio, por lo que se eliminaron cuando estaban ingresados como NTK.
Lanalhue	-Solamente hay datos de NT en el año 1998. -No hay datos de NTK para 1998	En LADGA no se encuentra esta información. Por lo que se conserva la información tal como estaba ingresada en la base de datos original.
Villarrica	Los valores de NT son menores a NTK en hasta 3 órdenes de magnitud.	La base de datos de LADGA indica que los datos están ingresados correctamente, por lo que se conserva la información tal como estaba ingresada en la base de datos original. Sin embargo, se recomienda a DGA eliminar NTK de este periodo.
Llanquihue	En algunos casos el NT es menor a NTK.	En LADGA no hay información para chequear los datos de antes del año 2000 para este lago, por lo que se mantienen los datos.

En aquellos casos en que el consultor no pudo verificar la información de la naturaleza de los datos por no existir registros previos, se recomienda a DGA decidir el destino de estos datos, dependiendo de cada caso, tal como se indicó en la tabla anterior.

a. Detección de datos atípicos en cuerpos lacustres sistematizados en periodo 1986-2000.

Al igual que para el periodo 2014-2017, el análisis de valores atípicos será realizado para cada sistema lacustre sistematizado en este periodo, entregando gráficos tipo Box-plot del rango de distribución cuando los valores atípicos eran mayores a 5 valores por lago.

Lago Lanalhue: Para el periodo 1991-2000, Lago Lanalhue registró sólo un valor atípico de oxígeno disuelto (0.06 mg/l), un valor atípico de SAR de 0.7 % y dos valores atípicos de clorofila *a* (sobre 100 ug/l).

Lago Villarica: Para el periodo 1986-2000, Lago Villarica registró solo un valor atípico de conductividad eléctrica (117 uS/cm en estación Bahía Villarica, verano 1990) y un valor atípico de pH (0.85 en estación Pucón, primavera 1986).

Lago Calafquén: En el periodo 1997-1998, Lago Calafquén no registró valores atípicos en ninguna de las variables analizadas.

Lago Panguipulli: Para el periodo 1997-2000, Lago Panguipulli no registró valores atípicos en ninguna de las variables analizadas.

Lago Llanquihue: En el periodo 1986-2000, Lago Llanquihue registró solo un valor atípico de clorofila a de 24.6 en estación Río Tepu en invierno de 2015.

Lago Ranco: En el periodo 1987-2000, Lago Ranco mostró sólo un valor atípico de nitrógeno de amonio (0.980 mg/l en estación Futrono, verano 1990) y un valor atípico de fósforo de ortofosfato (0.500 mg/l en estación Riñiñahue, invierno 1990).

Lago Riñihue: En el periodo 1986-2000, Lago Riñihue mostró dos valores atípicos de conductividad eléctrica (de 4.9 uS/cm y 4.1 uS/cm en estaciones Enco y Riñihue para otoño de 1987), un valor atípico de oxígeno disuelto (de 80 mg/l en estación Enco en otoño de 1997) y un valor atípico de DQO (de 300 mg/l en estación Riñihue en invierno 1990).

Laguna Grande de San Pedro: Entre el periodo 1988 y 2000 esta laguna mostró 11 valores atípicos de conductividad: 9 bajo el límite inferior de 70.6 uS/cm y 3 sobre el límite superior de 129 uS/cm, 6 valores atípicos de oxígeno disuelto bajo el límite inferior de 3.95 mg/l (Figura 25), y 3 valores atípicos de turbiedad sobre el límite superior de 10.3 NTU.

Laguna de Aculeo: Para el periodo 1986-1999, en Laguna de Aculeo se registraron 8 valores atípicos de conductividad eléctrica: 2 sobre el límite superior de 364 uS/cm y 6 bajo el límite inferior de 113 uS/cm; 6 valores atípicos de oxígeno disuelto bajos el límite inferior de 2.8 mg/l; 48 valores atípicos

en SAR (sobre el límite superior de 97.3 %); 11 valores atípicos de nitrógeno de nitrato sobre el límite superior de 0.39 mg/l; 9 valores atípicos de nitrógeno total mayor al límite superior de 1.96 mg/l; 5 valores atípicos en clorofila a sobre el límite superior de 196 ug/l;y 12 valores atípicos en sílice sobre el límite superior de 10.3 mg/l (Figura 26).

Figura 25. Box-plot de distribución de datos para variables conductividad eléctrica (a), oxígeno disuelto (b) en Laguna Grande de San Pedro.

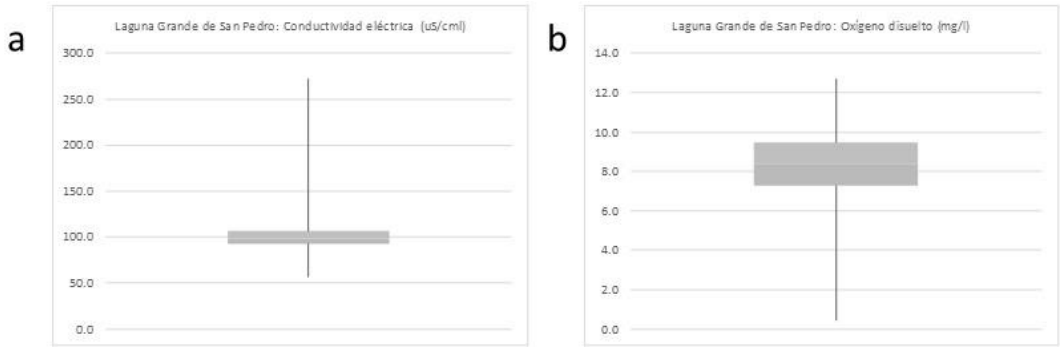
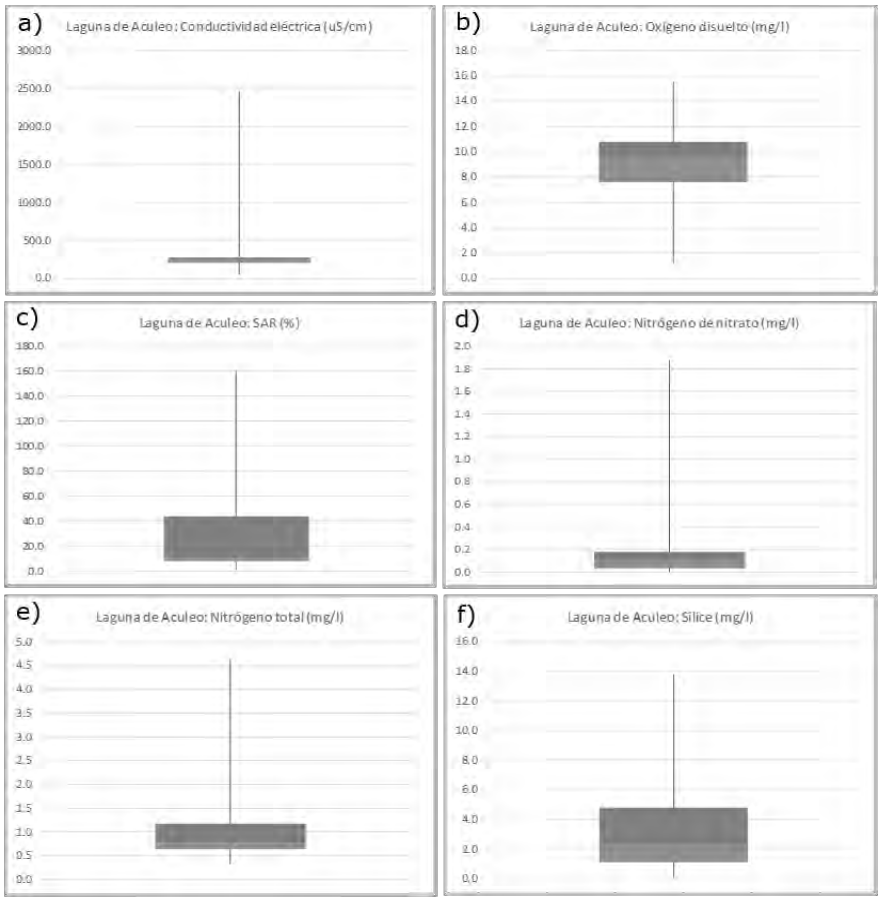


Figura 26. Box-plot de distribución de datos para variables conductividad eléctrica (a), oxígeno disuelto (b), SAR (c), nitrógeno de nitrato (d), nitrógeno total (e) y sílice (d) en Laguna de Aculeo.



4.1.3 Sistematizar y analizar la información de alta resolución temporal (sensores) de los lagos de Aysén.

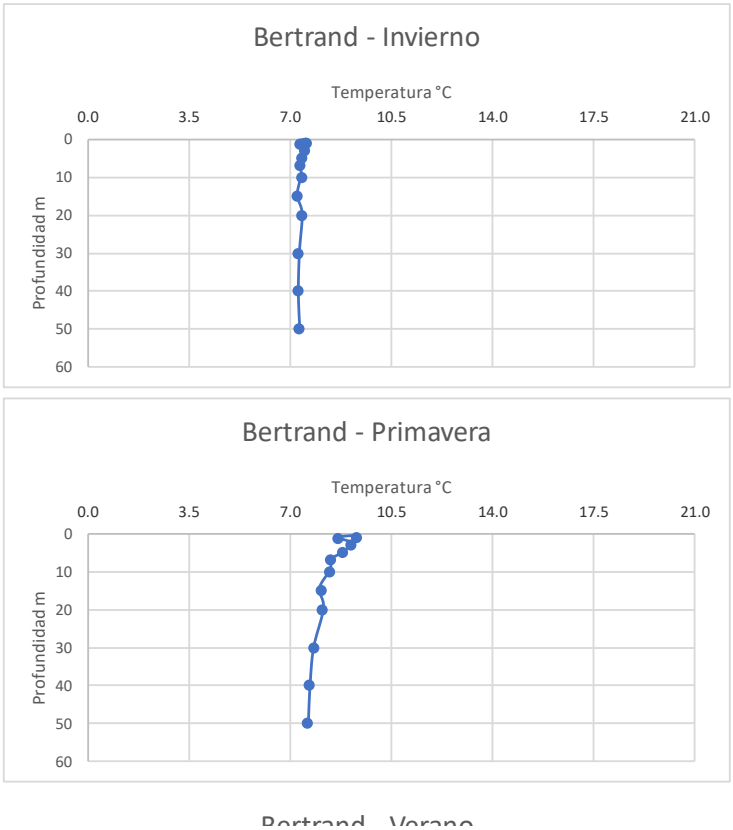
En ANEXO DIGITAL 5 son entregados para cada lago analizado de la Región de Aysén, gráficos que muestran la evolución temporal de variables análizadas para cada profundidad.

1. Condición hidrodinámica en Lago Bertrand.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica en la Región de Aysén. Esta región tiene un clima frío oceánico, caracterizado por condiciones inhóspitas, de bajas temperaturas, precipitaciones abundantes y fuertes vientos. Lago Bertrand es una prolongación del Lago General Carrera, y en su extremo sur nace el Río Baker que abarca una superficie de 26726 km^2 (Sánchez & Morales 2002).

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de valores promedio de mediciones realizadas el año 2011 y 2012 mostró condiciones de mezcla en invierno y estratificación de la columna de agua en primavera (Figura 27).

Figura 27. Perfiles de temperatura en lago Bertrand.



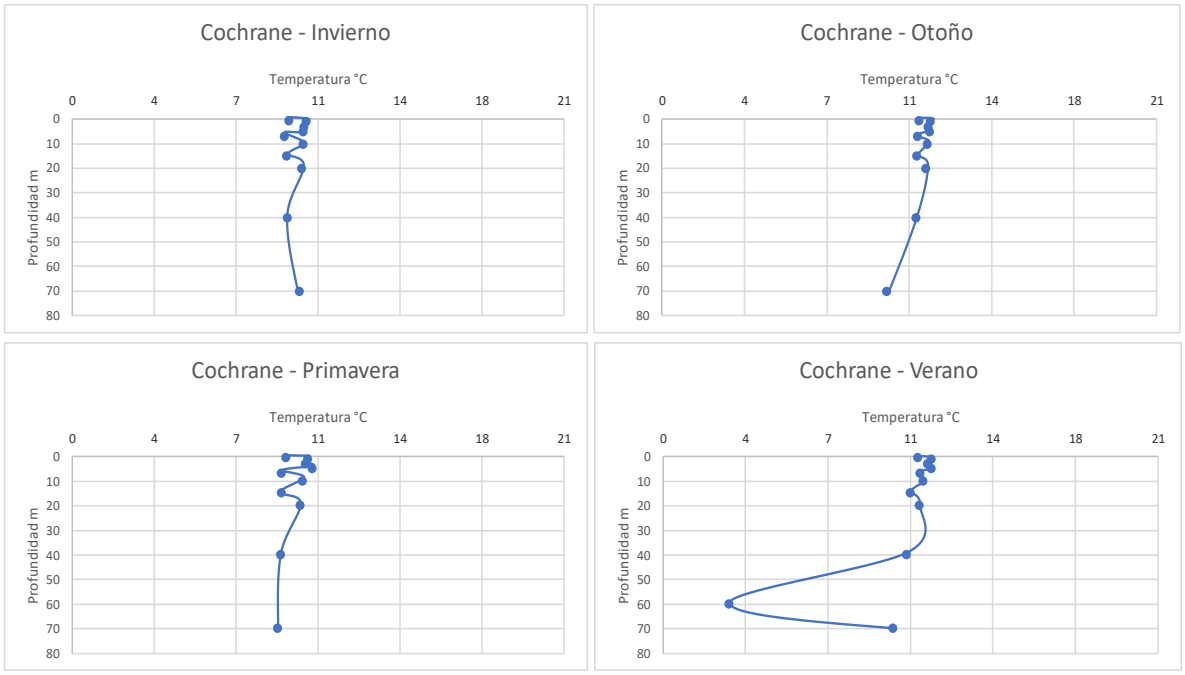
Los resultados de análisis para los 9 cuerpos lacustres analizados de la Región de Aysén son entregados en ANEXO DIGITAL 4. No obstante, a continuación, se entrega un análisis de la condición hidrodinámica obtenida a partir de perfiles de temperatura para cada lago.

2. Condición hidrodinámica en Lago Cochrane.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica en la Región de Aysén y es compartido por Chile y Argentina, donde recibe el nombre de lago Pueyrredón. El lago tiene una superficie total de 325 km², de los cuales 175 km² se encuentran en el sector chileno y 145 Km² pertenecen a la provincia argentina de Santa Cruz (Sánchez & Morales 2002).

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de valores promedio de mediciones realizadas en los años 2015 y 2016 sugirió condiciones de mezcla en otoño y, estratificación de la columna de agua en invierno, primavera y verano (Figura 28).

Figura 28. Perfiles de temperatura en lago Cochrane.

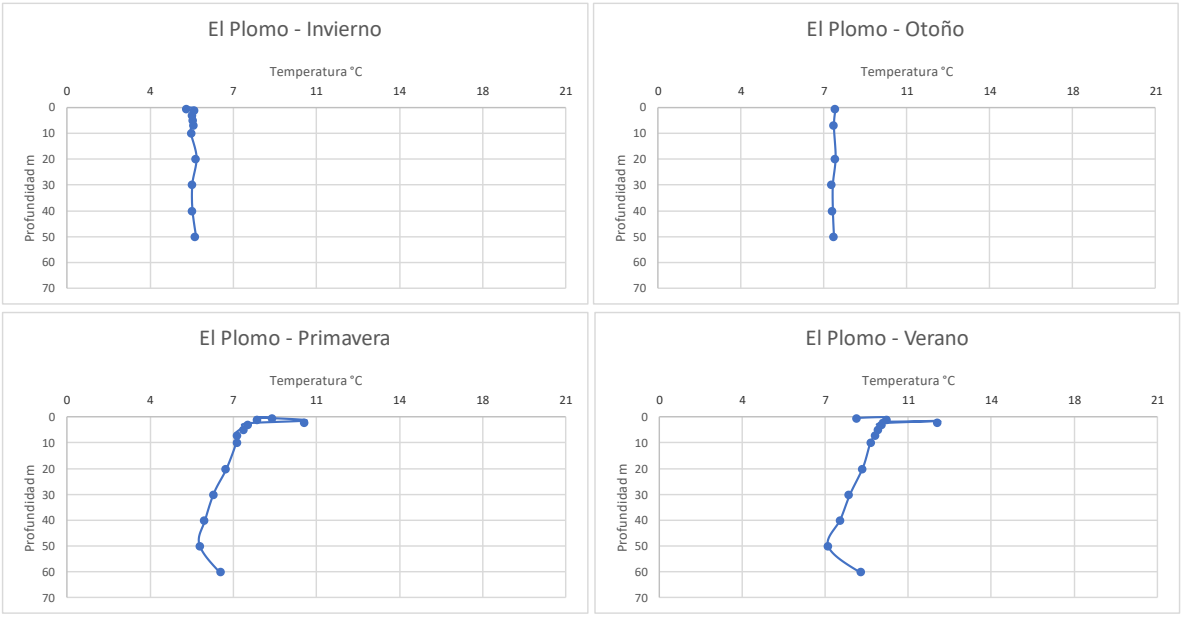


3. Condición hidrodinámica en Lago El Plomo.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica específicamente en la región de Campo de Hielo Patagónico Norte. Es un lago proglacial, oligotrofico y profundo (> 200 m de profundidad máxima) que se encuentra a una altitud de 203 m y pertenece al sistema del Río Baker (Elbert et al. 2015).

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de valores promedio de mediciones realizadas en los años 2011 y 2013 sugirió condiciones de mezcla en otoño e invierno, y estratificación de la columna de agua en primavera y verano, donde el aumento de la temperatura provoca una disminución de la cubierta de hielo, lo que podría caracterizar a este lago como dimíctico frío (Figura 29).

Figura 29. Perfiles de temperatura en lago El Plomo.

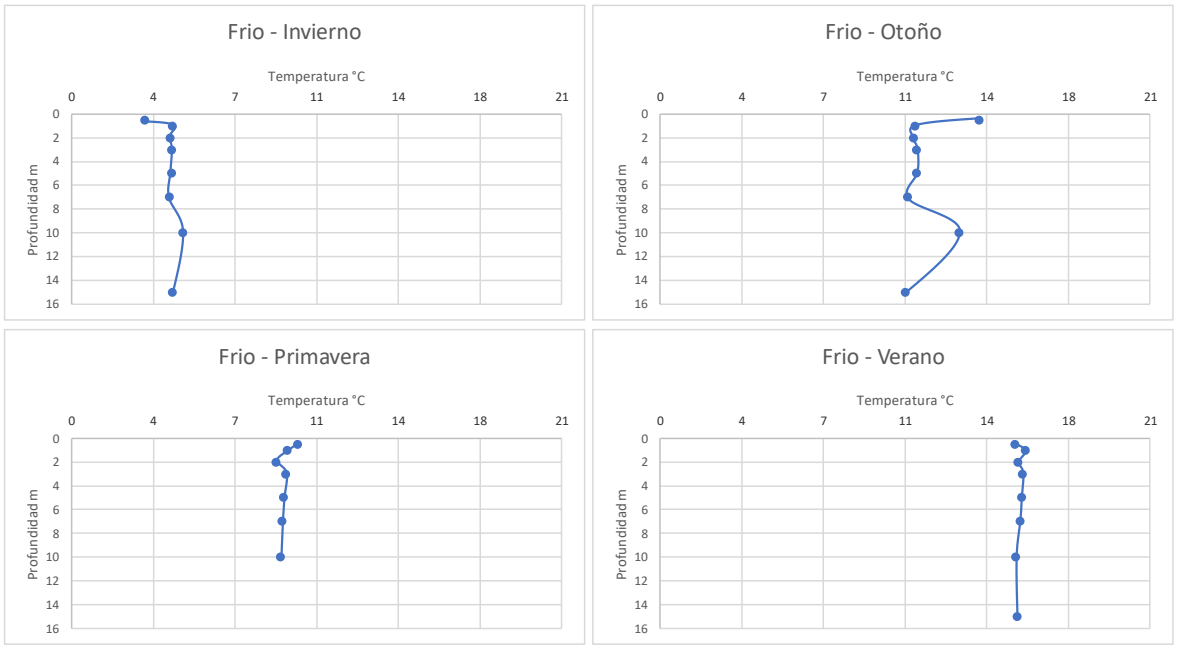


4. Condición hidrodinámica en Lago Frío.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica y pertenece al sistema del Río Aisén la región de Campo de Hielo Patagónico Norte. Es un lago pequeño de 3,8 km^2 ubicados al oriente de la Ciudad (Sánchez & Morales 2002). El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de valores promedio de mediciones realizadas en los años 2012 y 2017 sugirió condiciones de mezcla en invierno y verano, y estratificación en otoño y primavera (

Figura *30*).

Figura 30. Perfiles de temperatura en Lago Frío.

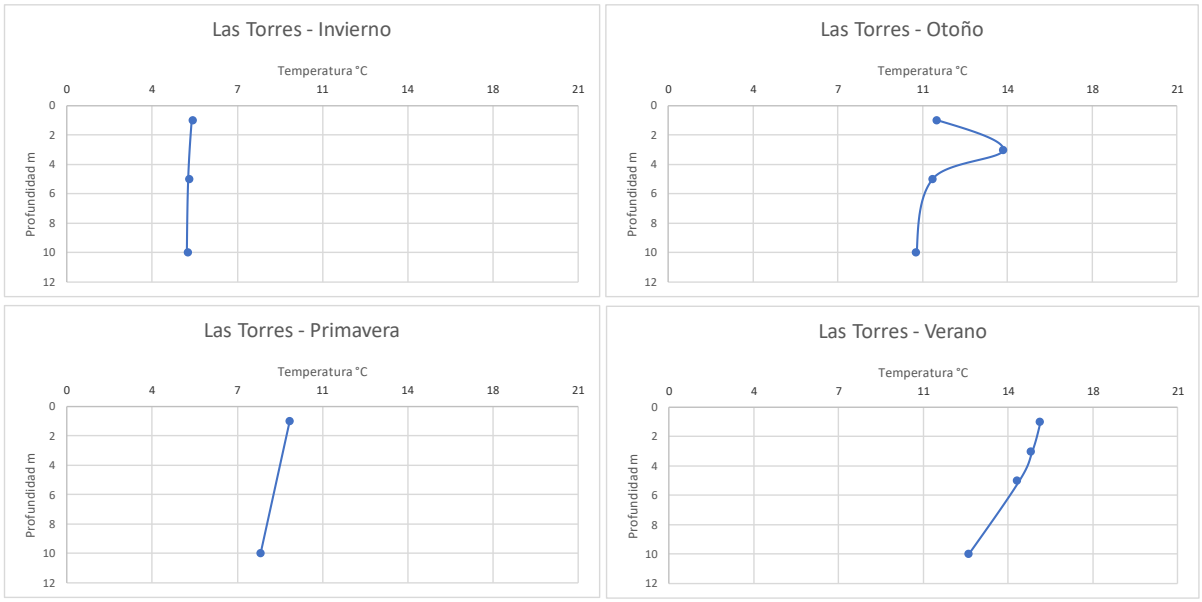


5. Condición hidrodinámica en Lago Las Torres.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica y se encuentra dentro de la Reserva Nacional Lago Las Torres a 120 km de la Ciudad de Coyhaique. Pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Cisnes, cuya hoya hidrográfica tiene una superficie de 5196 km^2 (Sánchez & Morales 2002).

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de mediciones realizadas el año 2014 sugirió condiciones de mezcla en invierno y estratificación en otoño, primavera y verano, lo que permitiría caracterizar a este lago como monomíctico frío (Figura 31).

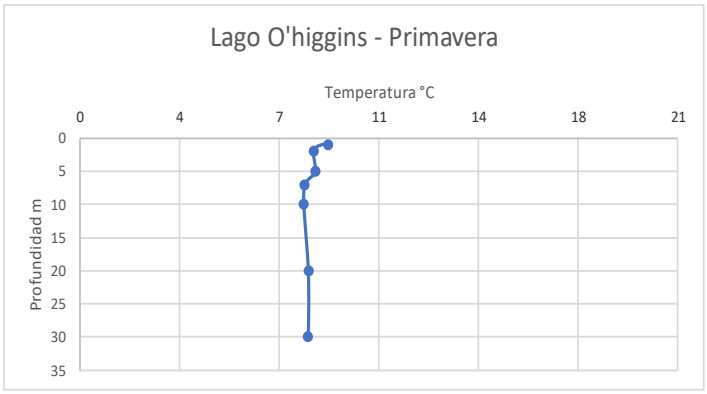
Figura 31. Perfiles de temperatura en lago Las Torres.



6. Condición hidrodinámica en **Lago O'Higgins**.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica. Forma parte de la cuenca del Río Pascua, el cual tiene una hoya hidrográfica es de 14.760 km^2, donde el 45,5% corresponde a territorio chileno. En territorio argentino recibe el nombre de Lago San Martín. De la ribera norte de este lago nace el río Pascua, que es el más torrentoso de los ríos patagónicos. Desemboca en el fiordo Calén después de recorrer 62 kilómetros (Sánchez & Morales 2002). El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de mediciones realizadas en noviembre del año 2010 mostró condiciones de estratificación para este periodo (Figura 32).

Figura 32. Perfiles de temperatura en Lago O´Higgins

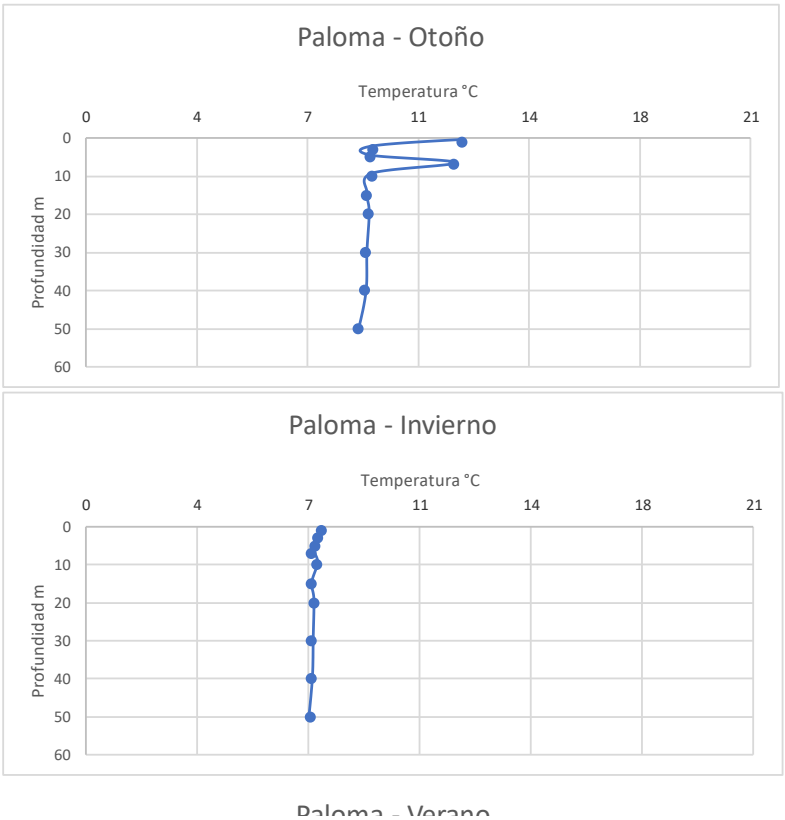


7. Condición hidrodinámica en Lago La Paloma.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica. Se encuentra a 42 km al sur de la Ciudad de Coyhaique y pertenece al sistema del Río Aisén, el cual tiene una superficie de 11674 km^2 en la Región de Campo de Hielo Patagónico Norte (Sánchez & Morales 2002).

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de mediciones realizadas el año 2012 mostró condiciones de mezcla en invierno y estratificación en primavera (Figura 33).

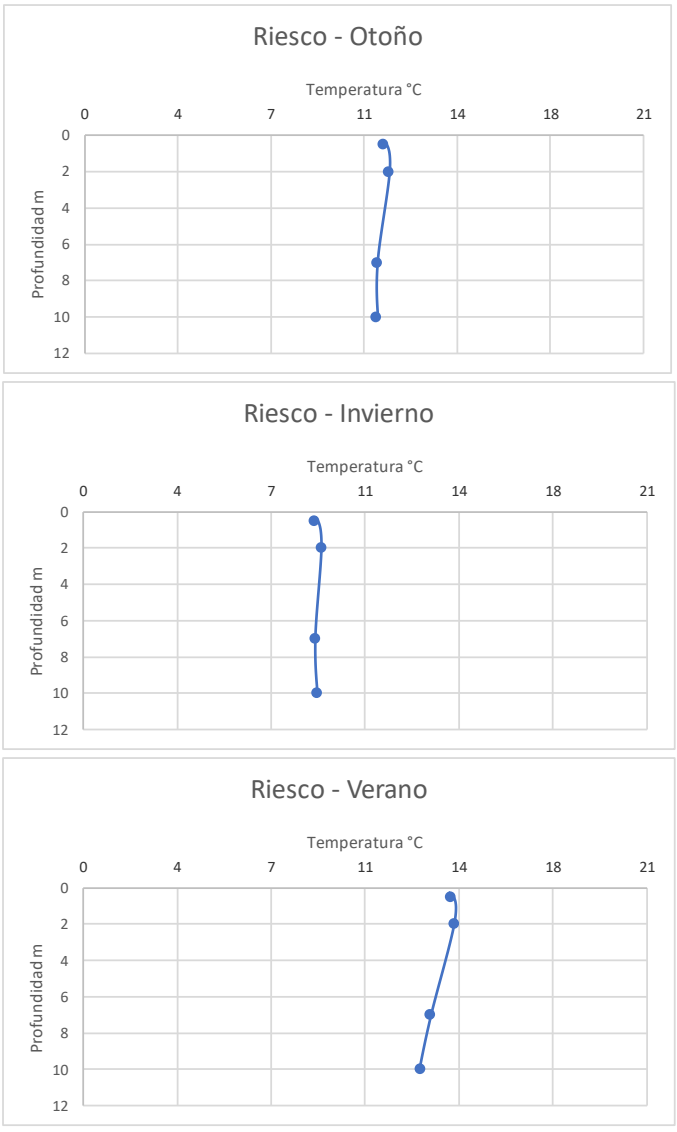
Figura 33. Condición hidrodinámica en Lago La Paloma



8. Condición hidrodinámica en Lago Riesco.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica, posee una superficie de 147 km^2 y una profundidad máxima de 130 m (De Los Ríos 2008). Este lago ha sido caracterizado como oligotrófico (CEA 2014). El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de mediciones realizadas el año 2016, sugirió condiciones de mezcla en los periodos de mostró condiciones de mezcla en otoño e invierno y estratificación en verano (Figura 34)

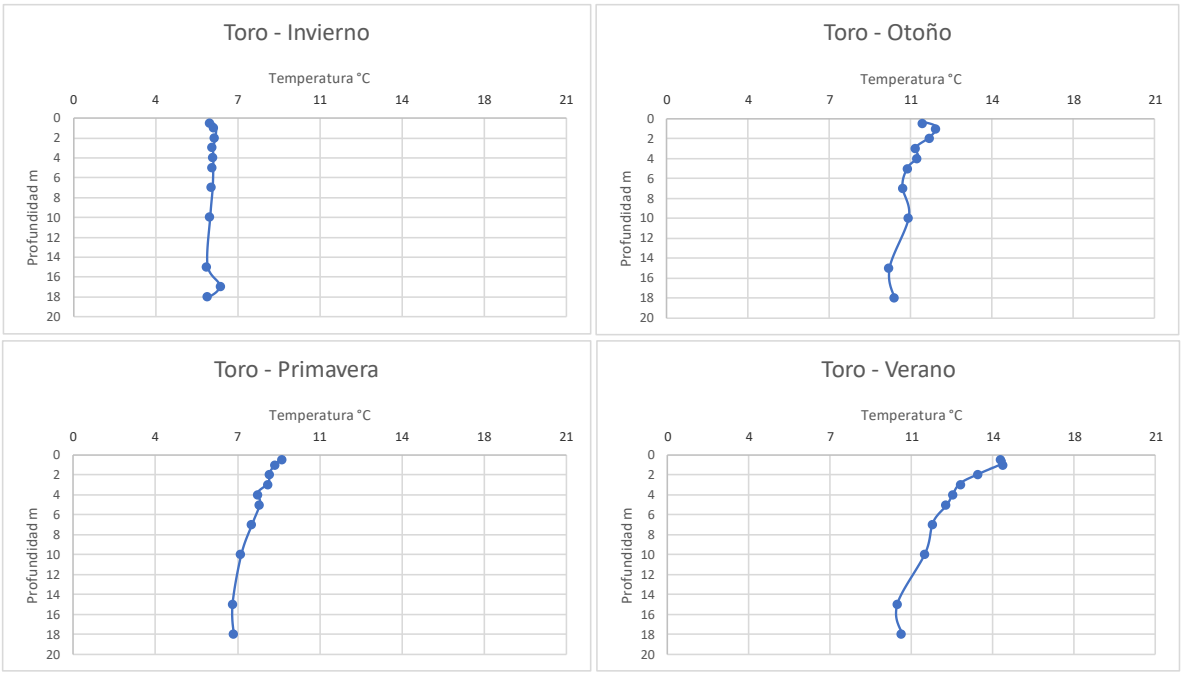
Figura 34. Perfiles de temperatura en lago Riesco.



9. Condición hidrodinámica en Lago Del Toro.

Este lago pertenece a la ecorregión Patagónica, posee un área de 196 km^2 y una profundidad máxima de 300 m (De Los Ríos, 2009). Este lago ha sido caracterizado como oligotrófico (CEA 2014). El análisis de perfiles de temperatura obtenidos en este lago a partir de valores promedio de mediciones realizadas entre el año 2014 y 2017, mostró condiciones de mezcla en invierno y estratificación de la columna de agua en otoño, primavera y verano. Este análisis permite caracterizar a este lago como monomíctico frío (Figura 35).

Figura 35. Perfiles de temperatura en Lago Toro



4.2. RESULTADOS ACTIVIDADES ETAPA 2.

4.2.1. Análisis actualizado de la evolución temporal y espacial de trofía de lagos de la Red de Monitoreo de Lagos.

a. Análisis de la condición hidrodinámica de los lagos de la Red de Monitoreo de Lagos.

El comportamiento térmico vertical de los lagos de la Red de Control de Lagos con información disponible se describe en la Tabla 19. Teniendo en cuenta que para algunos periodos no se dispone de registros para determinar la condición térmica para todos los periodos del año, se puede observar que los cuerpos lacustres que presentaron estratificación térmica en todos los meses del año fueron Aculeo, Laguna Grande de San Pedro, Panguipulli y Chapo. Aquellos lagos en que se puede decir que presentaron condición hidrodinámica monomíctica, ya que se dispone de información para todas las estaciones del año, fueron Calafquén, Ranco, Maihue, Puyehue y Llanquihue. Entre los sistemas estratificados, el que presentó la mayor profundidad del epilimnion fue Todos los Santos, donde la zona mezclada alcanzó los 68 metros en promedio durante el invierno, seguido del lago Riñihue cuyo epilimnion alcanzó 30 metros en promedio en primavera. Llama la atención la presencia de estratificación térmica en la laguna Aculeo y San pedro, ya que se trata de sistemas someros. La estación del año más recurrente donde se detectó una columna de agua completamente mezclada fue en invierno, aunque en la laguna Vichuquén la mezcla ocurrió en otoño y en Colico fue en primavera.

Tabla 19. Valores de Z_m promedio por periodo estacional para la estación de muestreo representativa de cada cuerpo lacustre.

Cuerpo lacustre	Estación de muestreo	Condición hidrodinámica	Z_m (m) promedio por periodo estacional			
			Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Laguna Aculeo	Puntilla León	Estratificada	0.6	0.65	1	1
Laguna Torca	Centro	-	10	5	S.R.	5
Lago Vichuquén	Centro	-	10	Mezcla	S.R.	10
Laguna de San Pedro	Centro	Estratificada	5	1	3	3
Laguna Lloncao	Centro	* Monomíctica	20	20	Mezcla	S.R.
Lago Lanalhue	Centro	-	2	S.R.	2	S.R.
Lago Lleu-Lleu	Centro	-	S.R.	S.R.	Mezcla	15
Lago Colico	Centro	* Monomíctica	10	20	S.R.	Mezcla
Lago Caburgua	Centro	Monomíctica	10	15	Mezcla	10
Lago Villarrica	Centro	-	10	S.R.	S.R.	10
Lago Calafquén	Centro	Monomíctica	5	15	Mezcla	10
Lago Panguipulli	Centro	Estratificada	3	10	10	10
Lago Neltume	Centro	-	10	20	S.R.	20
Lago Riñihue	Centro	-	20	10	S.R.	30

Cuerpo lacustre	Estación de muestreo	Condición hidrodinámica	Z_m (m) promedio por periodo estacional			
			Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Lago Pirihueico	Estación 1	Monomíctica	20	10	Mezcla	20
Lago Ranco	Futrono	Monomíctica	10	5	Mezcla	20
Lago Maihue	Centro	Monomíctica	7	3	Mezcla	7
Lago Puyehue	Centro	Monomíctica	10	10	Mezcla	10
Lago Rupanco	Cascada	-	20	20	S.R.	20
Lago Todos los Santos	Centro	-	15	S.R.	68	30
Lago Llanquihue	Puerto Varas	Monomíctica	5	5	Mezcla	5
Lago Chapo	Centro	Estratificada	15	15	15	15

*S.D.= Sin registros para ese periodo estacional.

A continuación, se muestra la caracterización de la condición hidrodinámica para cada lago.

1. Laguna Aculeo

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado en estación Puntilla de León con los datos obtenidos el año 2014, mostró que este sistema presenta varios estratos de temperatura entre la superficie y los 7 metros de profundidad con menor amplitud térmica en verano (Figura 36). Estas mismas condiciones fueron observadas en los perfiles de oxígeno disuelto y clorofila a, donde los valores más altos fueron observados en invierno y en otoño, respectivamente (Figura *37*).

Figura 36. Variación estacional de la condición hidrodinámica en Laguna Aculeo.

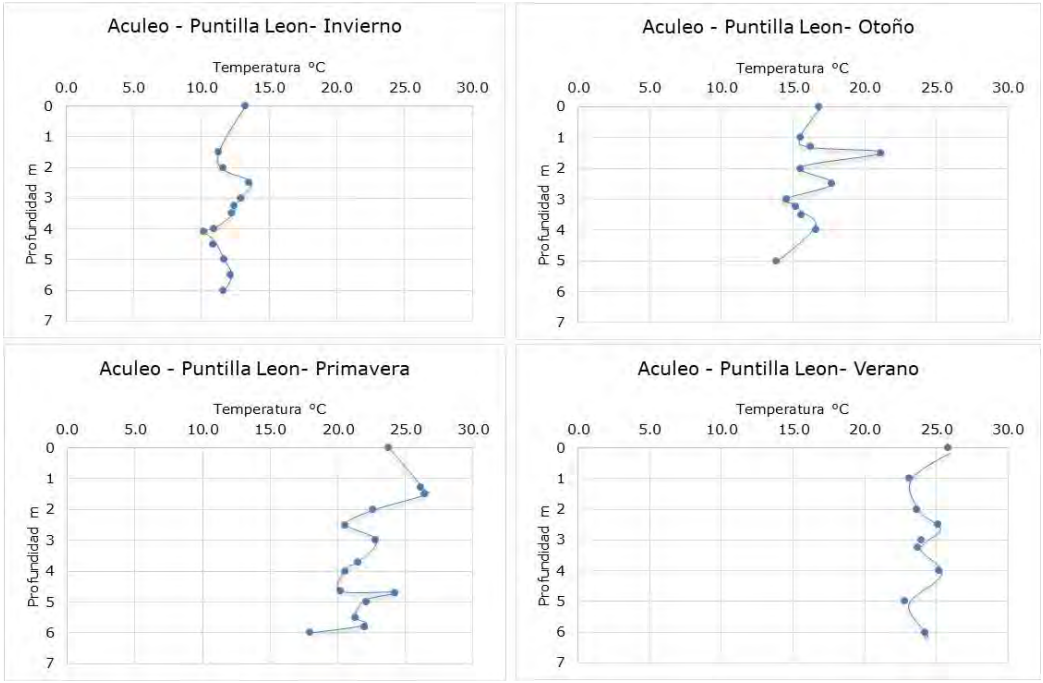
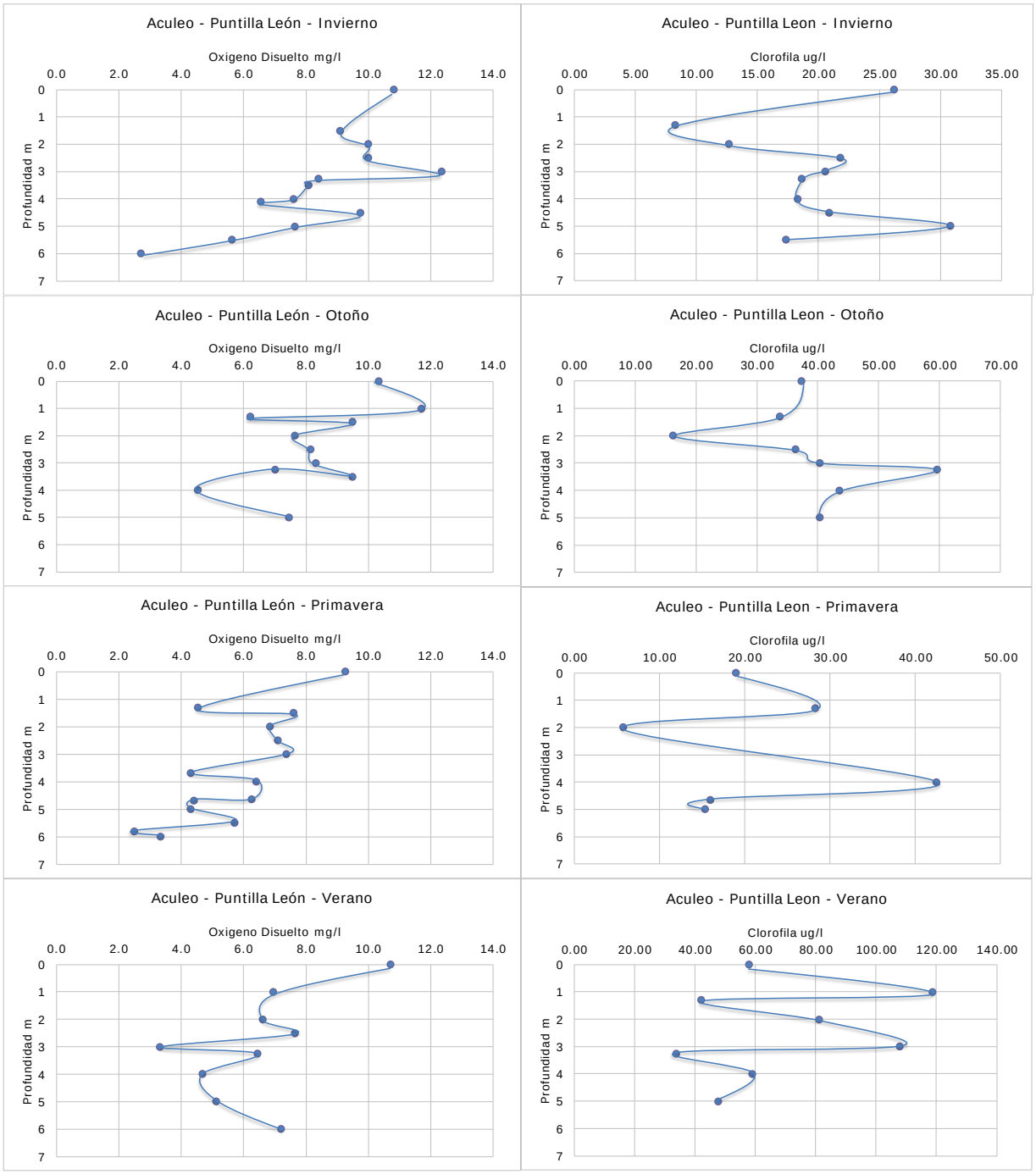


Figura 37. Variación estacional de la concentración de oxígeno disuelto y clorofila a en estación Puntilla de León en Laguna Aculeo.



2. Lago Caburgua

Los perfiles verticales de temperatura en estación Centro del Lago Caburgua obtenidos el año 2017, mostraron mezcla en invierno y estratificación en otoño, primavera y en verano, con mayor amplitud o con una estratificación más marcada en verano (Figura 38). En base a esto, se puede inferir que lago Caburgua es monomíctico temperado. Los perfiles verticales para oxígeno disuelto y clorofila fueron similares, y mostraron mayor variación vertical en verano (Figura 39).

Figura 38. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Caburgua.

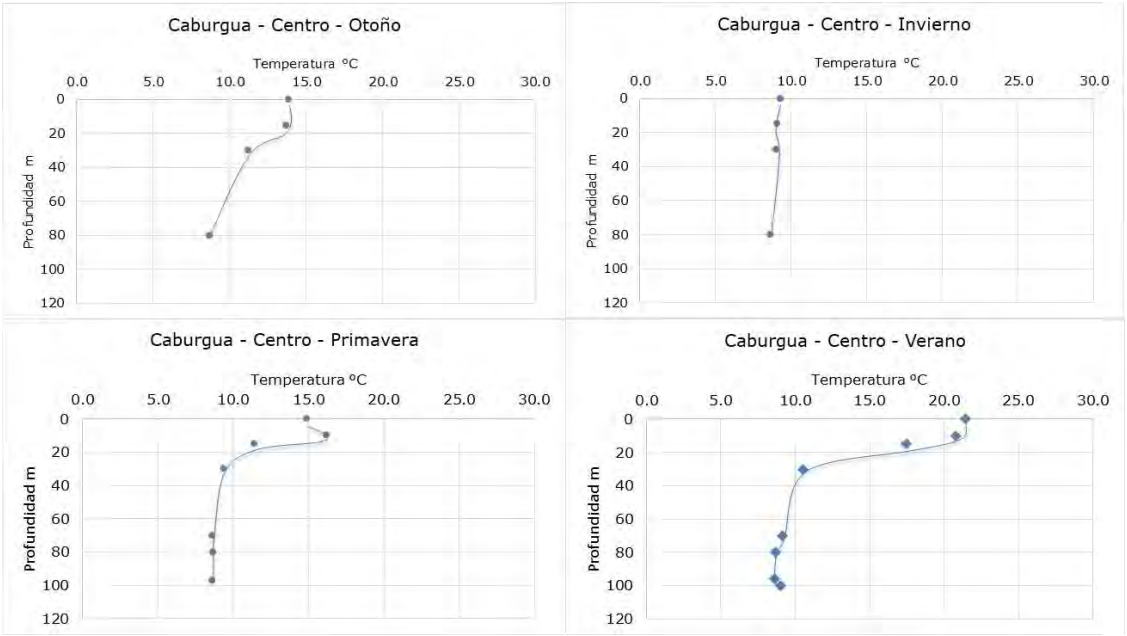
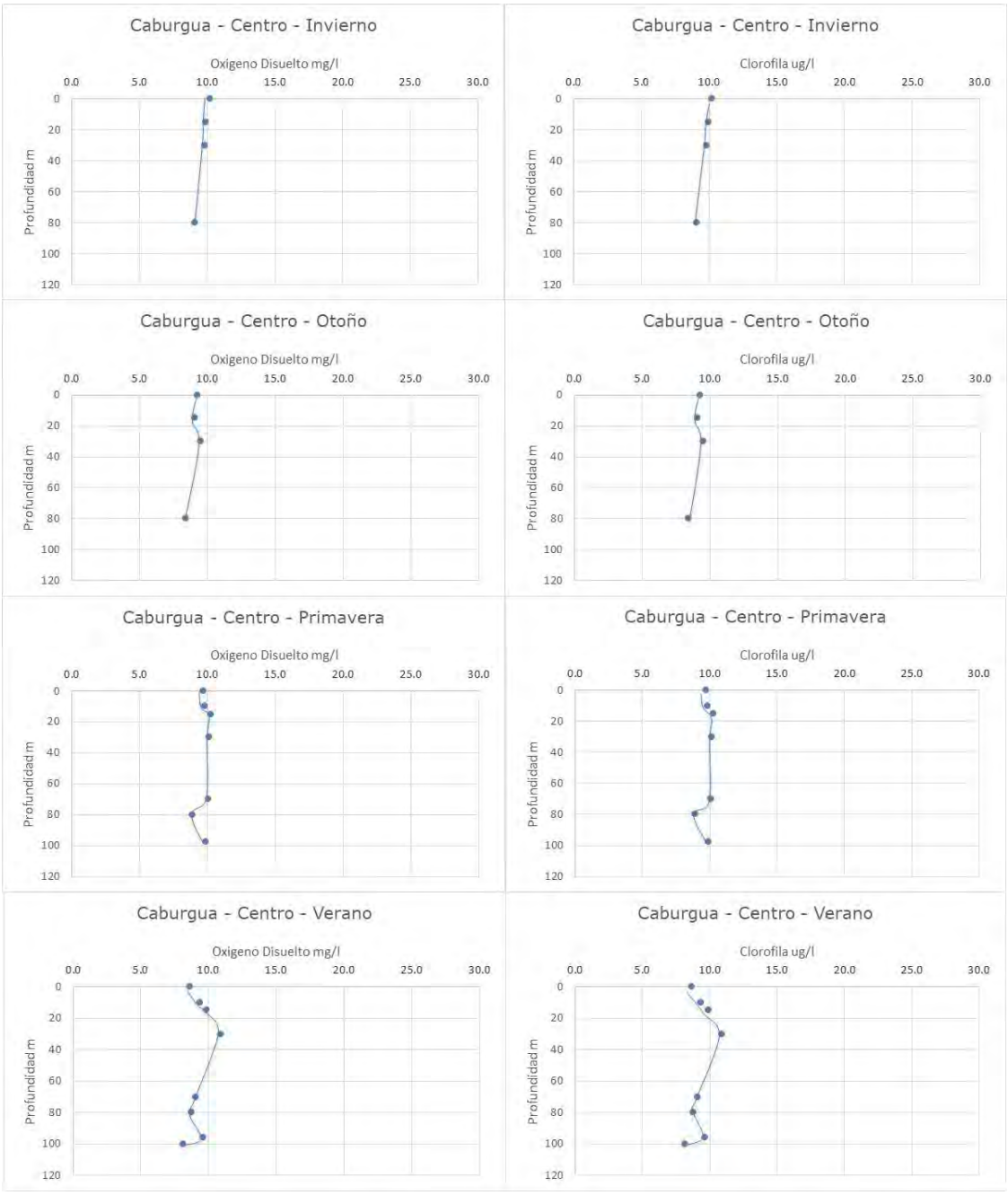


Figura 39. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila *a* en estación Centro de Lago Caburgua.



3. Lago Calafquén

El análisis de perfiles de temperatura obtenidos el año 2016 en estación Centro para el lago Calafquén mostró mezcla en invierno y estratificación en otoño, primavera y verano, con la mayor amplitud de temperatura registrada en verano (Figura 40). En base a esto se puede inferir que este lago es monomíctico temperado. Por su parte, los perfiles de oxígeno disuelto y clorofila mostraron menor variabilidad en otoño e invierno respectivamente (Figura 41). Los valores más altos de clorofila fueron registrados en invierno.

Figura 40. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro de lago Calafquén.

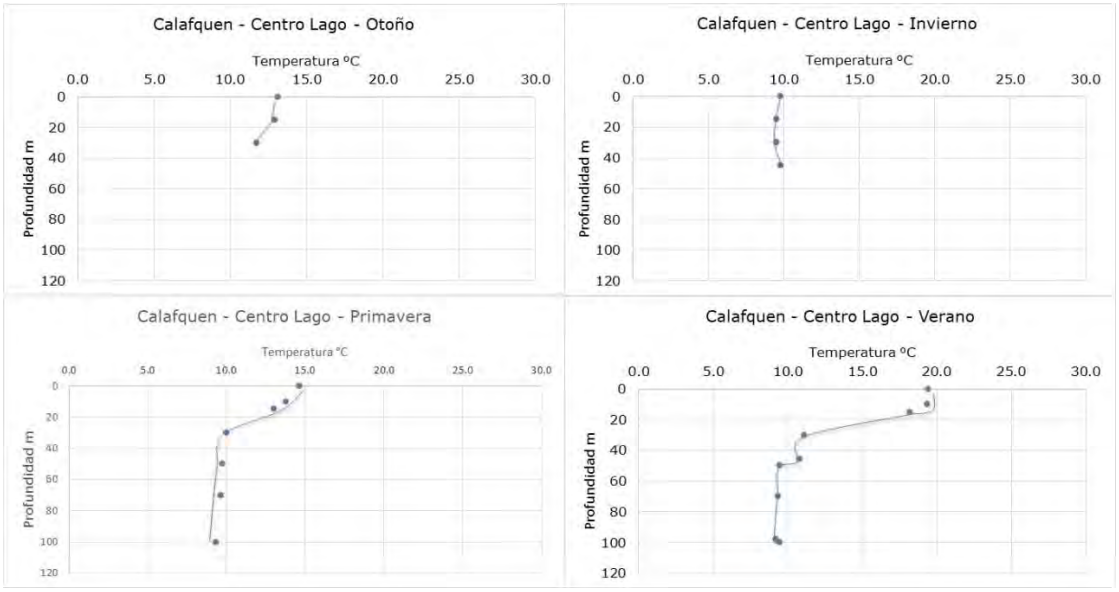
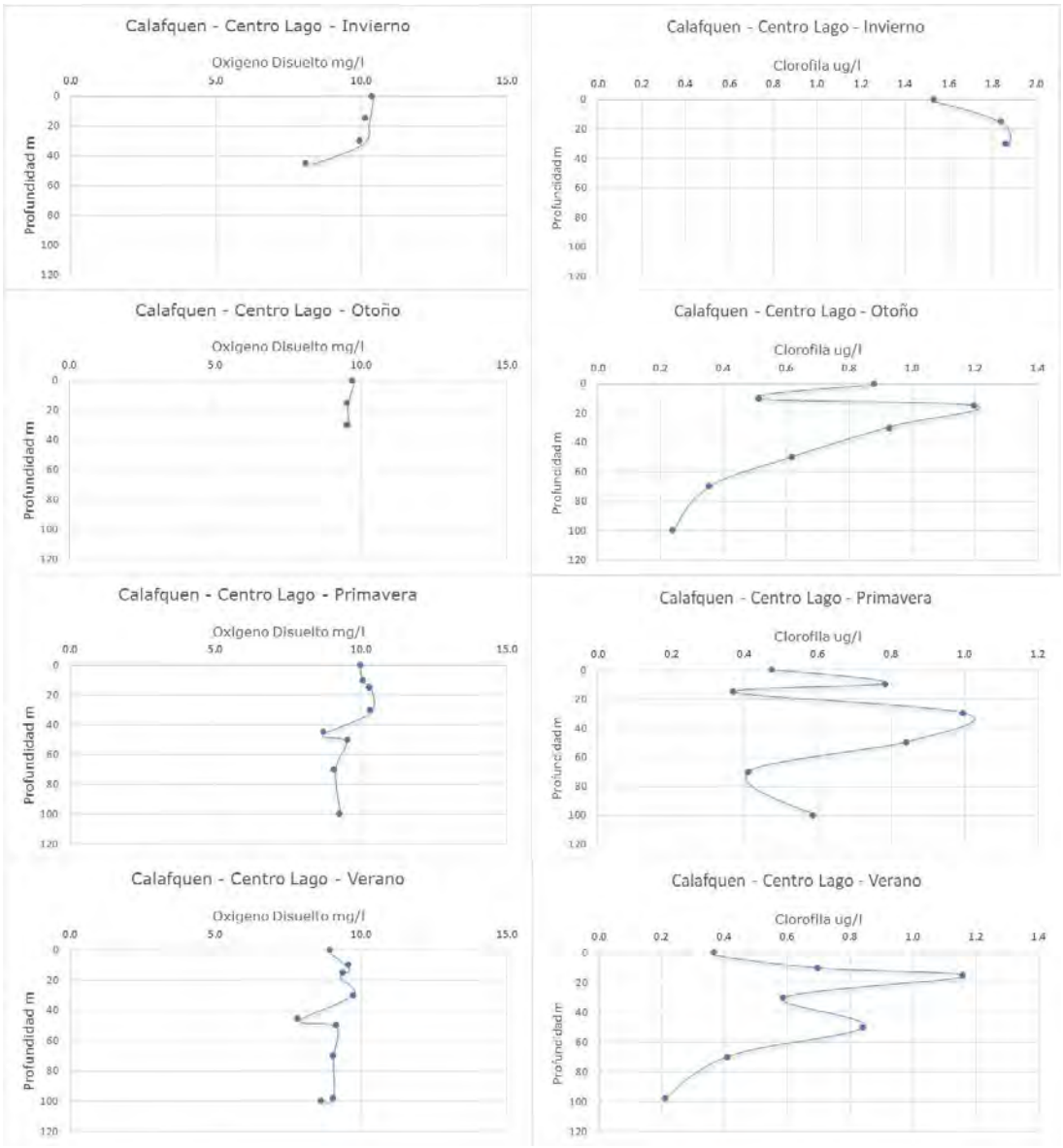


Figura 41. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila *a* en estación Centro en lago Calafquén.



4. Lago Chapo

El análisis de los perfiles verticales de temperatura en estación Centro en Lago Chapo mostró al igual que para lagos Calafquén y Caburgua, mezcla en invierno y estratificación en primavera y verano (Figura 42). No obstante, no se puede determinar la condición hidrodinámica en otoño dado que los registros verticales no superaron los 40 metros de profundidad. Los perfiles de oxígeno disuelto y clorofila no mostraron grandes variaciones entre los 4 periodos, sin embargo, en invierno fueron registrados los valores más bajos de clorofila (Figura 43).

Figura 42. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Chapo.

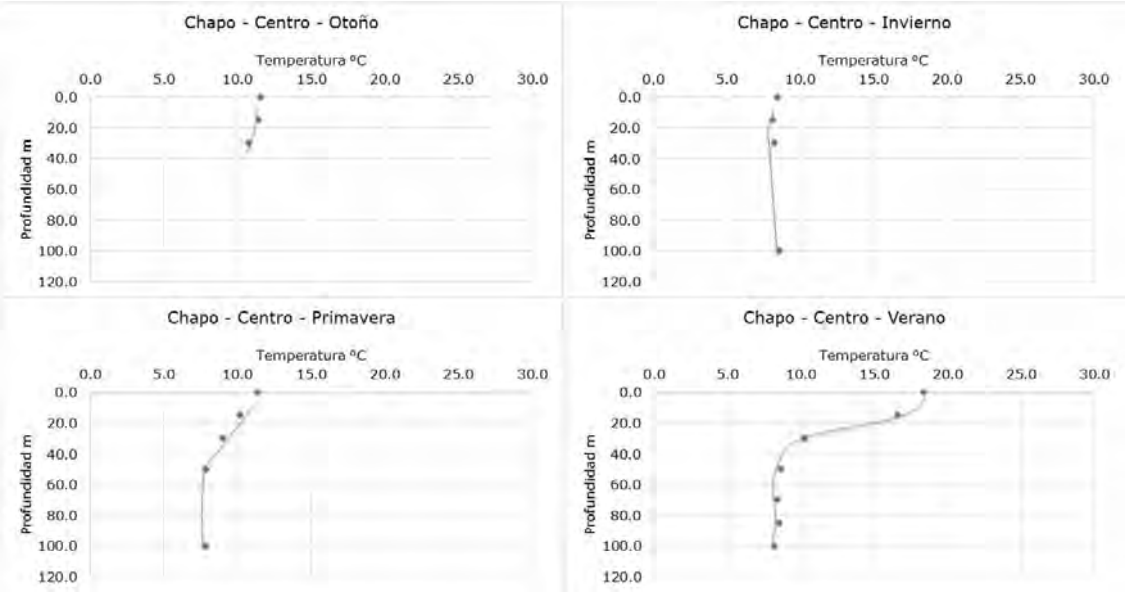
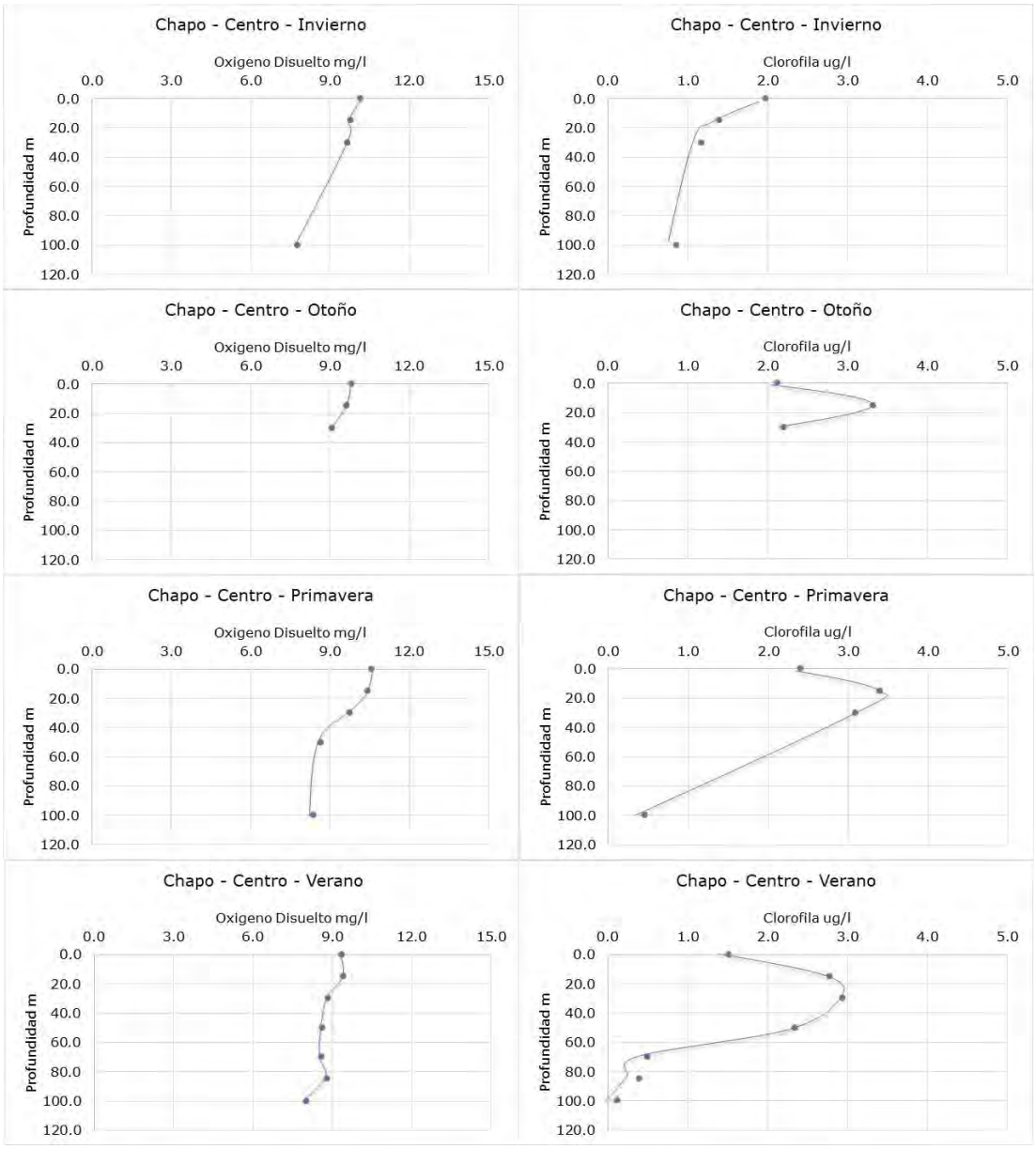


Figura 43. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Chapo.



5. Lago Colico

Los perfiles de temperatura obtenidos en monitoreos del año 2014 y 2015 en estación Centro en lago Colico, mostraron estratificación en otoño y verano, y mezcla en primavera (Figura 44). Los perfiles verticales de oxígeno disuelto y clorofila mostraron menor variabilidad en otoño y primavera, y mayor variabilidad en verano (Figura 45).

Figura 44. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Colico.

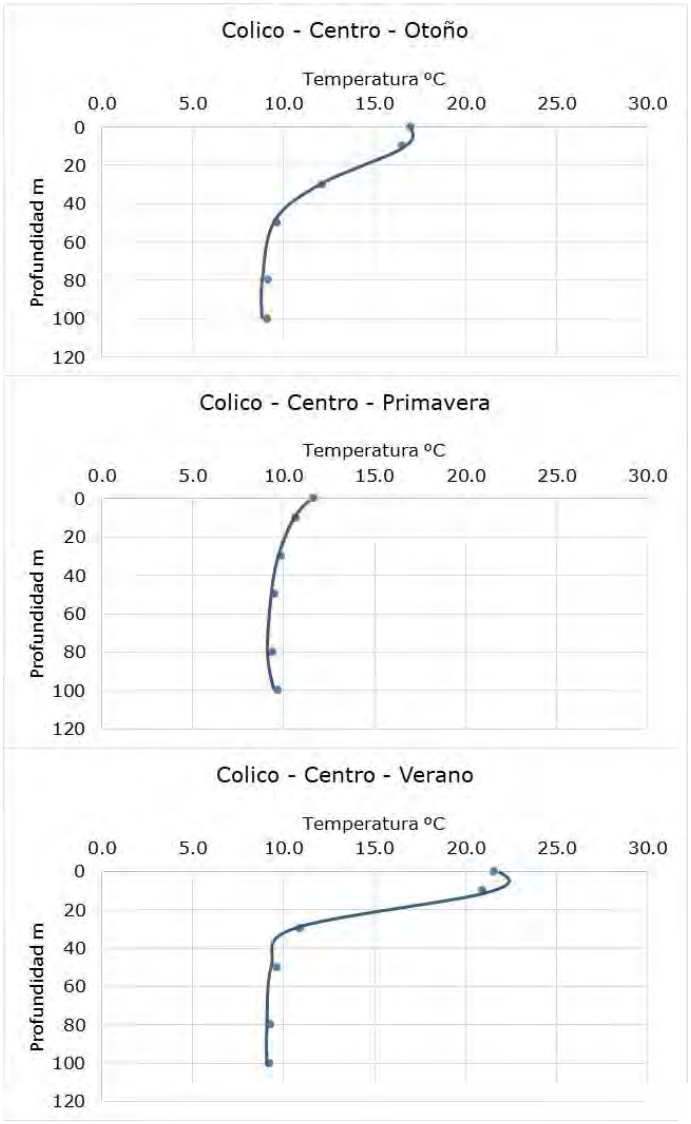
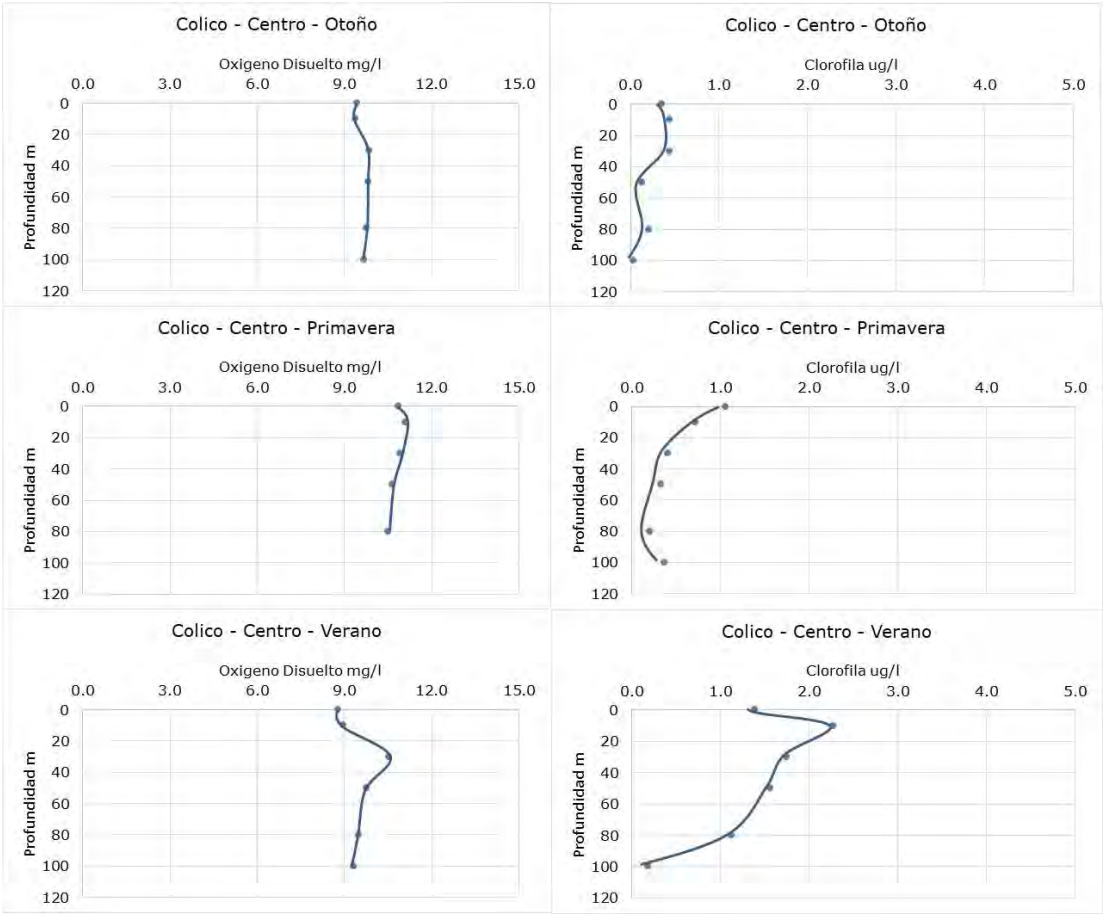


Figura 45. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Colico.



6. Lago Lanalhue

Los perfiles de temperatura obtenidos en la estación Centro en lago Lanalhue en marzo y julio del 2014, y febrero y julio del 2016, mostraron condiciones de mezcla en invierno y verano (Figura 46). Por su parte, los perfiles verticales de oxígeno disuelto y clorofila a mostraron patrones similares en ambos periodos (Figura 47).

Figura 46. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Lanalhue.

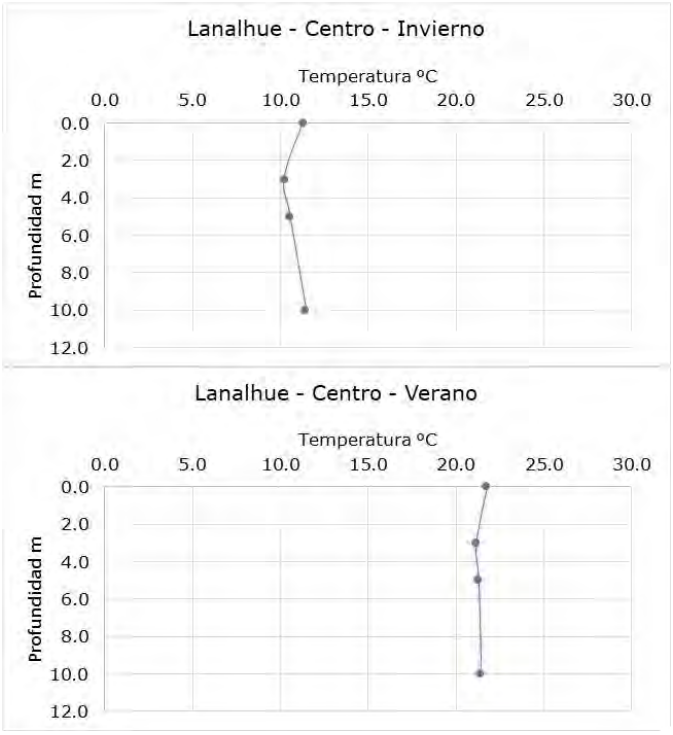
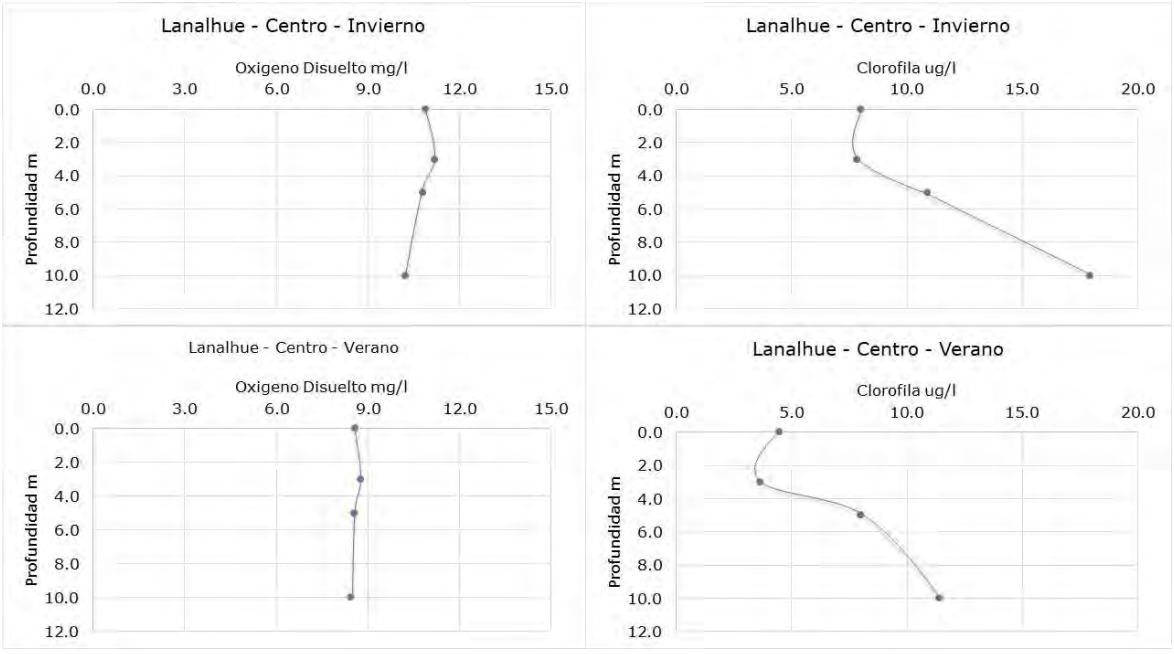


Figura 47. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Lanalhue.



7. Lago Llanquihue

El análisis de perfiles verticales de temperatura en estación Puerto Varas en base a registros de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 mostraron estratificación en otoño, primavera y verano, y mezcla en invierno y permitió caracterizar este lago como monomíctico temperado (Figura 48). Los perfiles verticales de oxígeno disuelto mostraron patrones similares para las 4 estaciones; mientras que los perfiles verticales de clorofila mostraron mayor variabilidad en primavera (Figura 49).

Figura 48. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Puerto Varas en lago Llanquihue.

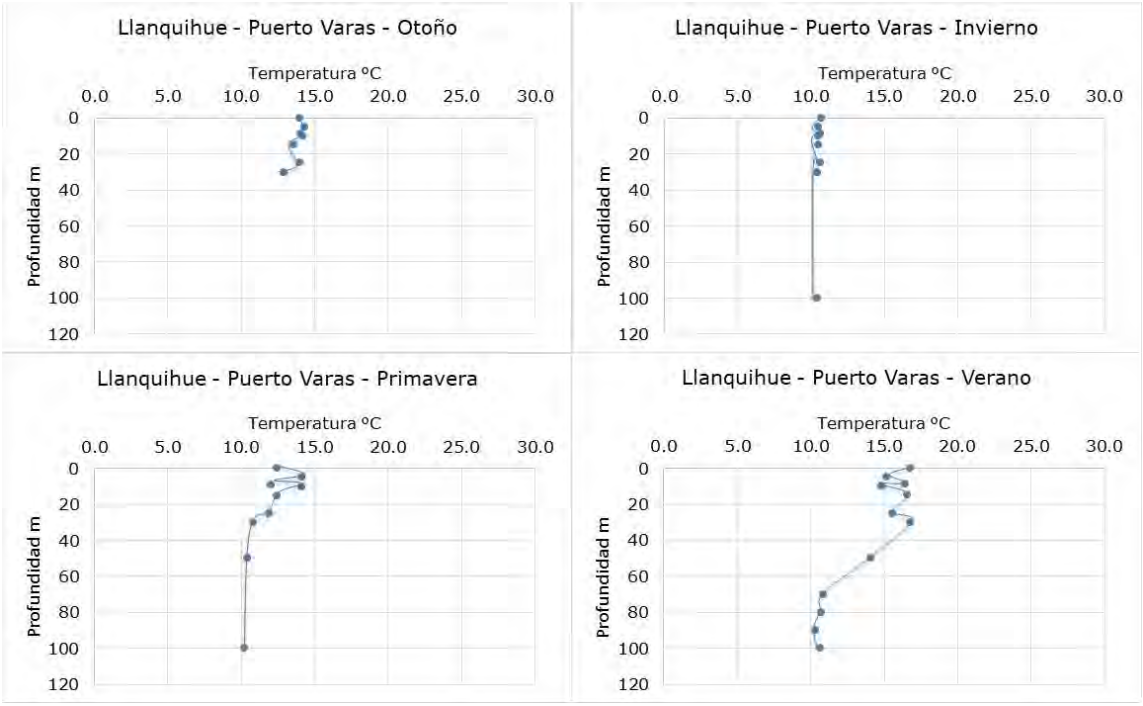
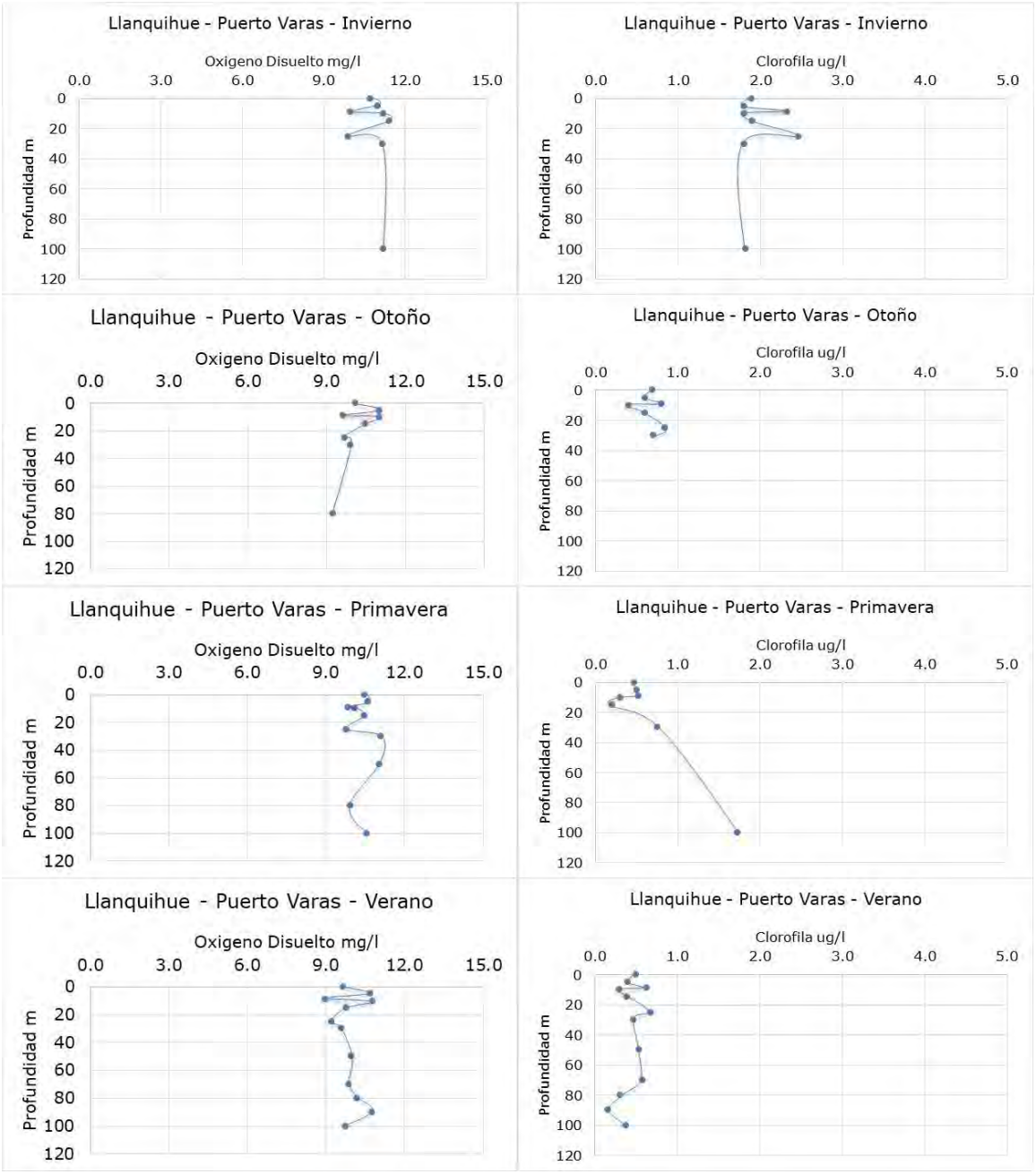


Figura 49. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila *a* en estación Puerto Varas en Lago Llanquihue.



8. Lago Lleu Lleu

Los perfiles verticales de temperatura para invierno y primavera el año 2016 para estación Centro en lago Lleu lleu mostraron mezcla en invierno y estratificación en primavera (Figura 50). El oxígeno disuelto no mostró variación entre ambos periodos, mientras que la clorofila a mostró mayor variabilidad y valores más altos en primavera (Figura 51).

Figura 50. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Lleu lleu.

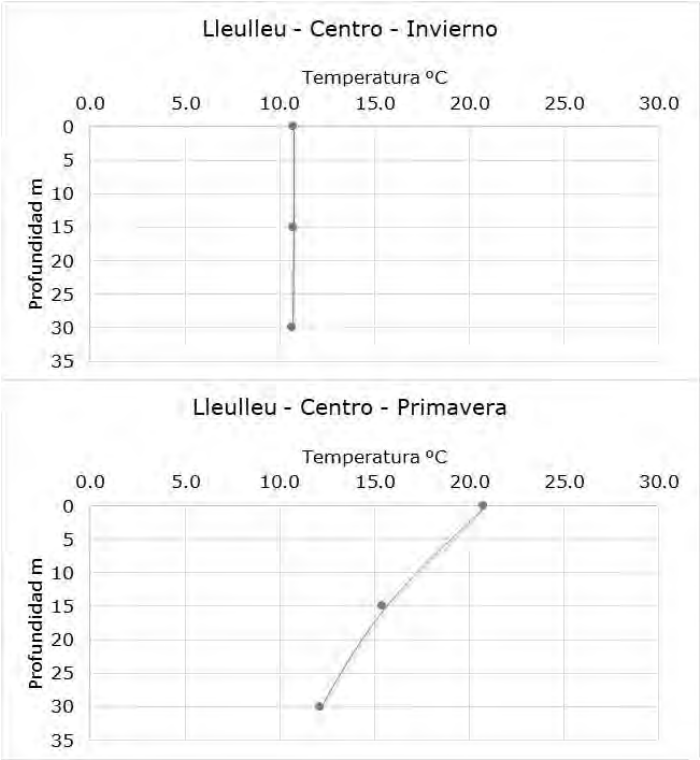
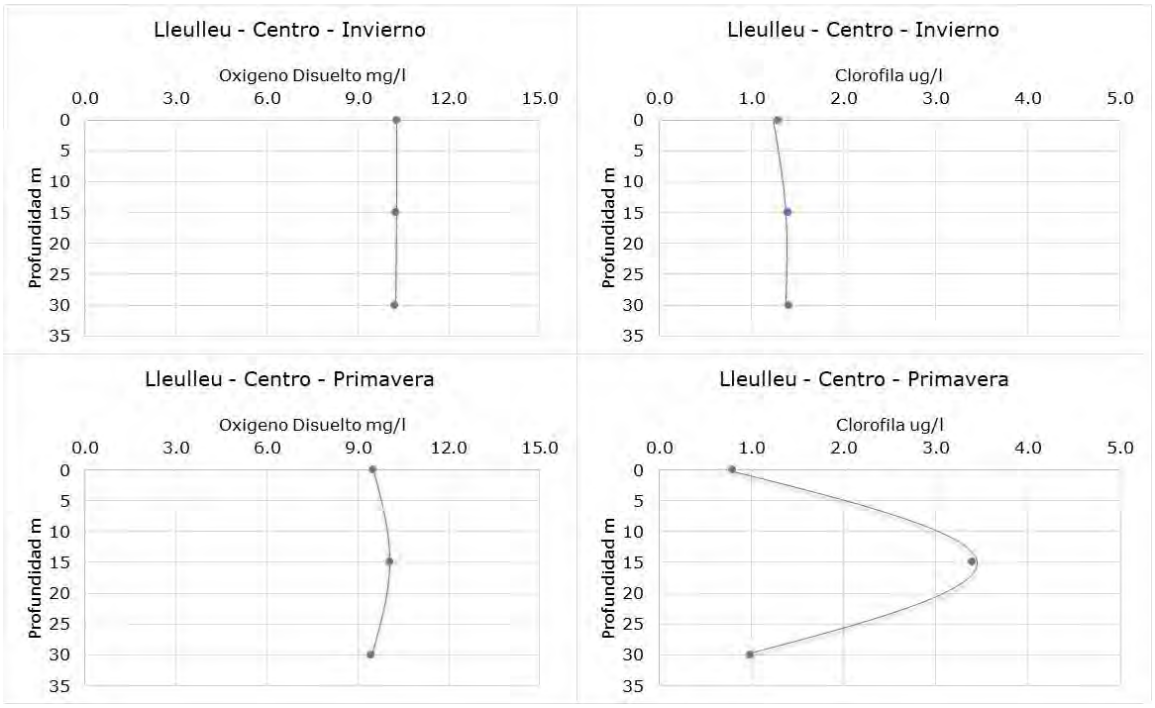


Figura 51. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Lleulleu.



9. Laguna Lloncao

Los perfiles verticales de temperatura en estación Centro en lago Lloncao, obtenidos a partir de monitoreos efectuados el año 2016 y 2017, mostraron mezcla en invierno y estratificación en otoño y verano (Figura 52). Oxígeno disuelto mostró homogeneidad vertical en invierno y variabilidad en otoño y verano; mientras que clorofila mostró valores homogéneos hasta los 25 m de profundidad en invierno y otoño, y variabilidad en verano (Figura 53).

Figura 52. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Lloncao.

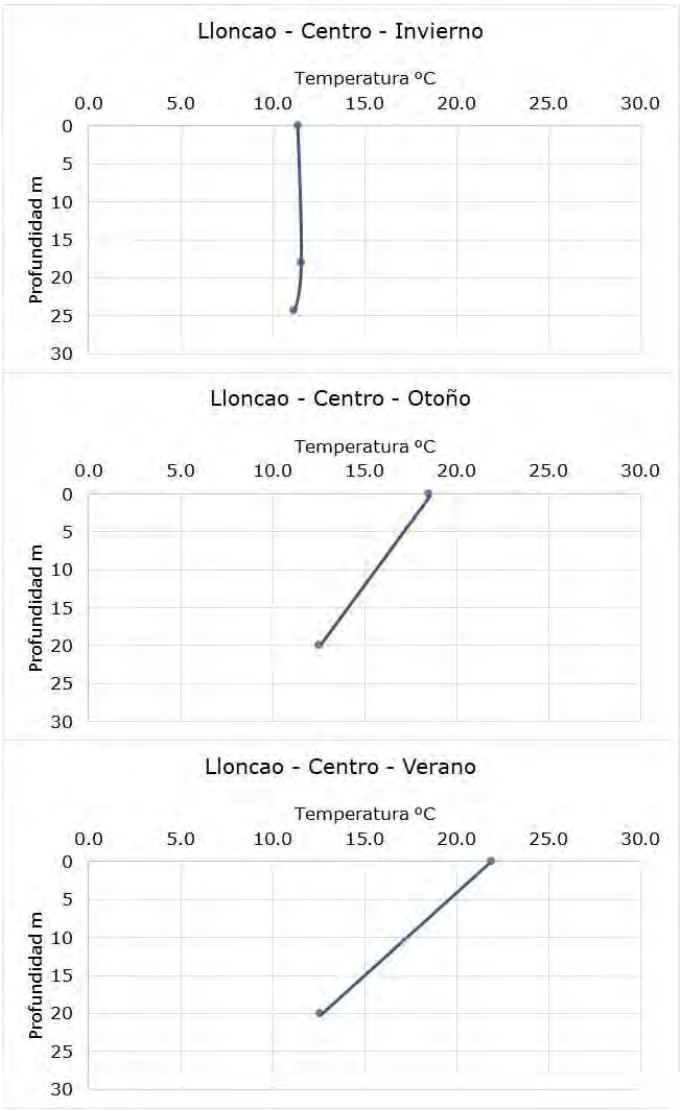
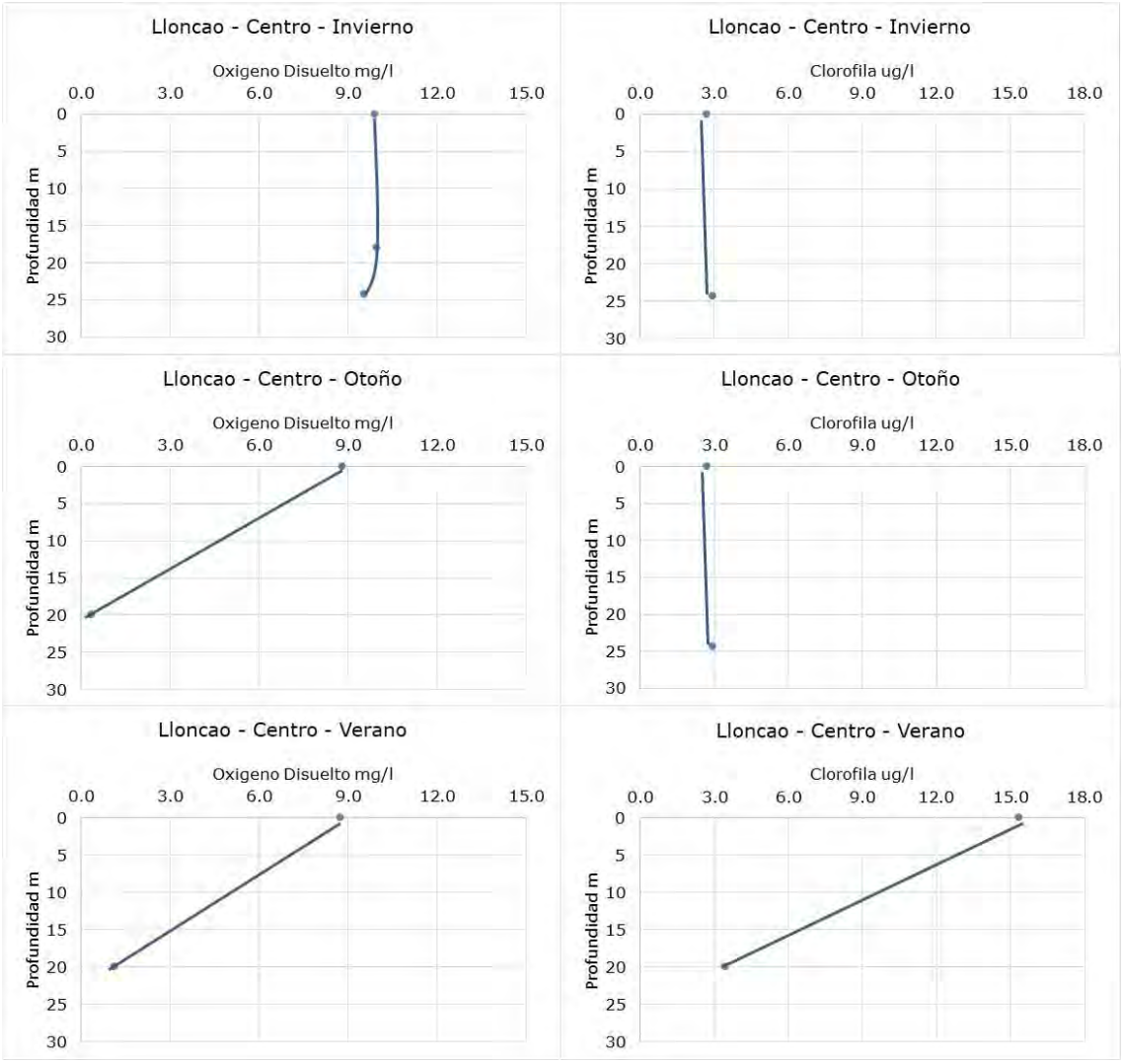


Figura 53. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Laguna Lloncao.



10. Lago Maihue

Los análisis de perfiles de temperatura en estación Centro del lago Maihue obtenidos a partir de monitoreos realizados los años 2014, 2015 y 2016 mostró estratificación en primavera, otoño y verano, y mezcla en invierno; lo que permitió caracterizar a este lago como monomíctico temperado (Figura 54). El oxígeno disuelto mostró homogeneidad vertical entre la superficie y los 100 m en las 4 estaciones, mientras que la clorofila mostró mayor variabilidad en otoño y hasta los 20 m de profundidad (Figura 55).

Figura 54. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Maihue.

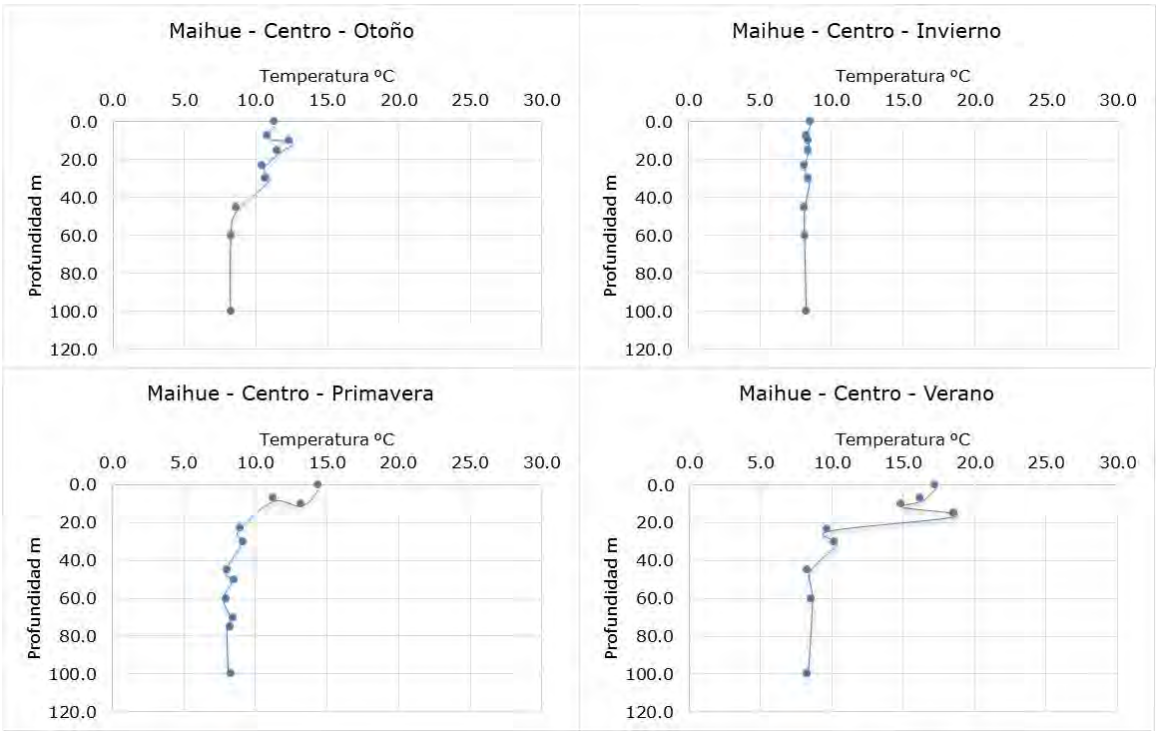
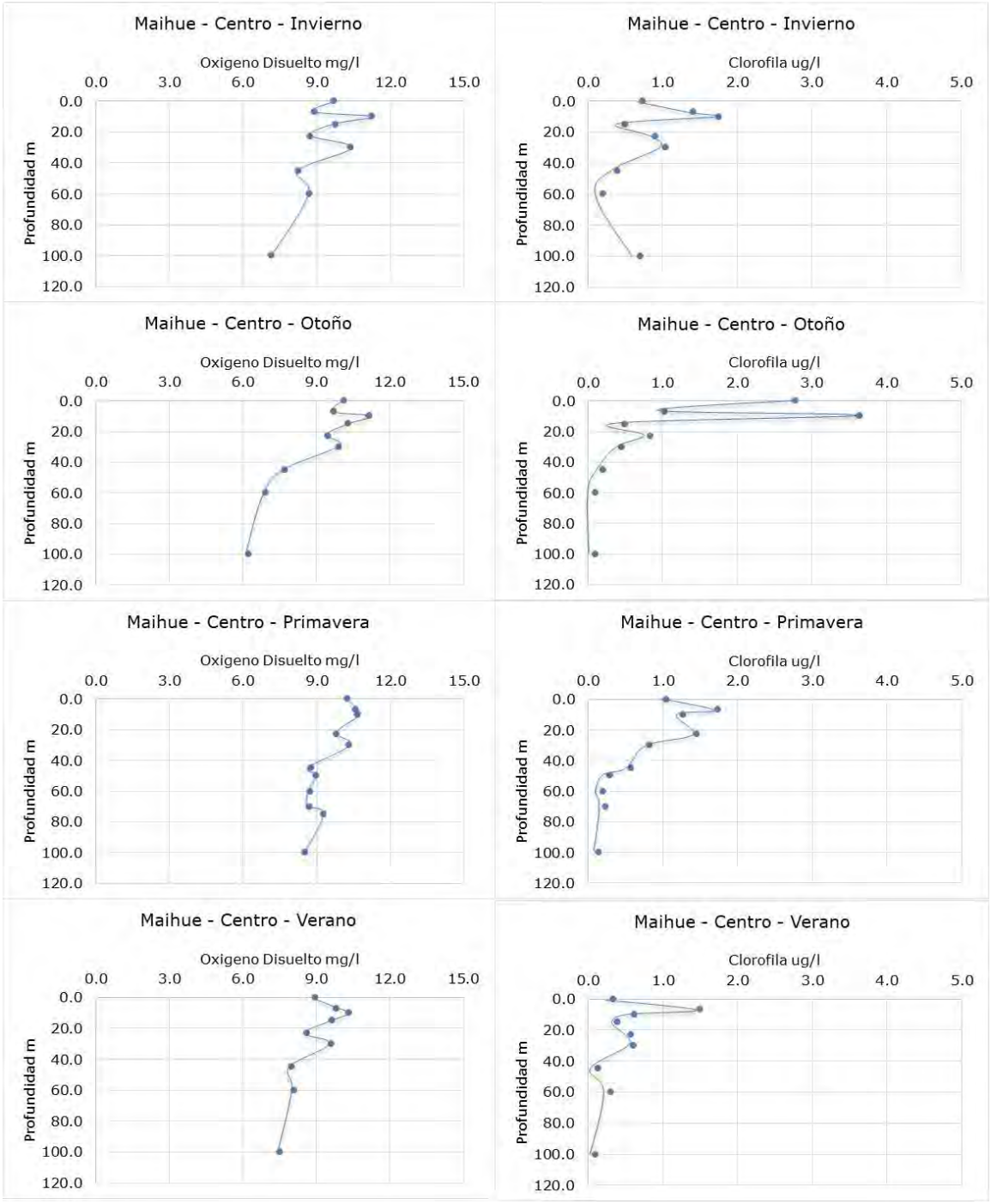


Figura 55. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Maihue.



11. Lago Neltume

El análisis de perfiles de temperatura para estación Centro en lago Neltume fueron obtenidos de monitoreos efectuados el año 2014 y 2015, y mostraron estratificación en otoño, primavera y verano (Figura 56). Los perfiles de oxígeno disuelto y clorofila mostraron valores más altos para primavera y verano respectivamente (Figura 57).

Figura 56. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Neltume.

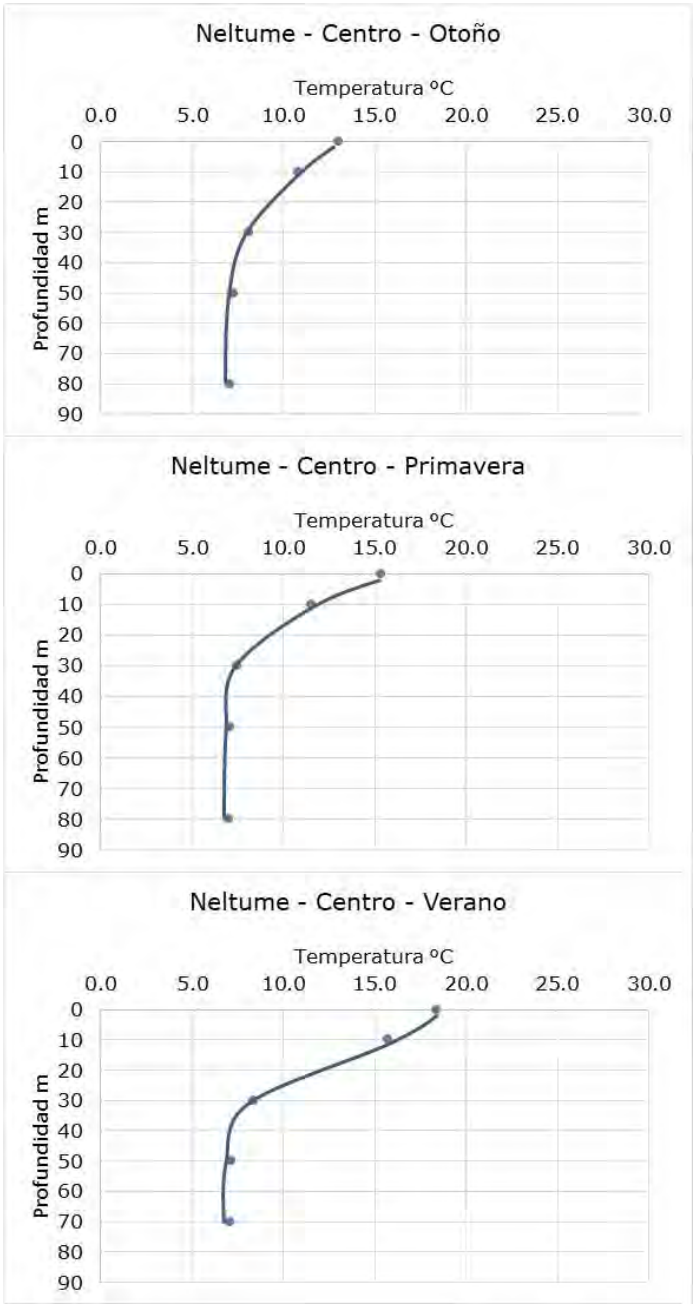
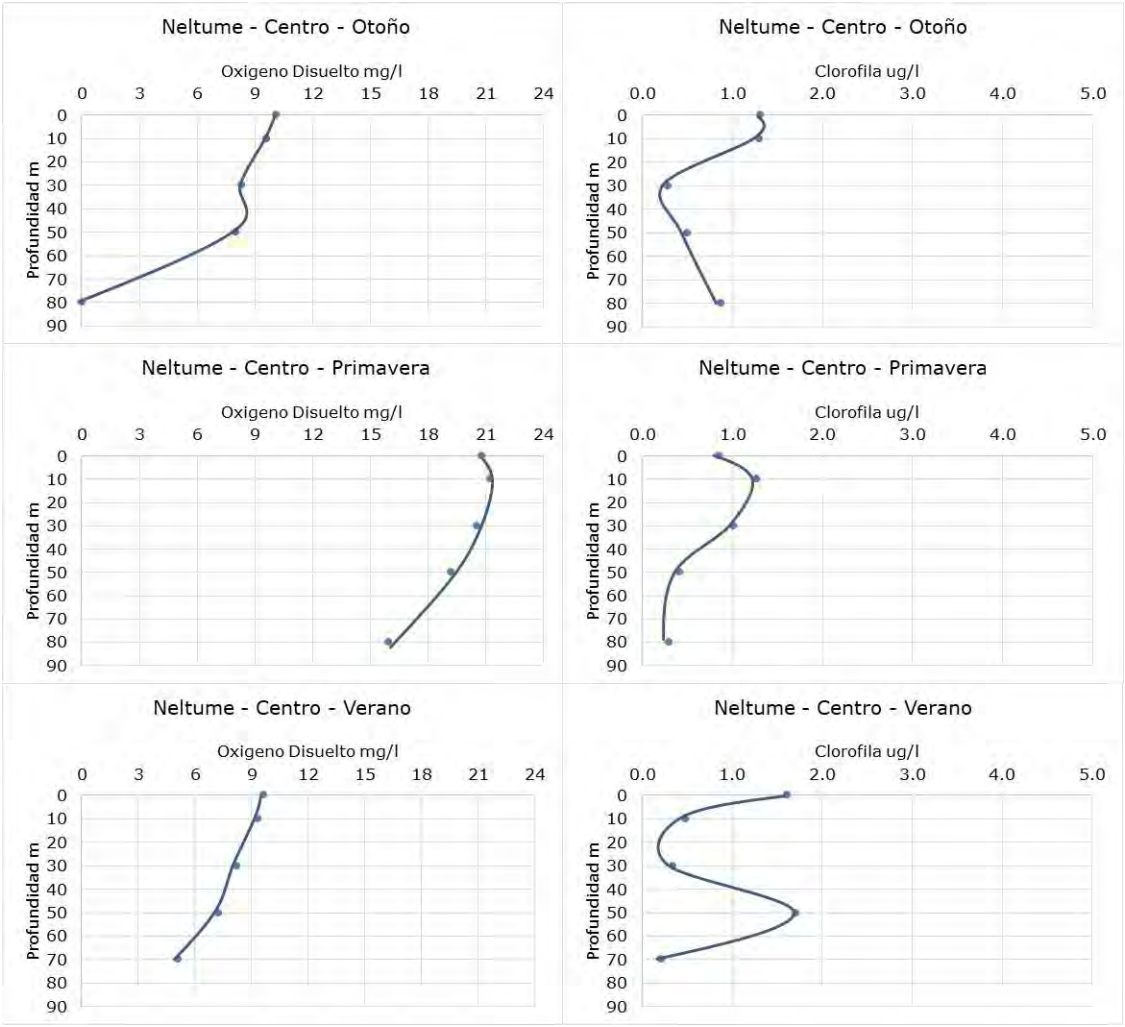


Figura 57. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Neltume.



12. Lago Panguipulli

Los perfiles de temperatura para estación Centro en lago Panguipulli construidos a partir de monitoreos realizados el año 2015 mostraron estratificación en los 4 periodos (otoño, invierno, primavera y verano) (Figura 58). Los perfiles para oxígeno disuelto muestran valores relativamente homogéneos hasta los 100 m, mientras que la clorofila mostró amplia variabilidad en otoño principalmente a los 20 m (Figura 59).

Figura 58. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Panguipulli.

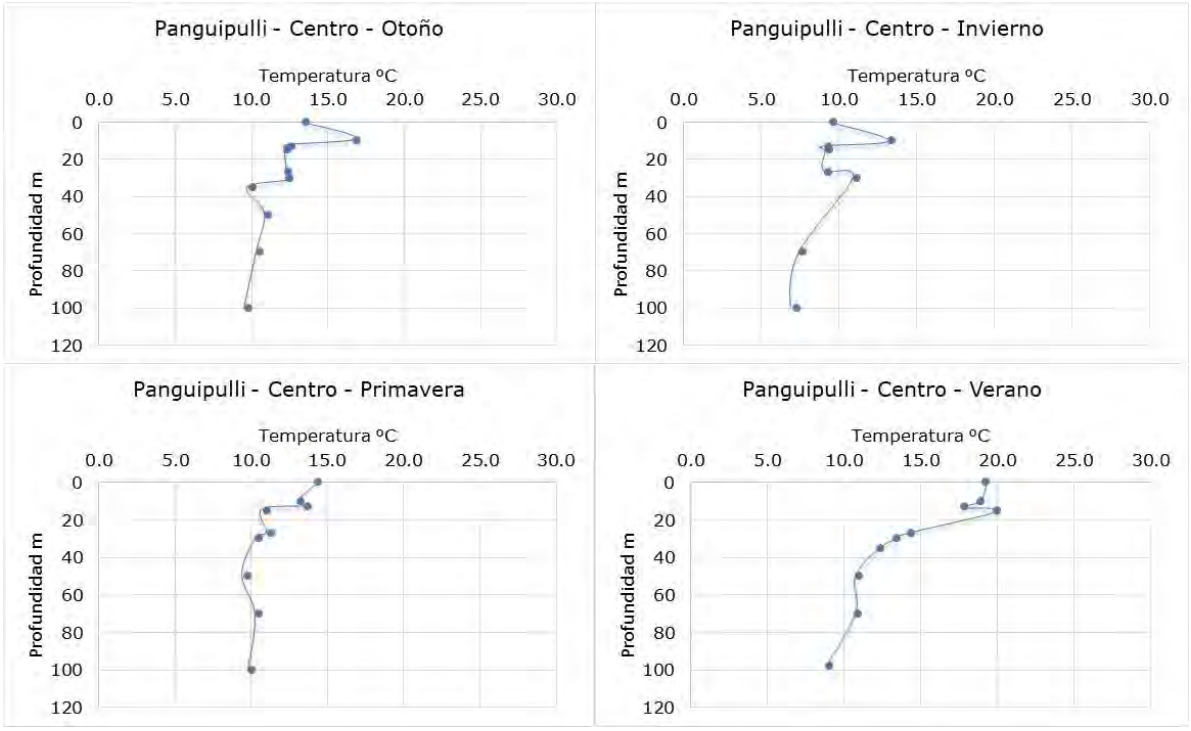
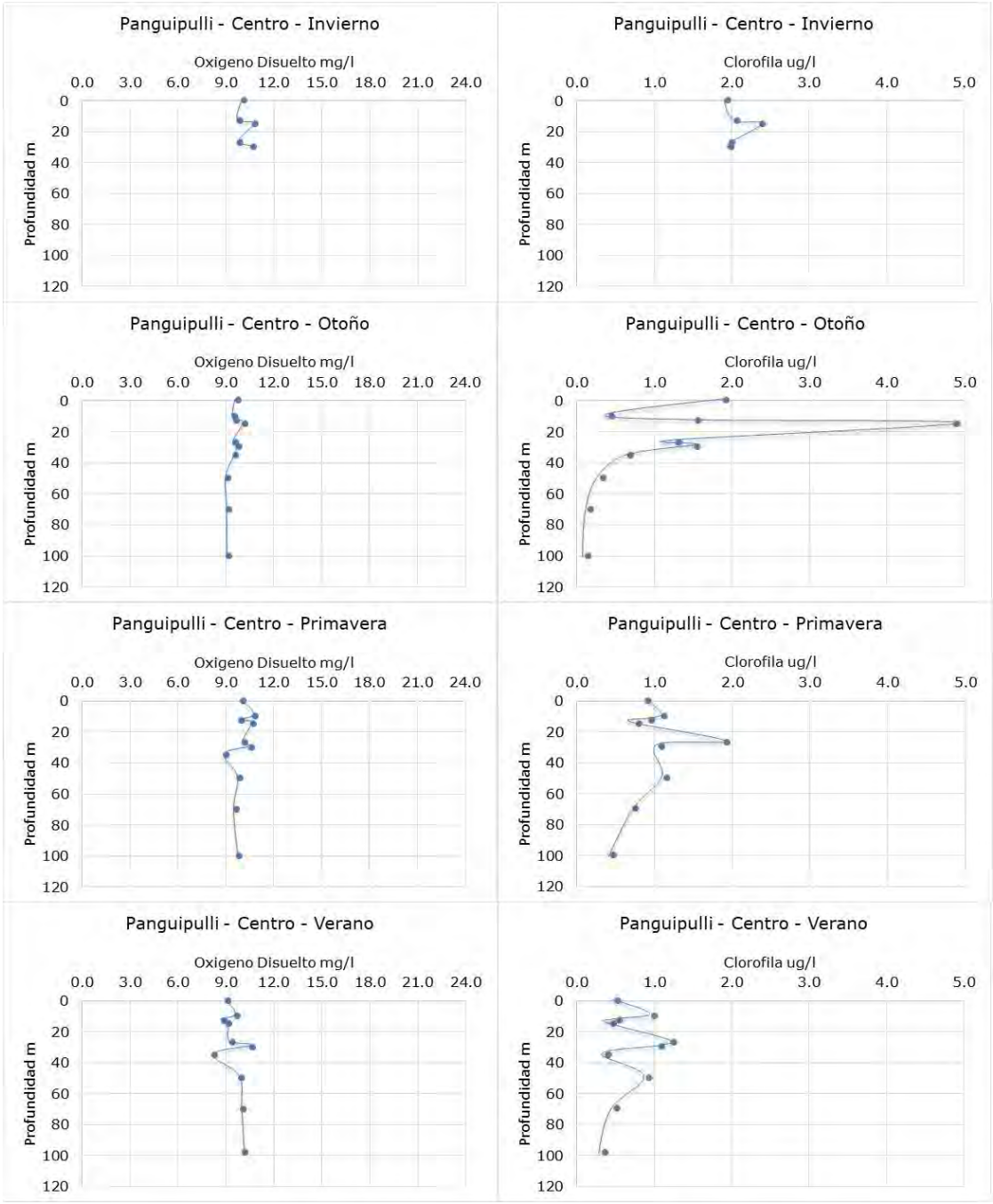


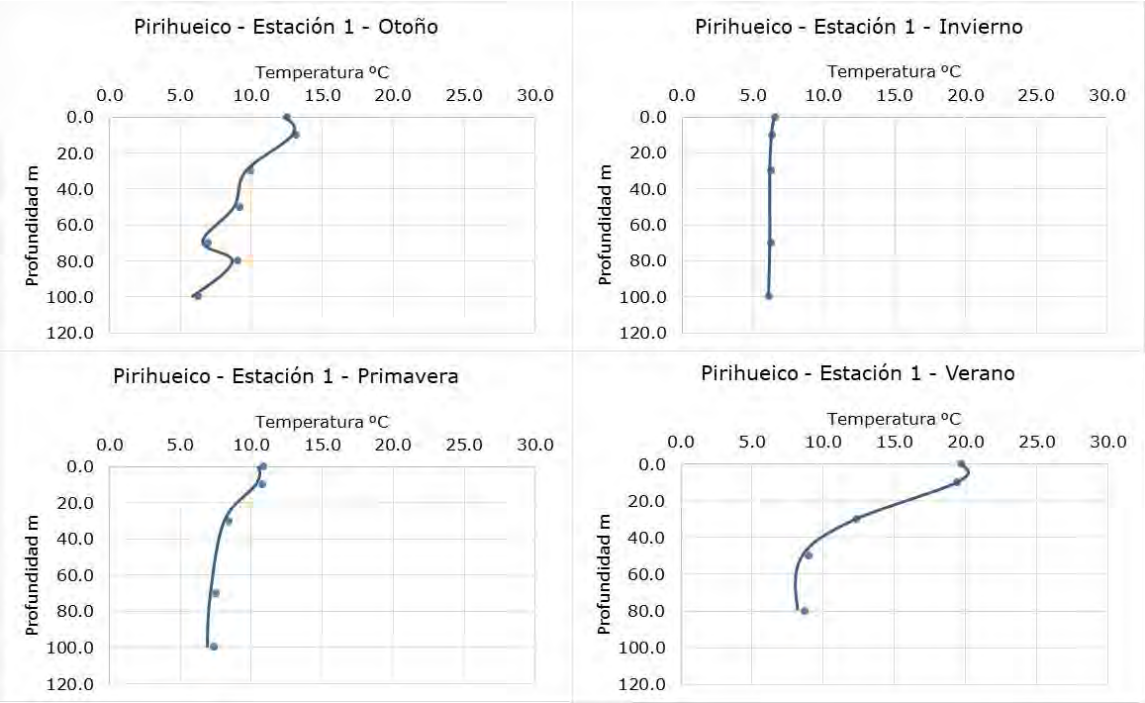
Figura 59. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Panguipulli.



13. Lago Pirihueico

El análisis de perfiles de temperatura para estación 1 en lago Pirihueico en base a monitoreos efectuados los años 2014 y 2015, mostró estratificación en otoño, primavera y verano, y mezcla en invierno, lo que caracteriza a este lago como monomíctico temperado (Figura 60). Los perfiles de clorofila y oxígeno disuelto no se elaboraron por la ausencia de datos.

Figura 60. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación 1 en lago Pirihueico.



14. Lago Puyehue

El análisis de perfiles de temperatura para estación Centro en lago Puyehue en base a monitoreos efectuados los años 2014 y 2015, mostró estratificación en otoño, primavera y verano, y mezcla en invierno, lo que caracteriza a este lago como monomíctico temperado (Figura 61). Los perfiles de oxígeno disuelto mostraron homogeneidad hasta los 100 m, mientras que la clorofila mostró los valores más altos en primavera (Figura 62).

Figura 61. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro de lago Puyehue.

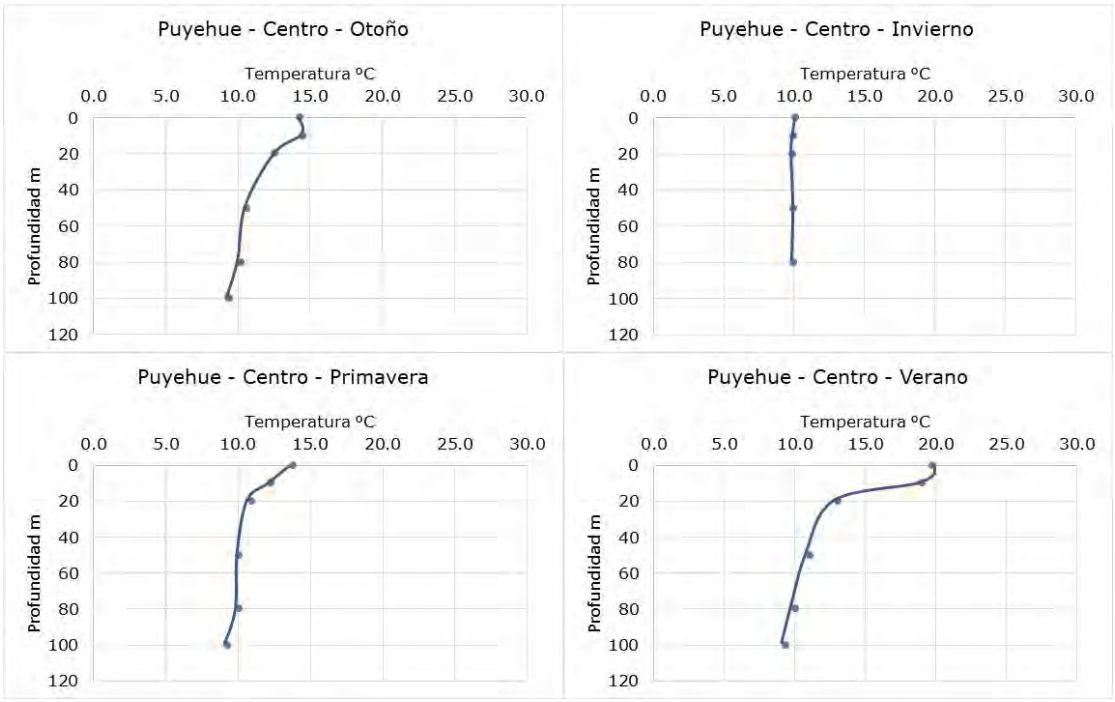
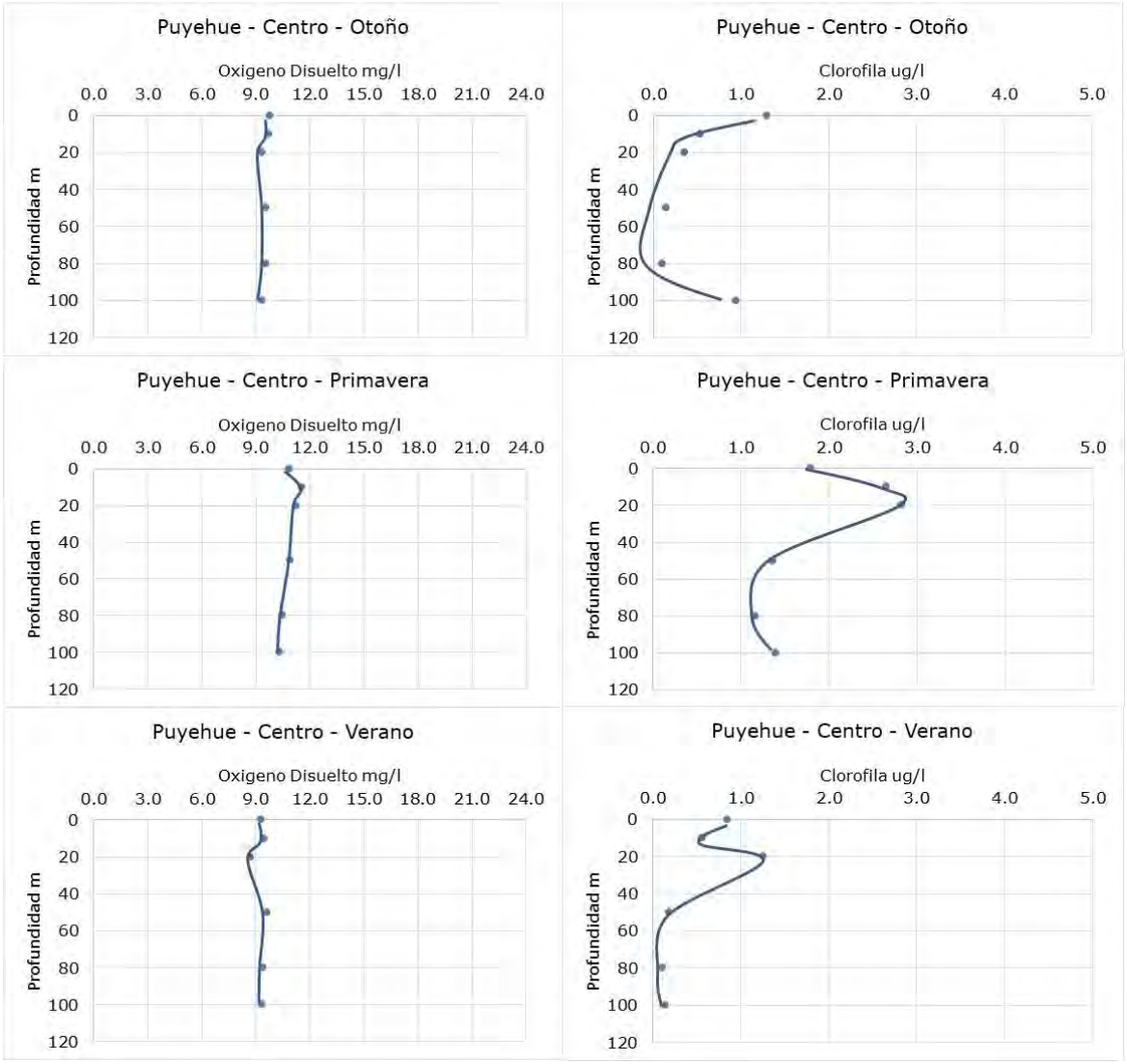


Figura 62. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila *a* en estación Centro en Lago Puyehue.



15. Lago Ranco

Los perfiles de temperatura obtenidos en lago Ranco, a pesar de no estar completos para las 4 estaciones, mostró mezcla en invierno y estratificación en otoño, primavera y verano, permitiendo caracterizar a este lago como monomíctico temperado (Figura 63). Los perfiles de oxígeno disuelto mostraron homogeneidad de valores, mientras que la clorofila mostró los valores más altos en invierno (Figura 64).

Figura 63. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Futrono de lago Ranco.

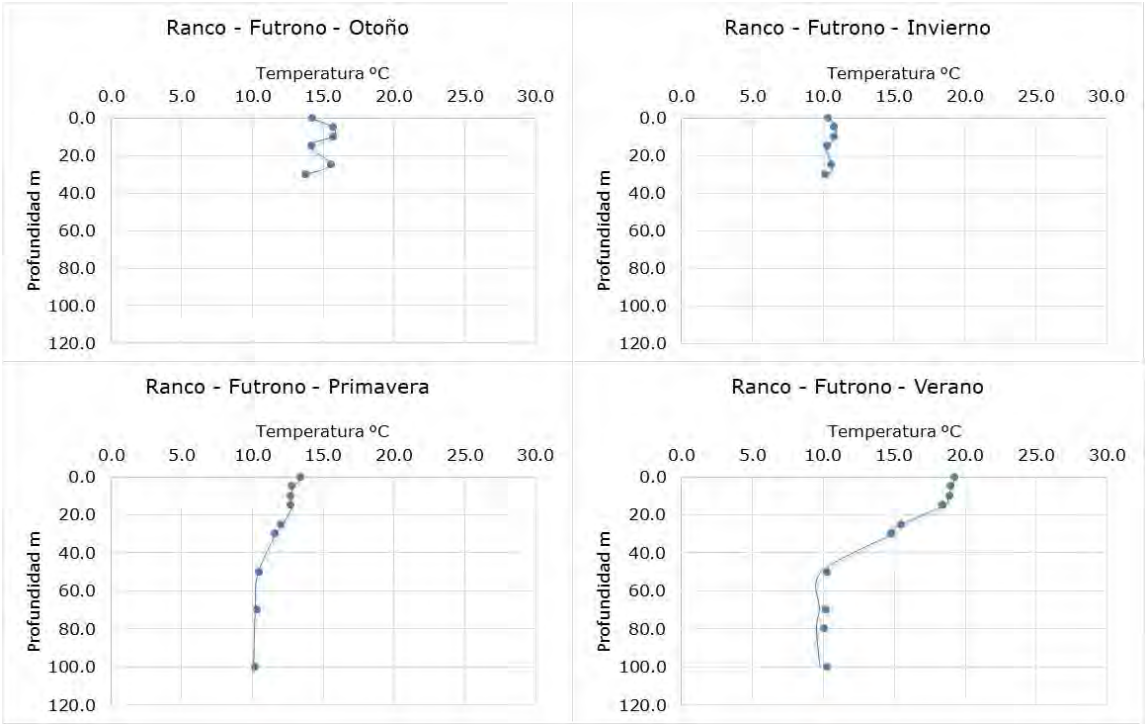
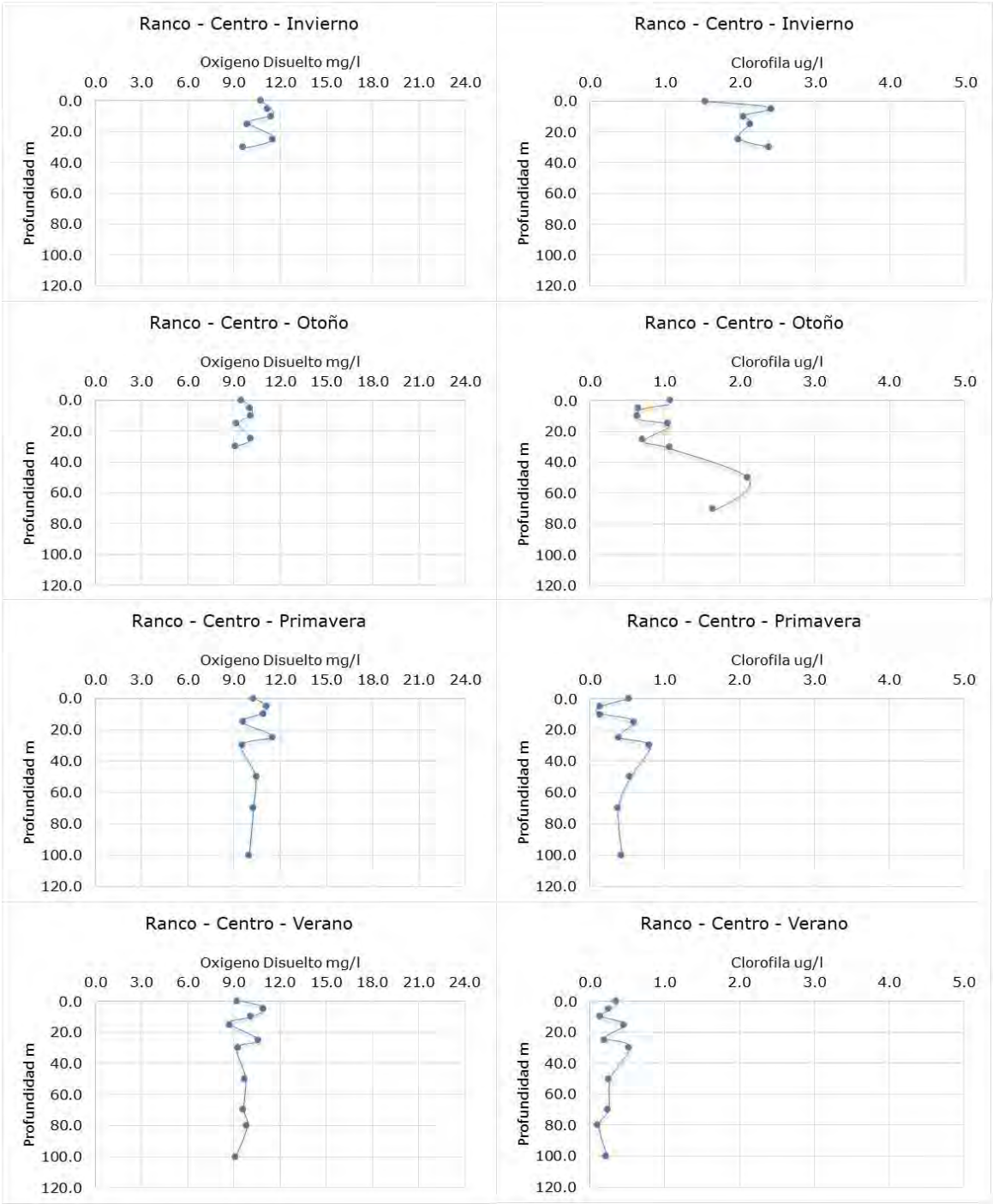


Figura 64. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Ranco.



16. Lago Riñihue

El análisis de perfiles de temperatura en estación Centro en lago Riñihue, obtenidos a partir de monitoreos efectuados el año 2015, mostró mezcla en primavera y estratificación en otoño y verano (Figura 65). Los perfiles de oxígeno disuelto mostraron homogeneidad hasta los 100 m, mientras que la clorofila mostró los valores más altos en primavera (Figura 66).

Figura 65. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Riñihue.

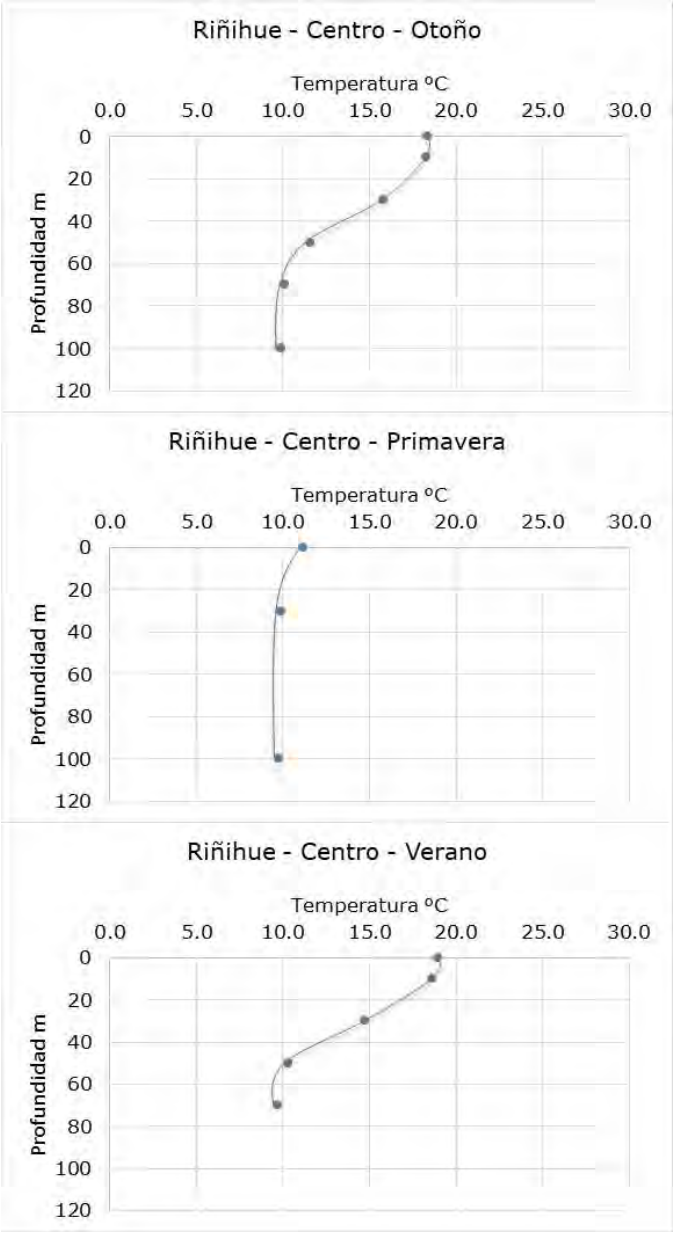
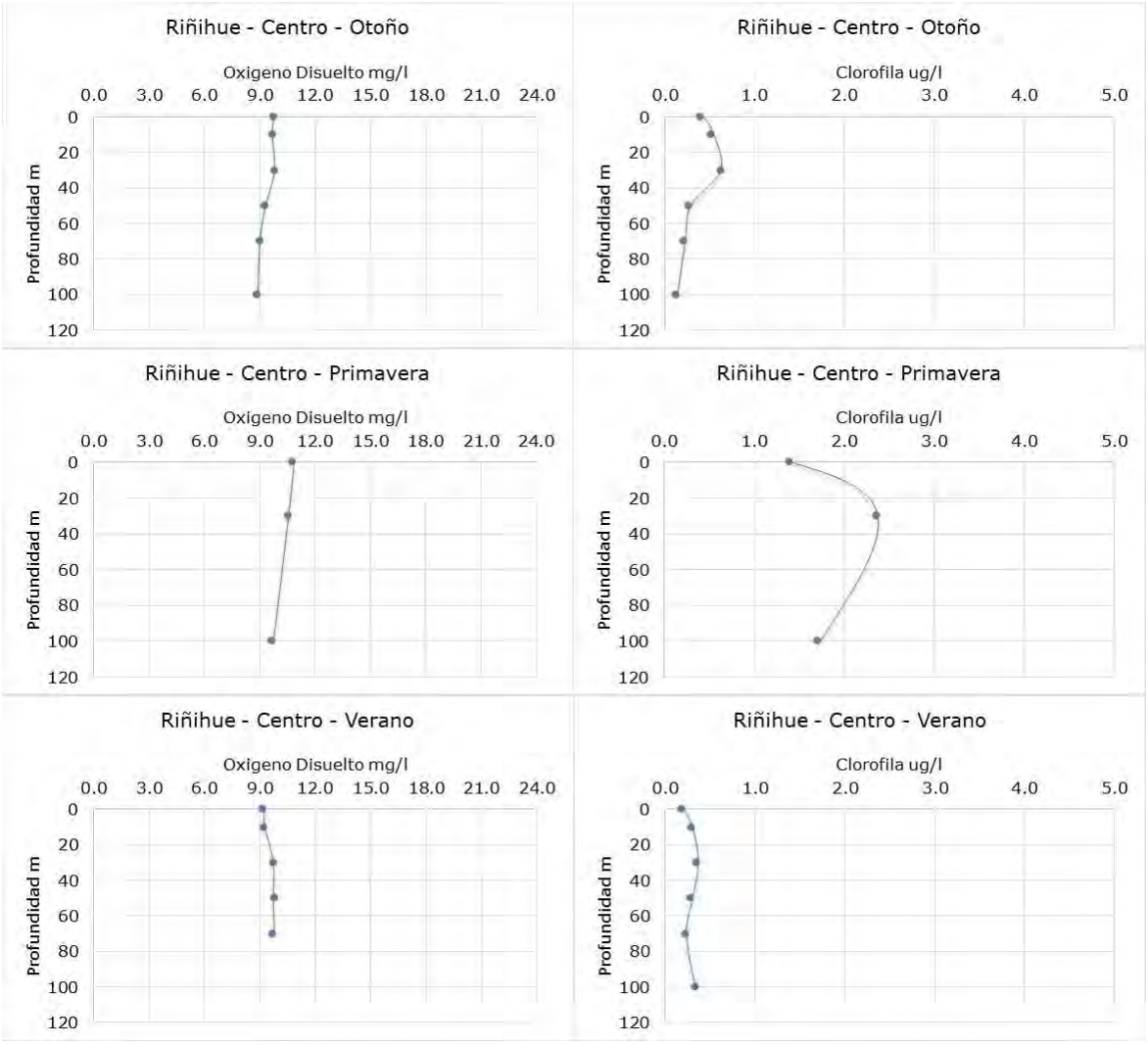


Figura 66. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Riñihue.



17. Lago Rupanco

El análisis de perfiles de temperatura en estación Centro en lago Rupanco, obtenidos a partir de monitoreos realizados los años 2014, 2015 y 2016 mostraron estratificación en otoño, primavera y verano (Figura 67). Los perfiles de oxígeno disuelto mostraron homogeneidad hasta los 60 m, mientras que la clorofila mostró los valores más altos en verano (Figura 68).

Figura 67. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Rupanco.

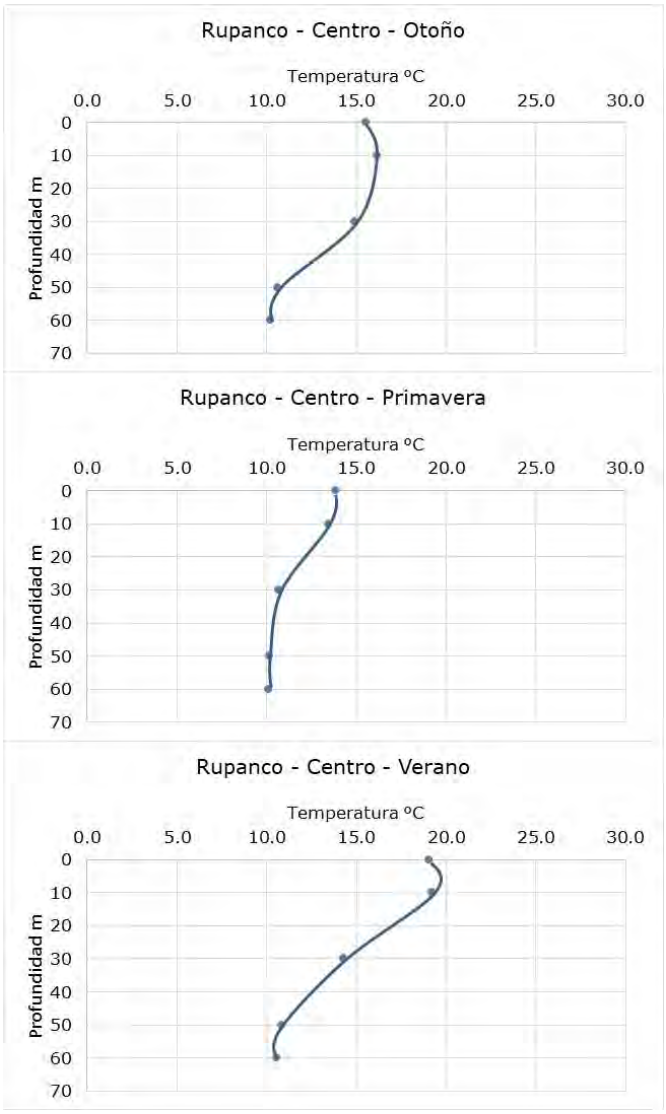
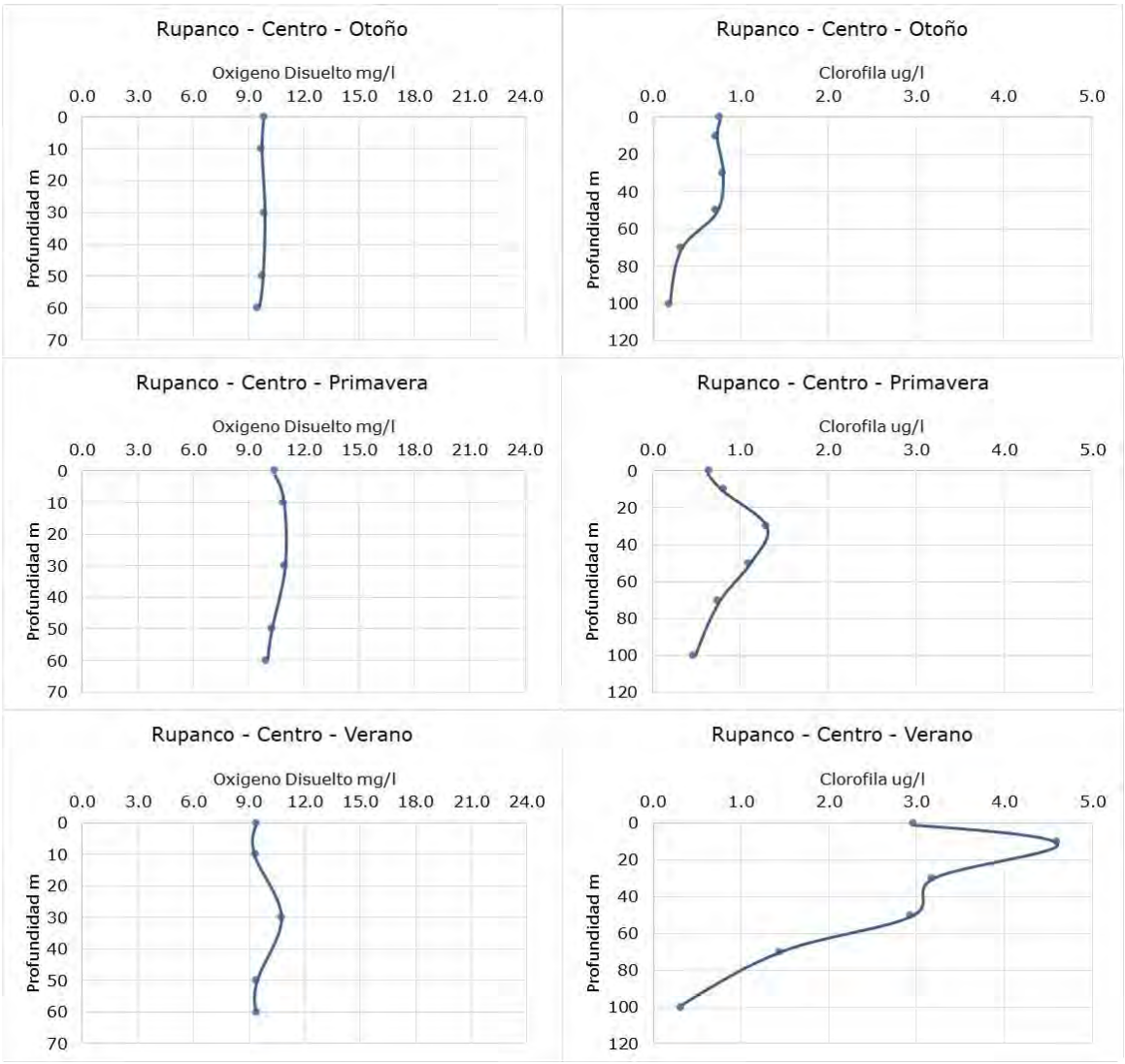


Figura 68. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en Lago Rupanco.



18. Laguna Grande de San Pedro

El análisis de los perfiles verticales de temperatura realizado con los datos obtenidos en 2014 y 2016 en estación Centro mostró estratificación en los 4 periodos de otoño, invierno, primavera y verano (Figura 69). El oxígeno disuelto mostró valores relativamente homogéneos en invierno y otoño, y mayor amplitud con marcados descensos en primavera y verano; por su parte la clorofila mostró amplia variabilidad entre los 4 periodos, pero con mayores más altos registrados en verano (Figura 70).

Figura 69. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Grande de San Pedro.

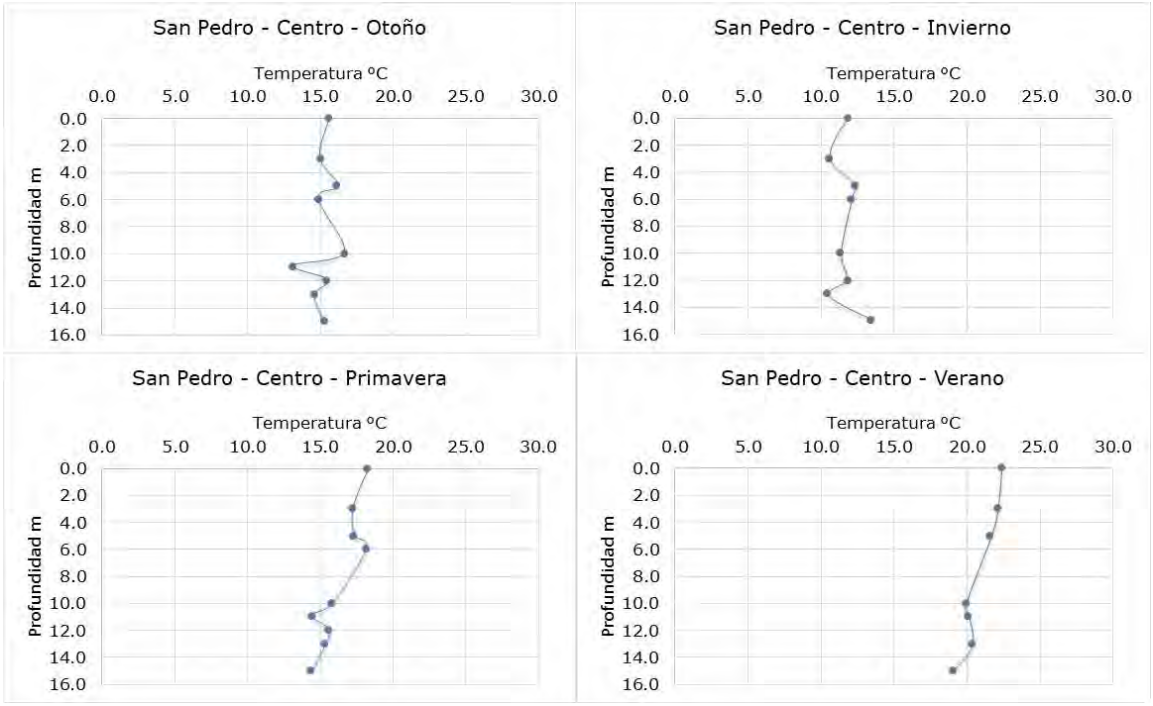
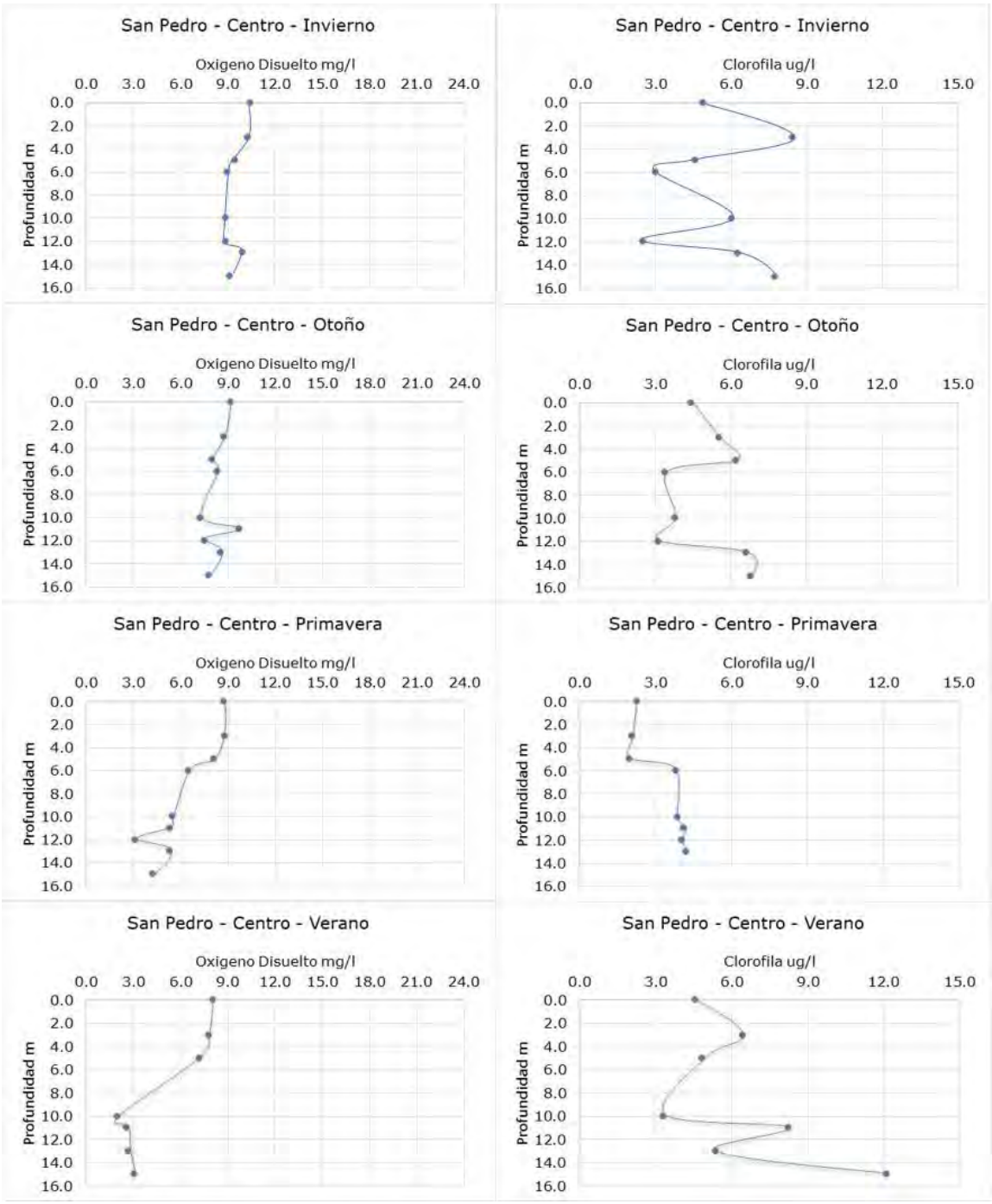


Figura 70. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Grande de San Pedro.



19. Lago Todos los Santos

El análisis de perfiles verticales en estación Centro de Lagos todos los Santos obtenidos a partir de monitoreos efectuados el año 2015, mostró mezcla en invierno y estratificación en verano y mezcla en invierno y primavera (Figura 71). El oxígeno disuelto y clorofila mostraron valores relativamente homogéneos en invierno, primavera y verano (Figura 72).

Figura 71. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Todos los Santos.

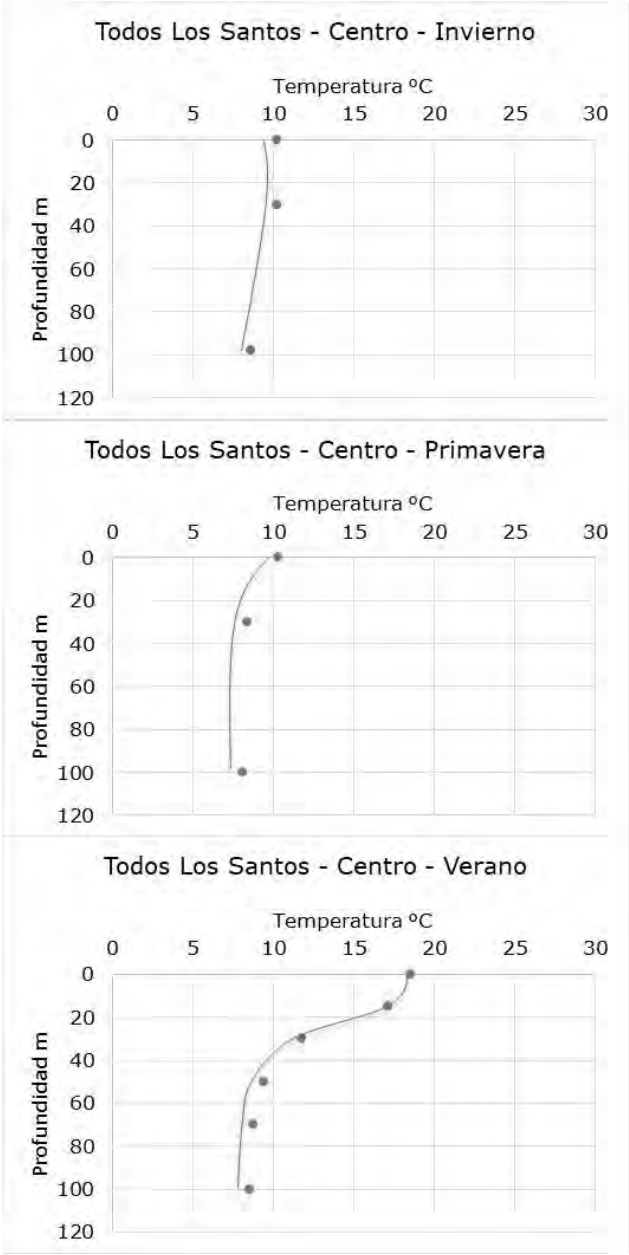
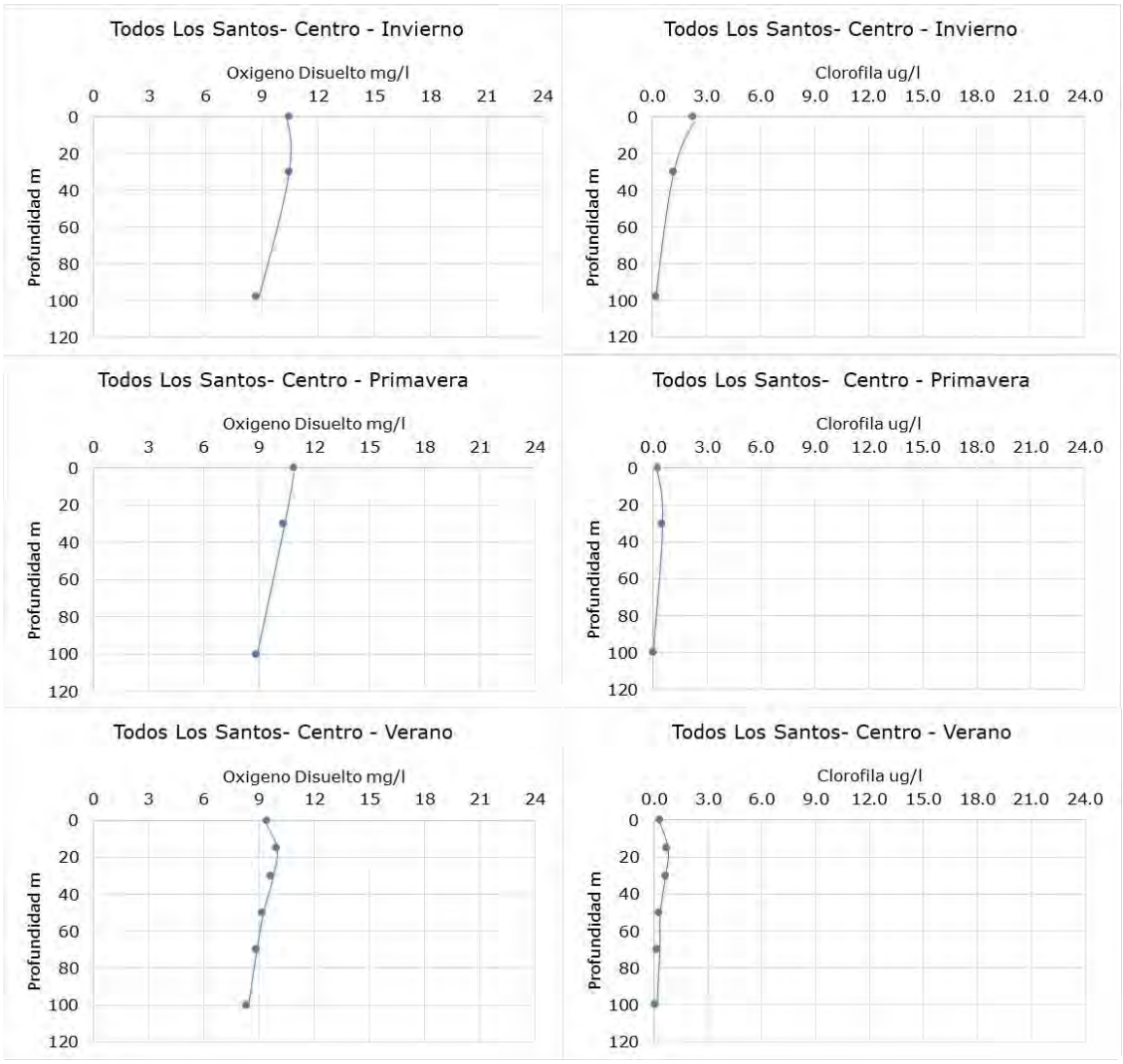


Figura 72. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en lago Todos los Santos.



29. Laguna Torca

El análisis de perfiles de temperatura en estación Centro en laguna Torca obtenido a partir de monitoreos del año 2014 y 2015, mostró poca variabilidad hasta los 5 m con condiciones mas cercanas a mezcla (Figura 73). Por su parte, oxígeno disuelto no mostró variación en otoño, pero sí en primavera y verano; mientras que la clorofila mostró mayor variación alcanzando valores de 250 ug/l en verano (Figura 74).

Figura 73. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Torca.

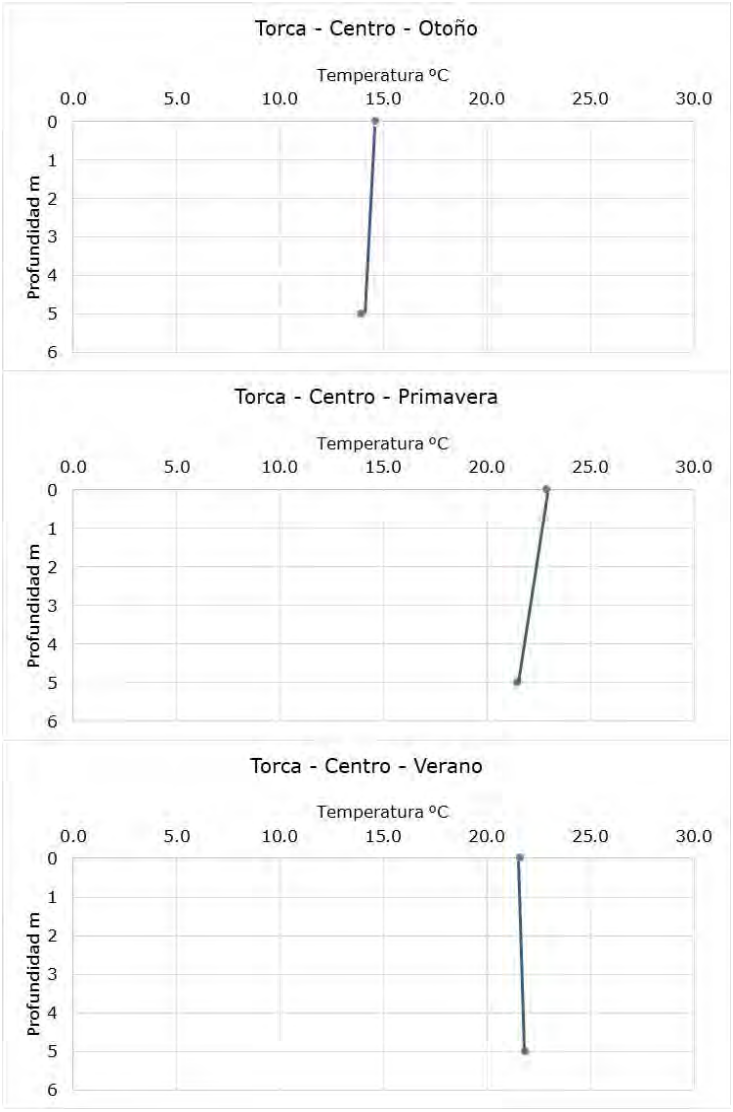
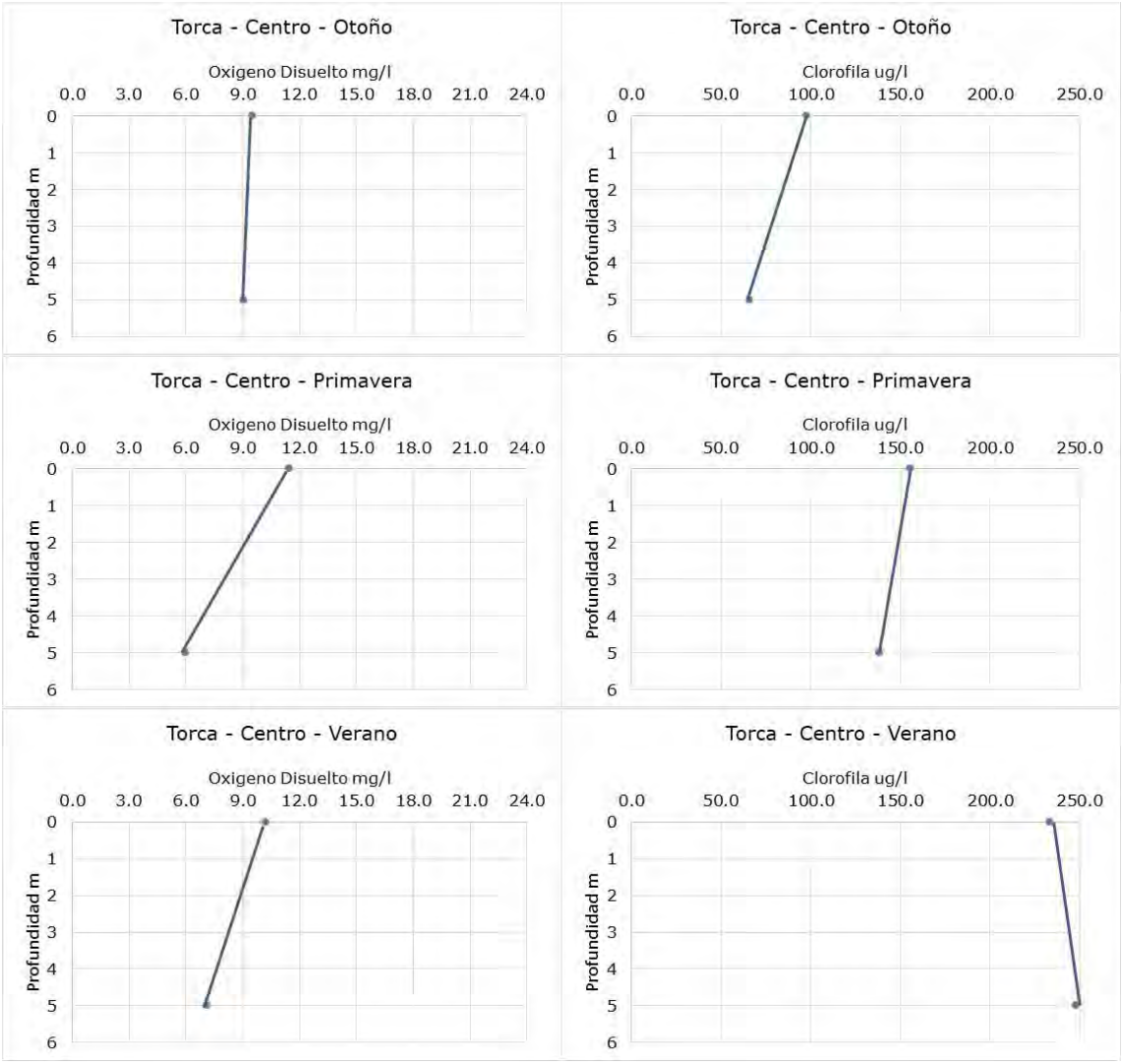


Figura 74. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Torca.



30. Lago Vichuquén

El análisis de perfiles de temperatura para estación Centro en lago Vichuquén obtenido a partir de monitoreos efectuados entre el 2014 y 2017 mostró estratificación en primavera y verano y mezcla en otoño (Figura 75). Por su parte, el oxígeno disuelto mostró una marcada disminución desde los 10 m de profundidad alcanzando valores cercanos a cero en otoño y verano; mientras que la clorofila mostró valores significativamente más altos en verano (Figura 76).

Figura 75. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en laguna Vichuquén.

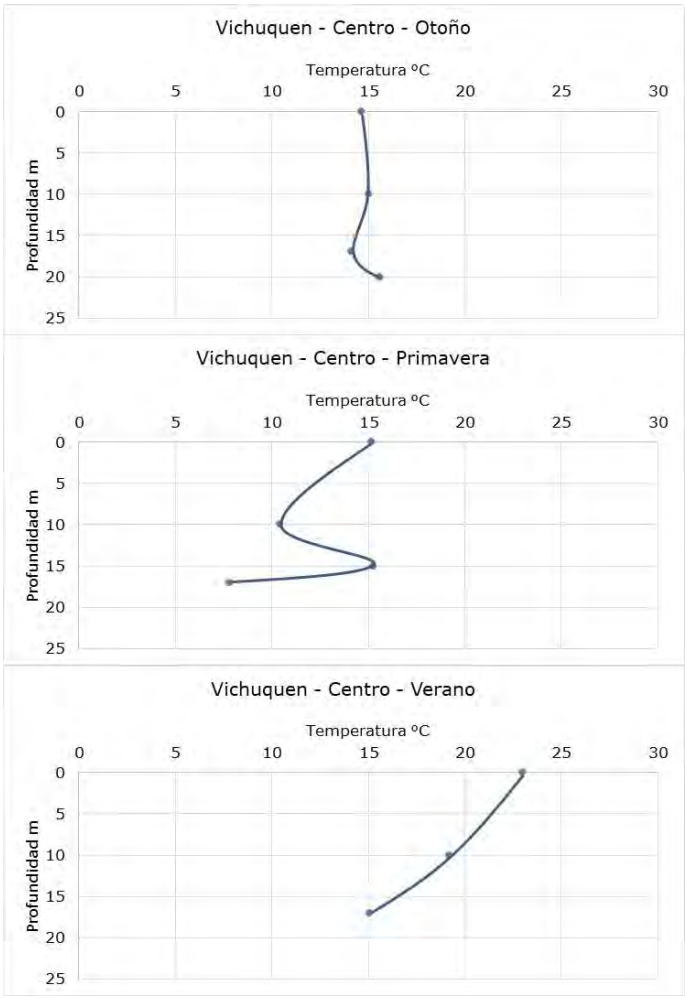
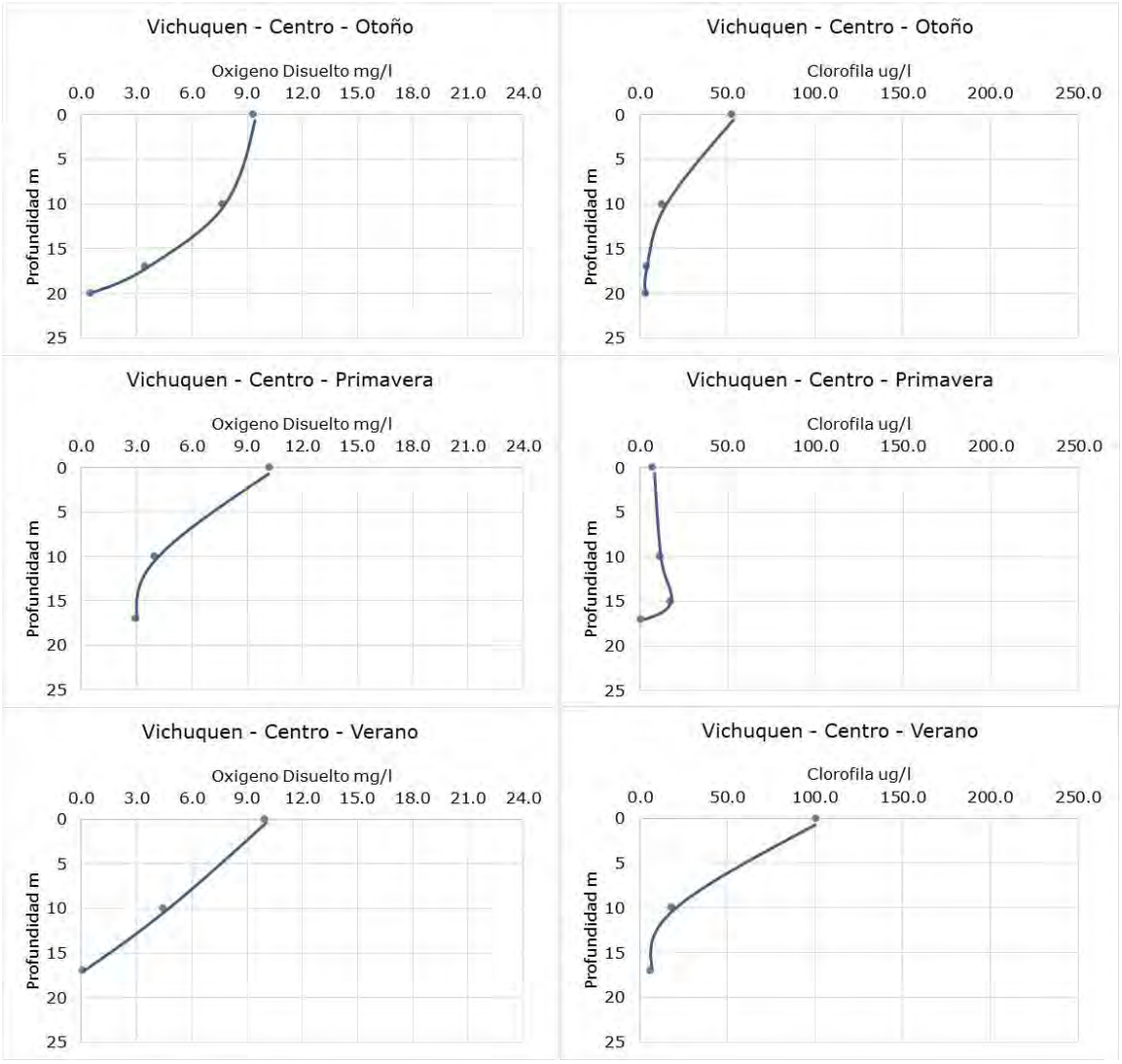


Figura 76. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en laguna Vichuquén.



31. Lago Villarica

El análisis de perfiles de temperatura en estación Centro en lago Villarica realizado a partir de monitoreos llevados a cabo entre 2014 y 2017, mostró inicio de estratificación en primavera y estratificación marcada en verano (Figura 77). Por su parte, mientras oxígeno disuelto mostró valores homogéneos hasta los 100 m, la clorofila mostró mayor variabilidad en primavera (Figura 78).

Figura 77. Variación estacional de la condición hidrodinámica en estación Centro en lago Villarica.

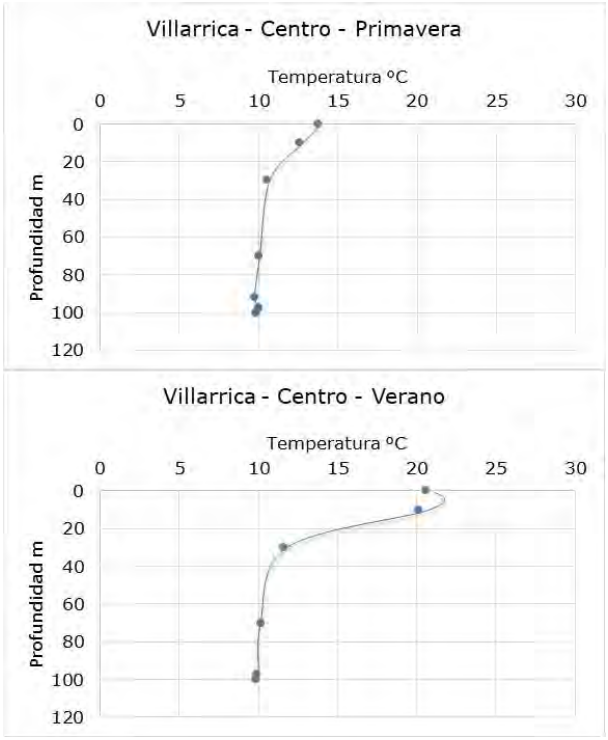
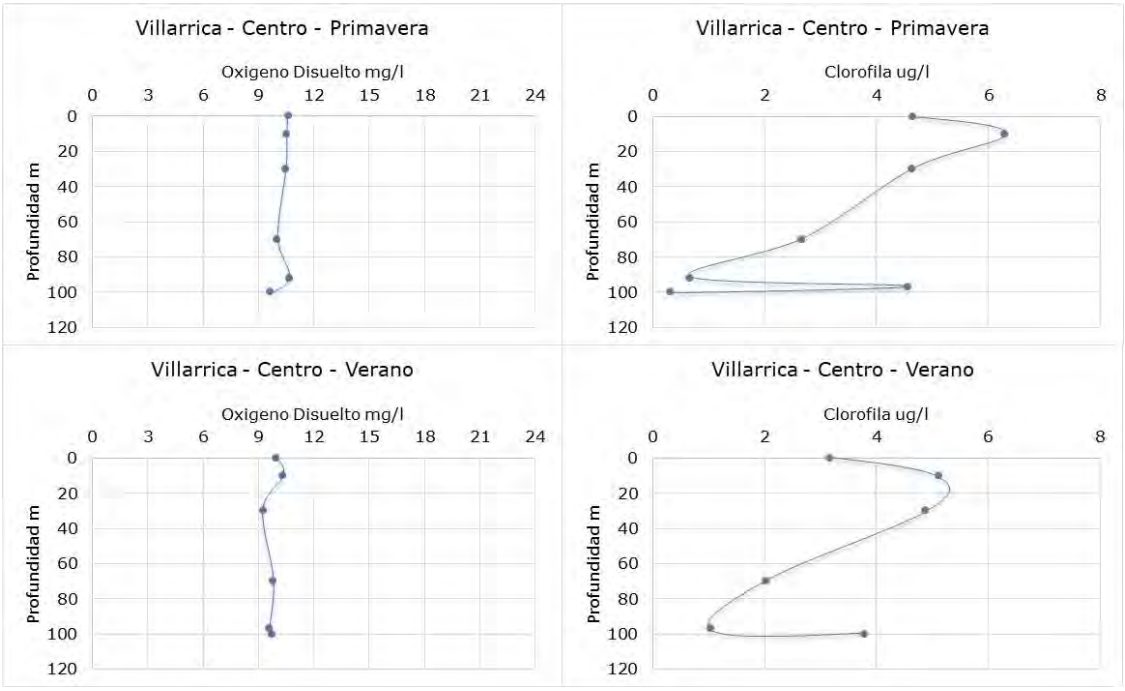


Figura 78. Variación estacional de la concentración de Oxígeno disuelto y clorofila a en estación Centro en lago Villarica.



b. Disponibilidad sub-acuática de irradiancia: Zona eufótica (ZEUF).

De acuerdo a la relación entre la zona de mezcla Z_m y la zona eufótica Z_{eu} analizada para una estación representativa de cada sistema lacustre con disponibilidad de datos para llevar a cabo estos análisis, la mayoría de los sistemas lacustres no presentaron limitación por luz para el fitoplancton, a excepción de la laguna Torca, donde se encontró limitación por luz todo el año, bajo una columna de agua estratificada a una profundidad mayor que la zona eufótica; la laguna Vichuquén presentó la misma condición en otoño, cuando la columna de agua se encontraba, en promedio, completamente mezclada, y además en primavera, cuando la profundidad de la capa de mezcla fue mayor a la zona eufótica; La laguna Lloncao, presentó limitación por luz para el fitoplancton en los tres periodos estacionales con disponibilidad de datos (verano, otoño e invierno); El lago Colico, mostró una severa limitación por luz en primavera, cuando la columna de agua se encontraba mezclada; El lago Riñihue estuvo limitado por luz para el fitoplancton en primavera, en condición de estratificación; y en el lago Todos los Santos, se observó esta tendencia durante los inviernos, aunque con columnas de agua estratificadas (Tabla 20).

Tabla 20. Promedio y rango (min. y máx.) de la zona eufótica (Z_{eu}), condición hidrodinámica y la relación Z_m/ Z_{eu} por sistema y periodo estacional. Z_{max} = profundidad máxima del cuerpo de agua (m).

Sistema	Estación de muestreo	Periodo estacional	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z_{eu}, m)	Z_m / Z_{eu}
Laguna Aculeo	Puntilla León	Verano	Estratificada	2.2 (0.9 – 7.5)	0.27
		Otoño	Estratificada	2.2 (0.6 – 3.3)	0.30
		Invierno	Estratificada	3.2 (0.5 – 6.8)	0.31
		Primavera	Estratificada	3.3 (1.5 – 9.6)	0.30
Laguna Torca	Centro	Verano	Estratificada	1.6 (0.3 – 3.0)	3.27
		Otoño	Estratificada	2.5 (0.9 – 6.0)	2.02
		Primavera	Estratificada	3.0 (0.6 – 5.4)	1.67
Lago Vichuquén	Centro	Verano	Estratificada	7.8 (2.4 – 13.5)	1.28
		Otoño	Mezclada (Z_{max} = 18.7)	4.4 (1.5 – 7.5)	4.30
		Primavera	Estratificada	7.0 (3.0 – 10.5)	1.43
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Verano	Estratificada	8.9 (7.2 – 12.0)	0.56
		Otoño	Estratificada	10.5 (6.0 – 14.0)	0.09
		Invierno	Estratificada	9.6 (4.5 – 14.1)	0.31
		Primavera	Estratificada	13.3 (7.7 – 25.5)	0.23
Laguna Lloncao	Centro	Verano	Estratificada	13.5	1.48
		Otoño	Estratificada	18.0	1.11
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= 21.25)	12.0 (10.5 – 13.5)	1.77
Lago Lanalhue	Centro	Verano	Estratificada	3.0	0.67
		Invierno	Estratificada	3.9	0.51

Sistema	Estación de muestreo	Periodo estacional	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z_{eu}, m)	Z_m / Z_{eu}
Lago Lleu-Lleu	Centro	Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	27.6	-
		Primavera	Estratificada	28.5	0.53
Lago Colico	Centro	Verano	Estratificada	49.5 (46.5 – 52.5)	0.20
		Otoño	Estratificada	46.5	0.43
		Primavera	Mezcla (Z_{max}= 386)	33.8 (31.5 – 36.0)	11.44
Lago Caburgua	Centro	Verano	Estratificada	44.3 (31.5 – 61.5)	0.23
		Otoño	Estratificada	35.9 (18.0 – 43.5)	0.42
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	40.3 (28.5 – 54.3)	-
		Primavera	Estratificada	49.1 (24.0 – 72.0)	0,20
Lago Villarrica	Centro	Verano	Estratificada	32.5 (13.5 – 46.5)	0.31
		Primavera	Estratificada	26.5 (22.5 – 28.5)	0.38
Lago Calafquén	Centro	Verano	Estratificada	37.8 (24.0 – 51.0)	0.13
		Otoño	Estratificada	37.2 (22.5 – 47.1)	0.40
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	32.4 (28.5 – 37.5)	-
		Primavera	Estratificada	40.2 (30.0 – 49.5)	0.25
Lago Panguipulli	Centro	Verano	Estratificada	33.5 (22.5 – 54.0)	0.09
		Otoño	Estratificada	25.2 (16.8 – 37.5)	0.40
		Invierno	Estratificada	19.0 (9.0 – 32.4)	0.53
		Primavera	Estratificada	29.1 (18.0 – 45.0)	0.34
Lago Neltume	Centro	Verano	Estratificada	22.5	0.44
		Otoño	Estratificada	24.0	0.83
		Primavera	Estratificada	24.0 (21.0 – 27.0)	0.83
Lago Riñihue	Centro	Verano	Estratificada	39.0	0.51
		Otoño	Estratificada	39.0	0.26
		Primavera	Estratificada	27.8 (25.5 – 30.0)	1.08
Lago Pirihueico	Estación 1	Verano	Estratificada	36.6 (34.2 – 39.0)	0.79
		Otoño	Estratificada	28.5 (21.0 – 36.0)	0.27
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	39.6	-
		Primavera	Estratificada	25.4 (22.8 – 27.9)	0.70
Lago Ranco	Futrono	Verano	Estratificada	45.9 (31.5 – 69.0)	0.22
		Otoño	Estratificada	41.0 (30.0 – 55.5)	0.12
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	35.5 (21.0 – 57.0)	-
		Primavera	Estratificada	41.6 (25.5 – 55.8)	0.48
Lago Maihue	Centro	Verano	Estratificada	36.5 (16.5 – 58.5)	0.19
		Otoño	Estratificada	27.6 (8.9 – 45.0)	0.11
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = sin datos)	21.2 (10.5 – 31.5)	-
		Primavera	Estratificada	30.3 (14.4 – 48.3)	0.23
Lago Puyehue	Centro	Verano	Estratificada	22.5	0.44

Sistema	Estación de muestreo	Periodo estacional	Condición hidrodinámica	Zona Eufótica (Z_{eu}, m)	Z_m / Z_{eu}
		Otoño	Estratificada	33.0 (31.5 − 34.5)	0.30
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	9.0	-
		Primavera	Estratificada	23.3 (12.0 − 34.5)	0.43
Lago Rupanco	Cascada	Verano	Estratificada	39.5 (33.0 − 45.0)	0.51
		Otoño	Estratificada	43.5	0.46
		Primavera	Estratificada	38.3 (37.5 − 39.0)	0.52
Lago Todos los Santos	Centro	Verano	Estratificada	33.0	0.45
		Invierno	Estratificada	15.0	4.53
		Primavera	Estratificada	54.0	0.56
Lago Llanquihue	Puerto Varas	Verano	Estratificada	50.2 (33.0 − 72.0)	0.10
		Otoño	Estratificada	42.2 (28.5 − 60)	0.12
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= sin datos)	34.9 (27.0 − 46.5)	-
		Primavera	Estratificada	(42.3 (32.1 − 54.0)	0.12
Lago Chapo	Centro	Verano	Estratificada	38.4 (22.5 − 60.6)	0.39
		Otoño	Estratificada	32.0 (24.0 − 42.0)	0.47
		Invierno	Estratificada	32.1 (16.5 − 42.0)	0.47
		Primavera	Estratificada	27.6 (16.546.5)	0.54

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

La concentración promedio y el rango de Sílice (SiO_2), nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) y de fósforo total registrados en cada sistema lacustre, para totas las estaciones con datos dentro del periodo 1986 − 2017, se muestran en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23. El sistema que presentó menor concentración de sílice es el lago Yaldad con 1.22 mg/L, aunque este solo presenta una medición dentro del periodo de estudio. Lo siguen Natri (1.23 mg/L en promedio), y Tarahuin (1.24 mg/L en promedio). Todos estos sistemas se encuentran en la X Región. Por otro lado, el Lago Neltume presentó la mayor concentración de sílice promedio (15.15 mg/L), seguido por el lago Calafquén (13.74 mg/L) y el lago Villarrica (13.15 mg/L) (Tabla 21). Los cuerpos lacustres que presentaron menor concentración de fósforo total, con un promedio de 0.0033 mg/L fueron el lago Colico y el lago Pirihueico, seguidos del lago Lleu - Lleu (0.004 mg/L) y Yaldad (0.006 mg/L). Por otro lado, la laguna Petrel presentó el promedio más alto en la concentración de este nutriente (1.354 mg/L) (Tabla 22).En el caso del nitrógeno total, los sistemas límnicos con menor concentración promedio fueron Tarahuin, San Antonio y Yaldad con 0.01 mg/L, mientras que el lago Vichuquén mostró el mayor valor promedio (21.72 mg/L), seguido de la laguna Torca (3.52 mg/L), Lencán (1.44 mg/L) y Aculeo (1.24 mg/L) (Tabla 23).

Tabla 21. Concentración del nutriente sílice (SiO_2) en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos.

Cuerpo lacustre	Nº de datos	Concentracion de SiO_2 (mg/L)
Lago Chungará	-	-
Laguna Aculeo	563	3.72 (0.05 – 13.80)
Laguna Petrel	2	8.44 (4.59 – 12.29)
Laguna El Perro	2	2.31 (1.51 – 3.11)
Laguna Torca	16	7.10 (3.92 – 10.59)
Lago Vichuquén	92	4.48 (1.00 – 11.45)
Laguna Grande de San Pedro	445	3.06 (0.18 – 45.00)
Laguna Lencán	10	12.54 (3.60 – 18.01)
Laguna Lloncao	8	9.43 (7.80 – 10.09)
Lago Lanalhue	705	3.33 (0.11 – 13.21)
Laguna Los Batros	5	10.95 (9.37 – 12.16)
Laguna Antiquina	2	3.69 (2.43 – 4.96)
Lago LleuLleu	12	2.26 (1.71 – 2.85)
Laguna Butaco	3	4.49 (1.35 – 10.24)
Lago Colico	65	4.22 (2.32 – 8.47)
Lago Caburgua	359	8.93 (3.09 – 19.10)
*Lago Villarrica	971	13.2 (0.01 – 21.20)
Lago Calafquén	363	13.74 (2.55 – 31.46)
Lago Panguipulli	352	11.56 (1.06 – 22.70)
Lago Neltume	4	15.15 (14.87 – 15.43)
*Lago Riñihue	682	10.08 (0.006 – 17.80)
Lago Pirihueico	-	-
*Lago Ranco	581	11.40 (3.36 – 17.80)
Lago Maihue	262	13.24 (3.09 – 19.26)
Lago Puyehue	90	7.60 (1.00 – 11.03)
Lago Rupanco	103	5.00 (1.00 – 6.35)
Lago Todos Los Santos	222	9.71 (2.93 – 17.43)
*Llago Llanquihue	1138	1.68 (0.01 – 25.70)
Lago Chapo	306	6.63 (1.50 – 8.97)
Tarahuin	2	1.24 (1.17 – 1.31)
Natri	4	1.23 (1.00 -1.60)
Tepuhueico	1	2.49
San Antonio	1	2.27
Yaldad	1	1.22

* No se incluyeron los datos de Campos et al. (1987 y 1988) debido a que el valor superficial ya está considerado y a que las otras profundidades analizadas por estos autores son más superficiales que las utilizadas en DGA, lo que puede introducir un sesgo positivo en los datos.

Tabla 22. Concentración del nutriente fósforo total en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos.

Cuerpo lacustre	Nº de datos	Concentracion de fósforo total (mg/L)
Lago Chungará	-	-
Laguna Aculeo	386	0.085 (0.008 – 0.442)
Laguna Petrel	2	1.354 (0.586 – 2.123)
Laguna El Perro	2	0.02 (0.013 – 0.028)
Laguna Torca	4	0.054 (0.053 – 0.056)
Lago Vichuquén	45	0.128 (0.008 – 0.896)
Laguna Grande de San Pedro	355	0.018 (0.0013 – 0.2)
Laguna Lencán	3	0.097 (0.074 – 0.128)
Laguna Lloncao	4	0.016 (0.005 – 0.045)
Lago Lanalhue	533	0.016 (0.001 – 0.2)
Laguna Los Batros	3	0.013 (0.012 – 0.014)
Laguna Antiquina	2	0.026 (0.021 – 0.032)
Lago Lleu Lleu	12	0.004 (0.003 – 0.006)
Laguna Butaco	3	0.024 (0.003 – 0.067)
Lago Colico	39	0.0033 (0.003 – 0.0049)
Lago Caburgua	248	0.019 (0.003 – 0.3)
*Lago Villarrica	888	0.02 (0.001 – 0.2)
Lago Calafquén	462	0.012 (0.001 – 0.419)
Lago Panguipulli	308	0.01 (0.001 – 0.04)
Lago Neltume	155	0.005 (0.003 – 0.017)
*Lago Riñihue	473	0.006 (0.001 – 0.075)
Lago Pirihueico	127	0.0033 (0.003 – 0.006)
*Lago Ranco	372	0.008 (0.001 – 0.062)
Lago Maihue	229	0.009 (0.003 – 0.034)
Lago Puyehue	199	0.008 (0.003 – 0.172)
Lago Rupanco	67	0.006 (0.003 – 0.021)
Lago Todos Los Santos	174	0.008 (0.003 – 0.127)
*Llago Llanquihue	994	0.013 (0.001 – 0.41)
Lago Chapo	190	0.009 (0.003 – 0.051)
Tarahuin	2	0.009 (0.009 – 0.009)
Natri	4	0.012 (0.008 – 0.018)
Tepuhueico	1	0.010
San Antonio	1	0.007
Yaldad	1	0.006

* No se incluyeron los datos de Campos et al. (1987 y 1988) debido a que el valor superficial ya está considerado y a que las otras profundidades analizadas por estos autores son más superficiales que las utilizadas en DGA, lo que puede introducir un sesgo positivo en los datos.

Tabla 23. Concentración del nutriente nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) en los lagos analizados. Concentración promedio (Min-Max), (-) No existen datos.

Cuerpo lacustre	Nº de datos	Concentracion de nitrógeno total (mg/L)
Lago Chungará	-	-
Laguna Aculeo	74	1.24 (0.08 – 3.37)
Laguna Petrel	-	-
Laguna El Perro	-	-
Laguna Torca	17	3.52 (0.14 – 10.76)
Lago Vichuquén	83	21.72 (0.05 – 91.57)
Laguna Grande de San Pedro	84	0.23 (0.004 – 4.32)
Laguna Lencán	10	1.44 (0.01 – 4.719
Laguna Lloncao	8	0.48 (0.05 – 2.24)
Lago Lanalhue	346	0.20 (0.01 – 0.87)
Laguna Los Batros	4	0.43 (0.06 – 0.81)
Laguna Antiquina	2	0.30 (0.04 – 0.55)
Lago LleuLleu	6	0.06 (0.05 – 0.07)
Laguna Butaco	5	0.87 (0.14 – 1.78)
Lago Colico	83	0.16 (0.01 – 0.35)
Lago Caburgua	86	0.22 (0.02 – 3.03)
*Lago Villarrica	693	0.1 (0.004 – 3.0)
Lago Calafquén	184	0.32 (0.02 – 2.65)
Lago Panguipulli	169	0.15 (0.01 – 1.16)
Lago Neltume	46	0.12 (0.04 – 0.53)
*Lago Riñihue	309	0.09 (0.01 – 1.1)
Lago Pirihueico	-	-
*Lago Ranco	333	0.08 (0.01 – 0.53)
Lago Maihue	148	0.07 (0.002 – 0.68)
Lago Puyehue	69	0.15 (0.01 – 0.83)
Lago Rupanco	85	0.05 (0.01 – 0.21)
Lago Todos Los Santos	26	0.08 (0.01 – 0.33)
*Llago Llanquihue	581	0.09 (0.01 – 1.54)
Lago Chapo	58	0.17 (0.01 – 3.58)
Tarahuin	2	0.01 (0.01 – 0.01)
Natri	2	0.17 (0.16 – 0.18)
Tepuhueico	-	-
San Antonio	1	0.01
Yaldad	1	0.01

* No se incluyeron los datos de Campos et al. (1987 y 1988) debido a que el valor superficial ya está considerado y a que las otras profundidades analizadas por estos autores son más superficiales que las utilizadas en DGA, lo que puede introducir un sesgo positivo en los datos.

1. Análisis de Sílice (SiO_2) como nutriente limitante:

Al utilizar la razón Redfield-Brzezinski (Brzezinski 1985), se encontró que hubo casos de limitación por sílice en relación a la concentración de nitrógeno total (NT) en 9 cuerpos lacustres y casos de limitación por sílice respecto al fósforo total (PT) en 7 sistemas (Tabla 24 y Tabla 25). En la mayoría de estos sistemas hubo pocos casos de limitación por sílice (1 a 10 casos), no obstante, cabe destacar que el lago Vichuquén mostró un 70 % de casos de limitación por sílice respecto al NT y la laguna Aculeo mostró esta situación en un 37% de los casos (Tabla 25), lo cual se debe a la alta concentración de nitrógeno que presentaron estos cuerpos lacustres durante el periodo de estudio (Tabla 23).

Tabla 24. Determinaciones de las razones Si/NT y Si/PT. NT=Nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) y PT=Fósforo total. (-) No existen datos.

Cuerpo lacustre	Rango Si/NT (Nº de datos)	Rango Si/PT (Nº de datos)
Lago Chungará	-	-
Laguna Aculeo	0.4 – 32.5 (68)	0.5 – 989.0 (346)
Laguna Petrel	-	5.8 – 7.8 (2)
Laguna El Perro	-	112.7 – 117.6 (2)
Laguna Torca	0.4 – 4.4 (13)	-
Lago Vichuquén	0.1 – 138.9 (66)	7.7 – 558.7 (29)
Laguna Grande de San Pedro	0.6 – 152.8 (62)	3.5 – 3307.7 (249)
Laguna Lencán	1.5 – 2424.9 (10)	40.7 – 169.4 (3)
Laguna Lloncao	3.5 – 193.1 (8)	222.7 – 1733.3 (4)
Lago Lanalhue	0.5 – 300.7 (306)	4.9 – 3152.0 (439)
Laguna Los Batros	14.0 – 177.5 (4)	781.3 – 928.8 (3)
Laguna Antiquina	9.1 – 55.2 (2)	76.4 – 236.2 (2)
Lago LleuLleu	23.9 – 50.9 (6 datos)	184.4 – 761.3 (12)
Laguna Butaco	3.1 – 66.9 (3)	104.2 – 449.4 (3)
Lago Colico	7.1 – 320.3 (65)	1387.0 – 2574.3 (20)
Lago Caburgua	4.5 – 554.6 (75)	11.0 – 3565.0 (225)
Lago Villarrica	0.2 – 4302.5 (517)	0.5 – 31800.0 (777)
Lago Calafquén	9.3 – 769.2 (140)	24.0 – 13500.0 (270)
Lago Panguipulli	4.7 – 1012.1 (146)	106.3 – 6360.4 (254)
Lago Neltume	194.8 – 2560.6 (4)	1499.3 – 1921.0 (4)
Lago Riñihue	5.5 – 1121.4 (255)	148.5 – 19550.0 (244)
Lago Pirihueico	-	-
Lago Ranco	25.0 – 929.5 (216)	249.4 – 23000.0 (241)
Lago Maihue	8.4 – 805.1 (52)	356.5 – 5133.8 (171)
Lago Puyehue	10.0 – 1561.7 (69)	63.7 – 2533.8 (70)

Cuerpo lacustre	Rango Si/NT (Nº de datos)	Rango Si/PT (Nº de datos)
Lago Rupanco	25.9 – 1113.7 (75)	302.0 – 1871.6 (67)
Lago Todos Los Santos	13.0 – 554.6 (26)	23.1 – 2970.0 (147)
Llago Llanquihue	0.5 – 2856.2 (547)	0.8 – 13300.0 (900)
Lago Chapo	1.1 – 256.5 (47)	137.5 – 2782.0 (173)
Tarahuin	233.5 – 262.3 (2)	133.9 – 150.5 (2)
Natri	6.3 – 7.5 (2)	89.6 – 158.7 (4)
Tepuhueico	-	247.9 (1)
San Antonio	162.4 (1)	329.0 (1)
Yaldad	454.7 (1)	188.2 (1)

Tabla 25. Número de casos en que sílice fue el nutriente limitante en relación a NT y a PT, en cada cuerpo lacustre dentro del periodo 1986 – 2017. (-) Sin datos.

Cuerpo lacustre	Casos con Si limitante Si/NT (Nº total de datos)	Casos con Si limitante Si/PT (Nº total de datos)
Lago Chungará	-	-
Laguna Aculeo	25 casos (68 datos)	60 casos (346 datos)
Laguna Petrel	-	2 casos (2 datos)
Laguna El Perro	-	0 casos (2 datos)
Laguna Torca	6 casos (13 datos)	-
Lago Vichuquén	46 casos (66 datos)	3 casos (29 datos)
Laguna Grande de San Pedro	3 casos (62 datos)	5 casos (249 datos)
Laguna Lencán	1 caso (10 datos)	0 casos (3 datos)
Laguna Lloncao	0 casos (8 datos)	0 casos (4 datos)
Lago Lanalhue	6 casos (306 datos)	10 casos (439 datos)
Laguna Los Batros	0 casos (4 datos)	0 casos (3 datos)
Laguna Antiquina	0 casos (2 datos)	0 casos (2 datos)
Lago LleuLleu	0 casos (6 datos)	0 casos (12 datos)
Laguna Butaco	0 casos (3 datos)	0 casos (3 datos)
Lago Colico	0 casos (65 datos)	0 casos (20 datos)
Lago Caburgua	0 casos (75 datos)	1 caso (225 datos)
Lago Villarrica	2 casos (517 datos)	3 casos (777 datos)
Lago Calafquén	0 casos (140 datos)	0 casos (270 datos)
Lago Panguipulli	0 casos (147 datos)	0 casos (254 datos)
Lago Neltume	0 casos (4 datos)	0 casos (4 datos)
Lago Riñihue	0 casos (255 datos)	0 casos (244 datos)
Lago Pirihueico	-	-
Lago Ranco	0 casos (216 datos)	0 casos (241 datos)
Lago Maihue	0 casos (52 datos)	0 casos (171 datos)

Cuerpo lacustre	Casos con Si limitante Si/NT (Nº total de datos)	Casos con Si limitante Si/PT (Nº total de datos)
Lago Puyehue	0 casos (69 datos)	0 casos (70 datos)
Lago Rupanco	0 casos (75 datos)	0 casos (67 datos)
Lago Todos Los Santos	0 casos (26 datos)	0 casos (147 datos)
Llago Llanquihue	22 casos (574 datos)	40 casos (900 datos)
Lago Chapo	1 caso (47 datos)	0 casos (173 datos)
Tarahuin	0 casos (2 datos)	0 casos (2 datos)
Natri	0 casos (2 datos)	0 casos (4 datos)
Tepuhueico	-	0 casos (1 dato)
San Antonio	0 casos (1 dato)	0 casos (1 dato)
Yaldad	0 casos (1 dato)	0 casos (1 dato)

2. Análisis de Nitrógeno (NT) y Fósforo (PT) como nutrientes limitantes:

De acuerdo a la razón de Redfield (1963), la mayoría de los cuerpos lacustres presentó casos con limitación por fósforo o por nitrógeno (Tabla 26), salvo en la laguna Lencán, laguna Lloncao, lago Lleu-lleu, lago Colico y Natri que no mostraron limitación por nitrógeno, y a Tarahuin, San Antonio y Yaldad, que no mostraron limitación por fósforo. Considerando los sistemas que cuentan con más de 6 datos, el lago Vichuquén presentó el mayor porcentaje de casos con limitación por nitrógeno (61,7 %), mientras que el lago Neltume mostró el mayor porcentaje de casos con limitación por fósforo (92,9 %), seguido del lago Lanalhue (85,5 %) y del lago Panguipulli (79,5 %) (Tabla 26).

Tabla 26. Determinaciones de la razón Nitrógeno total ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + NTK) / Fósforo total y número de casos (y porcentaje) en que el nitrógeno y el fósforo fue el nutriente limitante en cada cuerpo lacustre dentro del periodo 1986 − 2017. (-) Sin datos.

Cuerpo lacustre	Promedio NT/PT (nº de datos) - (min – máx)	Casos con NT limitante	Casos con PT limitante
Lago Chungará	-	-	-
Laguna Aculeo	32.5 (74)- (0.6 − 208.4)	26 (35,1 %)	48 (64,9 %)
Laguna Petrel	-	-	-
Laguna El Perro	-	-	-
Laguna Torca	7.4 (4) - (2.7 − 12.7)	2 (50 %)	2 (50 %)
Lago Vichuquén	19.8 (20) - (0.6 − 108.5)	8 (40 %)	12 (60%)
Laguna Grande de San Pedro	13.4 (47) - (0.3 − 100.4)	29 (61,7 %)	18 (38,3 %)
Laguna Lencán	30.9 (3) - (27.4 − 36.9)	0	3 (100 %)
Laguna Lloncao	35.3 (4) - (8.1 − 69.0)	0	4 (100 %)
Lago Lanalhue	30.8 (330) - (4.9 − 3152.0)	48 (14,5 %)	282 (85,5 %)
Laguna Los Batros	39.5 (3) - (4.9 − 57.5)	1 (33,3 %)	2 (66,7 %)

Cuerpo lacustre	Promedio NT/PT (nº de datos) - (min – máx)	Casos con NT limitante	Casos con PT limitante
Laguna Antiquina	13.7 (2) - (1.4 – 26.1)	1 (50 %)	1 (50 %)
Lago LleuLleu	20.1 (6) - (17.0 – 23.8)	0	6 (100 %)
Laguna Butaco	27.1 (3) - (1.6 – 46.0)	1 (33,3 %)	2 (66,7 %)
Lago Colico	28.5 (20) - (20.6 – 35.4)	0	20 (100 %)
Lago Caburgua	30.8 (86) - (0.7 – 625.8)	37 (43 %)	49 (57 %)
Lago Villarrica	16.7 (589) - 0.2 – 414.1	282 (47,9 %)	307 (52,1 %)
Lago Calafquén	47.1 (184) - (0.3 – 519.5)	57 (31 %)	127 (69 %)
Lago Panguipulli	25.9 (166) - (1.7 – 184.5)	34 (20,5 %)	132 (79,5 %)
Lago Neltume	29.7 (42) - (4.3 – 67.9)	3 (7,1 %)	39 (92,9 %)
Lago Riñihue	19.2 (210) - (1.0 – 606.7)	95 (45,2 %)	115 (54,8 %)
Lago Pirihueico	-	-	-
Lago Ranco	15.0 (188) - (1.2 – 118.7)	60 (31,9 %)	128 (68,1 %)
Lago Maihue	8.6 (90) - (0.5 – 56.6)	49 (54,4 %)	41 (45,6 %)
Lago Puyehue	11.0 (50) - (1.2 – 25.7)	17 (34 %)	33 (66 %)
Lago Rupanco	8.4 (34) - (0.8 – 24.4)	19 (55,9 %)	15 (44,1 %)
Lago Todos Los Santos	11.3 (23) - (0.7 – 31.3)	11 (47,8 %)	12 (52,2 %)
Llago Llanquihue	15.2 (479) - (0.5 – 127.4)	160 (33,4 %)	319 (66,6 %)
Lago Chapo	12.6 (43) - (4.3 – 33.3)	12 (27,9 %)	31 (72,1 %)
Tarahuin	0.6 (2) - (0.6 – 0.6)	2 (100 %)	0
Natri	19.3 (2) - (17.4 – 21.2)	0	2 (100 %)
Tepuhueico	-	-	-
San Antonio	0.7 (1)	1 (100 %)	0
Yaldad	0.8 (1)	1 (100 %)	0

d. Análisis los cambios espaciales del nutriente limitante (N-Total, P-Total) en relación con estratificación y mezcla.

Los resultados de los análisis de la proporción de Redfield (1934) para determinar el nutriente limitante, para una estación representativa de cada cuerpo lacustre en cada periodo estacional, mostró que en la mayoría de los casos el nutriente limitante fue el fósforo, a excepción de la laguna Aculeo, laguna Torca y Vichuquén en verano, la Laguna Grande de San Pedro y Llanquihue en otoño, Caburgua en invierno y Rupanco en verano y otoño, que estuvieron limitados por nitrógeno (Tabla 27). En la mayoría de los casos con limitación por nitrógeno, la columna de agua estaba estratificada, con la única excepción del verano en el lago Caburgua. Además, la limitación por fósforo se encontró tanto en condición de mezcla o de estratificación, por lo que no se observó alguna relación entre la condición hidrodinámica del cuerpo de agua y el tipo de nutriente limitante.

Tabla 27. Promedio (Min. − Máx.) de la razón de Redfield, determinación del Nutriente limitante promedio y condición hidrodinámica para cada sistema lacustre por periodo estacional en estación representativa. (S.D.= sin datos)

Sistema	Estación	Periodo estacional	Condición hidrodinámica	NT /PT Promedio (Min. – Máx.)	Nutriente limitante promedio
Aculeo	Puntilla León	Verano	Estratificada	5.3 (1.04 -15.6)	Nitrógeno
		Otoño	Estratificada	12.5 (1.97 – 33.2)	Fósforo
		Invierno	Estratificada	62.0 (6.6 -130.6)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	99.8 (28.4 – 208.4)	Fósforo
Torca	Centro	Verano	Estratificada	2.7 (2.7 – 2.7)	Nitrógeno
		Otoño	Estratificada	12.1 (2.7 – 12.7)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	S.D.	S.D.
Vichuquén	Centro	Verano	Estratificada	4.3 (3.2 – 5.7)	Nitrógeno
		Otoño	Mezclada (Z_{max} = 18.7)	21.1 (15.0 – 28.5)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	S.D.	S.D.
Laguna Grande de San Pedro	Centro	Verano	Estratificada	12-9 (0,3 – 100.4)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	3.6 (1.4 – 7.7)	Nitrógeno
		Invierno	Estratificada	7.6 (1.3 – 13.3)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	77.0 (75.4 – 79.4)	Fósforo
Lloncao	Centro	Verano	Estratificada	S.D.	S.D.
		Otoño	Estratificada	38.5 (8.1 – 68.9)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= 21.25)	32.1 (27.0 – 37.3)	Fósforo
Lanalhue	Centro	Verano	Estratificada	81.6 – 1.4 – 169.0)	Fósforo
		Invierno	Estratificada	9.3 (6.0 – 12.5)	Fósforo
Lleu-Lleu	Centro	Invierno	Mezcla (Z_{max}= S.D)	21.5 (18.7 – 23.7)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	S.D.	S.D.
Colico	Centro	Verano	Estratificada	S.D.	S.D.
		Otoño	Estratificada	27.3 (20.6 – 33.9)	Fósforo
		Primavera	Mezcla (Z_{max}= 386)	S.D.	S.D.
Caburgua	Centro	Verano	Estratificada	74.7 (0.9 – 625.8)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	11.3 (0.1 – 14.2)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max}= S.D)	6.1 (4.9 – 9.3)	Nitrógeno
		Primavera	Estratificada	25.3 (11.9 – 63.3)	Fósforo
Villarrica	Centro	Verano	Estratificada	60.9 (1.4 – 414.1)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	25.9 (2.2 – 125.0)	Fósforo
Calafquén	Centro	Verano	Estratificada	93.1 (0.8 – 375.2)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	43.8 (2.3 – 102.8)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	20.9 (3.2 – 51.5)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	18.3 (4.3 – 47.8)	Fósforo
Panguipulli	Centro	Verano	Estratificada	63.0 (1.9 – 184.5)	Fósforo

Sistema	Estación	Periodo estacional	Condición hidrodinámica	NT /PT Promedio (Min. – Máx.)	Nutriente limitante promedio
		Otoño	Estratificada	28.6 (3.0 – 56.4)	Fósforo
		Invierno	Estratificada	16.6 (6.5 – 26.3)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	18.2 (4.0 – 58.0)	Fósforo
Neltume	Centro	Verano	Estratificada	16.1 (5.9 – 26.4)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	14.6 (9.9 – 20.5)	Fósforo
Riñihue	Centro	Verano	Estratificada	S.D.	S.D.
		Otoño	Estratificada	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	S.D.	S.D.
Pirihueico	Estación 1	Verano	Estratificada	S.D.	S.D.
		Otoño	Estratificada	S.D.	S.D.
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	S.D.	S.D.
Ranco	Futrono	Verano	Estratificada	25.7 (1.3 – 118.7)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	15.8 (1.2 – 38.7)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	14.2 (2.7 – 53.9)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	12.5 (2.9 – 33.3)	Fósforo
Maihue	Centro	Verano	Estratificada	8.9 (4.0 – 17.0)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	8.1 (4.6 – 13.4)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	7.8 (5.9 – 11.4)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	8.2 (2.7 – 16.1)	Fósforo
Puyehue	Centro	Verano	Estratificada	8.9 (3.6 – 15.1)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	11.5 (4.4 – 23.5)	Fósforo
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	13.3 (8.0 – 23.4)	Fósforo
Rupanco	Cascada	Verano	Estratificada	5.5 (3.9 – 8.5)	Nitrógeno
		Otoño	Estratificada	0.9 (0.8 – 1.0)	Nitrógeno
		Primavera	Estratificada	9.7 (8.3 – 12.0)	Fósforo
Todos los Santos	Centro	Verano	Estratificada	26.4 (9.3 – 31.3)	Fósforo
		Invierno	Estratificada	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	13.4 (9.4 – 20.0)	Fósforo
Llanquihue	Puerto Varas	Verano	Estratificada	14.0 (1.1 – 95.5)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	6.9 (3.9 – 10.6)	Nitrógeno
		Invierno	Mezcla (Z_{max} = S.D)	12.7 (3.4 – 42.6)	Fósforo
		Primavera	Estratificada	17.8 (2.9 – 62.4)	Fósforo
Chapo	Centro	Verano	Estratificada	15.6 (6.1 – 26.7)	Fósforo
		Otoño	Estratificada	7.2 (5.6 – 10.2)	Fósforo
		Invierno	Estratificada	S.D.	S.D.
		Primavera	Estratificada	9.8 (5.7 – 16.4)	Fósforo

e. Determinación de la condición trofíca en los cuerpos lacustres.

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de la condición trófica de los cuerpos lacustres mediante la clasificación de Smith et al. (1999), el índice de trofía de Carlson (1977), el índice modificado de Aizaki et al. (1981) y de los rangos establecidos por la Organización de la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982).

i) Determinación de la condición trófica de acuerdo a la clasificación de Smith et al. (1999):

De acuerdo a la clasificación de Smith et al. (1999) para determinar el estado trófico de sistemas lacustres, los sistemas que presentaron mayor trofía, clasificados como eutróficos o hipereutróficos con el promedio de las mediciones, fueron la laguna Aculeo, laguna Petrel, laguna Torca, lago Vichuquén y laguna Lencán (Tabla 28). La laguna Antiquina mostró hipertrofía solamente mediante las mediciones de clorofila −a superficial y eutrofia al evaluar la profundidad del disco Secchi. Las lagunas Los Batros y Butaco mostraron eutrofia mediante los indicadores de Cl-a y fósforo total, respectivamente. Los cuerpos lacustres que mostraron las condiciones de trofía más elevadas en todas las mediciones de este criterio, se ubican entre la regón Metropolitana y la VIII región, mientras que aquellos ubicados en regiones más australes presentaron condiciones de oligotrofia a mesotrofía.

Tabla 28. Estado trófico de los cuerpos lacustres de acuerdo a Smith et al. (1999) para valores superficiales promedio (número de datos) y rango de los valores (Mín − Máx) de nitrógeno total, fósforo total, concentración de clorofila a, y profundidad de disco Secchi considerando toda la base de datos disponible para todas las estaciones de muestreo. (-) No hay datos). El color representa nivel de trofía al valor promedio.

Cuerpo lacustre	Nitrógeno total (ug/L)	Fósforo total (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)	Profundidad Disco Secchi (m)
Lago Chungará	-	-	2.0 (3) (1.7 − 2.3)	7.5 (2) (6.5 − 8.5)
Laguna Aculeo	1319.6 (34) (83.0 − 2923.5)	82.5 (182) (7.5 − 427.2)	33.3 (189) (0.1 − 147.1)	0.9 (237) (0.2 − 3.4)
Laguna Petrel	-	1354.2 (2) (586 − 2122.5)	37.1 (2) (18.6 − 55.5)	0.5 (2) (0.5 − 0.5)
Laguna El Perro	-	20.2 (2) (12.9 − 17.6)	3.8 (2) (3.0 − 4.0)	1.8 (2) (1.0 − 2.5)
Laguna Torca	3303.1 (7) (146.0 − 7906.0)	55.2 (2) (54.5 − 55.8)	163.5 (10) (42.5 − 592.6)	0.7 (10) (0.1 − 2.0)
Lago Vichuquén	15438.8 (41) (51.0 − 66827.0)	86.3 (22) (7.7 − 626.4)	74.2 (54) (1.2 − 521.2)	2.02 (36) (0.4 − 4.5)
Laguna Grande de San Pedro	161.5 (34) (6.0 − 754.0)	15.6 (140) (1.4 − 200)	3.8 (139) (0.8 − 19.9)	3.5 (217) (1.5 − 9.8)
Laguna Lencán	1434.9 (8) (7.0 − 4713.0)	96.7 (3) (73.7 − 127.8)	64.8 (8) (3.6 − 18.01)	0.95 (4) (0.5 − 1.3)
Laguna Lloncao	235.0 (4)	6.8 (2)	6.5 (3)	4.6 (4)

Cuerpo lacustre	Nitrógeno total (ug/L)	Fósforo total (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)	Profundidad Disco Secchi (m)
	(139.0 – 363.0)	(5.3 – 8.4)	(1.6 – 10.0)	(3.5 – 6.0)
Lago Lanalhue	200.7 (129) (14.0 – 866.0)	16.6 (196) (2.4 – 200)	6.4 (192) (0.2 – 100.3)	2.8 (273) (0.4 – 18.0)
Laguna Los Batros	298.0 (3) (60.0 – 698.0)	12.2 (2) (12.1 – 12.3)	9.2 (3) (2.3 – 15.2)	3.0 (2) (2.5 – 3.5)
Laguna Antiquina	296.0 (2) (44.0 – 548.0)	26.4 (2) (21.0 – 31.8)	35.4 (1)	1.2 (2) (0.9 – 1.5)
Lago LleuLleu	63.7 (2) (61.2 – 66.3)	3.4 (4) (3.0 – 4.0)	0.9 (4) (0.7 – 1.3)	9.6 (4) (9.2 – 10.0)
Laguna Butaco	644.3 (4) (138.0 – 1680.0)	38.4 (3) (3.0 – 94.2)	1.2 (1)	3.3 (2)
Lago Colico	108.9 (20) (11.0 – 219.0)	3.2 (8) (3.0 – 4.9)	1.3 (18) (0.3 – 4.9)	14.3 (13) (10.0 – 18.0)
Lago Caburgua	313.3 (25) (18.0 – 2790.0)	17.3 (66) (3.0 – 200.0)	1.2 (65) (0.1 – 4.5)	13.6 (93) (6.0 – 24.0)
Lago Villarrica	137.6 (231) (4.0 – 2770.0)	14.9 (300) 0.5 – 200)	2.6 (362) (0.1 – 26.6)	8.2 (370) (2.0 – 18.0)
Lago Calafquén	260.8 (75) (18.0 – 2136.0)	17.4 (168) (1.2 – 418.6)	0.9 (99) (0.2 – 2.6)	11.6 (153) (4.0 – 17.5)
Lago Panguipulli	130 (73) (17.6 – 636.0)	9.1 (123) (1.0 – 41.6)	1.5 (86) (0.1 – 8.7)	10.3 (181) (3.0 – 18.0)
Lago Neltume	-	4.7 (58) (3.0 – 16.6)	1.1 (12) (0.3 – 2.4)	8.9 (35) (2.3 – 14.5)
Lago Riñihue	92.8 (90) (11.0 – 513.0)	6.0 (120) (0.6 – 26.4)	1.1 (150) (0.1 – 4.4)	11.4 (215) (4.0 – 24.5)
Lago Pirihueico	-	3.3 (47) (3.0 – 6.0)	-	11.3 (29) (7.0 – 17.2)
Lago Ranco	83.2 (85) (9.0 – 417.5)	7.7 (90) (0.9 – 61.9)	1.0 (160) (0.1 – 4.1)	13.6 (186) (5.5 – 23.0)
Lago Maihue	75.9 (60) (75.9 – 679.0)	9.8 (64) (2.8 – 33.8)	1.2 (84) (0.1 – 13.3)	9.6 (82) (2.6 – 19.5)
Lago Puyehue	145.0 (19) (5.0 – 834.0)	13.4 (67) (3.0 – 171.6)	1.2 (25) (0.4 – 2.7)	8.3 (43) (2.5 – 12.5)
Lago Rupanco	47.6 (22) (5.0 – 143.0)	5.9 (17) (3.0 – 20.6)	1.2 (26) (0.4 – 7.3)	13.6 (18) (9.0 – 16.5)
Lago Todos Los Santos	116.9 (9) (19.0 – 328.0)	9.9 (53) (3.0 – 126.9)	0.5 (65) (0.1 – 2.2)	9.9 (79) (1.5 – 21.5)
Llago Llanquihue	99.7 (184) (5.0 – 1539.0)	13.2 (310) (1.0 – 350.0)	1.0 (321) (0.1 – 24.7)	15.7 (301) (8.0 – 30.0)
Lago Chapo	117.0 (17)	9.9 (63)	1.7 (56)	11.3 (104)

Cuerpo lacustre	Nitrógeno total (ug/L)	Fósforo total (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)	Profundidad Disco Secchi (m)
	(12.0 – 551.0)	(3.0 – 51.2)	(0.2 – 5.0)	(5.5 – 20.2)
Tarahuin	5.0 (2) (0.5 – 0.5)	8.7 (1)	-	4.5 (1)
Natri	160.0 (1)	10.02 (2) (9.2 – 10.9)	1.5 (1)	3.8 (2) (3.5 – 4.0)
Tepuhueico	-	10.1 (1)	3.4 (1)	2.0 (1)
San Antonio	10.0 (1)	6.9 (1)	-	3.5 (1)
Yaldad	5.0 (1)	6.5 (1)	-	2.0 (1)

ii) Indíce de Trofia de Carlson (1977):

De acuerdo a este índice, la laguna Aculeo, la laguna Torca y la laguna Lencán presentaron una condición promedio de eutrofía durante el periodo de estudio para las tres mediciones; Disco Secchi (D.S.), clorofila-a (Cl-a) y fósforo total (PT). La laguna el Petrel fue en promedio eutrofíca para D.S. y Cl-a, pero hipereutrófica para el PT, mientras que la laguna Antiquina se clasificó en condición eutrófica solamente respecto de la Cl-a superficial. Los restantes cuerpos lacustres de la RML se mostraron, en promedio, como mesotróficos y oligotróficos (Tabla 29).

Tabla 29. Estado trófico de los cuerpos lacustres de acuerdo a Carlson (1977). El color representa nivel de trofía al valor promedio.

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (ug/l)
Lago Chungará	31.1 (2) (29.1 – 33.0)	37.3 (3) (35.9 – 38.7)	-
Laguna Aculeo	62.9 (237) (42.3 – 85.1)	60.8 (184) (8.0 – 79.5)	63.8 (182) (33.2 – 91.5)
Laguna Petrel	70.0 (2) (70.0 – 70.0)	64.6 (2) (59.2 – 70.0)	96.1 (1)*
Laguna El Perro	53.4 (2) (46.8 – 60.0)	43.3 (2) (41.3 – 45.3)	46.5 (2) (41.0 – 52.0)
Laguna Torca	69.5 (10) (50.0 – 93.2)	77.7 (10) (67.4 – 93.2)	62.0 (2) (61.8 – 62.2)
Lago Vichuquén	52.6 (36) (38.3 – 73.2)	57.4 (54) (32.3 – 91.9)	52.8 (22) (33.6 – 97.1)
Laguna Grande de San Pedro	42.6 (217) (27.1 – 54.2)	41.5 (136) (27.7 – 53.9)	36.4 (140) (9.3 – 80.6)
Laguna Lencán	61.6 (4) (56.2 – 70.0)	60.3 (8) (32.2 – 85.5)	69.7 (3) (66.2 – 74.1)
Laguna Lloncao	38.2 (4) (34.2 – 41.9)	44.3 (3) (35.1 – 57.4)	31.5 (2) (28.1 – 34.8)
Lago Lanalhue	47.3 (273)	43.9 (192)	38.3 (196)

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (ug/l)
	(18.3 – 72.2)	(14.8 – 75.8)	(16.8 – 80.6)
Laguna Los Batros	44.4 (2) (41.9 – 46.8)	49.7 (3) (38.7 – 57.3)	40.23 (2) (40.16 – 40.31)
Laguna Antiquina	57.8 (2) (54.2 – 61.5)	65.6 (1)	51.1 (2) (48.1 – 54.1)
Lago LleuLleu	27.5 (4) (26.8 -28.0)	28.7 (4) (26.5 – 33.1)	21.7 (4) (20,0 – 24.2)
Laguna Butaco	44.2 (2) (38.2 – 50.0)	32.3 (1)	45.2 (3) (20.0 – 69.7)
Lago Colico	21.9 (13) (18.3 – 26.8)	29.0 (17) (17.9 – 46.2)	20.9 (8) (20.0 – 27.1)
Lago Caburgua	22.8 (93) (14.2 – 34.2)	29.1 (65) (8.0 – 45.3)	34.4 (66) (20.0 – 80.6)
Lago Villarrica	30.3 (370) (18.3 – 50.0)	35.9 (343) (7.8 – 62.8)	36.8 (299) (6.3 – 80.6)
Lago Calafquén	25.1 (145) (18.7 – 40.0)	26.9 (100) (13.7 – 39.9)	35.1 (169) (6.8 – 91.2)
Lago Panguipulli	27.1 (173) (18.3 – 44.2)	31.1 (86) (11.0 – 51.8)	32.7 (123) (4.2 – 57.9)
Lago Neltume	30.8 (27) (21.4 – 48.0)	30.1 (12) (19.0 – 39.0)	24.5 (58) (20.0 – 44.7)
Lago Riñihue	25.3 (206) (13.9 – 40.0)	28.7 (162) (8.0 – 45.1)	26.3 (131) (4.2 – 51.4)
Lago Pirihueico	25.4 (21) (19.0 – 31.9)	-	21.2 (47) (20.0 – 30.0)
Lago Ranco	22.7 (186) (14.8 – 35.4)	27.4 (160) (8.0 – 44.5)	29.1 (90) (2.6 – 63.7)
Lago Maihue	28.6 (82) (17.1 – 46.4)	27.0 (83) (5.4 – 56.0)	34.2 (64) (19.0 – 54.9)
Lago Puyehue	31.8 (35) (23.6 – 46.8)	30.6 (25) (21.1 – 40.2)	29.5 (67) (20.0 – 78.4)
Lago Rupanco	22.6 (18) (19.6 – 28.3)	29.3 (25) (20.3 – 50.0)	26.2 (17) (20.0 – 47.8)
Lago Todos Los Santos	28.4 (79) (15.7 – 54.2)	20.9 (65) (8.0 – 38.5)	32.0 (53) (20.0 – 74.0)
Llago Llanquihue	20.7 (301) (10.9 – 30.0)	27.1 (321) (6.3 – 62.0)	31.3 (309) (4.2 – 88.7)
Lago Chapo	25.8 (104) (16.6 – 35.4)	33.1 (56) (14.8 – 46.3)	32.2 (63) (20.0 – 60.9)
Tarahuin	38.3 (1)	-	35.9 (1)
Natri	41.0 (2)	34.9 (1)	37.2 (2)

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (ug/l)
	(40.0 – 41.9)		(36.1 – 38.6)
Tepuhueico	50.0 (1)	42.5 (1)	37.5 (1)
San Antonio	41.9 (1)	-	32.0 (1)
Yaldad	50.0 (1)	-	31.1 (1)

iii) Indíce de Trofia de Aizaki et al. (1981):

Los cuerpos lacustres que se presentaron en promedio eutrofizados de acuerdo a Aizaki (et al. 1985), son los mismos señalados con el índice de Carlson (1977), es decir, Aculeo, El Petrel, Torca, Lencán y Antiquina (Tabla 30). Sin embargo, al aplicar este índice en base a la Cl-a, las lagunas Aculeo y Lencán aparecen como mesotróficas, en vez de eutrófica, como las clasificó el índice de Carlson, mientras que la laguna Antiquina se clasificó como eutrófica al usar el ITS del D.S., mientras que, bajo el criterio de Carlson, sería mesotrófica (Tabla 29). Por otro lado, los demás cuerpos lacustres también mostraron condiciones oligotróficas o mesotróficas (Tabla 30).

Tabla 30. Valores promedio, (número de datos) y rango de los valores (Mín. – Máx) de ITS según Aizaki et al. (1981). (-) No hay datos. El color representa nivel de trofía al valor promedio.

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (mg/l)
Lago Chungará	31.3 (2) (29.0 – 32.6)	32.1 (3) (30.5 – 33.7)	-
Laguna Aculeo	69.1 (237) (44.7 – 95.5)	58.5 (183) (27.8 – 79.1)	62.7 (182) (36.1 – 86.8)
Laguna Petrel	77.5 (2) (77.5 – 77.5)	62.5 (2) (56.5 – 68.4)	98.9 (2) (90.8 – 106.9)
Laguna El Perro	57.8 (2) (49.9 – 65.6)	38.8 (2) (36.6 – 41.0)	47.7 (2) (42.9 – 52.4)
Laguna Torca	77.0 (10) (53.8 – 105.1)	77.0 (10) (65.5 – 94.3)	61.1 (2) (61.0 – 61.3)
Lago Vichuquén	56.8 (36) (39.9 – 81.3)	54.4 (54) (26.6 – 92.9)	53.1 (22) (36.5 – 91.6)
Laguna Grande de San Pedro	45.0 (217) (26.5 – 58.7)	36.8 (136) (21.5 – 50.6)	38.9 (140) (15.3 – 77.3)
Laguna Lencán	67.5 (4) (61.1 – 77.5)	57.7 (8) (26.4 – 85.7)	67.8 (3) (64.8 – 71.7)
Laguna Lloncao	39.7 (4) (34.9 – 44.2)	39.8 (3) (29.6 – 54.4)	34.6 (2) (31.7 – 37.5)
Lago Lanalhue	50.5 (273) (16.1 – 80.1)	39.4 (192) (7.0 – 74.9)	40.5 (196) (21.8 – 77.3)

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (mg/l)
Laguna Los Batros	47.1 (2) (44.2 – 49.9)	45.9 (3) (33.7 – 54.3)	42.2 (2) (42.1 – 42.3)
Laguna Antiquina	63.1 (2) (58.7 – 67-4)	63.5 (1)	51.6 (2) (49.0 – 54.2)
Lago LleuLleu	27.0 (4) (26.2 – 27.6)	22.5 (4) (20.0 – 27.4)	26.1 (4) (24.6 – 28.3)
Laguna Butaco	46.8 (2) (39.9 – 53.8)	26.5 (1)	46.5 (3) (24.6 – 67.9)
Lago Colico	20.4 (13) (16.1 – 26.2)	22.9 (17) (10.5 – 41.9)	25.4 (8) (24.6 – 30.8)
Lago Caburgua	21.4 (93) (11.2 – 34.9)	23.3 (64) (37.1 – 77.3)	37.1 (66) (24.6 – 77.3)
Lago Villarrica	30.4 (370) (16.1 – 53.8)	30.6 (342) (2.3 – 60.4)	39.1 (300) (2.1 – 77.3)
Lago Calafquén	24.2 (145) (16.6 – 41.9)	20.6 (100) (5.9 – 35.0)	37.7 (169) (13.1 – 86.6)
Lago Panguipulli	26.5 (173) (16.1 – 46.8)	25.2 (86) (2.8 – 48.2)	35.7 (123) (10.8 – 57.6)
Lago Neltume	30.9 (27) (19.8 – 51.4)	24.1 (12) (11.8 – 34.0)	28.5 (58) (24.6 – 46.0)
Lago Riñihue	24.4 (206) (10.8 – 41.9)	22.6 (161) (5.3 – 40.8)	29.9 (132) (4.4 – 51.9)
Lago Pirihueico	24.5 (21) (16.9 – 32.3)	-	25.6 (47) (24.6 – 33.3)
Lago Ranco	21.3 (186) (11.9 – 36.4)	21.8 (155) (7.0 – 40.1)	32.5 (90) (9.5 – 62.6)
Lago Maihue	28.4 (82) (14.7 – 49.5)	21.2 (81) (5.6 – 52.8)	37.0 (64) (23.7 – 55.0)
Lago Puyehue	32.2 (35) (22.4 – 49.9)	24.7 (25) (14.1 – 35.3)	32.8 (67) (24.6 – 75.4)
Lago Rupanco	21.2 (18) (17.6 – 28.0)	23.2 (25) (13.2 – 46.2)	30.01 (17) (24.6 – 48.8)
Lago Todos Los Santos	28.1 (79) (13.1 – 58.7)	15.3 (59) (7.0 – 33.4)	35.0 (53) (24.6 – 71.6)
Llago Llanquihue	19.0 (301) (7.4 – 53.6)	21.3 (312) (4.9 – 59.6)	34.5 (309) (10.8 – 84.3)
Lago Chapo	25.0 (104) (14.1 – 36.4)	27.4 (56) (7.0 – 42.1)	35.2 (63) (24.6 – 60.2)
Tarahuin	39.9 (1)	-	38.0 (1)
Natri	43.0 (2) (41.9 – 44.2)	29.4 (1)	39.7 (2) (38.6 – 40.8)

Cuerpo lacustre	ITS Disco Secchi (m)	ITS Clorofila (ug/l)	ITS Fósforo total (mg/l)
Tepuhueico	53.8 (1)	37.9 (1)	39.8 (1)
San Antonio	44.2 (1)	-	35.1 (1)
Yaldad	53.8 (1)	-	34.2 (1)

iv) Determinación del estado trófico de acuerdo a OCDE (1982):

A continuación se presentan las comparaciones de la concentración promedio anual de PT (ug/L), la concentración promedio anual de la Cl- a en la zona eufótica (ug/L), la concentración máxima anual de Cl−a en la zona eufótica (ug/L) y el promedio anual de la transparencia del agua (m) y el mínimo anual de la transparencia del agua mediante el uso del dico Secchi, contrastado con los valores establecidos por la OCDE para definir 5 estados tróficos (ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos).

1. Lago Chungará

De acuerdo a este criterio, el lago Chungará se encontró en estado ultraoligotrófico a oligotrófico el año 2017 (Tabla 31).

Tabla 31. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Chungará de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	-	1.69	1.76	7.5	6.5

2. Laguna Aculeo

De acuerdo a este criterio, la laguna Aculeo transitó entre los estados de eutrofia e hipertrofía en forma alternada entre los años 1986 y 2014, mostrando una tendencia a mejorar su estado hacia la mesotrofía los años 1993, 2003 y 2007 solamente bajo algunas de las mediciones en que se basa la OCDE (Tabla 32).

Tabla 32. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Aculeo de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1986	64.9	60.4	130.0	0.6	0.2
1987	86.8	-	-	0.5	0.5

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1988	-	-	-	0.7	0.6
1989	51.3	24.8	50.2	0.7	0.5
1990	72.3	-	-	0.7	0.5
1991	77.0	-	-	1.1	0.5
1993	46.4	7.9	14.9	1.6	0.5
1994	65.2	33.0	33.3	0.8	0.8
1995	48.8	23.0	36.8	0.8	0.7
1996	60.3	55.2	93.4	0.7	0.3
1997	70.7	44.6	80.5	0.7	0.3
1998	46.0	35.3	59.5	0.9	0.7
1999	59.4	62.2	84.2	0.7	0.5
2000	-	36.9	62.4	0.7	0.5
2001	-	51.4	147.1	1.0	0.7
2002	-	18.2	45.2	0.9	0.7
2003	60.4	36.1	76.6	2.2	1.0
2004	75.8	39.5	67.7	2.6	2.5
2005	219.4	43.6	90.1	0.9	0.5
2006	205.8	20.8	52.5	1.3	0.4
2007	70.4	13.1	22.6	1.0	0.5
2008	123.6	17.0	44.3	1.0	0.4
2009	76.9	19.6	27.5	1.1	0.6
2011	107.4	26.9	26.9	0.6	0.6
2012	116.3	96.4	96.4	0.5	0.5
2013	146.8	85.4	85.4	0.5	0.5
2014	109.1	121.0	132.8	0.5	0.5

3. Laguna El Petrel

Esta laguna mostró condición hipereutrófica para el fósforo total y la transparencia del disco Secchi en año 2017 de acuerdo al criterio de la OCDE (1982) (Tabla 33). En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales del año 2017, ya que no hay mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución.

Tabla 33. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna El Petrel de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	1354.0	-	-	0.5	0.5

4. Laguna El Perro

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales del año 2017, ya que no hay mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución. El máximo de clorofila −a indicó oligotrofía, sin embargo, el fósforo total y la media de Cl-a indicaron mesotrofía, mientras que la profundidad del disco Secchi señaló eutrofia en esta laguna (Tabla 34).

Tabla 34. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna El Perro de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	20.2	3.8	4.5	1.8	1.0

5. Laguna Torca

La laguna Torca mostró hipertrofía históricamente entre el 2013 y 2016 para la clorofila-a y el disco Secchi según la OCDE (1982), y solamente su nivel fue eutrófico según el promedio del fósforo total el año 2013 (Tabla 35).

Tabla 35. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Torca de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2013	55.2	110.0	137.1	0.5	0.5
2014	-	156.5	254.8	0.3	0.2
2015	-	229.0	592.6	1.3	0.1
2016	-	157.7	163.0	0.8	0.5

6. Lago Vichuquén

Las mediciones de los indicadores de trofía en el lago Vichuquén entre 2013 y 2017 según la OCDE (1982), fueron variables, pero predominaron la eutrofia y la hipertrofía (Tabla 36).

Tabla 36. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Vichuquén de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2013	88.2	9.2	11.1	1.8	1.5
2014	-	6.5	19.6	2.1	0.4

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2015	-	211.1	521.2	1.3	0.4
2016	166.4	24.3	56.0	3.2	2.4
2017	140.7	5.0	6.0	1.9	1.0

7. Laguna Grande de San Pedro

Este sistema mostró eutrofía al comienzo de sus mediciones de clorofila-a y el mínimo valor de transparencia del disco Secchi en el año 1989, disminuyendo su estado a mesotrófico y oligotrófico desde 1990 hasta el 2003. El 2004 la transparencia media del D.S. reveló eutrofía, mientras que los demás indicadores mostraban mesotrofía u oligotrofia. Este resultado se repitió para el año 2006 y el 2008 la concentración de PT también señaló eutrofía. Los años 2009 y 2010, el sistema se mostró menos eutrofizado, sin embargo, desde el 2011 hasta el 2014, la Cl-a y el D.S elevaron el estado trófico nuevamente hasta la eutrofia (Tabla 37).

Tabla 37. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Grande de San Pedro de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1989	-	5.4	5.4	3.3	1.8
1990	9.2	-	-	3.2	3.0
1991	6.4	-	-	3.5	2.0
1993	6.8	2.4	3.2	4.8	4.0
1994	12.8	3.3	6.7	4.0	3.4
1995	4.4	4.2	5.2	3.7	3.0
1996	8.1	3.5	6.1	3.0	2.1
1997	5.8	2.2	4.3	3.6	2.6
1998	7.7	2.8	4.5	3.5	2.8
1999	-	5.7	7.7	3.8	2.5
2000	-	-	-	3.2	2.2
2001	-	-	-	4.0	2.1
2002	-	-	-	3.8	3.0
2003	8.3	2.9	3.1	3.8	2.3
2004	14.2	3.7	3.9	2.7	2.4
2005	23.9	5.6	9.6	3.7	1.9
2006	25.9	4.2	5.2	2.0	1.5
2007	16.5	3.8	7.5	3.6	2.0
2008	64.4	4.6	8.6	3.6	2.0

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2009	14.7	7.0	11.5	3.5	2.3
2010	19.9	5.4	8.3	3.4	3.3
2011	15.8	4.9	5.0	2.6	2.5
2012	4.2	3.0	3.2	2.5	2.5
2014	-	14.2	24.2	2.3	2.0
2016	-	21.3	21.3	4.0	4.0

8. Laguna Lencán

De acuerdo al criterio de OCDE (1982), en los dos años analizados la laguna Lencán mostró condición hipereutrófica para la clorofila-a, varió de eutrófica a hipereutrófica para la profundidad del disco Secchi, y la única medición de fósforo total (año 2017), indicó condición eutrófica (Tabla 38).

Tabla 38. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Lencán de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2016	-	97.4	270.8	1.1	1.0
2017	96.7	48.8	83.4	0.5	0.5

9. Laguna Lloncao

La laguna Lloncao mostró variación de su condición trófica según la variable analizada de acuerdo al criterio de OCDE (1982). Sin embrago, se aprecia que la mayoría de los indicadores apuntaron a una condición mesotrófica (Tabla 39).

Tabla 39. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Lloncao de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2016	-	6.1	9.4	4.0	3.5
2017	16.5	1.2	1.2	5.3	4.5

10. Lago Lanalhue

Los parámetros utilizados por la OCDE (1982) muestran una alta variabilidad para indicar el estado trófico para el lago Lanalhue, pero en general, se puede señalar que desde 1989, el sistema transitó desde estados oligo − eutróficos hasta el 2001, hacia estados meso − hipereutróficos desde el 2002 hasta el 2016 (Tabla 40).

Tabla 40. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Lanalhue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1989	-	-	-	4.0	3.5
1990	9.9	-	-	3.0	3.0
1991	-	-	-	2.8	1.4
1993	19.2	3.2	9.1	2.7	0.9
1994	14.9	5.8	22.7	2.6	1.0
1995	7.8	2.7	3.6	2.4	0.4
1996	8.3	3.1	10.1	2.7	1.0
1997	8.8	2.47	3.8	2.4	0.8
1998	8.1	2.8	5.6	3.2	1.5
1999	6.5	5.2	11.5	3.2	1.5
2000	7.3	-	-	3.0	0.7
2001	-	-	-	2.6	1.0
2002	-	-	-	1.9	0.5
2003	11.2	6.9	14.7	2.2	0.5
2004	16.5	9.0	21.3	2.6	0.6
2005	18.2	10.2	21.7	2.2	1.2
2006	33.3	10.5	30.0	1.9	0.5
2007	20.8	10.6	40.4	3.5	1.2
2008	53.3	4.9	13.6	3.5	1.4
2009	23.7	5.0	8.3	4.9	1.0
2010	20.6	8.5	16.5	2.9	1.3
2011	11.9	14.3	19.5	2.8	1.2
2012	4.2	5.2	8.3	4.2	1.8
2014	-	18.5	25.4	2.7	0.8
2016	-	32.7	107.4	4.5	3.0

11. Laguna Los Batros

Esta laguna mostró condición de mesotrofía en el año 2017 en la mayoría de las variables que analiza el criterio de OCDE (1982). Sin embargo, el valor promedio de clorofila- a indicó condición eutrófica (Tabla 41).

Tabla 41. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Los Batros de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	13.0	10.0	10.0	3.0	2.5

12. Laguna Antiquina

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales, ya que no hay mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución. La condición trófica fue muy variable según el parámetro utilizado, mostrando mesotrofía de acuerdo a la concentración de fósforo, eutrofia al evaluar la clorofila máxima y transparencia mínima, e hipertrofía usando la clorofila y transparencia del agua promedios (Tabla 42).

Tabla 42. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Antiquina de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	26.4	35.4	35.4	1.2	0.9

13. Lago Lleu – Lleu

De acuerdo a este criterio, el lago Lleu–lleu presentó una condición ultraoligotrófica a oligotrófica en los años 2011 y 2016 (Tabla 43).

Tabla 43. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Lleu – Lleu de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2011	3.0	1.2	1.4	9.6	9.2
2016	4.5	1.4	1.7	9.5	9.5

14. Lago Butaco

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales, ya que no existen mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución. Los datos de fósforo total indicaron eutrofia el año 2016 y mesotrofía el 2017, al igual que la transparencia del disco Secchi. No obstante, la concentración de clorofila-a indicó ultraoligotrofía y oligotrofia (Tabla 44).

Tabla 44. Categorías tróficas anuales de las aguas de la laguna Butaco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2016	94.2	-	-	-	-
2017	10.5	1.2	1.2	3.3	2.0

15. Lago Colico

De acuerdo al criterio de OCDE (1982), este cuerpo lacustre ha sido utraoligotrófico y oligotrófico entre los años 2013 y 2015 (Tabla 45).

Tabla 45. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Colico de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2013	3.3	0.5	0.6	16.5	14.5
2014	-	0.9	1.3	10.8	10.5
2015	-	1.8	3.0	13.0	10.0

16. Lago Caburgua

De acuerdo a la concentración de clorofila-a y transparencia del disco Secchi para el criterio de OCDE (1982), este lago ha estado en condición ultraoligotrófica a oligotrófica entre el 2001 y 2017, no obstante, la concentración de fósforo total lo posicionó como mesotrófico los años 2005, 2006, 2011 y 2017, llegando a mostrar eutrofía el 2009 (Tabla 46).

Tabla 46. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Caburgua de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2001	-	-	-	11.8	8.5
2002	-	-	-	14.9	10.0
2003	-	1.2	1.6	11.8	9.5

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2004	4.9	1.4	1.7	12.2	6.0
2005	11.9	1.0	1.0	13.9	10.5
2006	15.7	1.3	1.3	11.4	7.5
2007	6.8	2.5	2.5	16.6	10.0
2008	6.6	1.4	1.4	13.6	11.8
2009	56.4	0.4	0.4	14.3	11.0
2011	15.3	0.4	0.4	16.2	15.5
2012	5.2	0.6	0.6	21.5	21.5
2013	3.6	0.4	0.4	20.5	20.5
2017	22.3	1.3	1.3	13.0	13.0

17. Lago Villarrica

Para el lago Villarrica, el criterio de la OCDE (1982) que utiliza el fósforo total, mostró condiciones ultraoligotróficas y oligotróficas, pero a partir de 1991 aparecieron señales de una evolución hacia estados de mesotrofía y eutrofía (Tabla 47). Por otro lado, la concentración promedio y máxima de clorofila-a y la transparencia del disco Secchi, han mostrado históricamente estados ultraoligotróficos y oligotróficos, con algunas excepciones en la cuales mostraron mesotrofía o eutrofia. El último año evaluado, el 2017, todos los indicadores mostraron al sistema como oligotrófico.

Tabla 47. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Villarrica de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1986	4.0	3.1	14.8	8.7	3.5
1987	3.9	2.4	2.6	7.0	7.0
1989	-	-	-	9.8	9.5
1990	5.3	2.7	5.1	8.7	7.0
1991	14.9	2.3	3.1	7.6	4.1
1993	10.1	9.2	22.9	6.8	5.0
1994	12.4	2.1	3.7	8.9	3.5
1995	9.6	1.9	3.2	7.8	6.5
1996	11.7	2.6	4.8	10.3	6.0
1997	11.2	2.1	5.3	6.0	2.8
1998	5.9	1.9	3.0	10.3	8.0
1999	2.2	-	-	7.6	5.5
2000	27.7	1.7	2.4	7.7	5.0
2001	-	-	-	7.7	3.0

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2002	-	-	-	8.8	6.0
2003	16.1	3.8	10.6	7.3	2.0
2004	9.9	2.0	4.4	7.7	4.0
2005	18.9	1,3	1.7	8.7	3.9
2006	22.2	3.0	6.7	7.8	4.5
2007	12.5	3.7	7.8	8.1	5.0
2008	77.1	1.3	2.3	8.0	5.0
2009	7.1	2.0	4,4	7.7	3.5
2010	15.6	0.9	1.7	8.5	5.0
2011	10.7	0.5	1.2	12.4	10.0
2012	14.6	1.4	4.4	10.7	6.5
2013	13.9	3.2	6.9	6.5	4.5
2014	-	2.3	4.8	7.5	4.5
2015	-	13.2	17.5	7.9	5.5
2016	-	2.7	3.2	10.2	7.5
2017	6.3	1.9	3.3	7.7	5.0

18. Lago Calafquén

El lago Calafquén es clasificado históricamente y principalmente como mesotrófico al considerar la concentración promedio del fósforo total. No obstante, la concentración promedio y máxima de clorofila - a y la transparencia del disco Secchi media y mínima anual, lo clasifican como ultraoligotrófico y oligotrófico en todo el periodo estudiado (Tabla 48).

Tabla 48. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Calafquén de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1997	14.0	1.2	0.6	9.4	5.7
1998	18.1	1.3	0.4	11.1	8.5
2001	-	-	-	12.7	10.5
2002	-	-	-	10.6	8.0
2003	4.1	1.2	0.4	10.1	8.0
2004	12.6	1.4	0.3	13.3	9.5
2005	18.0	0.9	0.3	12.1	4.5
2006	13.0	0.5	0.3	11.8	6.0
2007	10.0	0.7	0.4	14.6	11.0
2008	8.0	1.4	0.4	12.4	9.0

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2009	13.9	0.9	0.3	10.2	5.0
2011	18.5	1.2	0.2	11.8	8.5
2012	17.0	0.7	0.6	10.3	4.0
2016	4.2	-	-	11.6	8.0

19. Lago Panguipulli

Este sistema lacustre, se clasificó principalmente en los estados ultraoligotróficos y oligotróficos en todo el periodo de estudio (1997 – 2015), con algunas señales de mesotrofía en distintos momentos, pero que no indican una evolución hacia estados de trofía más elevados (Tabla 49).

Tabla 49. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Panguipulli de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1997	8.1	1.7	0.9	7.5	3.0
1998	5.5	1.5	0.6	11.2	9.0
1999	5.5	0.8	0.5	8.3	3.0
2000	-	-	-	11.4	5.6
2001	-	-	-	9.9	5.0
2002	-	-	-	10.5	5.0
2003	3.9	-	-	9.4	6.0
2004	7.0	2.7	2.5	11.1	7.5
2005	16.2	1.1	0.4	11.4	7.0
2006	8.6	1.6	0.7	11.1	6.0
2007	8.1	1.7	0.6	10.7	6.0
2008	5.9	1.8	0.6	12.0	7.0
2009	9.9	2.7	0.5	9.2	6.5
2011	6.8	0.6	0.4	11.0	8.0
2012	12.6	-	-	12.8	10.5
2015	-	-	-	9.9	5.2

20. Lago Neltume

Entre los años 2012 y 2015 el lago Neltume ha mostrado mayoritariamente condiciones de ultraoligotrofia y oligotrofia de acuerdo al criterio de la OCDE (1982), sin embargo, el 2015, la transparencia del disco Secchi mostró una evolución hacia la mesotrofía (Tabla 50).

Tabla 50. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Neltume de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2012	8.7	0.8	0.8	9.0	9.0
2013	9.8	1.0	1.3	7.3	7.0
2014	-	1.0	1.0	8.0	8.0
2015	3.6	-	-	9.1	2.3

21. Lago Riñihue

Entre los años 1987 y 2015, el lago Riñihue se ha encontrado, en promedio, en los estados ultraoligotrófico y oligotrófico, habiéndose detectado una señal de mesotrofía solamente en 1993 a través de las mediciones de fósforo total (Tabla 51).

Tabla 51. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Riñihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1987	2.4	1.4	2.8	12.7	11.0
1988	5.0	0.28	0.34	16.0	12.0
1989	-	0.8	0.9	14.0	13.0
1990	-	-	-	9.2	8.5
1991	6.6	1.3	1.5	9.5	9.5
1993	10.4	0.96	1.03	11.2	7.5
1994	9.8	0.9	1.3	11.5	10.0
1995	7.0	1.4	2.3	9.2	7.0
1996	-	1.2	2.0	11.1	7.5
1997	8.1	1.4	2.1	9.2	7.0
1998	-	1.1	1.7	9.8	8.0
2001	-	-	-	13.4	8.5
2002	-	-	-	10.9	8.0
2003	-	-	-	14.0	9.0
2004	-	1.1	1.2	11.9	10.0

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2005	-	1.6	3.3	11.0	7.0
2006	-	1.1	2.3	10.4	7.0
2007	-	1.7	3.5	12.4	8.5
2008	-	2.1	5.3	13.8	9.0
2009	-	1.2	3.1	9.3	4.0
2011	-	0.9	1.9	10.9	8.0
2012	-	1.2	2.6	14.7	10.0
2015	3.5	-	-	10.7	6.5

22. Lago Pirihueico

Para este sistema no se dispone de datos de clorofila-a, sin embargo, el fósforo total y la mínima transparencia del D.S. indicaron una condición ultraoligotrófica, mientras que la media de la transparencia del D.S. señaló oligotrofía el año 2015 (Tabla 52).

Tabla 52. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Riñihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2015	3.3	-	-	11.3	7.0

23. Lago Ranco

Históricamente el lago Ranco se ha encontrado entre los estados de ultraoligotrofía y oligotrófía considerando el periodo 1987 − 2016, no obstante, al inicio de las mediciones, en los años 1989 y 1991, se detectaron indicios de mesotrofía, así como también hacia el final del periodo estudiado, en el 2015 (Tabla 53).

Tabla 53. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Ranco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1987	3.1	1.2	2.3	12.8	7.0
1988	3.5	0.3	0.4	17.7	17.0
1989	-	3.7	4.4	12.7	12.0
1990	9.1	1.0	1.0	15.0	13.5

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1991	15.2	1.2	1.6	10.7	10.0
1993	7.8	0.5	0.5	12.5	11.0
1994	9.0	1.6	2.5	12.5	9.0
1995	8.3	1.0	2.3	12.5	8.0
1996	6.1	0.8	1.9	15.1	12.5
1997	8.0	1.2	2.0	9.8	5.5
1998	7.8	1.2	1.9	12.6	11.5
2001	-	-	-	14.7	11.0
2002	-	-	-	15.7	12.0
2003	-	1.1	1.2	15.7	10.0
2004	-	1.1	1.4	15.9	12.0
2005	-	1.4	4.1	16.3	10.5
2006	-	0.7	1.2	13.1	9.5
2007	-	1.1	2.8	13.9	10.0
2008	-	0.7	2.1	13.8	8.5
2009	-	1.5	3.6	11.6	8.0
2012	-	0.7	0.8	11.5	11.0
2013	-	0.4	0.5	15.1	10.5
2014	-	0.7	0.8	11.8	10.0
2015	-	4.0	4.9	10.9	10.5
2016	-	0.3	0.3	12.5	10.5

24. Lago Maihue

La mayoría de los cálculos para determinar el estado trófico del lago Maihue entre el 2001 y 2016 han mostrado condiciones de ultraoligotrofía u oligotrofia, no obstante, el PT mostró mesotrofía los años 2004 – 2006. El año 2009 éste estado fue señalado por el mínimo de transparencia del D.S. y en el 2015 por el máximo de Cl-a en la zona eufótica. Además, ese mismo año, el promedio de la Cl-a en la zona eufótica indicó eutrofia. Sin embargo, el año 2016 se observó un retorno del sistema hacia un estado Ultraoligotrófico (Tabla 54).

Tabla 54. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Maihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2001	-	-	-	9.7	5.5
2002	-	-	-	7.7	4.8
2003	4.4	1.7	2.0	11.6	6.5

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2004	10.3	1.1	1.9	9.7	4.5
2005	16.0	0.9	1.4	10.1	7.5
2006	11.2	1.1	3.6	6.8	3.5
2007	6.8	1.2	1.8	9.8	7.0
2008	6.0	0.9	1.8	8.5	3.5
2009	7.9	0.5	0.7	6.6	2.6
2010	4.7	0.6	0.8	15.2	14.3
2011	5.7	1.4	2.1	13.2	8.5
2012					
2013	8.2	0.7	0.7	10.0	10.0
2014	-	1.2	1.3	9.0	9.0
2015	-	8.3	12.1	9.5	9.0
2016	-	0.4	0.4	12.8	12.8

25. Lago Puyehue

Este cuerpo lacustre se ha clasificado entre ultraoligotrófico a mesotrófico entre el 2012 y 2015, dependiendo de la variable analizada, sin embargo, según este criterio y con los datos disponibles, no se evidenció una evolución hacia eutrofía (Tabla 55).

Tabla 55. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Puyehue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2012	11.9	1.9	2.0	6.0	3.5
2013	18.8	1.5	2.6	8.4	5.0
2014	-	0.5	0.6	9.5	8.5
2015	3.7	-	-	8.4	2.5

26. Lago Rupanco

Los datos analizados para el lago Rupanco de acuerdo a este criterio, muestran que sus aguas han evolucionado desde el estado de ultraoligotrofía en el año 2012, hacia oligotrofía y mesotrofía hacia el 2016 (Tabla 56).

Tabla 56. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Rupanco de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2012	3.0	0.8	0.9	14.4	13.0
2013	7.5	0.8	1.1	12.9	9.5
2014	-	3.1	7.3	14.9	14.0
2015	-	5.5	7.3	14.8	14.0
2016	4.5	0.7	0.7	11.5	9.0

27. Lago Todos los Santos

Para este sistema, las mediciones de clorofila-a media y máxima en la zona eufótica han mostrado un estado ultraoligtrófico entre el 2003 y 2011, y oligotrofía el 2015. Por otro lado, el fósforo total y la transparencia del disco Secchi, han mostrado preferentemente estados de oligotrofía, con algunas mediciones de mesotrofía y eutrofía. Este último estado se observó para el 2009, pero el 2011 y 2015 la condición se mostró como oligotrófica para este indicador (Tabla 57).

Tabla 57. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Todos los Santos de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2002	-	-	-	7.1	3.5
2003	3.5	0.7	0.9	9.3	4.0
2004	7.2	0.5	0.8	8.2	2.5
2005	10.4	0.6	1.2	8.7	4.5
2006	9.1	0.7	1.2	11.3	7.1
2007	5.9	0.6	0.7	15.6	9.0
2008	8.1	0.5	0.8	10.6	6.0
2009	6.9	0.6	0.8	7.8	1.5
2011	17.9	0.5	0.6	14.5	11.0
2015	-	1.7	1.7	5.0	5.0

28. Lago Llanquihue

La transparencia del disco Secchi mostró aguas ultraoligotróficas en el lago Llanquihue desde 1986 hasta el 2017. No obstante, al utilizar la clorofila-a, el sistema llegó a estar en estado mesotrófico en 1989, 1999 y 2015, y de acuerdo al fósforo total, incluso alcanzó la eutrofía el 2008 y 2009. El último

año analizado (2017), el sistema mostró ultraoligotrofía y oligotrofía de acuerdo a OCDE (1982) (Tabla 58).

Tabla 58. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Llanquihue de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
1986	11.4	0.7	1.5	16.7	15.0
1987	2.2	0.3	0.3	17.5	15.0
1989	4.6	4.7	7.4	14.5	10.0
1990	4.1	0.7	0.8	14.6	11.0
1991	11.6	1.0	1.5	14.6	12.5
1993	4.9	0.6	0.8	14.3	11.0
1994	10.3	1.3	2.9	14.5	9.5
1995	5.6	0.9	1.9	14.0	10.0
1996	4.9	1.0	1.8	15.8	12.5
1997	4.5	0.9	1.5	13.9	10.5
1998	5.1	1.3	1.9	15.0	12.2
1999	1.3	7.4	7.4	10.0	10.0
2000	11.4	0.6	1.4	15.5	9.5
2001	-	2.1	2.3	18.1	9.5
2002	-	-	-	15.3	11.0
2003	3.1	-	-	20.3	13.5
2004	7.5	0.6	1.4	21.4	15.0
2005	15.7	1.2	2.8	15.1	9.5
2006	7.4	0.7	1.8	18.0	10.5
2007	6.1	0.9	1.8	14.6	12.0
2008	61.5	0.6	1.7	14.0	10.0
2009	70.8	0.5	0.5	16.8	11.7
2011	4.0	0.7	1.0	12.3	8.0
2012	5.3	1.0	1.5	16.4	12.0
2013	6.8	1.2	2.5	14.5	9.0
2014	-	0.6	1.0	17.3	8.0
2015	-	3.2	6.6	16.8	14.0
2016	11.2	0.7	1.0	15.9	15.0
2017	8.8	1.4	1.6	14.3	9.5

29. Lago Chapo

Las primeras mediciones de fósforo total realizadas en este sistema el año 2000 indicaron aguas eutróficas, sin embargo, desde el 2001 hasta el 2017, predominaron la ultraoligotrofía y oligotrofía, con algunas señales de mesotrofía los años 2005, 2006, 2008 y 2015 (Tabla 59).

Tabla 59. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Chapo de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2000	43.8	-	-	-	-
2001	-	-	-	13.7	10.0
2002	-	-	-	11.2	8.0
2003	3.0	-	-	13.5	10.5
2004	6.9	-	-	9.5	7.0
2005	13.0	1.6	2.3	10.1	5.5
2006	11.1	2.2	3.1	14.2	10.0
2007	5.2	2.3	4.4	9.9	6.0
2008	7.0	2.8	4.4	10.4	6.5
2009	6.4	2.4	4.0	9.3	8.3
2011	8.8	2.4	3.6	6.1	5.5
2015	-	3.4	6.9	11.1	5.5
2017	6.2	0.9	1.0	11.0	10.0

30. Lago Tarahuin

Para el lago Tarahuin los distintos indicadores para el estado trófico de la OCDE (1982) muestran al sistema siendo oligotrófico hasta mesotrófico (Tabla 60).

Tabla 60. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Tarahuin de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	8.7	-	-	4.5	4.5

31. Lago Natri

Para el lago Natri los distintos indicadores para el estado trófico de la OCDE (1982) muestran al sistema siendo ultraoligotrófico hasta mesotrófico (Tabla 61).

Tabla 61. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Natri de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	11.5	1.7	1.7	3.8	3.5

32. Lago Tepuhueico

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales, ya que no existen mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución, ya que los distintos indicadores muestran al sistema siendo ultraoligotrófico (PT) hasta eutrófico (transparencia media del D.S) (Tabla 62).

Tabla 62. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Tepuhueico de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	2.0	3.4	3.4	2.0	2.0

33. Lago San Antonio

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales, ya que no existen mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución e indican que el estado de este sistema se encontraba entre oligotrófico y mesotrófico el año 2017 (Tabla 63).

Tabla 63. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago San Antonio de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	6.9	-	-	3.5	3.5

34. Lago Yaldad

En este caso, solamente se utilizaron datos superficiales, ya que no existen mediciones para otras profundidades, por lo que los resultados deben ser interpretados con precaución e indican que el estado de este sistema se encontraba entre oligotrófico y eutrófico el año 2017 (Tabla 64).

Tabla 64. Categorías tróficas anuales de las aguas del lago Yaldad de acuerdo a la clasificación de OCDE (1982).

Año	PT (ug/L)	Clorofila *a* (ug/L)		Transparencia DS (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
2017	6.5	-	-	2.0	2.0

4.2.2. Evolución histórica de la condición trófica de cada sistema lacustre.

A continuación, se muestran los resultados de la evolución de la condición trófica de cada cuerpo lacustre mediante series de tiempo de la clorofila-a de acuerdo al criterio de Smith et al. (1999), las cuales se muestran en gráficos o tablas, si el número de datos es muy bajo. Este análisis muestra los resultados para cada estación de muestreo, estación del año y año, donde hubo disponibilidad de datos. Los lagos Tarahuin, San Antonio y Yaldad no mostraron datos de clorofila a, por tanto, en ellos no se pudo aplicar el índice de Smith et al. (1999).

1. Lago Chungará

Los datos disponibles para el lago Chungará en el año 2017, mostraron que en todas las estaciones de muestreo presentaron condición oligotrófica. Cabe mencionar que, para este lago, solamente se disponen datos para la primavera de 2017 (Tabla 65).

Tabla 65. Estado trófico histórico de la laguna Chungará de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial del lago Chungará		
	Estación de muestreo	**Año**
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	primavera	2,3
	Sector Ajata	
	primavera	2,0
	Río Chungará	
	primavera	1,7

2. Laguna Aculeo

Este cuerpo lacustre mostró una gran variabilidad en la condición trófica en las tres estaciones de muestreo, pasando desde condición oligotrófica hasta hipereutrófica. Los valores más altos de clorofila−a los registró la estación Frente a Puntilla de León, pero las otras dos estaciones también alcanzaron altos valores a lo largo del periodo analizado. Únicamente en 1993 esta laguna no se registró como hipereutrófica, aunque si se encontraba en condición eutrófica (Figura 79).

3. Laguna Petrel

Para esta laguna solo se disponen mediciones de clorofila-a para el año 2017 en verano y primavera, observándose que en verano hubo una condición hipereutrófica, mientras que en primavera esta condición descendió a eutrófica (Tabla 66).

Tabla 66. Estado trófico histórico de la laguna Petrel de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna Petrel		
	Estación de muestreo	**Año**
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	verano	55,5
	otoño	
	invierno	
	primavera	18,6

4. Laguna del Perro

Para esta laguna solo se disponen mediciones de clorofila-a para el año 2017 en verano y primavera, observándose que en verano hubo una condición oligotrófica, mientras que en primavera esta condición aumentó a mesotrófica (Tabla 67).

Tabla 67. Estado trófico histórico de la laguna del Perro de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna del Perro		
	Estación de muestreo	**Año**
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	verano	3,0
	otoño	
	invierno	
	primavera	4,5

5. Laguna Torca

Para esta laguna se disponen datos para una estación de muestreo entre el verano de 2013 y otoño de 2016. En todo este periodo, la condición fue hipereutrófica Figura 80).

6. Lago Vichuquén

Para el lago Vichuquén hay registros de clorofila-a entre el verano 2013 y primavera 2017. En este periodo de tiempo predominó la condición hipereutrófica en 4 de las 5 estaciones de muestreo, y solamente el estero Vichuquén no presentó esta condición, aunque si llegó a ser eutrófica en la primavera de 2015 (Figura 81). Se observa que durante el año 2017 la condición trófica tendió a disminuir, aunque la estación Estero Llico se mantuvo hipereutrófica.

7. Laguna Grande de San Pedro

Para esta laguna se disponen datos de clorofila−a desde 1988 hasta 2016. Entre 1988 y 2003 la condición trófica encontrada en este cuerpo lacustre fue oligotrófica a mesotrófica en las estaciones Sector Centro, Sector Sur, y Sector Desagüe. Sin embargo, el 2004 y el 2008 la estación Sector Desagüe alcanzó la condición eutrófica de acuerdo al criterio de Smith et al (1999). El año 2015, la única estación evaluada (Sector Centro 2), que además comenzó a ser evaluada desde el año 2014, mostró los valores históricos más altos, eutróficos) en comparación a las estaciones suspendidas (Figura 82).

8. Laguna Lencán

Para este sistema lacustre se disponen mediciones de clorofila−a entre el verano de 2016 y otoño de 2017, en tres estaciones de muestreo. Solamente la estación Afluente ha mostrado tener condición oligotrófica, mientras que el Sector Centro y el Efluente se han encontrado entre los estados eutrófico e hipereutrófico (Figura 83).

9. Laguna Lloncao

Para esta laguna solamente se dispone de tres mediciones de clorofila−a para una estación de muestreo entre los años 2016 y 2017. Estos datos indican que el estado eutrófico detectado en verano de 2016 descendió a oligotrófico el 2017 (Tabla 68).

Tabla 68. Estado trófico histórico de la laguna Lloncao de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna Lloncao			
	Estación de muestreo	Año	
Estación del año	Sector centro	2016	2017
	verano	15,4	
	otoño		1,6
	invierno	2,7	
	primavera		

10. Lago Lanalhue

Para este lago se disponen datos de clorofila − a desde 1991 hasta 2016. Hasta el año 1999, la condición trófica dominante fue entre oligotrófica y mesotrófica en las 3 estaciones que eran monitoreadas en ese momento. Para el periodo 2000- 2002 no se disponen datos, pero desde el otoño de 2003 en adelante se observó un aumento de los valores de clorofila - a, especialmente en el Sector Centro del lago, el cual desde el invierno de 2014 llegó a presentarse en estado hipereutrófico (Figura 84).

11. Laguna Los Batros

Para Los Batros solamente hay mediciones de clorofila-a para el año 2016 en la estación Efluente y para el verano de 2017 para el Sector Centro. En el primer caso, el verano estaba en estado oligotrófico, pero aumentó a eutrófico en invierno de 2016. La medición del Sector Centro estaba en estado eutrófico en el verano de 2017 (Tabla 69).

Tabla 69. Estado trófico histórico de la laguna Los Batros de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna Los Batros			
	Estación de muestreo	Año	
Estación del año	**Sector centro**	**2016**	**2017**
	verano		10,0
	Efluente		
	verano	2,3	
	invierno	15,2	

12. Laguna Antiquina

Para esta laguna solo se disponen mediciones de clorofila-a para el otoño de 2017 en la estación Sector Centro, observándose una condición hipereutrófica (Tabla 70).

Tabla 70. Estado trófico histórico de la laguna Antiquina de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna Antiquina		
	Estación de muestreo	Año
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	verano	
	otoño	35,4
	invierno	
	primavera	

13. Lago Lleu- Lleu

Para este lago se dispone de datos para el invierno de 2011 y primavera de 2016 para dos estaciones de monitoreo y los datos indican que este cuerpo lacustre ha estado en condición oligotrófica durante los periodos evaluados (Figura 85).

14. Laguna Butaco

Para esta laguna solo se disponen mediciones de clorofila-a para el otoño de 2017 en la estación Sector Centro, observándose una condición oligotrófica (Tabla 71).

Tabla 71. Estado trófico histórico de la laguna Antiquina de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial de la laguna Butaco		
	Estación de muestreo	Año
Estación del año	Sector centro	2017
	verano	
	otoño	1,2
	invierno	
	primavera	

15. Lago Colico

Las mediciones de clorofila-a de este lago entre 2013 y 2015, muestran que su condición ha sido principalmente oligotrófica, con solo una medición mesotrófica en el verano de 2014 en la Bahía Trafalpulli (Figura 86).

16. Lago Caburgua

Para este lago hay mediciones de clorofila-a desde 2003 hasta 2017, con una ventana entre 2014 y 2017. Los datos indican que este sistema ha estado principalmente en condición oligotrófica, con aumentos hacia condición mesotrófica entre 2006 y 2007. Además, las mediciones registradas a partir de 2009 muestran una tendencia a disminuir la concentración de clorofila-a (Figura 87).

17. Lago Villarrica

Este lago presenta datos desde 1986 hasta 2017. En la mayoría de las mediciones la condición de trofía hasta el 2010 fueron oligotróficas y mesotróficas, sin embargo, se registraron valores de clorofila-a que lo clasificaron como eutrófico e hipereutrófico en las estaciones Bahía la Poza en 1986

y en La Poza, Molco, Bahía Pucón y Bahía Villarrica en 1993. Por otro lado, a partir de 2011, las nuevas estaciones analizadas se presentaron como mesotróficas y eutróficas durante algunas campañas, pero como oligotróficas o mesotróficas en otras campañas, sin observarse un patrón estacional en la condición trófica (Figura 88).

18. Lago Calafquén

Para este sistema se disponen datos de clorofila−a para tres estaciones de muestreo entre 1997 y 2012, con lagunas entre 1999 y 2002, y en el 2010. Todas las mediciones registradas permiten clasificarlo como oligotrófico (Figura 89).

19. Lago Panguipulli

Para este sistema se disponen datos de clorofila−a para tres estaciones de muestreo entre 1997 y 1999 con lagunas de datos entre 2000 y 2004, y en el 2010. La condición trófica de este lago fue oligotrófica en las tres estaciones de monitoreo hasta el verano de 2009, siendo mesotrófica en otoño del mismo año, pero retornando a la condición de oligotrofia desde el invierno de 2009 en adelante (Figura 90).

20. Lago Neltume

Las mediciones de clorofila-a tomadas entre la primavera de 2012 y el otoño de 2014 en 4 estaciones de muestreo de este lago, indican que se encuentra en condición oligotrófica (Figura 91).

21. Lago Riñihue

Para este sistema se disponen datos de clorofila−a para 4 estaciones de muestreo entre 1987 y 2012, con una ventana sin mediciones entre 1999 y 2003. La mayoría de las mediciones, dentro del periodo de estudio, permiten clasificar a este sistema principalmente como oligotrófico, con algunos casos mesotróficos en el verano de 1991 en las estaciones Bahía Riñihue y Desagüe, y en invierno de 2008 en Bahía Riñihue y en Enco (Figura 92).

22. Lago Pirihueico

No se dispone de datos de clorofila-a para este sistema lacustre.

23. Lago Ranco

Entre 1987 y 2009 se realizaron mediciones de clorofila-a en tres estaciones de muestreo en el lago Ranco, con una ventana sin valores entre 1999 y 2002. Para el 2012 y 2013 no hay registros de clorofila-a en Puerto Nuevo, por lo que quedaron solo dos estaciones de muestreo. Desde el 2014 y 2016 se agregaron 2 estaciones. En todas estas estaciones y en gran parte de los muestreos, la

condición trófica de este lago ha sido oligotrófica de acuerdo al criterio de Smith et al (1999), con solo 3 excepciones donde los valores de clorofila-a alcanzaron la mesotrofía (Figura 93).

24. Lago Maihue

Para este sistema se disponen datos de clorofila-a entre 2003 y 2014 en dos estaciones de muestreo. La mayoría de los datos muestran que el lago ha permanecido en estado oligotrófico, exceptuando en otoño de 2006 en la estación Sector Centro que registró un valor que se clasifica como mesotrófico (Figura 94).

25. Lago Puyehue

Las cuatro estaciones con información de clorofila-a entre 2012 y 2014 en el lago Puyehue mostraron condición oligotrófica (Figura 95).

26. Lago Rupanco

Las cuatro estaciones muestreadas entre 2012 y 2016 en el lago Rupanco con información de clorofila-a mostraron condición oligotrófica, a excepción de una medición en verano de 2015 en Puerto Gaviota que mostró condición mesotrófica (Figura 96).

27. Lago Todos los Santos

Las cuatro estaciones con información de clorofila-a para el periodo 2002 y 2015 en el lago Todos los Santos mostraron condición oligotrófica (Figura 97).

28. Lago Llanquihue

La condición trófica de este lago de acuerdo a la concentración de clorofila-a bajo el criterio de Smith et al (1999), entre los años 1986 y 2017, ha sido predominantemente oligotrófica en todas las estaciones de muestreo, tanto las actuales como las suspendidas. Solamente se observaron excepciones en invierno de 1989, donde la estación Puerto Varas llegó a condición mesotrófica; en verano de 2015 cuando río Pescado se mostró eutrófico; y en invierno del mismo año, donde río pescado, Puerto Octay 2 y Frutillar 2 registraron valores mesotróficos, mientras que río Tepu alcanzó eutrofía (Figura 98).

29. Lago Chapo

Las tres estaciones muestreadas entre 2005 y 2017 en el lago Chapo y que contienen información de clorofila-a mostraron condición oligotrófica, exceptuando en primavera 2007, otoño e invierno 2008, verano e invierno de 2015, donde algunas mediciones de clorofila-a alcanzaron la mesotrofía (Figura 99).

30. Lago Natri

Para este lago solo se disponen mediciones de clorofila-a para el otoño de 2017 en la estación Sector Centro, observándose una condición oligotrófica (Tabla 72).

Tabla 72. Estado trófico histórico del lago Natri de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial del lago Natri		
	Estación de muestreo	**Año**
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	verano	1,5
	otoño	
	invierno	
	primavera	

31. Lago Tepuhueico

Para este lago solo se disponen mediciones de clorofila-a para el otoño de 2017 en la estación Sector Centro, observándose una condición oligotrófica (Tabla 73).

Tabla 73. Estado trófico histórico del lago Tepuhueico de acuerdo a Smith et al. (1999).

Estado trófico según Cl-a superficial del lago Tepuhueico		
	Estación de muestreo	**Año**
Estación del año	**Sector centro**	**2017**
	verano	3,4
	otoño	
	invierno	
	primavera	

.

Figura 79. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo de la laguna Aculeo.

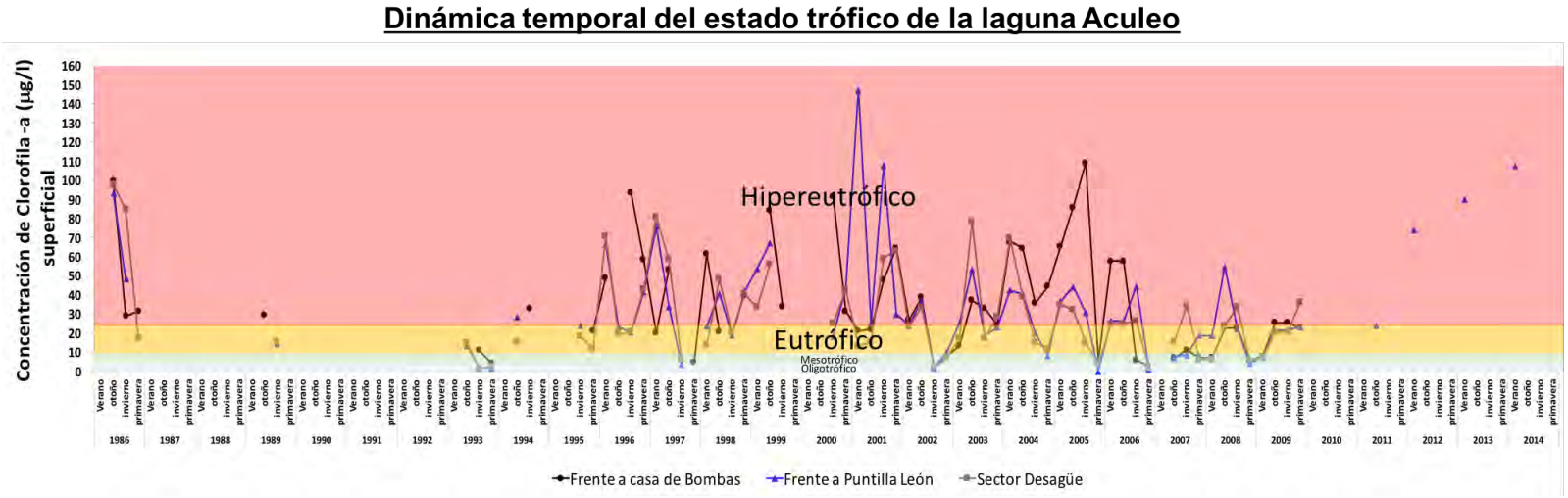


Figura 80. Condición trófica histórica para una estación de monitoreo de la laguna Torca.

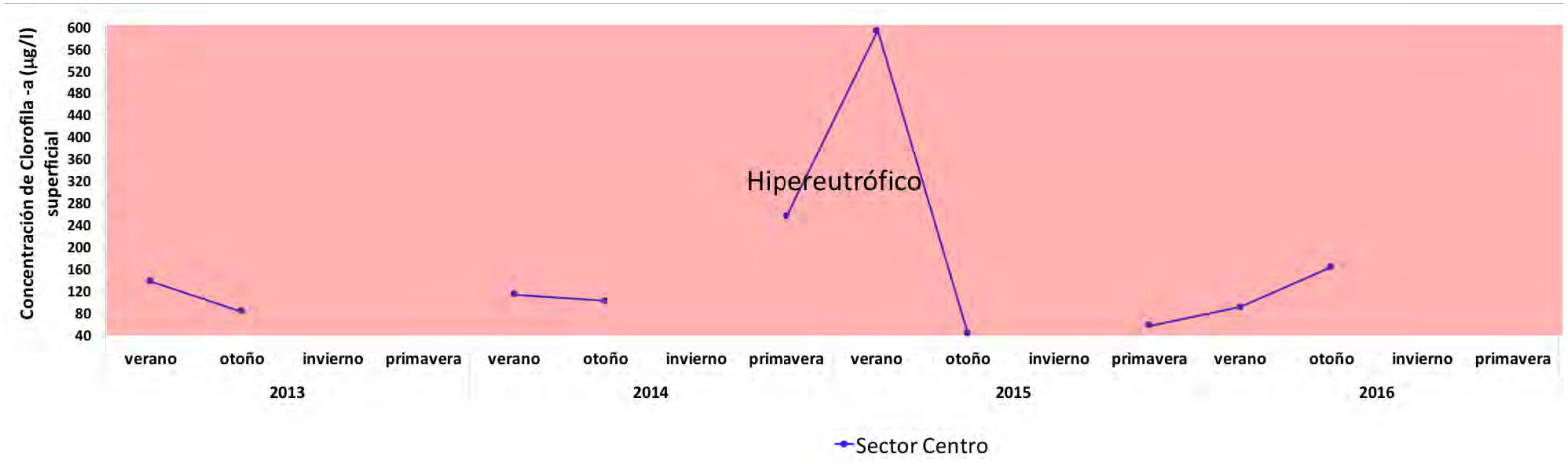


Figura 81. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Vichuquén.

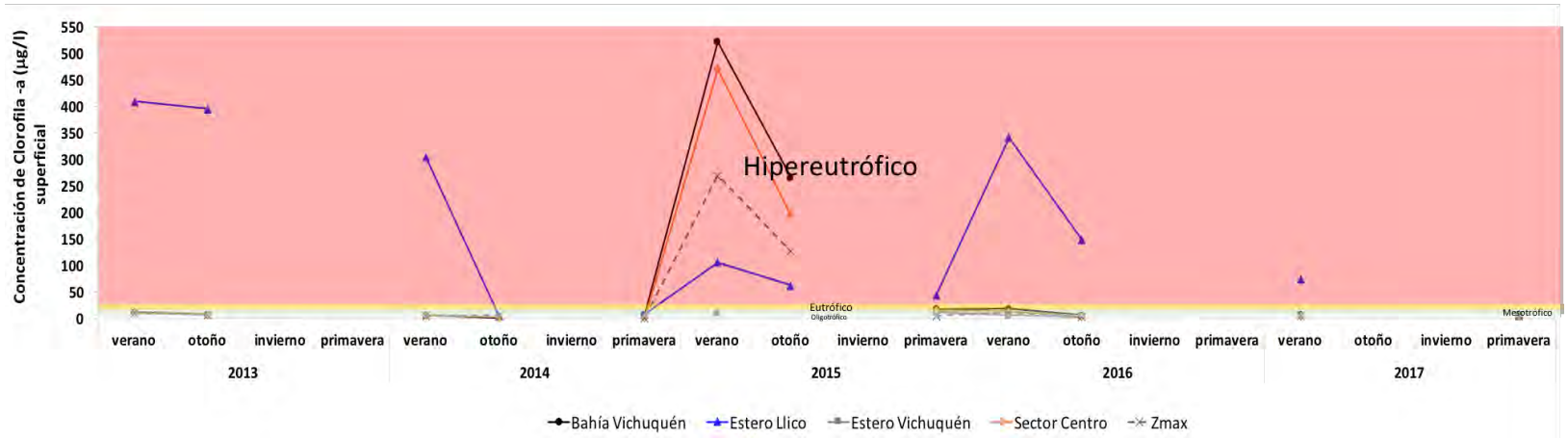


Figura 82. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo de la laguna Grande de San Pedro.

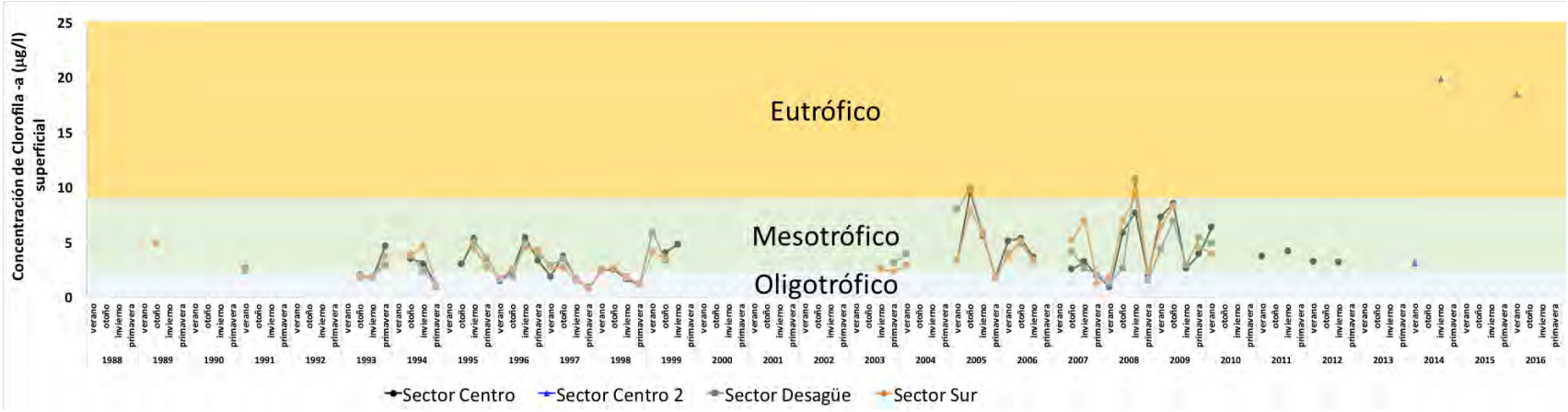


Figura 83. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo de la laguna Lencán.

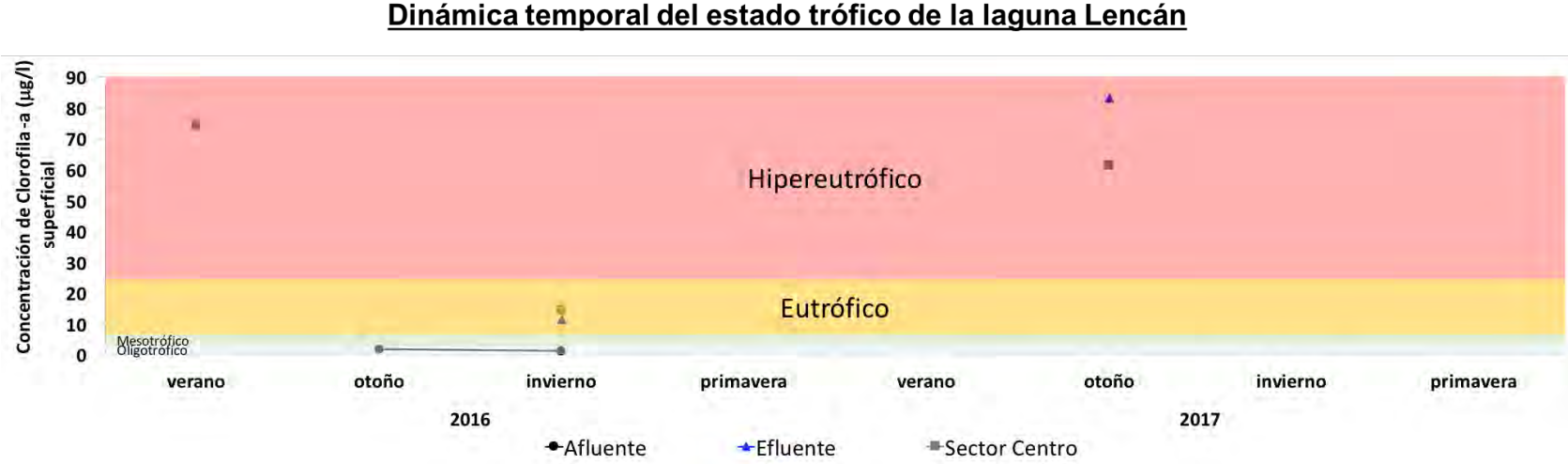


Figura 84. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Lanalhue.

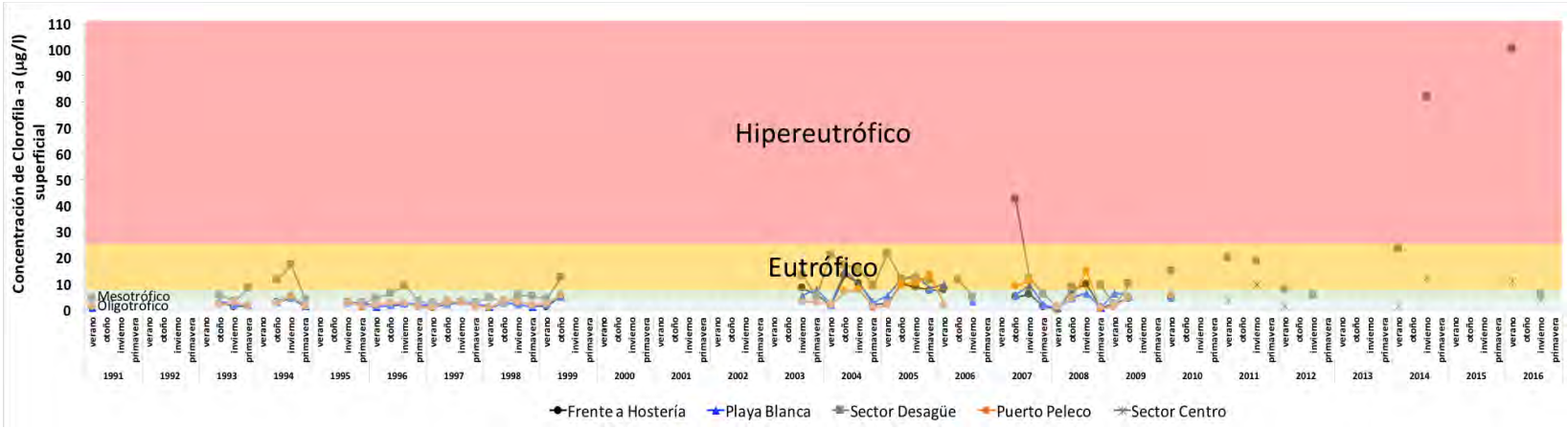


Figura 85. Condición trófica histórica para dos estaciones de monitoreo del lago Lleu - Lleu.

Figura 86. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Colico.

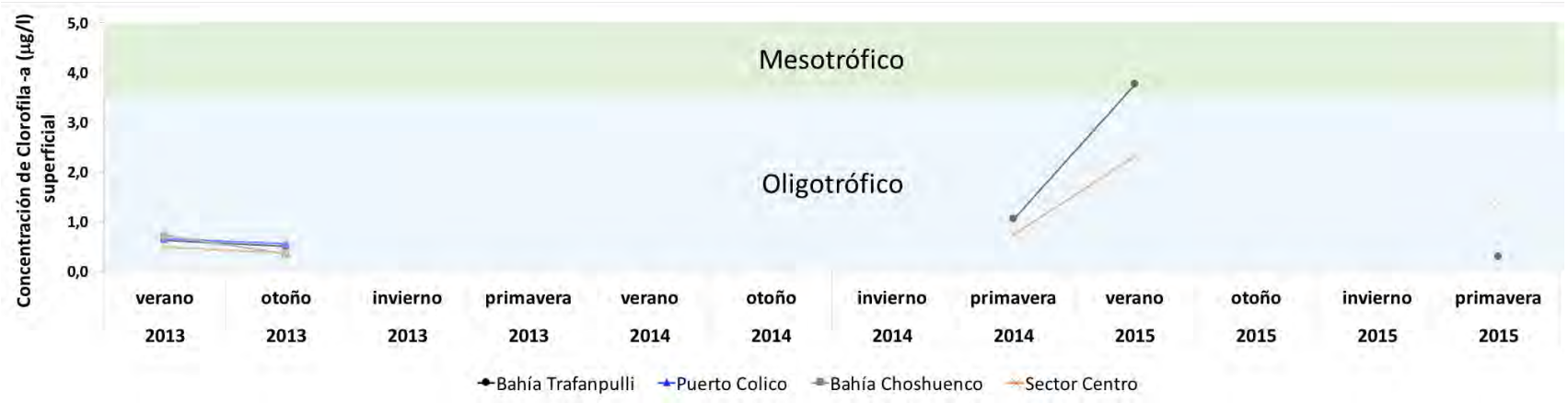


Figura 87. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Caburgua.

Figura 88. Condición trófica histórica para doce estaciones de monitoreo del lago Villarrica.

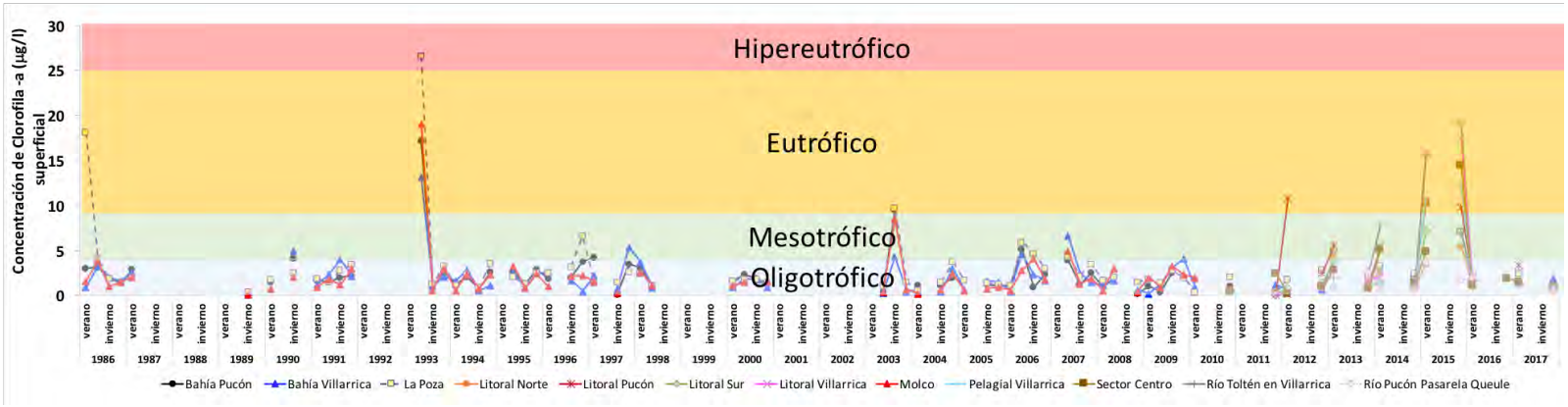


Figura 89. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Calafquén.

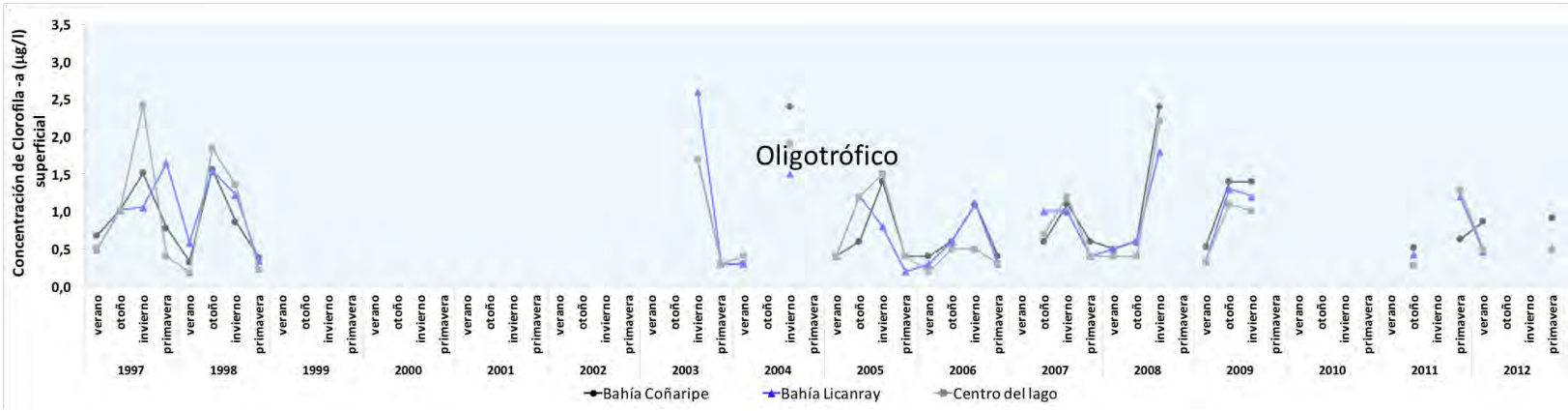


Figura 90. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Panguipulli.

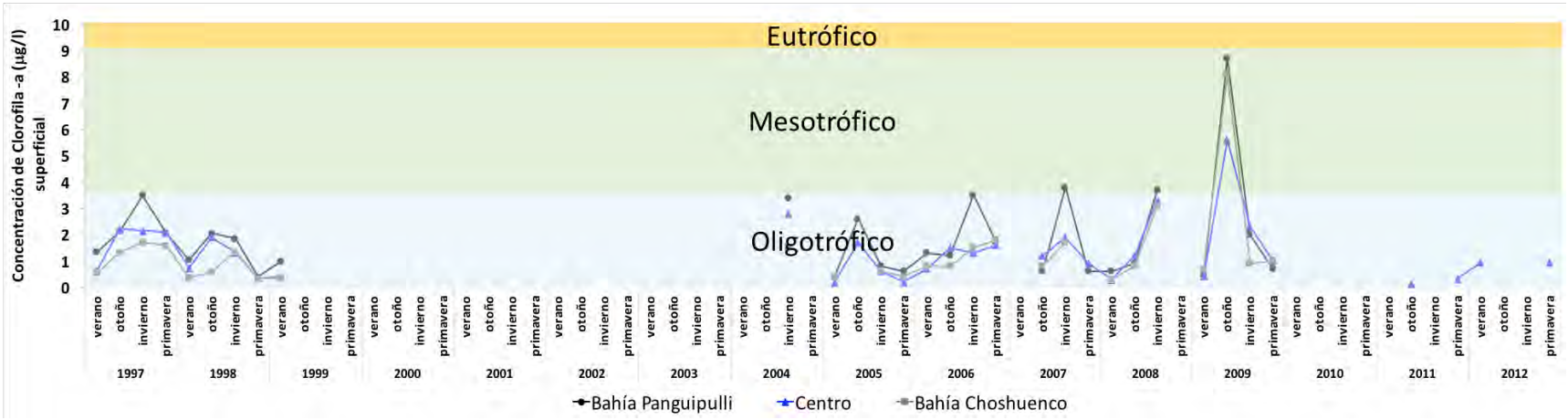


Figura 91. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Neltume.

Figura 92. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Riñihue.

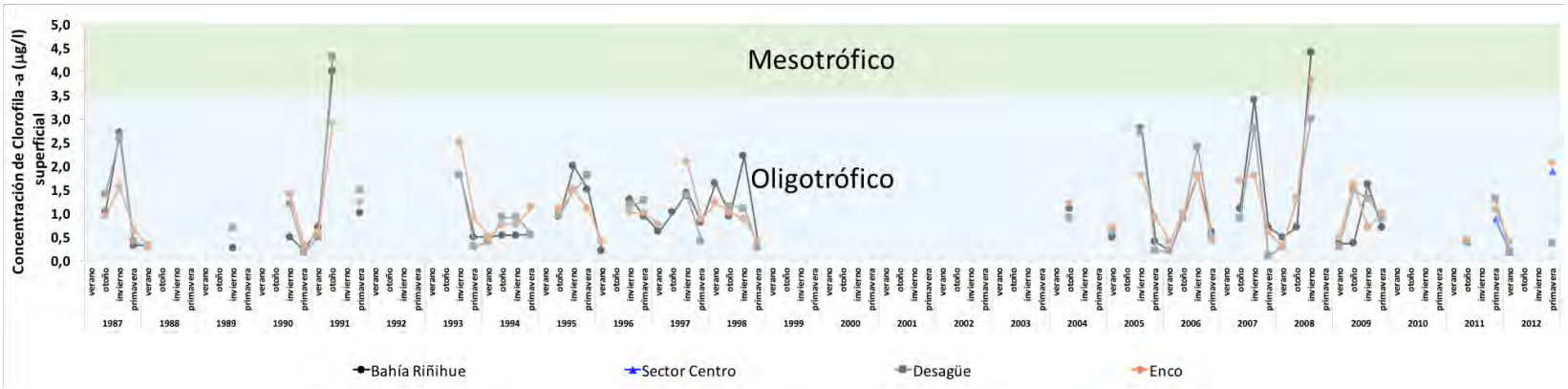


Figura 93. Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Ranco.

Figura 94. Condición trófica histórica para dos estaciones de monitoreo del lago Maihue.

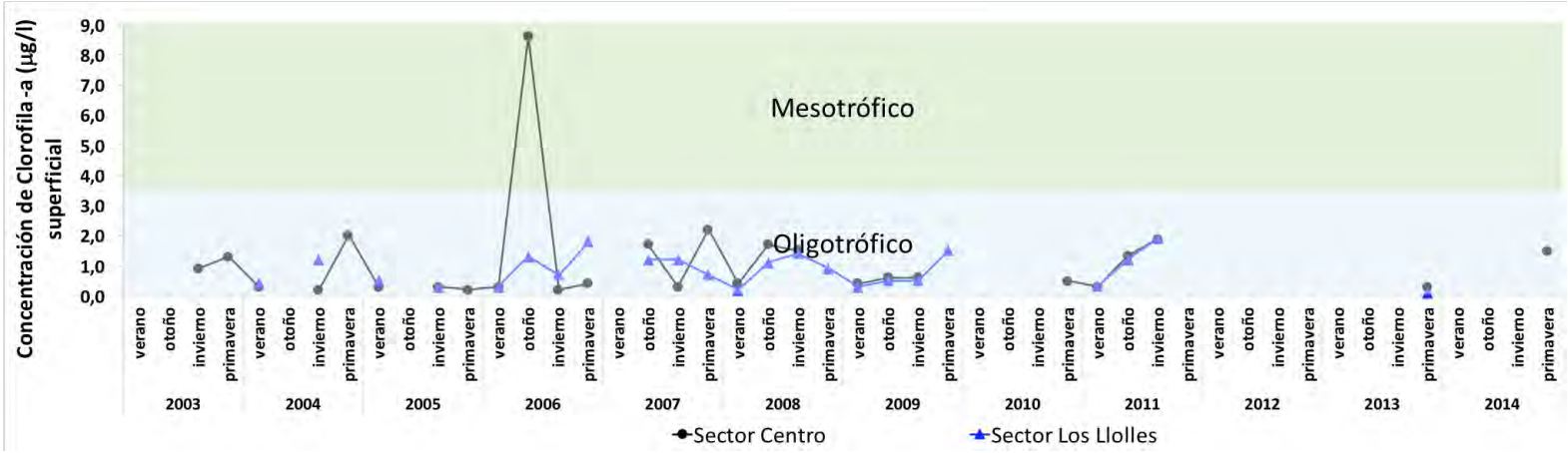


Figura 95. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Puyehue.

Figura 96. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Rupanco.

Figura 97. Condición trófica histórica para cuatro estaciones de monitoreo del lago Todos los Santos.

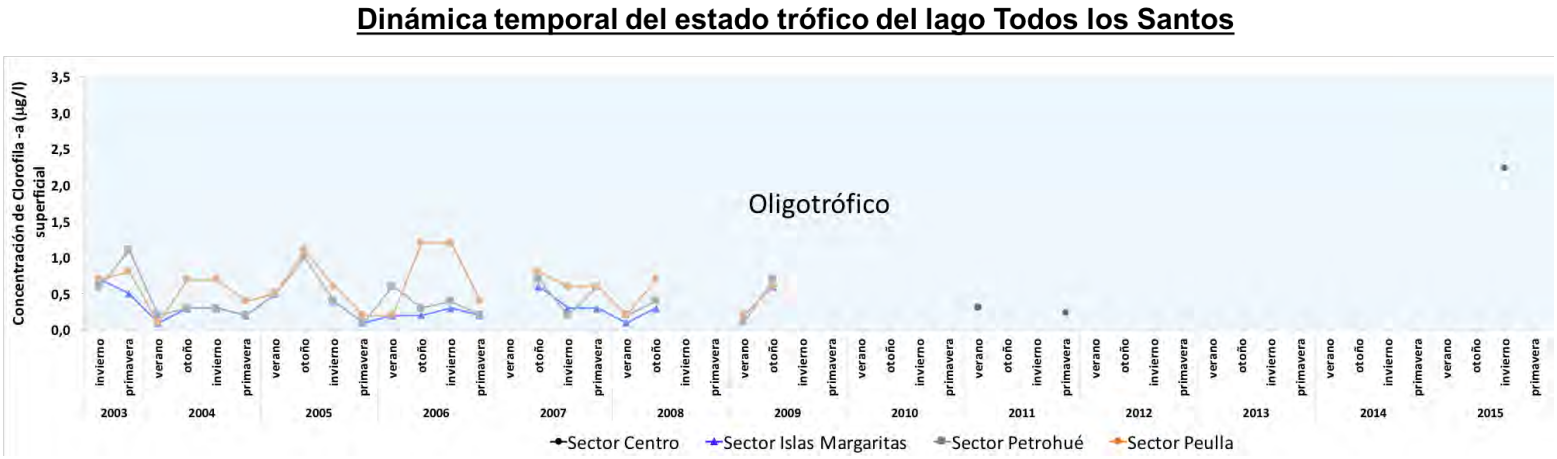


Figura 98. Condición trófica histórica para once estaciones de monitoreo del lago Llanquihue.

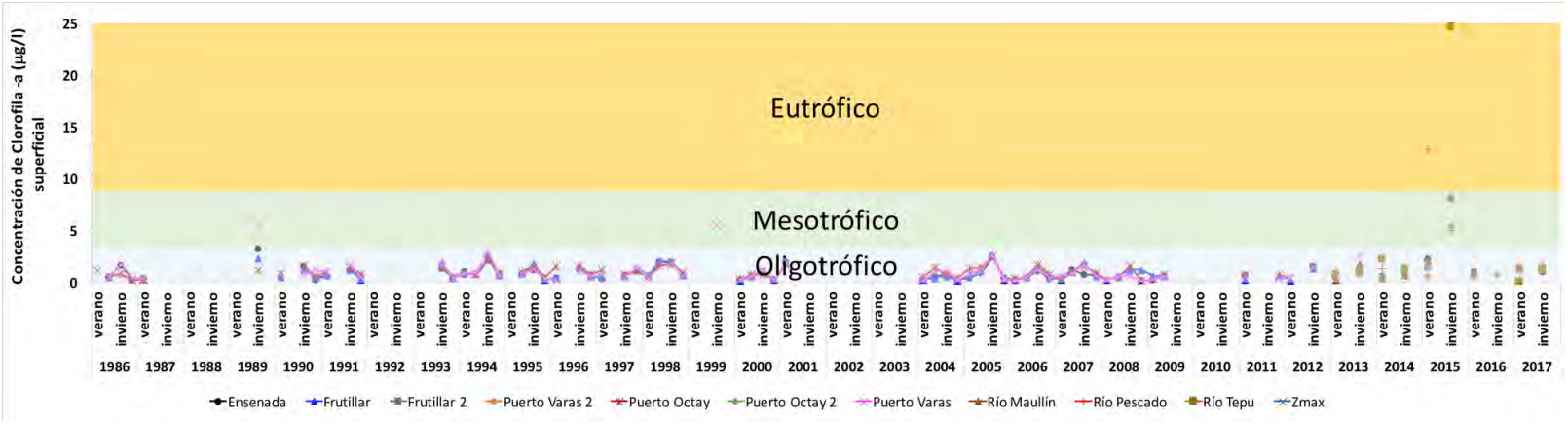
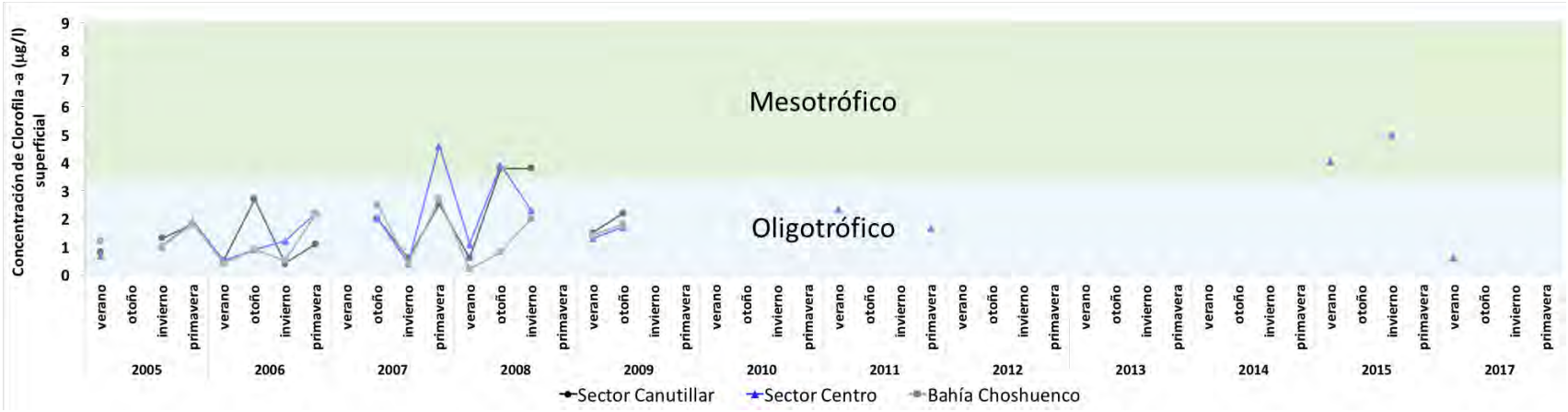


Figura 99. Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Chapo.

Dinámica temporal del estado trófico del lago Chapo



4.2.3. Análisis del componente fitoplanctónico

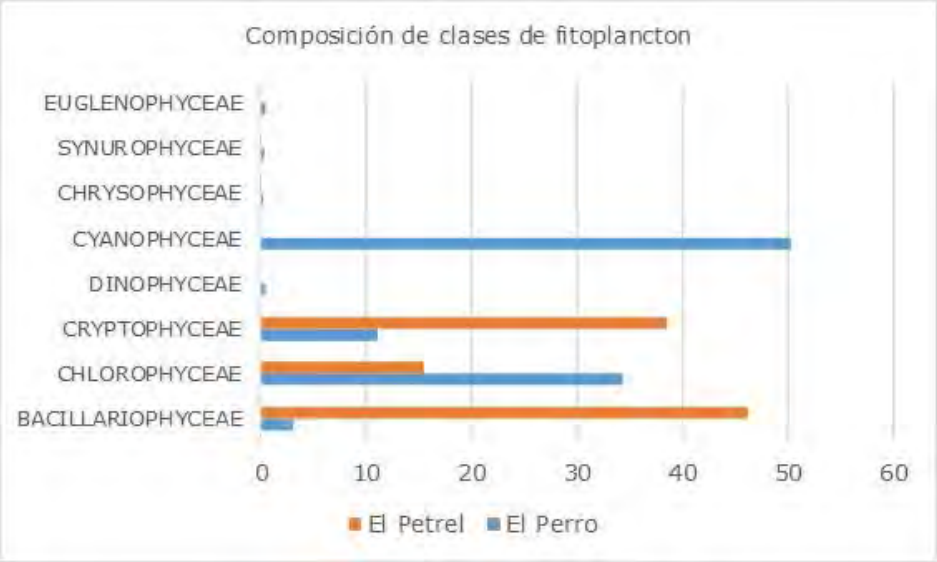
Las algas son importantes productores primarios tanto en sistemas continentales como marinos. En ríos y lagos son la base de las cadenas tróficas. Aunque muchas tienen impactos positivos en los ecosistemas, algunas pueden ser perjudiciales. Cuando crecen en grandes proporciones, pueden provocar blooms o floraciones de algas, que al descomponerse pueden disminuir el oxígeno en el agua y causar muerte de peces y otros problemas ecológicos (Bellinger & Sigee 2010). Además, algunas producen toxinas (cianofíceas) que son letales tanto para organismos terrestres y acuáticos. Por esta razón, un monitoreo de las microalgas es fundamental para conocer y evaluar los impactos de alteraciones en los ecosistemas acuáticos. El análisis del componente fitoplanctónico incluyó análisis de estructura comunitaria, índices de diversidad, índices bióticos, presencia de algas nocivas y análisis de Grupos Funcionales. Cada uno de estos tópicos fue analizado para cada lago, los que a su vez fueron ordenados por región en estudio.

1. Lagunas costeras de la VI Región: El Petrel y El Perro

a. Estructura comunitaria:

En Figura 100, se muestra la composición de clases de fitoplancton registradas en ambas lagunas. Se observa que en Laguna El Perro fueron más abundantes cianófitas y clorófitas; mientras que en Laguna El Petrel fueron más abundantes diatomeas y cryptophyceas.

Figura 100. Estructura comunitaria de Lagunas El Petrel y El Perro.



b. Índices de diversidad:

En ambas lagunas el fitoplancton fue monitoreado sólo una vez en el verano de 2017. Laguna El Perro mostró mayor riqueza y diversidad de taxa, pero la abundancia fue mucho mayor en laguna El Petrel, donde se observó menor cantidad de taxa raros o con baja abundancia y, por ende, mayor equidad (Tabla 74).

Tabla 74. Índices de diversidad en Lagunas El Petrel y El Perro.

Laguna	El Petrel	El Perro
Fecha	19/01/2017	18/01/2017
Estación	Z máx.	
Riqueza	6	19
Abundancia	1083332	879169
I. Dominancia	0.231	0.217
I. Simpson	0.769	0.782
I. Shannon	1.605	1.916
Equidad de Pielou	0.859	0.650

c. Índices bióticos:

En laguna El Petrel, el índice A/C de Stockner (1972) indicó un valor de 0.25 lo que sugiere un valor de oligotrofía. En laguna El perro no se encontraron diatomeas pennadas arafídeas, por tanto, este índice no pudo ser calculado.

d. Presencia de algas nocivas:

Sólo en Laguna El Perro fueron encontradas taxa potencialmente tóxicas, como *Pseudoanabaena* y *Dolichospermum*, las que en conjunto alcanzaron abundancias cercanas al 50%.

e. Análisis de Grupos Funcionales:

En Laguna El Perro, tres especies mostraron abundancias mayores al 10% (*Tetraedron mínimum*, *Rhodomonas lacustris* y *Dolichospermum aff. planctónicum*), las cuales según Padisak (2009) pertenecen a los grupos funcionales J y X2, y se relacionan a sistemas someros meso-eutróficos. Por su parte, en Laguna El Petrel los taxa *Melosira varians, Botryococcus braunii* y *Rhodomonas lacustris*, que se agrupan en los grupos funcionales P, F y X2, que también son típicas de estratos claros, mezclados y someros en cuerpos meso-eutrófico.

f. Análisis de ordenación:

Dado el bajo tamaño de muestras (solo 2 monitoreos), no se realizaron análisis estadísticos multivariados de ordenación en estas lagunas.

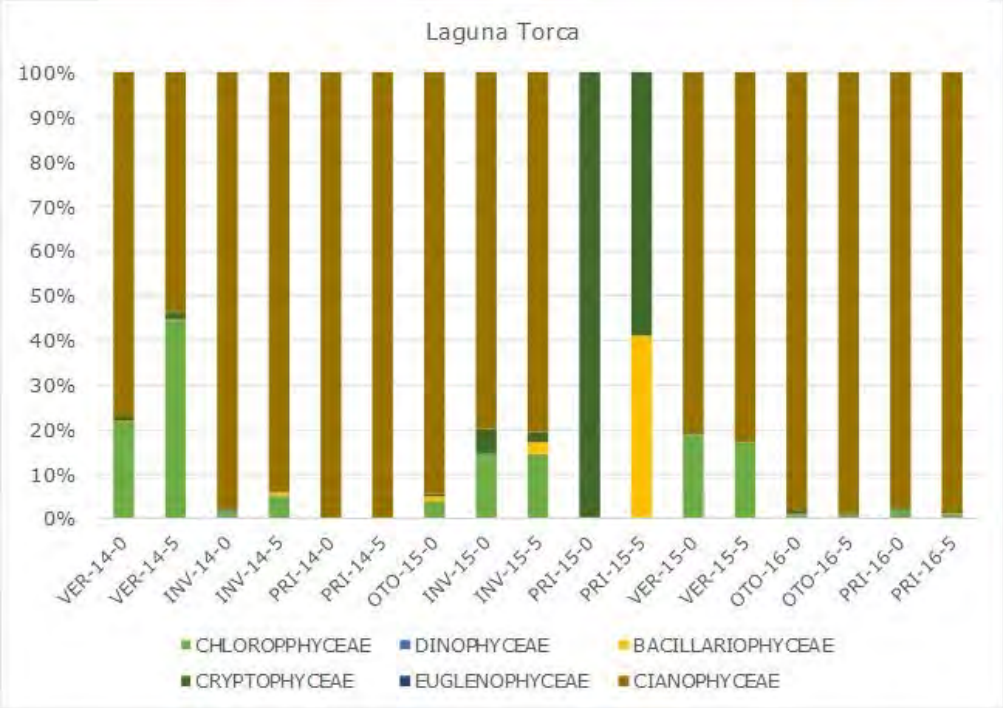
2. Cuerpos lacustres de la VII Región: Laguna Torca y Lago Vichuquén

Laguna Torca

a. Estructura comunitaria:

El análisis de clases de fitoplancton evidencia una dominancia de la clase cianofícea en todos los periodos de monitoreo, a excepción de primavera del 2015, donde hubo dominancia de cryptofíceas (Figura 101).

Figura 101. Estructura comunitaria de fitoplancton en Laguna Torca.



b. Índices de diversidad:

Al comparar todos los periodos de monitoreo se observó que las mayores abundancias fueron registradas en primavera del 2014; no obstante, la mayor riqueza de taxa y diversidad (Índice de Shannon) fue registrada en verano del 2014 (Tabla 75).

Tabla 75. Índices de diversidad registrados en Laguna Torca.

Periodo	Profundidad	Riqueza de taxa	Abundancia total	Índice de Dominancia	Índice de Simpson	Índice de Shannon	Índice de Equidad
VER-14	0	24	403841228	0.22	0.78	1.81	0.57
	5	22	150479180	0.28	0.72	1.64	0.53
INV-14	0	18	623414071	0.66	0.34	0.78	0.27
	5	18	364193852	0.39	0.61	1.30	0.45
PRI-14	0	13	6524921471	0.87	0.13	0.35	0.14
	5	17	2030985238	0.92	0.08	0.22	0.08
OTO-15	0	17	259843464	0.36	0.64	1.28	0.45
INV-15	0	7	5461256	0.60	0.40	0.90	0.46
	5	11	11039869	0.55	0.45	1.11	0.46
PRI-15	0	6	9352218	0.95	0.05	0.13	0.07
	5	4	8762295	0.50	0.50	0.76	0.55
VER-15	0	16	71616432	0.60	0.40	0.88	0.32
	5	4	31761356	0.67	0.33	0.61	0.44
OTO-16	0	20	76211522	0.65	0.35	0.70	0.23
	5	14	49469218	0.92	0.08	0.23	0.09
PRI-16	0	16	101431250	0.44	0.56	0.98	0.35
	5	14	38049344	0.41	0.59	1.04	0.40

c. Índices bióticos:

El índice A/C sólo fue posible calcularlo en los muestreos donde se encuentran ambos grupos de taxa (diatomeas arrafídeas pennadas y diatomeas céntricas), es decir, solo en 4 monitoreos muestras correspondientes a invierno 2014, otoño 2015 y otoño 2016, sugiriendo condiciones de mesotrofía (1) y eutrofía (3) en invierno de 2014; hiper-eutrofía (5) en otoño 2015 y oligotrofia (0.57) en otoño de 2016.

d. Presencia de algas nocivas:

A excepción del monitoreo de primavera del 2015, laguna torca mostró una alta abundancia de cianofíceas. Los géneros más abundantes fueron: *Anabaena, Aphanizomenon, Aphanocapsa, Dolichospermum, Microcystis, Oscillatoria, Pseudoanabaena* y *Rhaphidiopsis*.

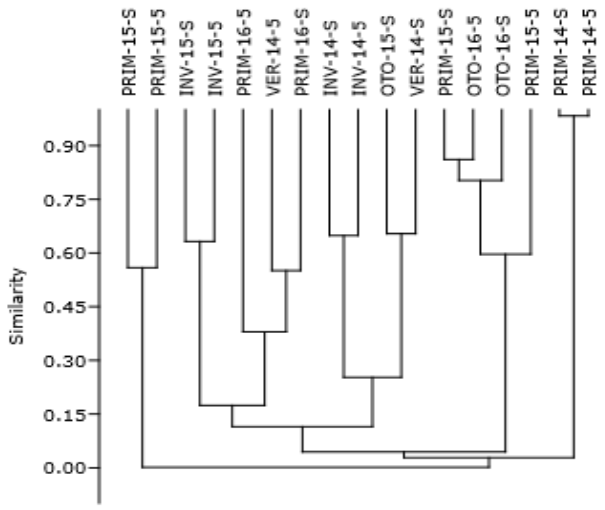
e. Determinación de grupos funcionales:

Los taxa que mostraron abundancias mayores al 10% fueron del grupo de las clorofíceas y cianofíceas pertenecientes a los grupos funcionales X1, K, H1, M y SN que se asocian a lagos someros o columnas de aguas mezcladas y enriquecidas en nutrientes.

f. Análisis de ordenación:

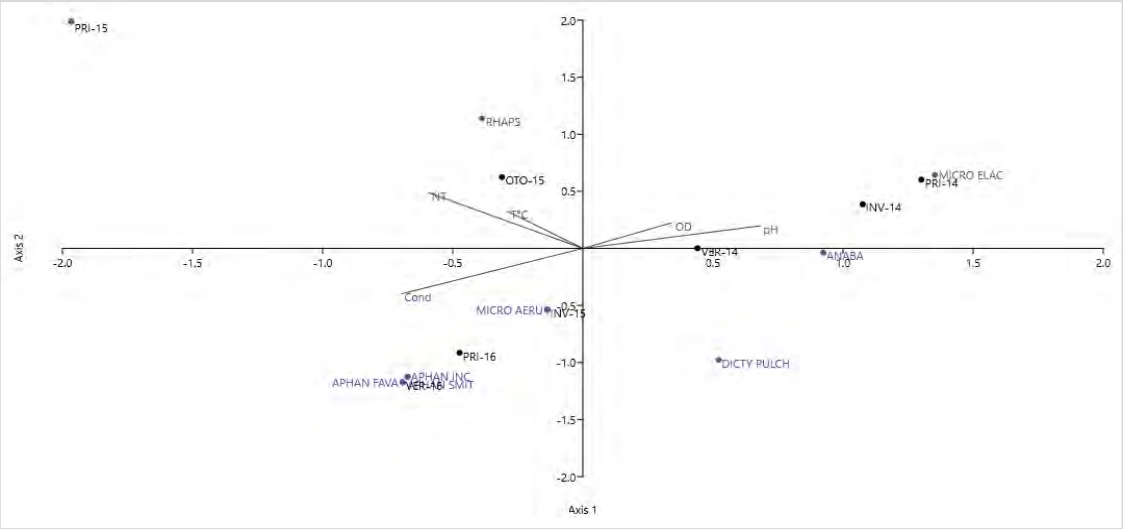
El análisis de conglomerados para los ensambles de fitoplancton obtenidos en Laguna Torca (Figura 102) no mostró una clara agrupación entre los distintos periodos de monitoreo en el lago. No obstante, se observó una separación en primavera del 2014, posiblemente asociado a una alta abundancia de cianofíceas. Tampoco se observó una diferenciación entre las dos profundidades de análisis (superficie y 5 metros).

Figura 102. Análisis de conglomerados en base a taxa de fitoplancton para Laguna Torca.



El ACC relacionó en un plano de ordenación las variables fisicoquímicas: T°C, Conductividad (Cond), pH, Oxígeno disuelto (OD), Nitrógeno Total (NT), con los taxa que mostraron abundancias relativas mayor al 10% en los distintos periodos de monitoreo. Prévio al análisis las variables fisicoquímicas fueron transformadas a logaritmo y los taxa a "Row porcentaje". Este análisis fue realizado en el software PAST. En el biplot de la Figura 103 se observa un leve aumento de cianofíceas en primavera del 2016 que se relaciona a una disminución de Oxígeno disuelto; y un leve aumento en la conductividad el año 2015 que se relaciona a taxa como *Characiopsis* (CHARA) y *Rhapsidiopsis* (RHAP).

Figura 103. Gráfico de ordenación de ACC para estación Centro en los distintos periodos de monitoreo en Laguna Torca.

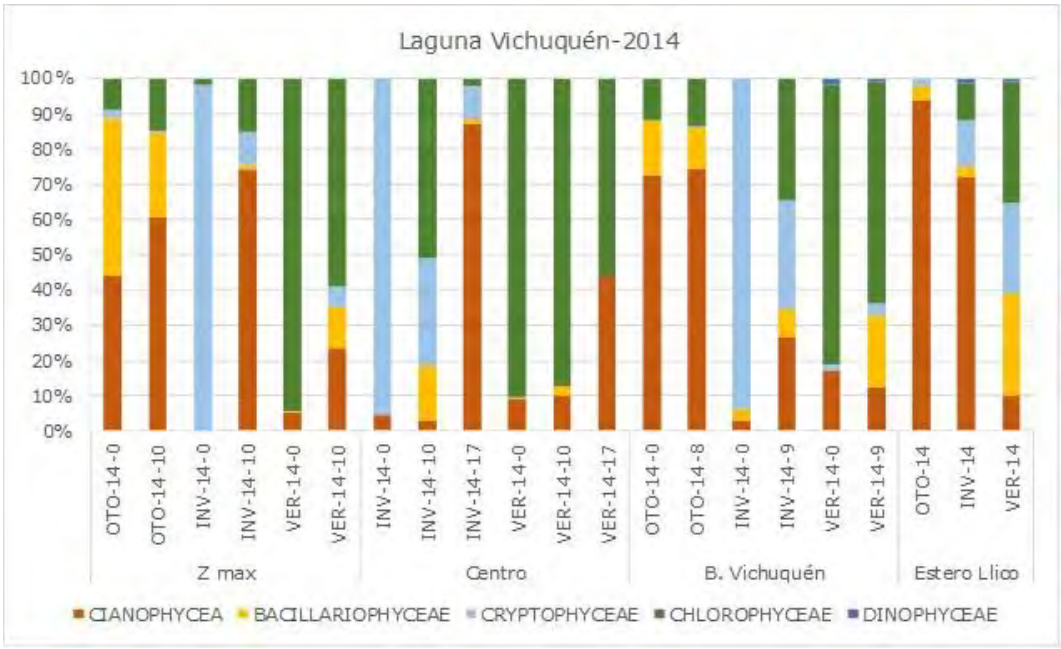


Laguna Vichuquén

a. Estructura comunitaria:

En la Figura 104 y 105 se entrega la composición de clases de fitoplancton para cada año, cada estación y cada peridoo de monitoreo para Laguna Vichuquén. Los análisis de estructura comunitaria fueron realizados para cada año de monitoreo. Se observa que el año 2014 hay predominancia de cuatro clases de fitoplancton: clorofíceas, diatomeas, criptofíceas y cianofíceas. Las clorofíceas muestran mayores abundancias en veranos, mientras que criptofíceas suelen dominar en invierno. Por su parte cianofíceas son presentes en casi todos los periodos, pero solo muestran abundancias mayores al 60% en 6 periodos. El año 2015 se ve clara dominancia de 2 grupos (clorofíceas y cianofíceas) con un evidente aumento de cianofíceas y disminución de diatomeas (a excepción de Estero Vichuquén). El año 2016 hay diversidad de clases de fitoplancton y nuevamente el año 2017, vuelven a dominar las cianofíceas en casi todos los periodos de monitoreo.

Figura 104. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en periodos de monitoreo 2014 y 2015 en Laguna Vichuquén.



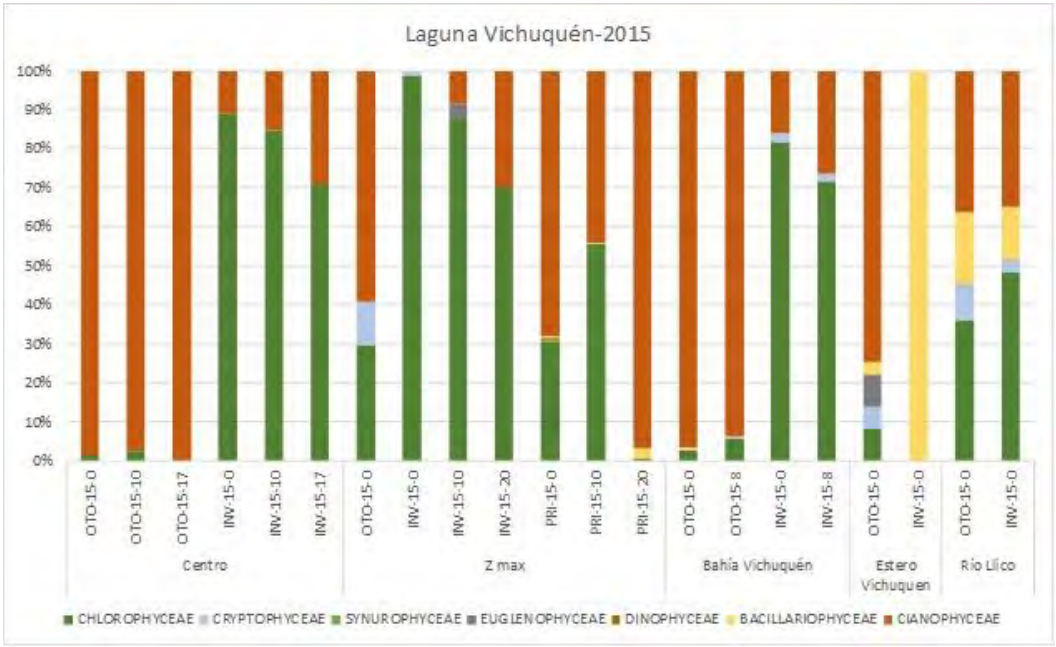
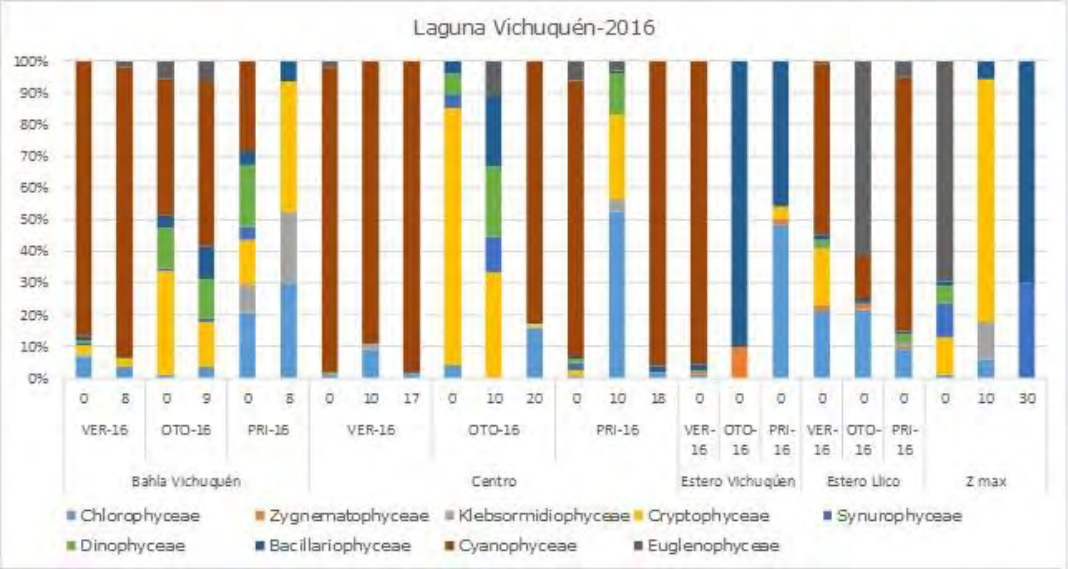
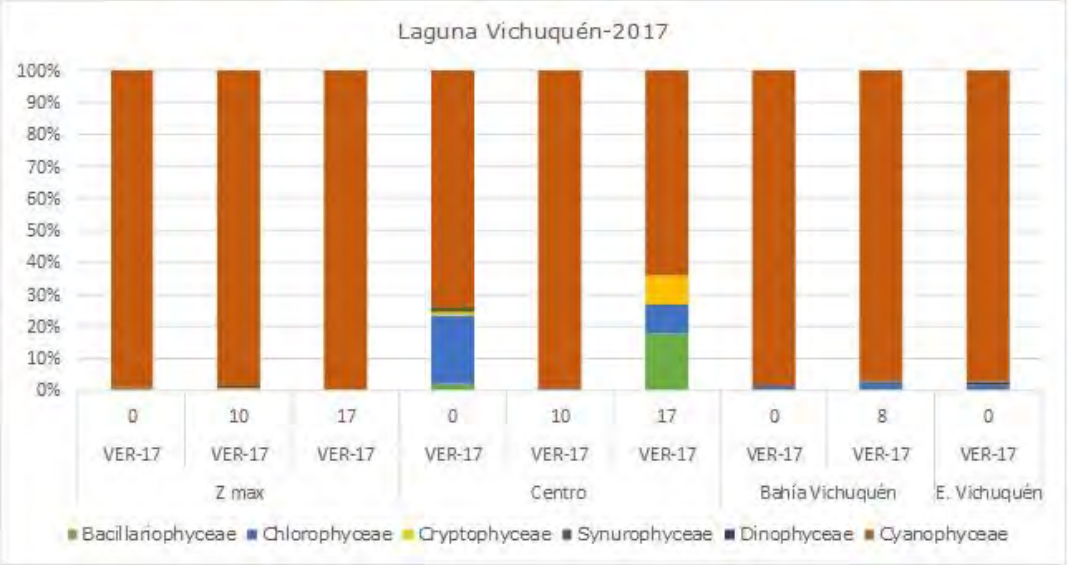


Figura 105. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en periodos de monitoreo 2016 y 2017 en Laguna Vichuquén.





b. Índices de diversidad:

En la Tabla 76 se entrega la variación en índices de diversidad para los distintos periodos de monitoreo en Laguna Vichuqúen. En verano de 2016 se observaron los mayores más altos de riqueza, principalmente en Bahía Vichuquén, y se observa un notable aumento de la abundancia en el año 2017 en la misma estación. Por su parte la diversidad no muestra grandes variaciones entre los distintos periodos.

Tabla 76. Índices de diversidad de fitoplancton en periodos y estaciones monitoreadas en Lago Vichuquén.

Estación	Centro									Z max								
Periodo	OTO-14			INV-14			PRI-14			OTO-14		INV-14		PRI-14				
Profundidad	0	10	17	0	10	17	0	10	17	0	10 m	0	10	0	10			
Riqueza	15	17	15	4	8	10	10	8	4	13	21	5	15	15	11			
Abundancia	361392	505947	490233	838910	324366	916505	1412084	1928631	461360	446239	260827	2757211	451058	2211557	655197			
I. Dominancia	0.58	0.47	0.41	0.75	0.29	0.52	0.21	0.42	0.35	0.32	0.39	0.94	0.38	0.31	0.16			
I. Simpson	0.42	0.53	0.59	0.25	0.71	0.48	0.79	0.58	0.65	0.68	0.61	0.06	0.62	0.69	0.85			
I. Shannon	1.05	1.27	1.27	0.51	1.38	0.98	1.80	1.26	1.16	1.45	1.50	0.18	1.47	1.38	2.03			
I. Equidad	0.39	0.45	0.47	0.36	0.66	0.43	0.78	0.60	0.84	0.56	0.49	0.11	0.54	0.51	0.85			

Estación	Z max							Bahía Vichuquen		Centro								
Periodo	OTO-15	INV-15			PRI-15			OTO-15		INV-15		OTO-15			INV-15			
Profundidad	0	0	10	20	0	10	20	0	8	0	8	0	10	17	0	10	17	
Riqueza	6	5	5	4	18	11	6	14	7	8	7	6	3	4	5	4	3	
Abundancia	2669302	21914649	2076123	576701	1209734	1043767	63712	79555362	37912145	72664361	54786621	61964879	3154551	3860166	67474049	1499423	2076124	
I. Dominancia	0.25	0.54	0.37	0.36	0.50	0.36	0.52	0.85	0.88	0.46	0.35	0.81	0.48	0.37	0.67	0.51	0.53	
I. Simpson	0.75	0.46	0.63	0.64	0.50	0.64	0.48	0.15	0.12	0.54	0.65	0.19	0.52	0.63	0.33	0.49	0.47	
I. Shannon	1.55	0.82	1.23	1.17	0.97	1.30	0.88	0.41	0.34	1.21	1.34	0.44	0.79	1.11	0.71	0.94	0.76	
I. Equidad	0.86	0.51	0.76	0.84	0.34	0.54	0.49	0.16	0.17	0.58	0.69	0.24	0.72	0.80	0.44	0.68	0.69	

Estación	Bahía Vichuquén						Z max			Centro								
Periodo	VER-16		OTO-16		PRI-16		PRI-16			VER-16			OTO-16			PRI-16		
Profundidad	0	8	0	9	0	8	0	10	30	0	10	17	0	10	20	0	10	18
Riqueza	28	31	15	21	16	11	11	5	3	21	13	5	11	7	8	13	10	3
Abundancia	765325	2654646	129783	122508	92678	240334	223934	9949	3142	2926010	820385	158099	31986	4717	121917	674658	52885	27228
I. Dominancia	0.154	0.596	0.278	0.273	0.134	0.240	0.493	0.496	0.389	0.295	0.240	0.826	0.407	0.185	0.478	0.767	0.290	0.925
I. Simpson	0.846	0.404	0.722	0.727	0.867	0.760	0.507	0.504	0.611	0.706	0.760	0.174	0.593	0.815	0.522	0.233	0.711	0.075
I. Shannon	2.271	1.150	1.622	1.906	2.315	1.742	1.174	1.044	1.011	1.635	1.637	0.382	1.331	1.831	1.037	0.596	1.597	0.190
I. Equidad	0.682	0.335	0.599	0.626	0.835	0.727	0.490	0.648	0.921	0.537	0.638	0.238	0.555	0.941	0.499	0.232	0.694	0.173

Estación	Z max			Centro			Bahía Vichuquén			Bahía Vichuquén								
Periodo	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	OTO-14		INV-14		PRI-14					
Profundidad	0	10	17	0	10	17	0	8	0	8 m	0	9	0	9				
Riqueza	11	9	3	11	8	5	9	19	21	23	7	12	21	18				
Abundancia	30006937	9642041	598213	606523	1913104	43852	27000001	13116665	647362	443096	792706	180450	4267784	2493963				
I. Dominancia	0.95	0.81	0.80	0.25	0.90	0.46	0.73	0.83	0.54	0.53	0.77	0.18	0.21	0.16				
I. Simpson	0.05	0.19	0.20	0.74	0.10	0.54	0.27	0.17	0.46	0.47	0.23	0.82	0.79	0.84				
I. Shannon	0.16	0.43	0.36	1.66	0.25	1.08	0.56	0.49	1.16	1.30	0.52	1.89	1.98	2.17				
I. Equidad	0.07	0.20	0.33	0.69	0.12	0.67	0.26	0.17	0.38	0.41	0.27	0.76	0.65	0.75				

c. Índices bióticos:

El índice A/C sólo fue calculado en las muestras donde se encontraban presentes diatomeas pennadas arrafídeas y diatomeas céntricas. La mayoría de las estaciones sólo mostraba uno de los dos grupos, por tanto, en la mayoría de las estaciones y periodos de este año, no fue posible calcular este índice. El año 2014 los valores de este índice sugirieron valores de eutrofia en estación Z max, Centro y Bahía Vichuquén, con mínimos de 3.5 y máximo de 35. El año 2015, sólo dos muestreos mostraron la presencia de ambos grupos de diatomeas Otoño en Bahía Vichuquén. En ambos el índice mostró un valor de 0.32, sugiriendo condiciones de oligotrofia. El año 2016, sólo tres muestreos mostraron la presencia de diatomeas pennadas arrafídeas y céntricas a la vez. En estos, los valores del índice A/C fueron de 2.4, 1 y 4; sugiriendo condiciones de eutrofia en estación Bahía Vichuqúen en el otoño de 2016 y condiciones de mesotrofía en estación Centro en el otoño del 2016. Finalmente, en el verano del 2017, único periodo de monitoreo para este año, sólo fueron observadas diatomeas pennadas, por tanto, no se pudo calcular el índice A/C.

d. Presencia de algas nocivas:

Cianofíceas estuvieron presentes en todos los periodos de monitoreo, pero mostró mayor riqueza el año 2016 (Tabla 77).

Tabla 77. Taxa de cianofíceas observadas en Lago Vichuquén.

Estación	Z max						Centro									B. Vichuquén					
Fecha	OTO-14		INV-14		VER-14		OTO-14			INV-14			VER-14			OTO-14		INV-14		VER-14	
Profundidad	0	10	0	10	0	10	0	10	17	0	10	17	0	10	17	0	8	0	9	0	9
Anabaena	■	■		■			■	■	■							■	■				
Microcystis				■								■									
Oocystis					■	■					■									■	
Oscillatoria														■	■					■	

Estación	Centro						Z max							B. Vichuquén								
Periodo	OTO-15			INV-15			OTO-15	INV-15			PRI-15			OTO-15		INV-15						
Profundidad	0	10	17	0	10	17	0	0	10	20	0	10	20	0	8	0	8					
Anabaena															■							
Anabaenopsis																	■					
Aphanothece							■															
Lyngbya	■	■	■	■		■	■			■	■	■	■		■	■	■					
Microcystis																	■					
Nodularia	■	■	■	■	■	■	■							■			■					
Oscillatoria	■		■	■		■	■	■														

Estación	B. Vichuquén						Centro									Zmax					
Periodo	VER-16		OTO-16		PRI-16		VER-16			OTO-16			PRI-16			PRI-16					
Profundidad	0	8	0	9	0	8	0	10	17	0	10	20	0	10	18	0	0	10	30		
Anabaenopsis	■	■					■	■													
Aphanizomenon	■	■	■				■	■				■									
Aphanocapsa	■	■						■				■									
Aphanothece	■	■					■	■	■												
Aphanothece	■	■	■	■	■		■	■	■			■	■		■						
Pseudoanabaena				■																	
Dolichospermum	■	■					■														
Limnococcus	■	■					■	■	■												
Merismospedia	■	■														■					
Microcystis	■	■					■	■								■					
Nodularia	■	■					■														
Oscillatoria																■					

Estación	Z max			Centro			B. Vichuquén														
Periodo	VER-17																				
Profundidas	0	10	17	0	10	17	0	8													
Anabaenopsis				■																	
Aphanizomenon	■	■	■		■		■	■													
Aphanocapsa						■	■	■													
Dolichospermum				■																	
Nodularia			■																		

e. Análisis de Grupos Funcionales:

En la Tabla 78 se muestran los GF de fitoplancton descritos en Lago Vichuquén. Se muestra una variación de los grupos presentes a lo largo de todo el monitoreo.

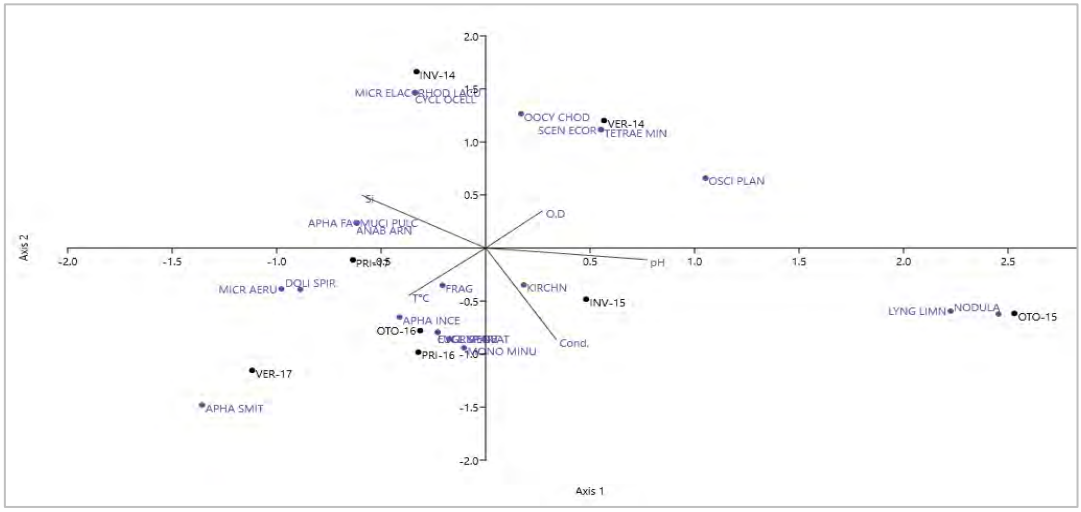
Tabla 78. Análisis de Grupos Funciomales del fitoplancton en Lago Vichuquén.

Estación	Z max						Centro									Bahía Vichuquén					
Fecha	OTO-14		INV-14		VER-14		OTO-14			INV-14			VER-14			OTO-14		INV-14		VER-14	
Profundidad	0	10	0	10	0	10	0	10	17	0	10	17	0	10	17	0	8	0	9	0	9
GF	H1	H1	X2	H1	X1	X1	H1	H1	H1	X2	X2	B	B	B	B	X1	X1	X2	X2	F	F
	P	P		X1	F	F	P	P	P	Y	F	M	X1	S	S	P				X1	
Estación	Centro						Z max							Bahía Vichuquén							
Periodo	OTO-15			INV-15			OTO-15	INV-15			PRI-15			OTO-15		INV-15					
Profundidad	0	10	17	0	10	17	0	0	10	20	0	10	20	0	8	0	8				
	MP	MP	MP	F	F	F	F	F	F	F	K	K	K	MP	MP	F	F				
GF			S				MP			MP	F	F				MP	MP				
Estación	Bahía Vichuquén						Centro									Z max					
Periodo	VER-16		OTO-16		PRI-16		VER-16			OTO-16			PRI-16			PRI-16					
Profundidad	0	8	0	9	0	8	0	10	17	0	10	20	0	10	18	0	10	30			
	H1	M	X2	Y	Y	X1	K	K	K	Y	Y	F	K	X1	K	E	Y	E			
GF	K		Lo	Lo	X3	Y	M	M		X2	E			Y							
Estación	Z max			Centro			Bahía Vichuqué														
Periodo	VER-17																				
Profundidad	0	10	17	0	10	17	0	8													
	H1	H1	H1	H1	H1	K	H1	H1													
GF						P	K														

f. Análisis de ordenación:

El ACC, basado en taxa más representativos (>10% de abundancia relativa) para la estación Centro (Figura 106), muestra la predominancia de cianofíceas que se acentúa en primavera del 2017. Si bien no se observa una clara relación a las variables fisicoquímicas incluidas (T°C, Conductividad, pH, Oxígeno disuelto y Si), se observa que la conductividad tendría mayor peso en la ordenación de los taxa observados en los distintos periodos de muestreo.

Figura 106. ACC entre variables bióticas y abióticas en Lago Vichuquén

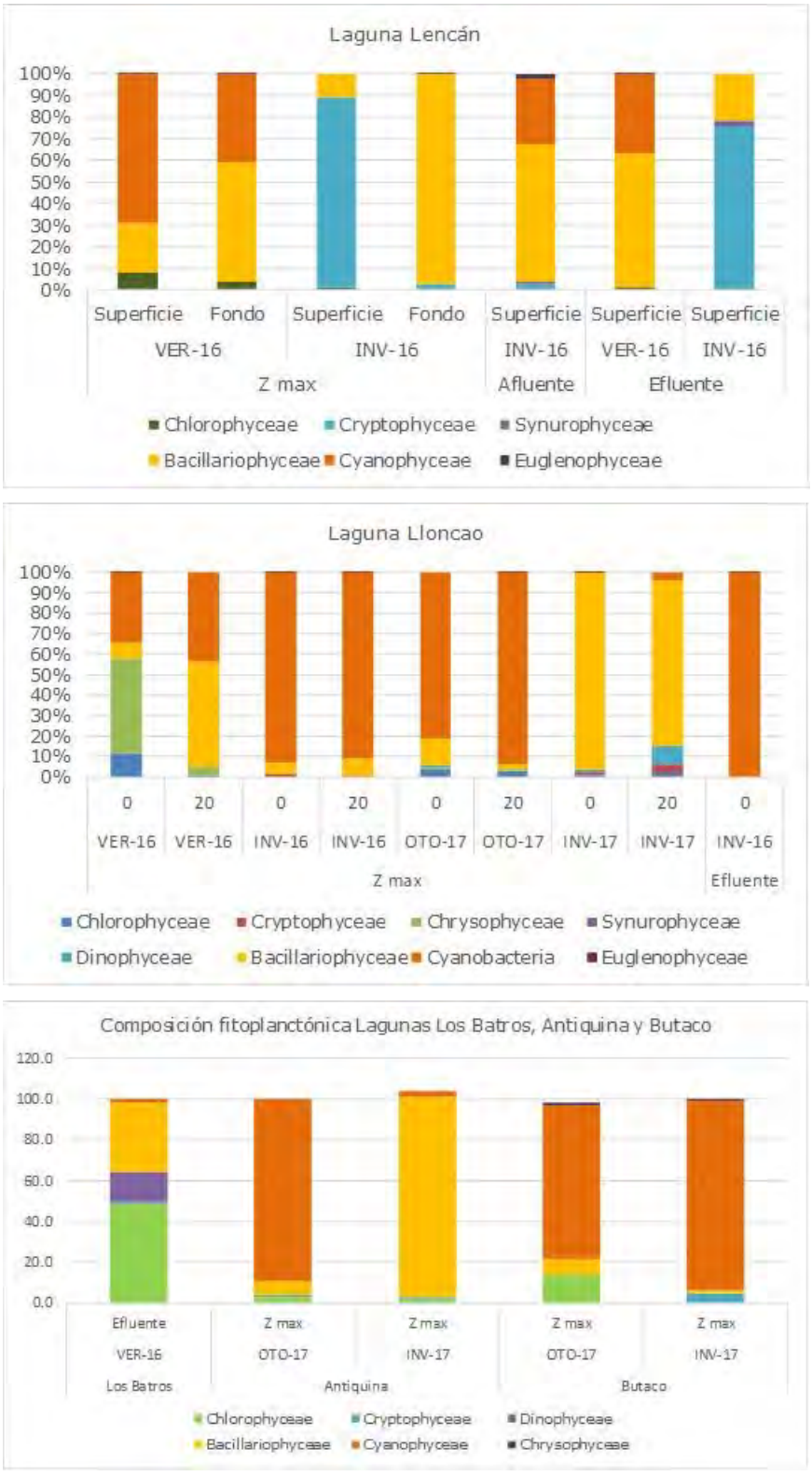


3. Lagunas costeras de la VIII Región: Lencán, Lloncao, Los Batros, Butaco y Antiquina.

a. Estructura comunitaria

La estructura comunitaria de las lagunas costeras de la VIII Región es mostrada en la Figura 107. En todas estas lagunas se observa una presencia de diatomeas y cianofíceas. En laguna Lencán (a), la estación ubicada dentro del lago (Z Max), mostró en verano una dominancia de cianofíceas, y en invierno, dominancia de criptofíceas en superficie y de diatomeas en el fondo. En Laguna Lloncao (b) se observó una dominancia de cianofíceas principalmente en invierno del 2016 y otoño del 2017, y de diatomeas sólo en invierno del 2017. En el verano del 2016 se observan crisofíceas, pero en los siguientes monitoreos disminuyeron fuertemente su abundancia. Por último, la estación ubicada en el efluente mostró una alta abundancia de cianofíceas. Al comparar la composición de las lagunas Los Batros, Antiquina y Butaco, se observa que en Los Batros hay mayor riqueza de taxa de fitoplancton. Antiquina mostró dominancia de diatomeas en invierno, y cianofíceas en otoño. Por su parte, las cianofíceas fueron el grupo dominante en los dos periodos de monitoreo de laguna Butaco.

Figura 107. Composición comunitaria de lagunas costeras de la VIII Región.



b. Índices de diversidad:

Laguna Los Batros en solo un periodo de monitoreo registró una abundancia total de 271068 Cel/L repartidos en 17 taxa. En Antiquina, se observó una mayor abundancia y riqueza de taxa en otoño de 2017. No obstante, la mayor diversidad fue observada en invierno de 2017. En Butaco, la mayor abundancia fue registrada en otoño. No obstante, la mayor diversidad y equidad fue observada en invierno. En Lencán la riqueza y la diversidad fue mayor en verano para la estación ubicada dentro del lago fue mayor en verano de 2016. En LLoncao, la diversidad fue mayor en verano del 2016 pero la abundancia fue más alta en invierno, en la estación Z max, ubicada dentro del lago (Tabla 79).

Tabla 79. Índices de diversidad en lagunas costeras de la VIII Región.

Laguna	Los Batros (Efluente)	Antiquina (Z max)		Butaco (Z max)	
Periodo	VER-16	OTO-17	INV-17	OTO-17	INV-17
Riqueza	17	15	13	8	11
Abundancia	271068 Cel/L	24298642	2029469	750841	182736
I. Dominancia	0.299	0.4201	0.3954	0.5884	0.4199
I. Simpson	1	0.5799	0.6046	0.4116	0.5801
I. Shannon	2	1.043	1.214	0.8953	1.171
I. Equidad	1	0.385	0.4735	0.4305	0.4885

Laguna	Lencán						
Periodo	VER-16 (Z max)			INV-16 (Zmax)	INV-16 (E)	VER-16(E)	INV-16 (E)
Profundidad	0 m	4.6 m	0 m	3.9 m	0 m	0 m	0 m
Riqueza	21	16	9	16	14	19	10
Abundancia	12261313	23242897	276085	36299813	27530	32734069	76557
I. Dominancia	0.495	0.375	0.757	0.857	0.236	0.421	0.559
I. Simpson	0.506	0.625	0.243	0.143	0.765	0.579	0.442
I. Shannon	1.070	1.231	0.580	0.377	1.764	1.091	0.920
I. Equidad	0.351	0.444	0.264	0.136	0.669	0.371	0.400

Laguna	Lloncao								
Estación	Z max								Efluente
Periodo	VER-16		INV-16		OTO-17		INV-17		INV-16
Profundidad	0	20	0	20	0	20	0	20	0
Riqueza	25	7	18	12	26	24	14	21	10
Abundancia	7691	554	4364632	5067032	1354018	991166	490869	256556	17243791
I. Dominancia	0.10	0.45	0.70	0.74	0.3421	0.4434	0.5688	0.34	1.00
I. Simpson	0.90	0.55	0.30	0.26	0.6579	0.5566	0.4312	0.66	0.00
I. Shannon	2.43	0.95	0.73	0.60	1.54	1.208	0.9158	1.736	0.01
I. Equidad	0.75	0.49	0.25	0.24	0.4726	0.38	0.347	0.5703	0.01

c. Índices bióticos:

Para la estimación del estado trófico se utilizó el índice de diatomeas A/C de Stockner (1972), basado en la razón entre diatomeas pennadas sin rafe (A) y diatomeas céntricas (C), y que varía desde oligotrófico (<1), mesotrófico (1-2) y eutrófico (>2). En laguna Los Batros, el índice A/C de Stockner (1972), indicó un valor de 0.046 lo que sugiere trofía. En Antiquina, la relación A/C arrojó valores inferiores a 1 en ambos periodos, indicando condiciones oligotróficas. En Butaco, el cálculo del índice A/C arrojó valores indicativos de oligotrofia en otoño (0.35) y de eutrofia en invierno (3). Por su parte en Laguna Lencán mostró valores mayores a 2 en todos los periodos sugiriendo condiciones de eutrofia, alcanzando valores incluso de 25 en invierno de 2016. En laguna LLoncao, sólo mostró valores de eutrofia en invierno de 2017, sugiriendo condiciones de oligotrofia en verano e invierno del 2016 y en otoño de 2017 (con valores que fluctuaron entre 0.03 y 1.1).

d. Presencia de algas nocivas:

En Laguna Los Batros, en el periodo de análisis se registró la presencia de *Pseudoanabaena*, que según De León (2002), se encuentran entre los géneros de cianobacterias que pueden desarrollan floraciones tóxicas. En Antiquina, en ambos periodos se registró la presencia de *Dolichospermum aff. Lemmermannii*. En Butaco, se registró la presencia de un alga nociva del género *Gomphosphaeria*, en otoño del 2017; la cual también estuvo presente en el invierno del 2017 junto al género *Aphanocapsa*. Los que alcanzaron abundancias mayores al 25%. En laguna Lencán se observaron 3 géneros decianofíceas (*Dolichospermum, Chroococcus* y *Pseudoanabaena*), las cuales estuvieron presentes en verano de 2016 en estación Z más y tributarios. Por su parte en LLoncao fueron observados 6 géneros de cianofíceas (*Aphanocapsa, Chroococcus, Dolichospermum, Microcystis* y *Pseudoanabaena*), las cuales estuvieron presentes en todos los periodos de monitoreo en la estación Z max, ubicada dentro del lago.

e. Determinación de grupos funcionales:

Los taxones que representen más del 10% de la abundancia total de fitoplancton en cada lago, se clasificarán en grupos funcionales según la clasificación funcional de especies (FGs) propuesto por Reynolds et al. (2002) y modificado por Padisák et al. (2009). La cantidad de grupos funcionales en cada lago y las especies clasificadas en cada grupo será determinada para identificar condiciones eutróficas y/o oligotróficas de los lagos. En Laguna Los Batros, entre los taxa encontrados, *Sphaerocystis schroeteri*, *Ceratium furcoides* y *Aulacoseira distans*, mostraron abundancias sobre el 10%. Estos taxas se agrupan en el grupo funcional F, LM y D, respectivamente, y se relacionan a cuerpos lacustres de epilimnio claro o estival en lagos eutróficos. Las especies más representativas en Antiquina fueron: *Anabaena constricta* (54%) y *Dolichospermum aff. lemmermannii* (35%) en otoño y *Aulacoseira granulata* (32%) y *Aulacoseira aff. calypsi* (55%) en invierno. *A. constricta* y *D. aff. Lemmermannii* son cianobacterias fijadoras de nitrógeno, por tanto, su presencia se asocia a

condiciones deficientes en luz y nutrientes (Reynolds et al. 2002). Por otro lado, *A. granulata* y *A. aff. Calypsi*, son comunes en lagos estratificados y eutróficos (Grupo P). En Butaco, las especies más representativas (abundancias >10%) fueron *Sphaerocystis schroeteri*, *Aphanocapsa aff. conferta* y *Gomphosphaeria lacustris;* representantes del grupo F, K y Lm (Pádisak 2009) que se relacionan a cuerpos de agua ricos en nutrientes. En Laguna Lencán fueron registrados 6 GF más representativos. En verano del 2016 hay predominancia del grupo B, y en invierno de ese año aparecen grupos X2 e Y. En el afluente domina el grupo P, mientras que en efluente hay mayor diversidad de taxa y por ende de GF, habiendo presencia de grupos B, X2, Y y S1. Estos grupos representan sistemas de poca profunidad, mesotróficos, mezclados con presencia de diatomeas, y pequeñas algas como criptofíceas que pueden tolerar condiciones deficientes de luz. Por su parte en Laguna Lloncao, hubo notoroa dominancia del grupo K y presencia de grupos E, B, M, P y D. Grupo K es típico de lagos de baja profundidad y ricos en nutrientes con predominancia de algas cianofíceas; mientras que P es claramente un grupo indicador de lagos con epilimnio eutrófico (Tabla 80).

Tabla 80. Análisis de Grupos Funcionales del fitoplancton en Laguna Lencán y Lloncao.

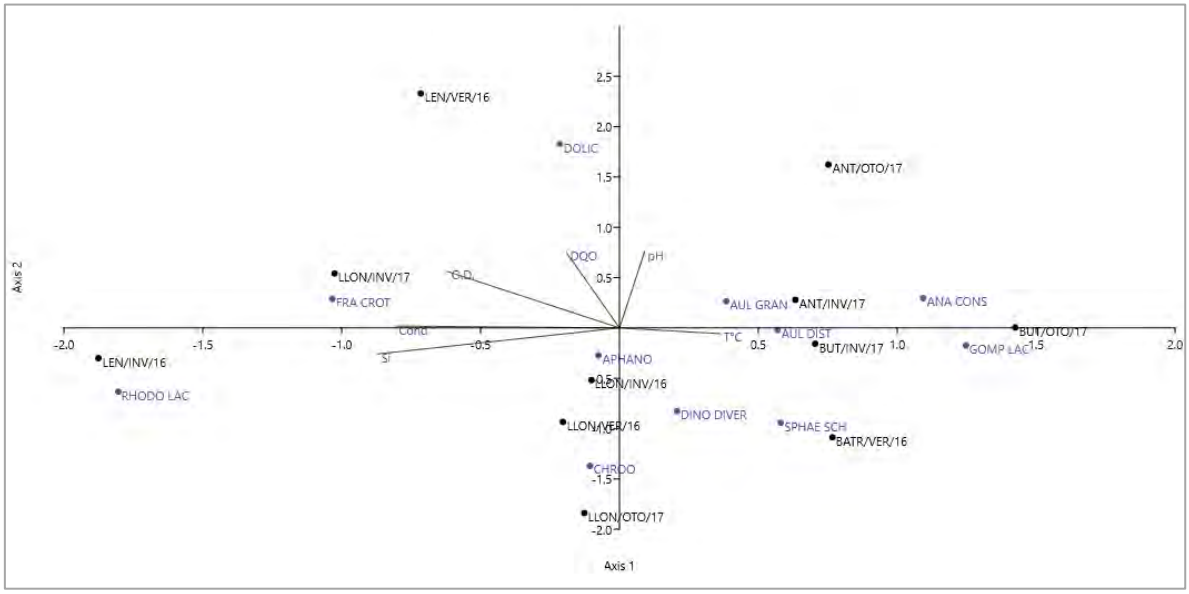
Laguna	Lencán						
Estación	Z max				Afluente	Efluente	
Periodo	VER-16		INV-16		INV-16	VER-16	INV-16
Profundidad	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Superficie	Superficie
GF	B	B	X2	B	P	B	X2
			Y			S1	Y
							B

Laguna	LLoncao								
Estación	Z max								Efluente
Periodo	VER-16		INV-16		OTO-17		INV-17		INV-16
Profundidad	0	20	0	20	0	20	0	20	0
GF	E	K	K	K	K	M	M	B	D
		B				K	K	P	P

e. Análisis de ordenación:

El ACC incluyó las 5 lagunas analizadas y todos los periodos de monitoreo para cada una (Figura 108). Se observa que lagunas Butaco, Antiquina y Los Batros muestran un agrupamiento a la derecha del triplot, lo que sugiere que estas lagunas tienen similares emsables de fitoplancton con dominancia de géneros como *Gomphosphaeria lacustris* (GOM LAC), *Anabaena cosntrictum* (ANA CONS), y *Sphaerocystis schoeteri* (SPHAE SCH). Por su parte laguna Lloncao, ubicado en la parte inferior del triplot, tiene como taxa representativo a Chroococcus. Esta laguna mostraría los valores más bajos de DQO y pH. Finalmente, laguna Lencán, ubicada la izquierda del triplot tendría valores más altos de conductividad y Si, y tuvo predominancia de taxa como *Rhodomonas lacustris* (RHODO LAC).

Figura 108. Gráfico de Análisis de Correspondencia Canónica para periodos de monitoreo, y variables bióticas y abióticas en lagunas costeras de la VIII Región.



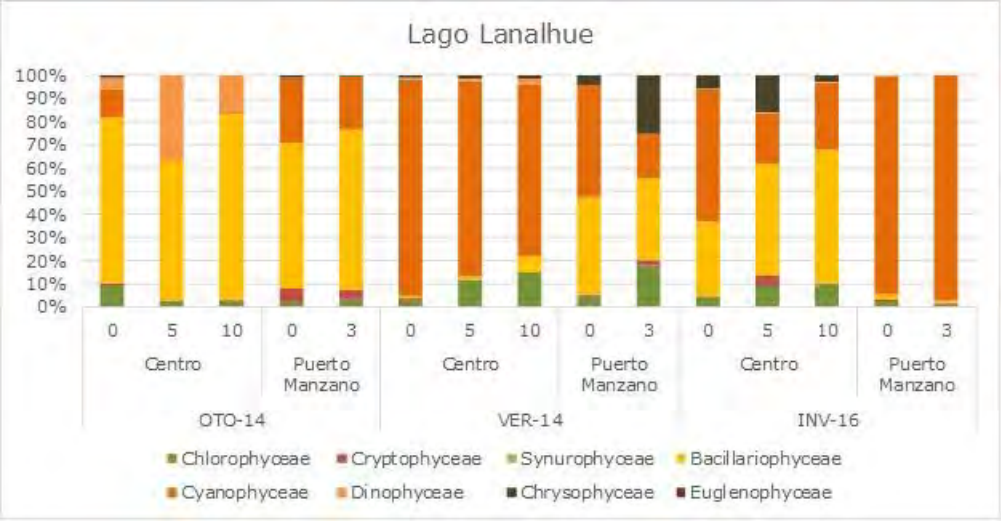
4. Lagos de la VIII Región: Lanalhue, San Pedro y Lleu lleu.

Lanalhue

a. Estructura comunitaria:

Lago Lanalhue fue monitoreado en dos estaciones (Centro y Puerto Manzano) y en tres periodos de monitoreo (otoño y verano 2014 e invierno 2016). En otoño de 2014 hubo una clara dominancia de diatomeas, en el verano de ese mismo año aumentaron significativamente las cianofíceas, y en invierno del año 2016, vuelven a ser representativas las cianofíceas, pero también hay alta abudancia de diatomeas, sobre todo en la estación Centro (Figura 109).

Figura 109. Composición taxonómica de clases de fitoplancton en Lago Lanalhue.



b. Índices de diversidad:

En la Tabla 81, se observa que la riqueza ha fluctuado entre 12 y 27 taxa, con mayor abundancia de taxa en los meses de verano. Los valores más altos de diversidad (índice de Shannon) han sido registrados en la estación Puerto Manzano (2.282). mientras que los valores más bajos de diversidad han sido registrados en la estación Centro (0.376).

Tabla 81. Índices de diversidad analizados en Lago Lanalhue.

Estación	Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano	
Periodo	OTO-14					VER-16					INV-16				
Profundidad	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3
Riqueza	16	12	17	22	26	20	16	27	25	25	18	20	26	24	35
Abundancia	76984	398552	604930	3344867	4221374	3554464	2366757	2316413	1107859	707105	1366642	854983	1445690	39065880	9484146
I. Dominancia	0.276	0.267	0.241	0.424	0.468	0.879	0.722	0.399	0.148	0.120	0.252	0.143	0.175	0.664	0.538
I. Simpson	0.724	0.733	0.759	0.576	0.532	0.121	0.278	0.601	0.852	0.880	0.749	0.857	0.825	0.336	0.462
I. Shannon	1.794	1.471	1.706	1.223	1.237	0.376	0.678	1.599	2.283	2.451	1.790	2.158	2.276	0.881	0.955
I. Equidad	0.647	0.592	0.602	0.396	0.380	0.126	0.244	0.485	0.709	0.762	0.619	0.720	0.699	0.277	0.269

c. Índices bióticos:

El índice biótico de Stockner (1972), fluctuó entre 0.01 y 15.67. en el verano de 2014, mostró valores bajo los 1.37, indicando condiciones de oligotrofia y mesotrofía. En invierno de 2016, en Puerto Manzano arrojó valores de hipereutróficas (Tabla 82).

Tabla 82. Valores de índice biótico (A/C) en los distintos monitoreos de Lago Lanalhue.

Periodo	VER-14										INV-16				
Estación	Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano	
Profundidad	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3
A/C			0.20		0.04	0.17	0.05	0.01	0.06	1.37		0.67		1.50	15.67

d. Análisis de Grupos Funcionales:

El análisis de GF arrojó la presencia de 7 grupos funcionales, con una clara diferencia entre sus estaciones de monitoreo (Tabla 83). En verano del 2014 hubo presencia de 8 GF, siendo los mas característicos, grupo B, M y P. Estos grupos se relacionan a la presencia de diatomeas como *Aulacoseira granulara*, la cual se relaciona a condiciones mesotróficas y eutróficas con deficiencias de luz. En invierno de 2016 se muestran 4 GF también con mayor representatividad de grupos B, P y M, también asociadas a presencia de diatomeas. Resalta la presencia de grupo H en verano en la estación Puerto Manzano. Grupo H representa taxa representativas de condiciones altamente eutróficas y someras, como *Anabaena* y *Aphanizomenon* (cianofíceas) (Padisák et al. 2009).

Tabla 83. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en Lago Lanalhue.

Periodo	VER-14										INV-16				
Estación	Centro			P. Manzano		Centro			P. Manzano		Centro			P. Manzano	
Profundidad	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3
GF	B	B	B	C	C	M	M	F	B	P	B	P	B	M	M
		P	P	H	H			M		L0	M	L0			M

d. Presencia de algas nocivas:

En lago Lanalhue han sido registradas 8 géneros de algas cianofíceas, siendo los más representativos *Dolichospermum* y *Microcystis*. Por su parte, la estación Puerto Manzano ha mostrado la mayor riqueza de estas algas (5 taxa) en invierno del 2016 (Tabla 84).

Tabla 84. Presencia de algas nocivas (cianofíceas) en Lago Lanalhue.

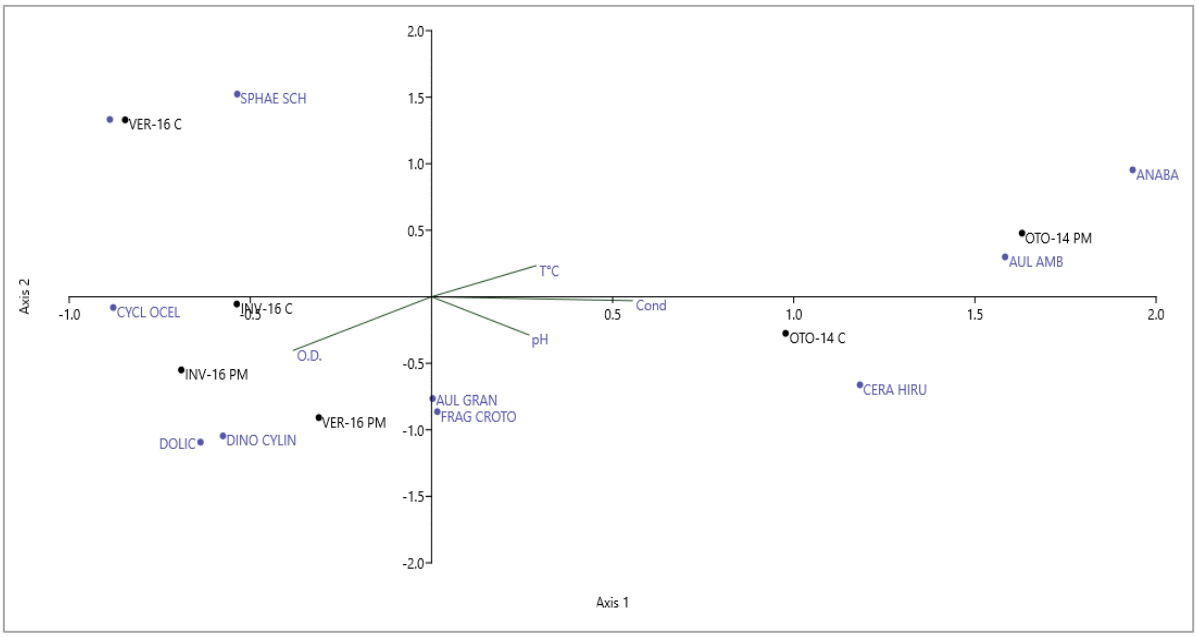
Periodo	VER-14										INV-16				
Estación	Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano		Centro			Puerto Manzano	
Profundidad	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3	0	5	10	0	3
Anabaena	■	■		■	■										
Aphanocapsa								■					■	■	■
Coelomoron								■							
Chroococcus									■					■	
Dolichospermum						■		■	■	■	■	■	■	■	■
Gomphosphaeria	■		■						■	■					
Microcystis	■			■		■	■	■			■		■	■	■
Pseudoanabaena														■	■

f. Análisis de ordenación:

En el gráfico de la Figura 110, se observa una diferenciación entre otoño del 2014 con invierno y verano del 2016. En otoño, para ambas estaciones se observa una representatividad de taxa como *Anabaena* (ANABA), *Aulacoseira ambigua* (AUL AMB) y *Ceratium hirundinella* (CERA HIRU). Estos

taxa estarían relacionados a un aumento en la conductividad y pH. Por su parte, el resto de las estaciones, ubicadas a la izquierda del triplot, estarían relacionadas a un aumento en el oxígeno disuelto (O. D.) y tendrían taxa representativos como *Cyclotella ocellata* (CYCL OCEL) y *Dolichospermum* (DOLIC).

Figura 110. Gráfico de Análisis de Correspondencia Canónica para periodos de monitoreo y estaciones en Lago Lanalhue.

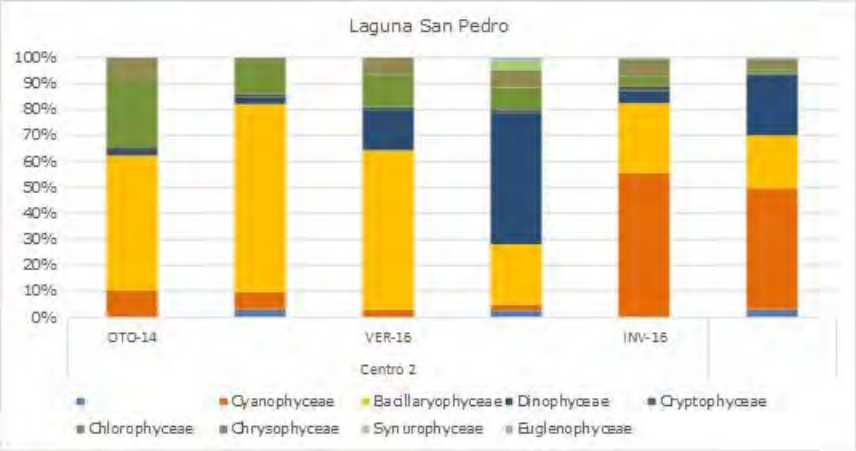


Laguna Grande de San Pedro

a. Estructura comunitaria:

En la Figura 111 se muestra la composición de clases de fitoplancton para los 3 periodos de monitoreo de fitoplancton. En la laguna hay dominancia de diatomeas y presencia de otros grupos como sinurofíceas, dinofíceas, crisofíceas y *Euglena*. Se destaca el aumento de cianofíceas y la disminución de clorófitas y diatomeas en el último periodo de monitoreo.

Figura 111. Composición taxonómica de fitoplancton en Laguna Grande de San Pedro.



b. Índices de diversidad:

Al comparar los índices de diversidad entre los distintos periodos de monitoreo se observa que la mayor abundancia fue observada en invierno de 2016 a los 3 m de profundidad; mientras que en otoño de 2014 se observó la mayor diversidad. Por su parte, el índice biótico arrojó condiciones de oligotrofia en otoño de 2014 y en invierno de 2016; y condiciones de eutrofia en el verano de 2016 (Tabla 85). Además, el índice de trofía (A/C) arrojó valores de oligotrofia en otoño de 2014 e invierno de 2016, y eutrofia en el verano del 2016.

Tabla 85. Índices de diversidad para cada periodo de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro.

Estación (periodo)	Centro 2 (OTO-14)		Centro 2 (VER-16)		Centro 2 (INV-16)	
Profundidad (m)	0	3	0	3	0	3
Riqueza	20	24	21	25	20	19
Abundancia	88825	156429	487134	514791	674859	1081513
I. Dominancia	0.170	0.351	0.225	0.295	0.360	0.234
I. Simpson	0.830	0.649	0.775	0.705	0.640	0.767
I. Shannon	2.235	1.798	2.078	1.856	1.542	1.807
I. equidad	0.746	0.566	0.683	0.577	0.515	0.614
A/C	0.16	0.22	4.26	27.80	0.05	0.08

c. Presencia de algas nocivas:

En laguna Grande de San Pedro se observó la presencia de cinco géneros de cianofíceas. Además, al menos uno de estos géneros estuvo presente en todos los periodos de monitoreo (Tabla 86).

Tabla 86. Presencia de algas nocivas en Laguna Grande de San Pedro.

Estación	Centro 2					
Periodo	OTO-14		VER-16		INV-16	
Profundidad	0	3	0	3	0	3
Dolichospermum						
Gomphosphaeria						
Limnococcus						
Pseudanabaena						
Microcystis						

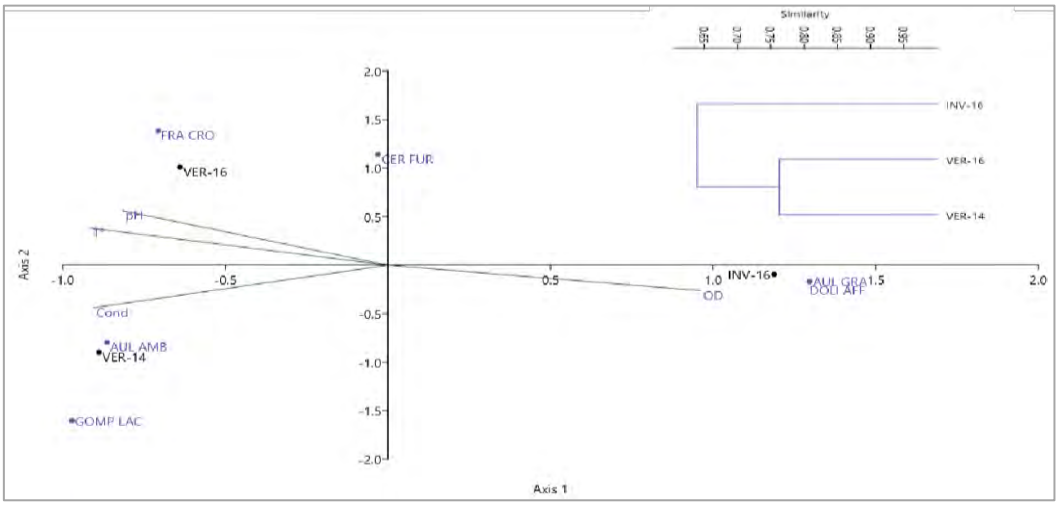
d. Análisis de Grupos Funcionales:

En los 3 periodos de monitoreo fueron observados 4 grupos funcionales de fitoplancton (P, C, B y Lo). Todos estos grupos son dominados por diatomeas típicas de lagos con capas mesotróficas/eutróficas y en lagos con mezcla vertical.

e. Análisis de ordenación:

En la Figura 112 se muestra la ordenación de taxa de fitoplancton en relación a variables abióticas (T°, conductividad, pH y oxígeno disuelto) en los 3 periodos de monitoreo. Se observó que el invierno del 2016 difirió claramente del monitoreo de verano. En invierno hubo mayor dominancia de taxa como *Aulacoseira granulata* (AUL GRA) y *Dolichospermum affinis* (DOLI AFF), las cuales mostrarían preferencias por mayores valores de oxígeno disuelto (OD). Por su parte en verano de ambos años (2014 y 2016), los taxa representativos fueron *Fragilaria crotonensis* (FRA CROT) y *Aulacoseira ambigua* (AUL AMB), respectivamente; y ambas especies estarían relacionadas a niveles más altos de conductividad y de pH.

Figura 112. Análisis de ordenación (ACC y Cluster) para los 3 periodos de monitoreo en Laguna Grande de San Pedro.

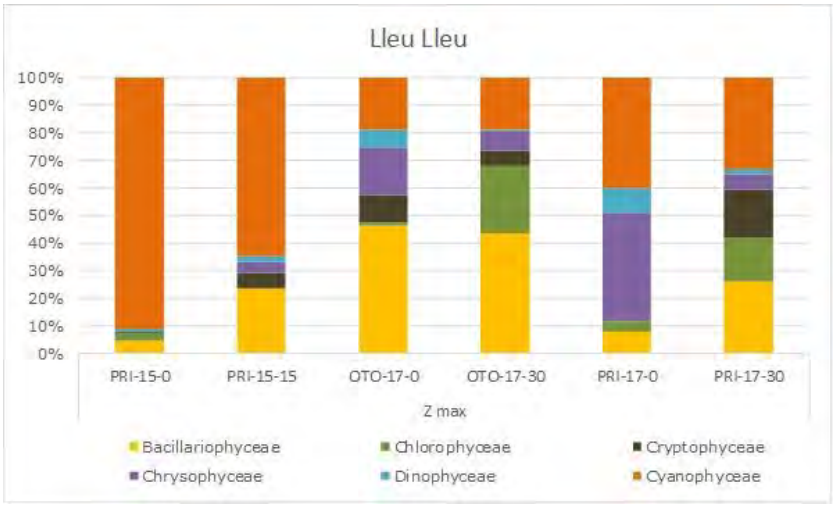


Lago Lleu Lleu

a. Estructura comunitaria:

Lago Lleu lleu mostró presencia de cianofíceas y diatomeas en todos los periodos de monitoreo (Figura 113). La primavera de 2015 se observa una alta dominancia de cianofíceas. En otoño de 2014 se observa un aumento de diatomeas y de otros grupos como crisofíceas y criptofíceas. Finalmente, en primavera de 2017, se observó una mayor diversidad de clases, pero también un leve aumento en cianofíceas.

Figura 113. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago LleuLleu en dos años de monitoreo.



b. Índices de diversidad:

La abundancia de taxa fue notoriamente más alta el año 2015, para disminuir a menos del 10% en ambos periodos del 2017. A pesar de ello, la diversidad y equidad fue mayor el año 2017 (Tabla 87); y el índice biótico arrojó valores de oligotrofia para este último año.

Tabla 87. Índices de diversidad en tres periodos de monitoreo en estación Z max de Lago Lleu lleu.

Periodo	PRI-15		OTO-17		PRI-17	
Profundidad	0	15	0	30	0	30
Riqueza	10	10	11	11	6	11
Abundancia	1032531	402117	320	373	479	180
I. Dominancia	0.712	0.338	0.220	0.226	0.329	0.182
I. Simpson	0.288	0.662	0.780	0.774	0.671	0.818
I. Shannon	0.688	1.489	1.795	1.793	1.324	1.979
I. Equidad	0.299	0.647	0.749	0.748	0.739	0.825
A/C	-	-	-0	0.04	0.00	0.34

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Lleu lleu fueron observados 3 taxa de cianofíceas (Tabla 88). *Gomphosphaeria* estuvo presente en los 3 periodos de monitoreo.

Tabla 88. Presencia de algas nocivas en lago Lleu lleu.

Estación	Z max					
Periodo	PRI-15-0	PRI-15-15	OTO-17-0	OTO-17-30	PRI-17-0	PRI-17-30
Gomphosphaeria						
Aphanocapsa						
Microcystis						

e. Análisis de Grupos Funcionales:

En lago Lleu lleu fueron observados 5 GF (Lo, P, K, E, F y M), donde P fue el más característico y estuvo relacionado a taxa más representativos como *Fragilaria crotonensis* y *Aulacoseira granulata*, taxa típicos de epilimnio eutrófico (Tabla 89).

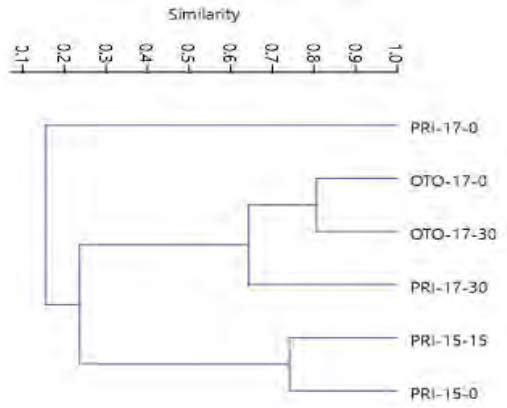
Tabla 89. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Lleu lleu.

Estación	Z max					
Periodo	PRI-15-0	PRI-15-15	OTO-17-0	OTO-17-30	PRI-17-0	PRI-17-30
GF	Lo	P	P	P	E	P
	K	Lo	E	F	Lo	F
					M	

f. Análisis de ordenación:

Dado que no hay registros de variables físicas y químicas para los periodos de monitoreo de fitoplancton en lago LLeu lleu, se realizó un análisis de conglomerados para observar la ordenación de los taxa más abundantes (abundancia relativa >10%). Se observa que periodo de monitoreo de primavera 2017 en superficie mostró una composición taxonómica diferente en relación al resto de los periodos (Figura 114), que pudo estar relacionada a la abundancia de crisofíceas observada en este periodo.

Figura 114. Análisis de conglomerados para 3 periodos de monitoreo en Lago Lleu lleu.



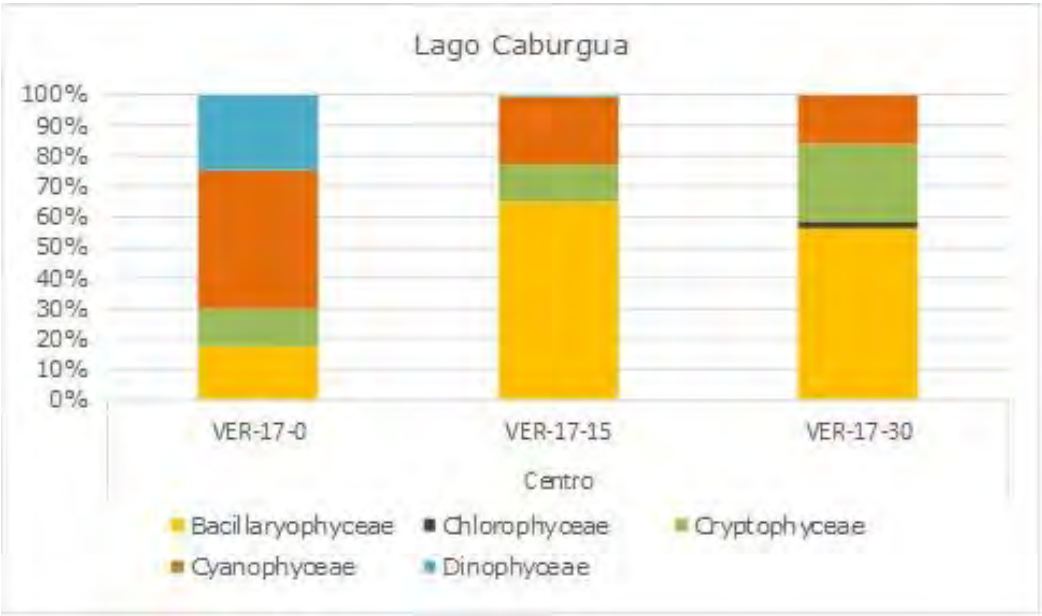
5. Lagos de la IX Región: Caburgua, Villarica y Colico

Lago Caburgua

a. Estructura comunitaria:

La composición taxonómica para el periodo de verano de 2017 en lago Caburgua, mostró presencia de 3 clases de fitoplancton (diatomeas, cianofíceas y clorofíceas). Se observa que en la superficie hay dominancia de dinofícea, y a profundidades medias son más abundantes diatomeas (Figura 115).

Figura 115. Composición fitoplanctónica en verano del 2017 en Lago Caburgua.



b. Índices de diversidad:

Lago Caburgua presenta un periodo de monitoreo de fitoplancton en la estación centro a tres profundidades (superficie, 15 y 30 m) (Tabla 90). En las tres profundidades se observó el mismo número de taxa. La abundancia total se registró en la estación más profunda, la que mostró además mayor diversidad (Índice de Shannon) y equidad de taxa. Por su parte, el índice biótico A/C entregó valores meso-eutróficos en las 3 profundidades.

Tabla 90. Índices de diversidad en verano de 2017 en estación Centro de Lago Caburgua.

Profundidad	VER-17 (0 m)	VER-17 (15 m)	VER-17 (30 m)
Riqueza	6	6	6
Abundancia	56810	26181	57334
I. Dominancia	0.2927	0.3284	0.2969
I. Simpson	0.7073	0.6716	0.7031
I. Shannon	1.447	1.346	1.457
I. Equidad de Pielou	0.8074	0.7514	0.8133
A/C	2	3	6

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Caburgua, sólo se registró la presencia de la especie *Dolichospermum planctonicum,* que al igual que otras especies de cianobacterias podría ser tóxica o nociva (Palacio et al. 2015).

d. Determinación de grupos funcionales:

En lago Caburgua fueron observados 3 grupos funcionales de fitoplancton (P, X2 y Y). Estos grupos se caracteriza por especies típicas de aguas eutróficas y con estratificación (Reynolds et al. 2002).

e. Análisis de ordenación:

Dado que sólo hay una estación monitoreada con una biota similar en las tres profundidades, no se llevaron a cabo los análisis de ordenación.

Lago Villarica

a. Estructura comunitaria:

Lago Villarica muestra una predominancia de algas diatomeas, como se puede apreciar en la Figura 116, donde se muestra la variación en la composición fitoplanctónica para 3 años de monitoreo (2014, 2015 y 2016) en la estación Centro. Se observa que en verano del 2014 hay clara dominancia de estas algas; en primavera de ese año hay un recambio a criptofíceas y clorofíceas. No obstante, en verano del año 2015 aumenta la abundancia de cianofíceas, las cuales dominan tanto en superficie como en profundidad en el verano del año 2016.

Figura 116. Composición fitoplanctónica en estación Centro de Lago Villarica.

b. Índices de diversidad y bióticos:

En la Tabla 91 se entregan los índices de diversidad para todos los periodos y profundidades monitoreadas en estación Centro. Se observa que la mayor riqueza se observó en verano del 2015 con 27 taxa, mientras que la menor riqueza se observó en verano del 2014. La abundancia fluctuó entre 22511 en primavera del 2017 a los 30 m y 1373009 en verano del 2015 en la muestra superficial. La diversidad no mostró grandes fluctuaciones en los distintos monitoreos. Por su parte, el índice biótico de Stockner (A/C) fluctuó entre valores cercanos a 0 y valores superiores a 14, y sugirió condiciones eutróficas en la mayoría de las profundidades del verano del 2015, verano del 2016 y primavera del 2016.

Tabla 91. Índices de diversidad e índice biótico para estación Centro en Lago Villarica.

Periodo	VER-14	VER-14	VER-14	VER-14	VER-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14
Profundidad	0	10	30	70	100	0	10	30	70	100
Riqueza	7	10	9	8	9	25	20	13	15	14
Abundancia	197311	127791	58350	24306	73719	336077	106510	113733	51088	65956
I. Dominancia	0.46	0.35	0.26	0.60	0.54	0.45	0.20	0.57	0.44	0.46
I. Simpson	0.54	0.65	0.74	0.40	0.46	0.55	0.80	0.43	0.56	0.54
I. Shannon	1.04	1.40	1.60	0.91	0.93	1.14	1.88	0.78	1.25	1.15
I. Equidad	0.53	0.61	0.73	0.44	0.42	0.36	0.63	0.31	0.46	0.44
A/C	12.83	5.77	2.30	0.01	2.97	0.04	6.00	0.00	0.35	0.12
Periodo	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15
Profundidad	0	10	30	70	100	0	10	30	70	100
Riqueza	24	27	22	21	27	17	15	18	10	11
Abundancia	1373009	416179	1183850	302024	734204	267423	51644	105980	65281	49352
I. Dominancia	0.22	0.12	0.27	0.22	0.13	0.27	0.36	0.21	0.51	0.32
I. Simpson	0.78	0.88	0.73	0.78	0.87	0.73	0.64	0.79	0.49	0.68
I. Shannon	1.90	2.46	1.88	1.86	2.41	1.71	1.58	1.88	1.09	1.53
I. Equidad	0.60	0.75	0.61	0.61	0.73	0.60	0.58	0.65	0.47	0.64
A/C	0.13	0.12	0.11	0.02	0.15	0.08	0.03	0.14	0.01	2.93
Periodo	VER-16	VER-16	VER-16	VER-16	VER-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16		
Profundidad	0	10	30	70	100	0	10	30		
Riqueza	11	15	16	13	9	10	11	12		
Abundancia	246975	394847	998139	132137	150623	171212	296091	252501		
I. Dominancia	0.55	0.25	0.27	0.42	0.49	0.27	0.38	0.43		
I. Simpson	0.45	0.75	0.73	0.58	0.51	0.73	0.62	0.57		
I. Shannon	0.96	1.73	1.63	1.28	1.02	1.60	1.33	1.21		
I. Equidad	0.40	0.64	0.59	0.50	0.46	0.70	0.56	0.49		
A/C	14.13	2.56	0.95	2.01	1.04	2.48	0.47	0.09		
Periodo	VER-17	VER-17	VER-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17		
Profundidad	0	10	30	0	5	10	30	70		
Riqueza	8	11	16	15	11	14	8	7		
Abundancia	400551	392695	136652	66230	58376	96076	22511	35603		
I. Dominancia	0.34	0.31	0.53	0.18	0.54	0.19	0.49	0.43		
I. Simpson	0.66	0.69	0.47	0.82	0.46	0.81	0.51	0.57		
I. Shannon	1.32	1.45	1.10	2.08	1.02	1.91	1.13	1.25		
I. Equidad	0.63	0.61	0.40	0.77	0.42	0.72	0.54	0.64		
A/C		2.00	0.00	0.32	0.00	0.45	0.01	0.00		

c. Presencia de algas nocivas:

Como se observó en la Figura 116, las cianofíceas comienzan a ser representativas en el verano del 2015, con la presencia de *Anabaena* (pero en baja abundancia). En el verano del 2016 se observó la mayor abundancia y riqueza de este grupo, con 4 géneros: *Aphanocapsa, Dolichospermum*, *Limnococcus* y *Microcystis.* De estos, *Microcystis smithii* resultó la más abundante, alcanzando abundancias relativas mayores al 70% en muestras de superficie.

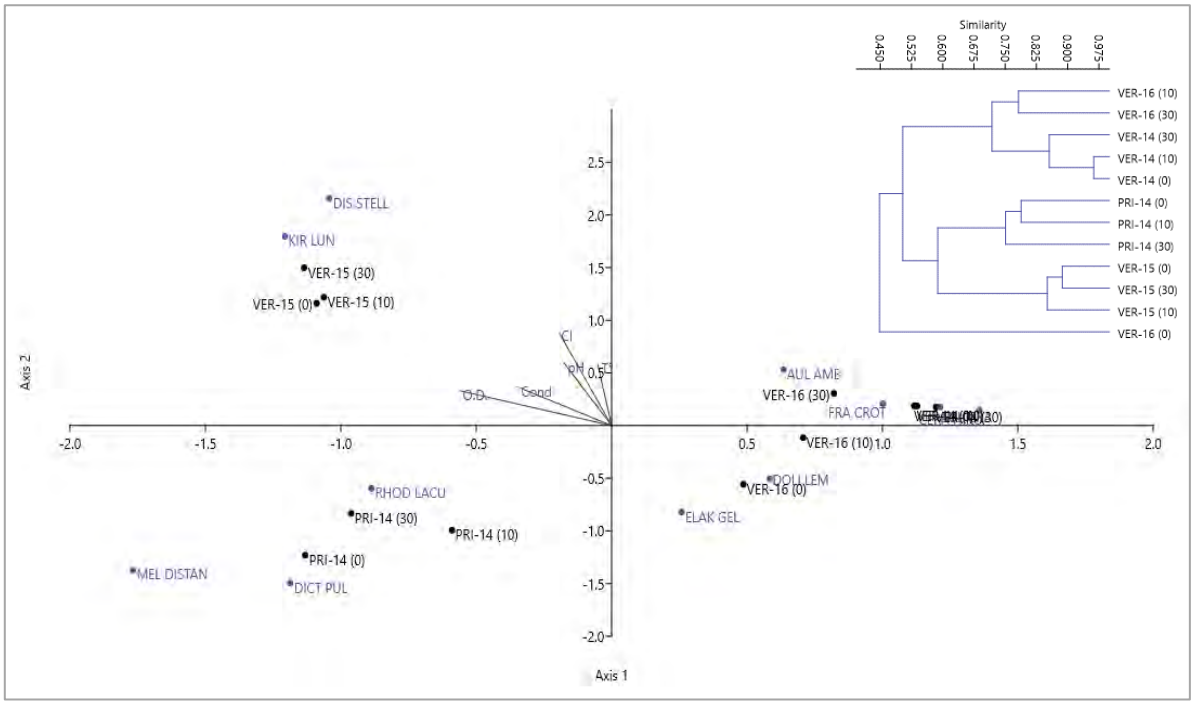
d. Análisis de Grupos Funcionales:

El cambio en la composición fitoplanctónica observado en lago Villarica, queda evidenciado en los GF de fitoplancton que son representativos para cada periodo de monitoreo en la estación Centro. En verano del 2014, hubo dominancia de especies como *Fragilaria crotonensis* y *Ceratium hirundinella*, representantes de grupos P y Lm, especies típica de epilimnio de verano en lagos eutróficos. En primavera del 2014, hubo dominancia de *Dictyosphaerium, Elakatrotik* y *Rhodomonas*, representantes del grupo F y X2, y típicos de epilimnio claro, mezclado y meso-eutrófico. En verano del 2015 también dominó *Rhodomonas*, pero junto a *Kirchneriella*, ambas del grupo F. Por su parte en el verano del 2016, dominaron cianofíceas como *Dolichospermum*, el cual si bien no está asociado a un GF si se relaciona a una alta concentración de nutrietes (Reynolds et al. 2002).

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación de la Figura 117, separó en tres grandes grupos los periodos de monitoreo disponibles para estación Centro. A la derecha del triplot ordenó a los periodos verano del 2014 y verano del 2016. En estos monitoreos dominaron taxa como *Fragilaria crotonensis* (FRA CRO), *Aulacoseira ambigua* (AUL AMB); a la izquierda en el cuadrante superior se ubicó el periodo verano 2015, y los taxa característicos fueron *Discostella stelligera* (DIS STELL) y *Kirchneriella lunaris* (KIR LUN); los cuales estarían asociados a valores más altos de pH, conductividad y oxígeno disuelto. Finalmente, en el cuadrante inferior de la izquierda se ubicó el periodo de primavera de 2014 donde los taxa más representativos fueron *Melosira distans* (MEL DISTAN), *Rhodomonas lacustris* (RHODO LAC) y *Dictyosphaerium pulchellum* (DIC PUL).

Figura 117. Análisis de ordenación para estación Centro en lago Villarica.

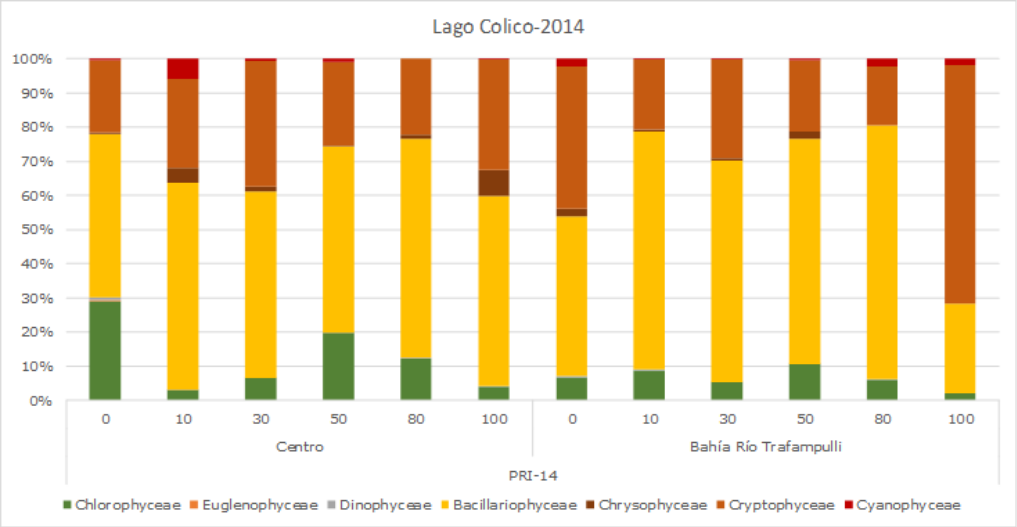


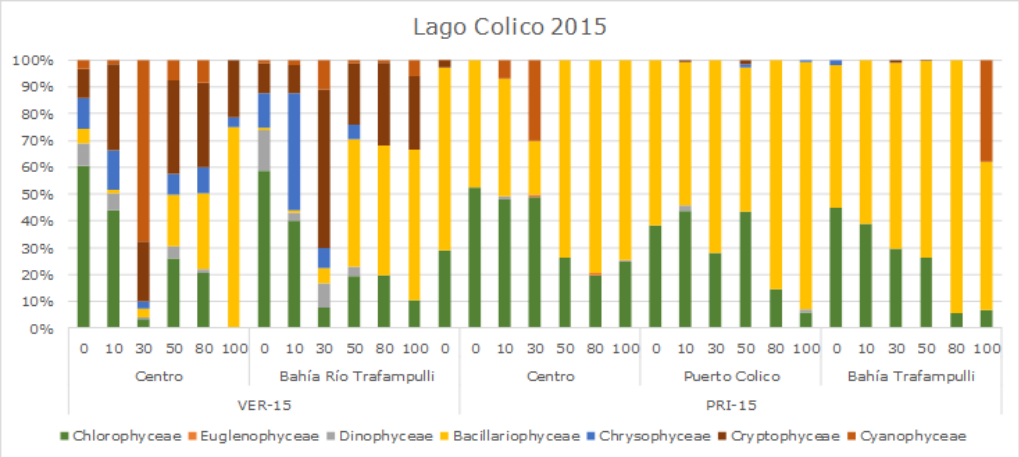
Lago Colico

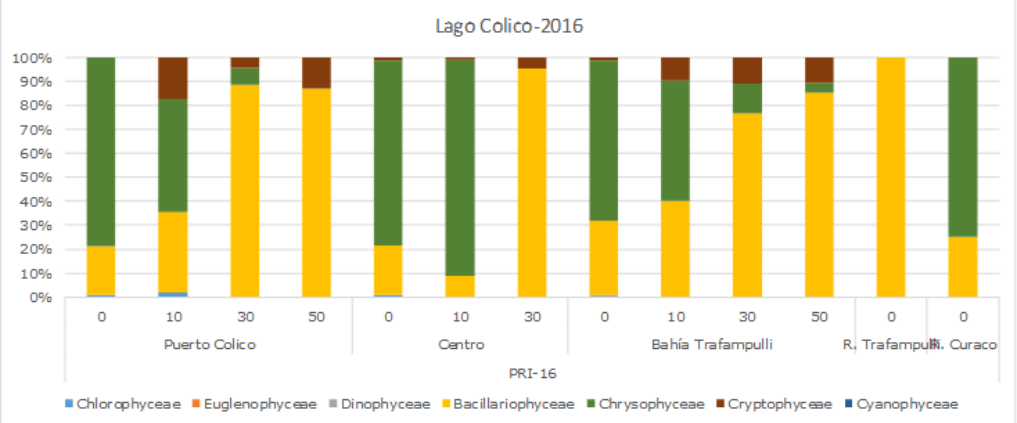
a. Estructura comunitaria:

En la Figura 118 se entrega la composición de fitoplancton para los 3 años de monitoreo en Lago Colico. Se observa que el año 2014 hubo dominancia de diatomeas y presencia de cianofíceas, principalmente en estación Bahía Trafampulli. En verano de 2015 se observó una mayor predominancia de algas cianóficeas y clorófitas, pero también hubo presencia de crisofíceas y dinofíceas; mientras que en primavera de ese año predominaron diatomeas y clorofitas, grupos que también fueron los más representativos en todas las estaciones y periodos de monitoreo el año 2016.

Figura 118. Estructura comunitaria de clases de fitoplancton en Lago Colico.







b. Índices de diversidad:

En Tabla 92 se entrega índices de diversidad para todos los periodos y estaciones de monitoreo en Lago Colico. Se observa que las abundancias eran bastantes altas en primavera de 2014 y verano 2015, alcanzando valores mayores a 1.000.000 células por litro en estación Bahía Trafampulli. No obstante, en los siguientes periodos de monitoreo la abundancia disminuyó de forma considerable, y los valores máximos no superaron las 100.000 células por litro. Estos valores no se ven expresados en la diversidad, la cual no mostró mayores fluctuaciones entre los distintos monitoreos. El índice A/C indicó mayor prevalencia de condiciones eutróficas en el año 2014.

Tabla 92. Índices de diversidad y biótico en estaciones y periodos de monitoreo de Lago Colico.

Periodo	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14
Estación	Centro						Bahía Río Trafampulli					
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100
Riqueza	20	20	18	20	16.0	17	20	20	16	22	15	20
Abundancia	455811	365659	368448	200213	238808	298860	473976	401052	407043	279349	101552	253225
I. Dominancia	0.25	0.29	0.33	0.30	0.32	0.34	0.32	0.33	0.35	0.29	0.27	0.50
I. Simpson	0.75	0.71	0.67	0.70	0.68	0.66	0.68	0.67	0.65	0.71	0.73	0.50
I. Shannon	1.71	1.62	1.42	1.59	1.56	1.36	1.47	1.51	1.43	1.68	1.64	1.25
I. Equidad	0.57	0.54	0.49	0.53	0.56	0.48	0.49	0.51	0.51	0.54	0.60	0.42
A/C	7	6	4	5	5	4	5	5	4	6	6	2

Periodo	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15
Estación	Centro						Bahía Río Trafampulli					
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100
Riqueza	17	17	17	19	19	19	21	21	22	13	18	18
Abundancia	409699	409699	409699	473496	473496	473496	468456	324728	357785	107486	798131	1435136
I. Dominancia	0.37	0.37	0.37	0.29	0.29	0.29	0.50	0.18	0.17	0.34	0.38	0.30
I. Simpson	0.63	0.63	0.63	0.71	0.71	0.71	0.50	0.82	0.83	0.66	0.62	0.70
I. Shannon	1.52	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.08	2.07	2.02	1.28	1.33	1.48
I. Equidad	0.54	0.53	0.54	0.51	0.51	0.51	0.35	0.68	0.65	0.50	0.46	0.51
A/C	0.0	0.8	0.2	0.0	0.1	0.6	17.0	3.5	0.0	1.1	0.1	0.6

Periodo	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15
Estación	Centro						Bahía Trafampulli					
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100
Riqueza	22	21	12	19	17	17	8	20	17	27	10	23
Abundancia	40374	52700	18876	35132	45819	28184	15207	38014	60825	44045	21630	42472
I. Dominancia	0.18	0.16	0.20	0.22	0.24	0.16	0.28	0.14	0.19	0.14	0.54	0.23
I. Simpson	0.82	0.84	0.80	0.78	0.76	0.84	0.72	0.86	0.81	0.86	0.46	0.77
I. Shannon	2.11	2.30	1.91	1.93	1.92	2.11	1.56	2.34	2.02	2.36	1.15	2.02
I. Equidad	0.68	0.76	0.77	0.65	0.68	0.74	0.75	0.78	0.71	0.72	0.50	0.64
A/C	0.7	0.2	0.5	0.2	3.0	0.2	1.0	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2

Periodo	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16
Estación	Centro			Bahía Trafampulli				R.T	R.C.	
Profundidad	0	10	30	0	10	30	50	0	0	
Riqueza	5	5	5	9	8	13	7	9	4	
Abundancia	35867	64140	38486	40319	62308	86394	48105	33510	40318	
I. Dominancia	0.55	0.80	0.48	0.47	0.30	0.27	0.41	0.37	0.59	
I. Simpson	0.45	0.20	0.52	0.53	0.70	0.73	0.59	0.63	0.41	
I. Shannon	0.86	0.45	1.00	1.17	1.51	1.74	1.24	1.46	0.77	
I. Equidad	0.54	0.28	0.62	0.53	0.73	0.68	0.64	0.66	0.55	
A/C	0	0	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	

Periodo	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-16	PRI-16	PRI-16	PRI-16
Estación	Puerto Colico									
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50
Riqueza	13	22	20	16	20	16	7	9	8	7
Abundancia	24120	16383	43262	24906	59584	33038	33512	65451	51836	31023
I. Dominancia	0.21	0.12	0.28	0.21	0.20	0.37	0.65	0.29	0.26	0.34
I. Simpson	0.79	0.89	0.72	0.79	0.80	0.63	0.35	0.71	0.74	0.66
I. Shannon	1.90	2.52	1.94	1.96	1.96	1.52	0.76	1.54	1.55	1.37
I. Equidad	0.74	0.81	0.65	0.71	0.65	0.55	0.39	0.70	0.75	0.70
A/C	0.2	0.2	0.1	4.0	0.2	0.2	0	0	0	0

c. Presencia de algas nocivas:

En Lago Colico fueron registrados 6 géneros de cianofíceas (Tabla 93). De estos géneros, *Aphanothece* y *Gomphosphaeria* fueron los más representativos por estar presentes en las dos estaciones de monitoreo.

Tabla 93. Presencia de algas nocivas en Lago Colico.

Periodo	PRI-14												VER-15												
Estación	Centro						Bahía Trafampulli						Centro						Bahía Trafampulli						
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0
Anabaena																									
Anabaenopsis																									
Aphanothece																									
Gomphosphaeria																									
Oscillatoria																									
Pseudoanabaena																									

Periodo	PRI-15													PRI-16						
Estación	Centro						Puerto Colico						Bahía Trafampulli						Puerto Colico				Centro		
Profundidad	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	0	10	30
Anabaena																									
Anabaenopsis																									
Aphanothece																									
Dolichospermum																									
Gomphosphaeria																									
Oscillatoria																									
Pseudoanabaena																									

d. Análisis de Grupos funcionales:

En la Tabla 94 se entregan los GF más representativos encontrados en Lago Colico. Se observa que los grupos más característicos fueron: A, X1, X2 y P. Grupo A es típico de lagos claros y bien mezclados, sensibles al aumento de pH. Por su parte X1 y X2, son típicos de condiciones con enriquecimiento de nutrientes y de lagos con estratificación; y P tiene como taxa representativos a diatomeas, y es típico de lagos con epilimnio eutrófico y sensibles a disminución de sílice (Reynolds et al. 2002).

Tabla 94. Análisis de Grupos Funcionales en Lago Colico.

Periodo	PRI-14												PRI-15						
Estación	Centro						Bahía Río Trafampulli												
Profundidad (m)	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X2	X1	X1	X1	X1	P	P	
GF	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2		A	P	P	P			

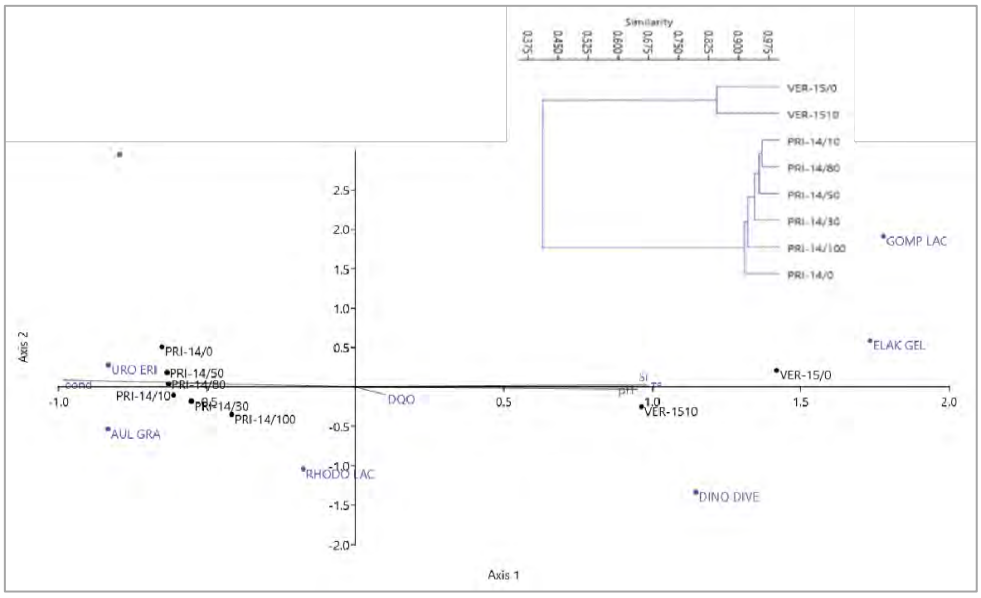
Periodo	VER-15												PRI-15						
Estación	Centro						Bahía Río Trafampulli						Centro						
Profundidad (m)	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	80	100	0	0	10	30	50	80	100
	F	F	X2	F	A	A	E	F	X2	X1	X2	X2	J	X1	X1	X1	X1	X1	X1
GF	X2	X2		X2	X2	X2	X2			A	A	A							

Periodo	PRI-15						PRI-16												
Estación	Puerto Colico										Centro			Bahía Trafampulli				RT	RC
Profundidad (m)	0	10	30	50	80	100	0	10	30	50	0	10	30	0	10	30	50	0	0
	X1	X1	X1	X1	X1	A	E	A	N	A	E	E	N	A	E	A	D	P	E
GF		P	P	A	P	P	P	P	P	P	P		P	E	P	P	P		P

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación ACC fue realizado para la estación Centro y sólo en los periodos donde había registros coincidentes de variables físicoquímicas (T°, pH, Conductividad, Si y DQO) (Figura 119). En primera instancia, el análisis de conglomerados (en la parte superior de la figura) separó dos grupos en base a la composición fitoplanctónica (verano de 2015 y primavera 2014). Estos dos mismos grupos fueron separados en el triplot de ACC. A la derecha del triplot se observa la estación de verano con predominancia de taxa como *Gomphosphaeria lacustris* (GOMP LAC) y *Elakatothrix gelatinosa* (ELAK GEL). Estos taxa estuvieron relacionados a valores altos de pH y T°, y concentraciones más altas de sílice. Por su parte a la izquierda del triplot se ubicaron las estaciones monitoreadas en primavera. En estas destacan las diatomeas *Urosolenia eriensis* (URO ERI) y *Aulacoseira granulata* (AUL GRA), las cuales estarían relacionadas a valores más altos de conductividad.

Figura 119. Análisis de ordenación para estación Centro en Lago Colico.



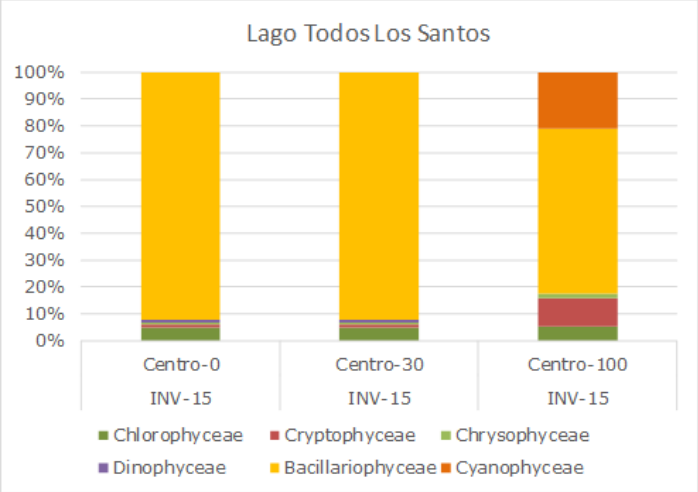
6. Lagos de la X Región: Todos los Santos, Chapo, Llanquihue y Rupanco

Lago Todos Los Santos

a. Composición taxonómica:

En invierno de 2015, el único periodo de monitoreo en lago Todos los Santos, se observa dominancia de diatomeas en las 3 profundidades, con presencia de cianofíceas a los 100 m (Figura 120).

Figura 120. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago Todos los Santos.



b. Índices de diversidad e índice biótico:

En invierno del 2015, Lago Todos los santos mostró mayor abundancia a los 30 m, y menor abundancia en superficie. La riqueza y los índices de diversidad de Simpson y Shannon no mostraron mayores variaciones con la profundidad (Tabla 95). El índice biótico A/C arrojó condiciones de eutrofia en la superficie y profundidad media, y de mesotrofía a los 100 m de profundidad.

Tabla 95. Índices de diversidad en invierno del 2015 en Lago Todos los Santos.

Profundidad	0 m	30 m	100 m
Riqueza	12	12	10
Abundancia	464	40109	7469
I. Dominancia	0.4554	0.4554	0.1487
I. Simpson	0.5446	0.5446	0.8513
I. Shannon	1.3	1.301	2.04
I. Equidad	0.5232	0.5234	0.886
A/C	5.2	5.2	1.1

c. Presencia de algas nocivas:

En Lago Todos los Santos, sólo se registró un género de cianobacteria, *Limnococcus* y sólo a las 100 m de profundidad con una abundancia relativa de 21%.

d. Análisis de Grupos Funcionales:

En el periodo en estudio, se registró la presencia de 3 grupos funcionales: P dominando en la superficie hasta los 30 m, y grupos Y y C a los 100 m de profundidad.

e. Análisis de ordenación:

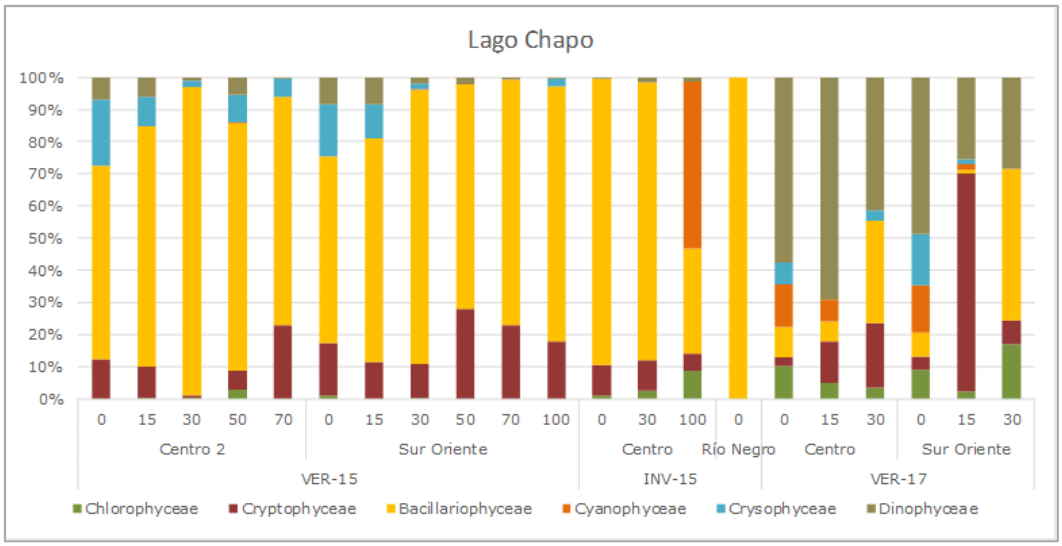
Dado que este lago presentó solo un periodo de monitoreo para fitoplancton no fue posible llevar a cabo análisis de ordenación.

Lago Chapo

a. Composición taxonómica:

En verano e invierno del año 2015, Lago Chapo mostró una dominancia de diatomeas; mientras que en el verano de 2017 se observó un aumento de dinofíceas, con peaks de aumento de criptofíceas. No obstante, en invierno de 2015, a los 100 m se observó una abundancia inusual de cianofíceas (Figura 121).

Figura 121. Composición taxonómica de fitoplancton en Lago Chapo.



b. Índices de diversidad:

El año 2015 se observaron las mayores abundancias de taxa, mientras que el 2017, estos valores disminuyeron significativamente (Tabla 96).

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Chapo fueron observados 4 géneros de cianofíceas: *Anabaenopsis, Aphanocapsa, Gomphosphaeria* y Sphaerospermopsis (Tabla 97). En verano de 2015, sólo se observó un género, Gomphosphaeria; mientras que invierno del 2015 y verano de 2017, estuvieron presentes Anabaenopsis, Aphanocapsa y Sphaerospermopsis.

d. Análisis de Grupos Funcionales:

En lago Chapo fueron observados 7 grupos funcionales de fitoplancton (Tabla 98). En el verano de 2015 los grupos representativos fueron N, P y D, los 3 representados por diatomeas típicas de aguas enriquecidas de nutrientes y sensibles a la estratificación. En el invierno de 2015 dominó el grupo N, y en el verano de 2017 fueron representativos los grupos Lo, Y, Ws y J, los cuales también están representados por especies típicas de condiciones someras y mesotróficas.

Tabla 96. Índices de diversidad en tres periodos de monitoreo en Lago Chapo.

Periodo	VER-15											INV-15			VER-17					
Estación	Centro 2					Sur Oriente						Centro			Centro			Sur Oriente		
Profundidad	0	15	30	50	70	0	15	30	50	70	100	0	30	100	0	15	30	0	15	30
Riqueza	12	14	11	14	7	9	9	11	7	6	9	11	7	10	13	12	8	13	14	10
Abundancia	749096	761630	1155804	1190989	405250	995670	1222837	2219488	793125	708274	576192	138037	26477	44828	30236	66562	14236	34361	195759	40055
I. Dominancia	0.251	0.284	0.476	0.302	0.291	0.243	0.334	0.395	0.318	0.349	0.354	0.518	0.556	0.333	0.157	0.196	0.204	0.166	0.672	0.301
I. Simpson	0.750	0.716	0.525	0.698	0.709	0.757	0.666	0.605	0.682	0.651	0.646	0.482	0.444	0.667	0.843	0.804	0.796	0.834	0.328	0.699
I. Shannon	1.693	1.531	0.887	1.504	1.355	1.581	1.410	1.167	1.248	1.152	1.182	1.112	0.968	1.422	2.127	1.952	1.780	2.064	0.801	1.523
I. Equidad	0.682	0.580	0.370	0.570	0.696	0.720	0.642	0.487	0.641	0.643	0.538	0.464	0.497	0.618	0.829	0.786	0.856	0.805	0.304	0.661
A/C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	13.3	0.1	1.8	20.7

Tabla 97. Presencia de algas nocivas en Lago Chapo.

Periodo	VER-15											INV-15			VER-17					
Estación	Centro 2					Sur Oriente						Centro			Centro			Sur Oriente		
Profundidad	0	15	30	50	70	0	15	30	50	70	100	0	30	100	0	15	30	0	15	30
Anabaenopsis																				
Aphanocapsa																				
Gomphosphaeria																				
Sphaerospermopsis																				

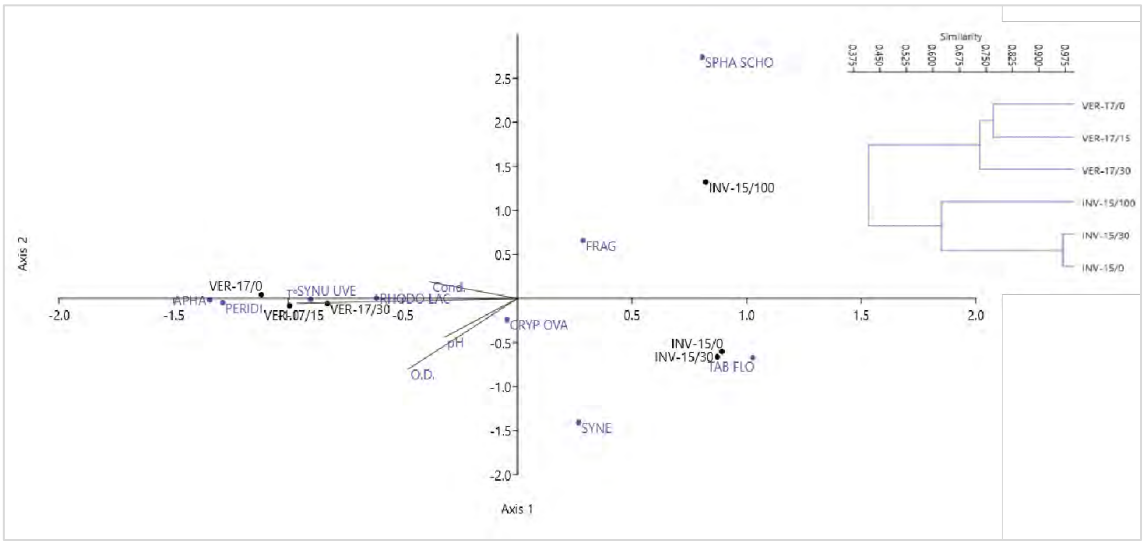
Tabla 98. Análisis de Grupos funcionales en Lago Chapo.

Periodo	VER-15											INV-15			VER-17					
Estación	Centro 2					Sur Oriente						Centro			Centro			Sur Oriente		
Profundidad	0	15	30	50	70	0	15	30	50	70	100	0	30	100	0	15	30	0	15	30
GF	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P	P	N	N	N	L0	Y	Y	L0	Lo	J
	D	D	D	N	N	N	N	N	N	N	N				Ws	L0	L0			P

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación en Lago Chapo fue realizado en los periodos donde fue monitoreado el fitoplancton, así como variables abióticas. Los análisis de ordenación (Cluster y ACC) separaron ambos periodos de monitoreo, dando cuenta de las diferencias en la composición fitoplanctónica entre ellos (Figura 122). A la derecha de la figura, fue ordenado el monitoreo de invierno donde fueron característicos los taxa como *Sphaerocystis schoeteri* (SPHA SCHO) y *Tabellaria floculosa* (TAB FLO). Este periodo de monitoreo mostraría menores valores para las variables abióticas incluidas en el análisis (pH, Cond, O.D. y T°). Por su parte a la izquierda del diagrama del ACC, se ubicaron los monitoreos de verano. Así, en el estacón estival habría dominancia de algas como *Aphanocapsa* (APHA) y *Synura* (SYNU), entre otras.

Figura 122. Diagrama de análisis de ordenación para dos periodos de monitoreo en Lago Chapo.

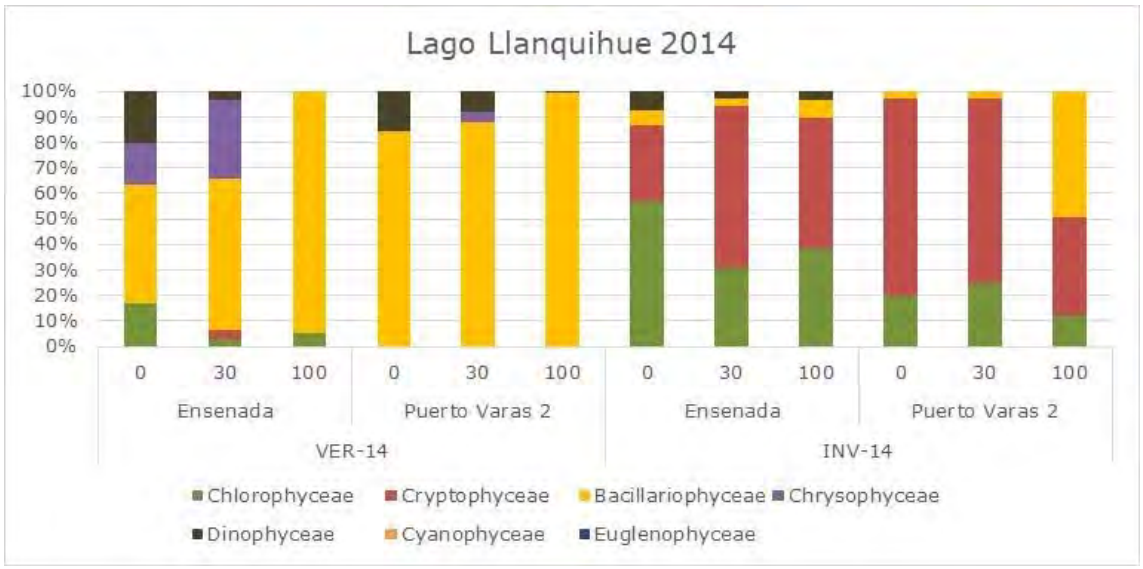


Lago Llanquihue

a. Composición taxonómica:

El año 2014 en verano, hubo una predominancia de diatomeas en Lago Llanquihue, mientras que en invierno dominaron criptofíceas. En verano de 2015, el ensamble estuvo dominado por clorofíceas y criptofíceas, mientras que en invierno vuelven a dominar diatomeas (Figura 123). El 2016 también dominaron diatomeas y clorofíceas. Mientras que el 2017, en verano dominaron criptofíceas y crisofíceas, mientras que en invierno volvieron a dominar diatomeas (Figura 124).

Figura 123. Composición de clases de fitoplancton en estación Ensenada y Puerto Varas el año 2014 y 2015.



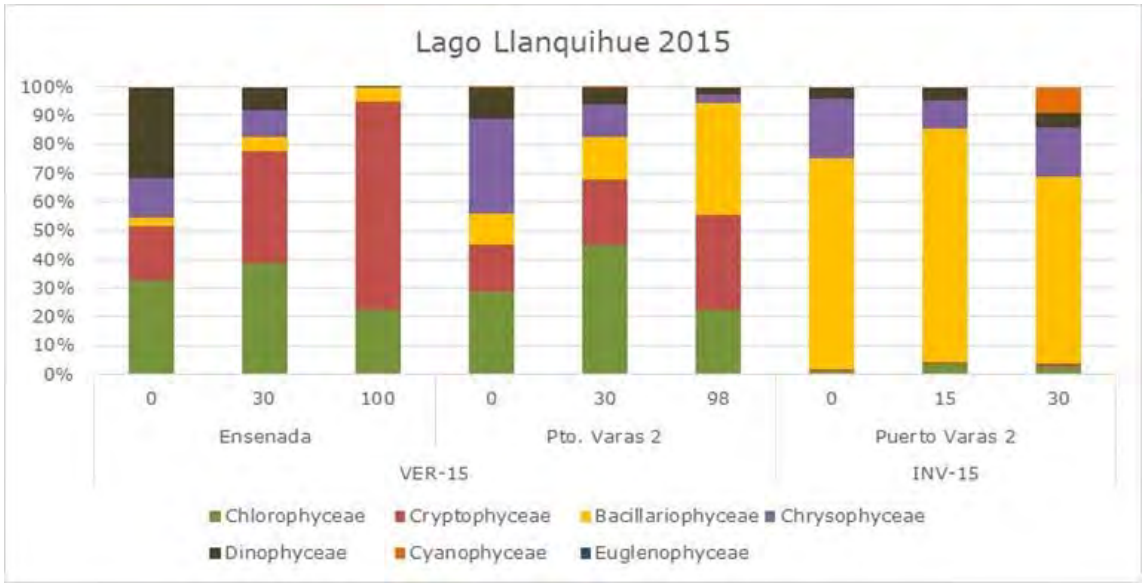
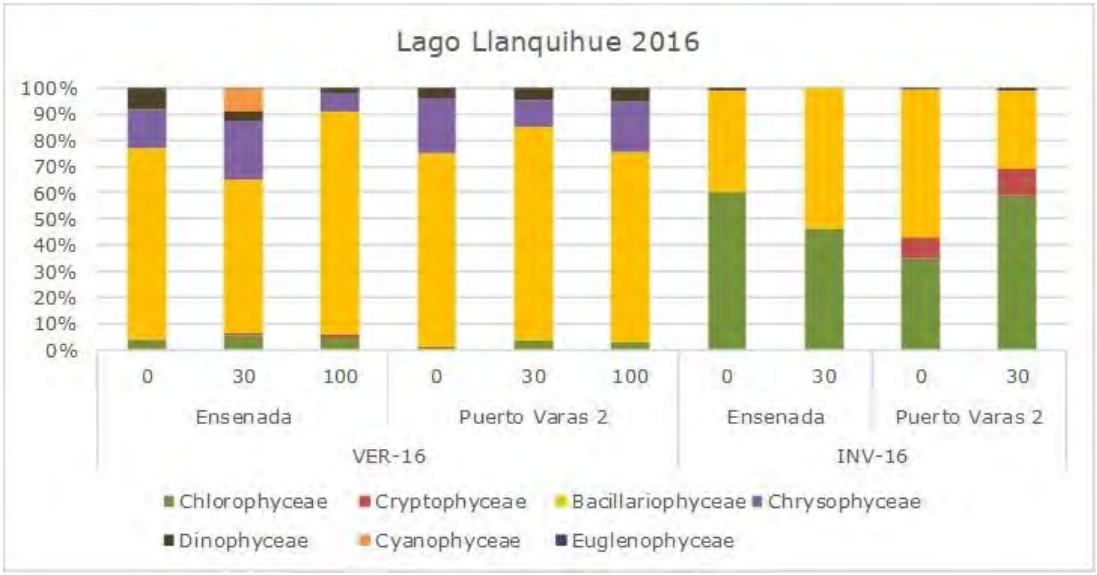
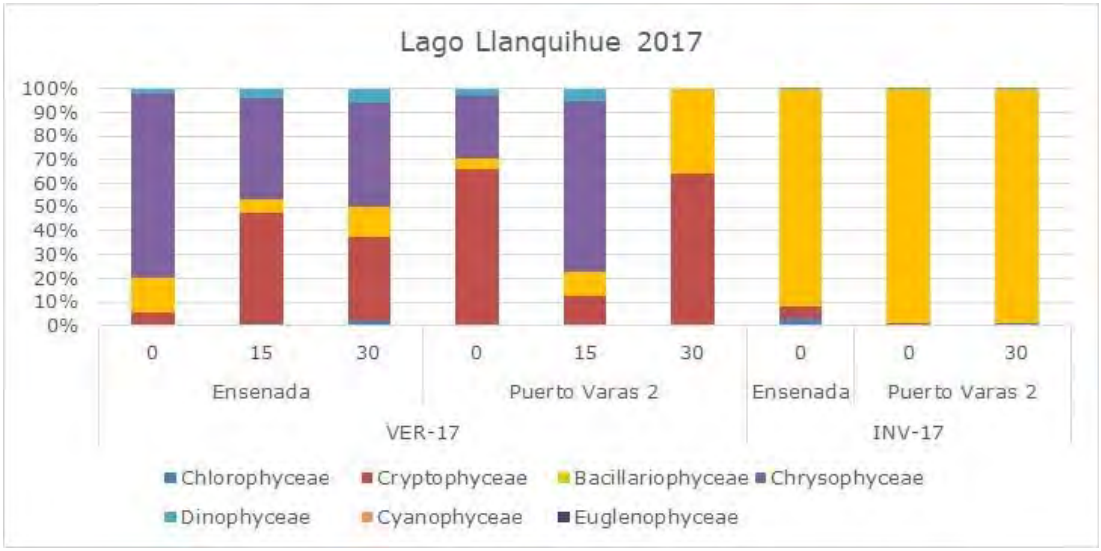


Figura 124. Composición de clases de fitoplancton en estación Ensenada y Puerto Varas el año 2014 y 2015





b. Índices de diversidad e índice biótico:

Estación Frutillar en verano de 2014 mostró la menor riqueza y abundancia. La mayor riqueza fue observada en verano del 2016 en estación Puerto Varas 2 y la mayor abundancia en estación Ensenada en verano del 2015. El índice A/C sugirió oligotrofia en la mayoría de los periodos y estaciones (Tabla 99).

Tabla 99. Índice de diversidad e índice biótico A/C en Lago Llanquihue.

Periodo	VER-14												INV-14							
Estación	Ensenada			Puerto Octay 2			Frutillar 2			Puerto Varas 2			Ensenada			Puerto Octay 2		Frutillar 2	Puerto Varas 2	
Lago	0	30	100	0	30	100	0	30	100	0	30	100	0	30	100	0	30	0	0	30
Riqueza	8	10	3	9	8	4	9	9	3	5	6	8	20	16	18	13	15	17	13	14
Abundancia	3964	4226	2643	4225	4490	5152	12415	2640	1452	3433	3302	35274	237034	90138	159383	140387	252187	157064	246065	196070
I. Dominancia	0.15	0.19	0.52	0.22	0.31	0.55	0.39	0.18	0.57	0.30	0.28	0.91	0.34	0.39	0.34	0.51	0.44	0.38	0.57	0.50
I. Simpson	0.85	0.81	0.49	0.78	0.69	0.45	0.61	0.83	0.43	0.70	0.72	0.09	0.66	0.61	0.66	0.49	0.56	0.62	0.43	0.50
I. Shannon	1.94	1.91	0.79	1.76	1.58	0.79	1.37	1.95	0.76	1.38	1.45	0.27	1.45	1.35	1.43	1.04	1.08	1.27	0.87	1.06
I. Equidad	0.93	0.83	0.72	0.80	0.76	0.57	0.63	0.89	0.69	0.85	0.81	0.13	0.48	0.49	0.49	0.40	0.40	0.45	0.34	0.40
A/C	0.4	3.3	0.0	0.7	0.4	0.4	0.8	1.5	0.4	2.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0		0.0	1.0		1.0
Periodo	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	INV-15	INV-15	INV-15	INV-15	INV-15	INV-15				
Estación	Ensenada			Puerto Octay 2			Pto. Varas 2			Frutillar 2			Puerto Octay 2							
Profundidad	0	30	100	0	30	100	0	30	100	0	0	30	100	0	30	100				
Riqueza	17	18	9	17	19	22	15	15	18	17	8	6	5	9	11	13				
Abundancia	274335	453236	236841	333415	149710	156935	353970	308070	68405	403102	40373	56237	103824	5932	8483	38871				
I. Dominancia	0.20	0.27	0.57	0.21	0.19	0.36	0.20	0.18	0.20	0.28	0.49	0.74	0.90	0.62	0.44	0.42				
I. Simpson	0.80	0.73	0.43	0.79	0.81	0.64	0.80	0.82	0.80	0.72	0.51	0.26	0.10	0.38	0.56	0.58				
I. Shannon	1.75	1.60	0.79	1.84	1.88	1.53	1.85	1.88	1.94	1.58	1.09	0.60	0.25	0.93	1.22	1.30				
I. Equidad	0.62	0.55	0.36	0.65	0.64	0.50	0.68	0.70	0.67	0.56	0.52	0.33	0.16	0.42	0.51	0.51				
A/C	1.36	5.88	0.35	0.69	0.57	0.19	0.54	11.88	0.21	13.00				0.00	0.30	0.17				
Periodo	VER-16												INV-16							
Estación	Frutillar 2			Puerto Octay 2			Puerto Varas 2			Ensenada			Ensenada		Puerto Octay 2		Frutillar 2		Puerto Varas 2	
Periodo	0	15	30 m	0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	30	0	15	0	30	0	30
Riqueza	19	15	16	14	15	18	16	23	14	17	22	12	4	3	7	7	7	7	6	6
Abundancia	33554	78255	16120	105001	73538	113258	128596	100277	137642	99886	188768	102641	123568	50787	102099	83773	68064	88485	97386	109952
I. Dominancia	0.30	0.34	0.21	0.52	0.54	0.36	0.46	0.37	0.42	0.42	0.32	0.64	0.47	0.39	0.33	0.30	0.55	0.40	0.42	0.36
I. Simpson	0.70	0.66	0.79	0.48	0.46	0.64	0.54	0.63	0.58	0.58	0.68	0.36	0.53	0.61	0.67	0.70	0.45	0.60	0.58	0.64
I. Shannon	1.75	1.59	1.96	1.18	1.19	1.60	1.28	1.52	1.33	1.48	1.71	0.93	0.88	1.00	1.30	1.41	0.99	1.13	1.09	1.25
I. Equidad	0.60	0.59	0.71	0.45	0.44	0.55	0.46	0.48	0.50	0.52	0.55	0.38	0.63	0.91	0.67	0.72	0.51	0.58	0.61	0.70
A/C	0.01	0.01	0.03	0.05	0.07	0.02	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00			0.61	4.00				
Periodo	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	VER-17	INV-17	INV-17	INV-17	INV-17	INV-17	INV-17	INV-17	
Estación	Ensenada			Puerto Octay 2			Frutillar 2			Puerto Varas 2			Ensenada	Puerto Octay 2		Frutillar 2		Puerto Varas 2		
Profundidad	0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	0	15	0	30	0	30	
Riqueza	9.0	16	13	17	9	12.0	9	9	7.0	8	11	5	10	4	9	6	7	4	4	
Abundancia	31708	31508	26700	22967	*17275*	50,127.0	14917	*18945*	9,421.0	12957	*19041*	6674	34062	5496	30921	52915	68424	60964	82072	
I. Dominancia	0.61	*0.39*	0.32	0.23	*0.52*	0.44	0.46	*0.42*	0.27	0.45	0.54	0.35	0.51	0.31	0.48	0.56	0.62	0.90	0.94	
I. Simpson	0.39	0.61	0.68	0.77	0.48	0.56	0.54	0.58	0.73	0.55	0.46	0.65	0.49	0.69	0.52	0.44	0.38	0.10	0.06	
I. Shannon	0.90	1.25	1.48	2.04	1.01	1.07	1.31	1.28	1.53	1.10	1.11	1.26	1.14	1.28	1.15	0.94	0.85	0.24	0.17	
I. Equidad	0.41	0.45	0.58	0.72	0.46	0.43	0.60	0.58	0.79	0.53	0.46	0.79	0.49	0.92	0.52	0.52	0.44	0.17	0.12	
A/C		5.00		0.75								0.30		3.00	0.20	0.10	0.20	0.00	0.00	

c. Presencia de algas nocivas:

El año 2014 y 2015 solo se registró la presencia de un género de cianofícea, *Anabaena*, pero su abundancia relativa fue inferior a 3%. El año 2016 fueron observados 4 géneros de cianofíceas, *Limnococcus*, *Merismopedia*, *Pseudoanabaena* y *Dolichospermum*, pero su abundancia relativa fue menor al 10%. Finalmente, el año 2017 no fueron registradas cianofíceas en las estaciones ubicadas dentro del lago Llanquihue.

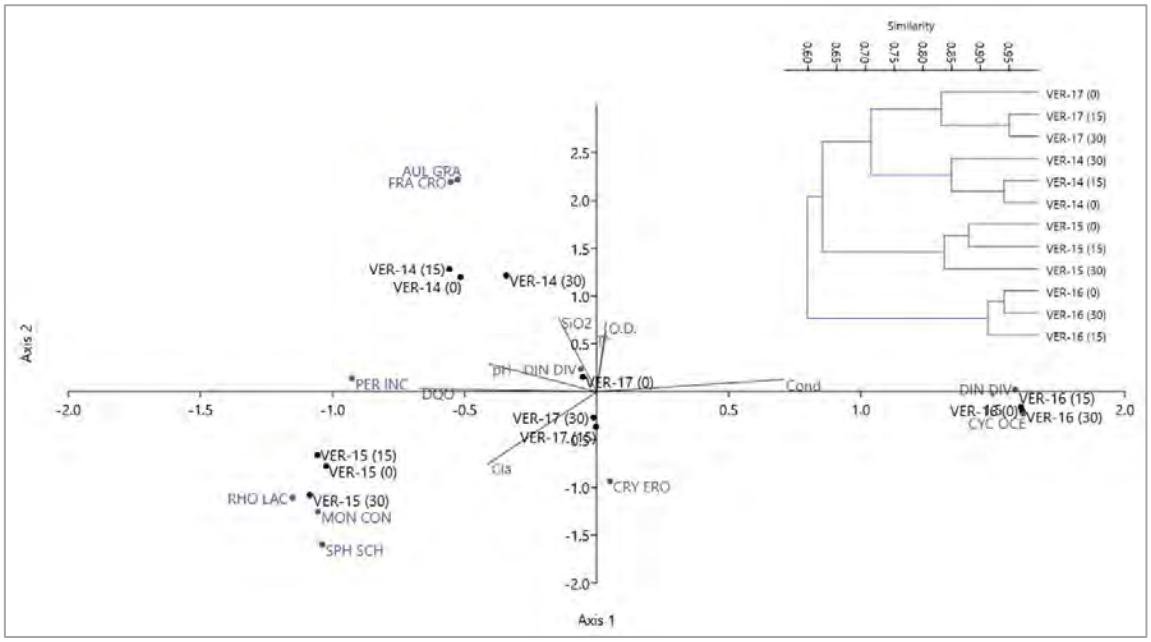
d. Análisis de Grupos Funcionales:

El verano de 2014 hubo dominancia de diatomeas como *Aulacoseira granulata* y *Fragilaria crotonensis* en todas las estaciones, ambas pertenecientes al grupo P y típicas de epilimnio eutrófico. En invierno del 2014 hubo dominancia de *Sphaerocystis* y *Rhodomonas*, ambas típicas de grupos F y X2 e indicadoras de epilimnio claro en lagos mesotróficos. En verano de 2015 hubo predominancia de clorofíceas y criptofíceas, resaltando los géneros *Monoraphidium* y *Rhodomona*s (Grupo X2). En verano del 2016 predominó *Cyclotella ocellata*, representante del grupo B, y en verano del 2017 predominó *Dinobryon divergens*, representante del grupo E y asociado a bajas condiciones de nutrientes. Finalmente, en invierno del 2015, 2016 y 2017 hubo dominancia de diatomeas típicas del grupo P.

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación en Estación Ensenada del lago Llanquihue mostró diferencias entre los 4 años de estudio en la estación de verano (Figura). En verano del 2014 se observó una dominancia de diatomeas como *Aulacoseira granulata* (AUL GRA) y *Fragilaria crotonensis* (FRA CRO), asociadas a un aumento en sílice y en el pH. En verano del 2015 hay predominancia de clorofíceas (*Sphaerocystis schoeteri*, SPH SCH) y criptofíceas (*Rhodomonas lacustris*, RHO LAC), asociado a un aumento en DQO. Por su parte en verano de 2016 dominan dinofíceas (*Dinobryon divergens*, DIN DIV) y diatomeas (*Cyclotella ocellata*, CYC OCE), asociado a un aumento en la conductividad; para finalmente, en verano del 2017 dominó nuevamente *Dinobryon,* asociado a un aumento en el pH (Figura 125).

Figura 125. Análisis de ordenación en estación Ensenada en Lago Llanquihue.

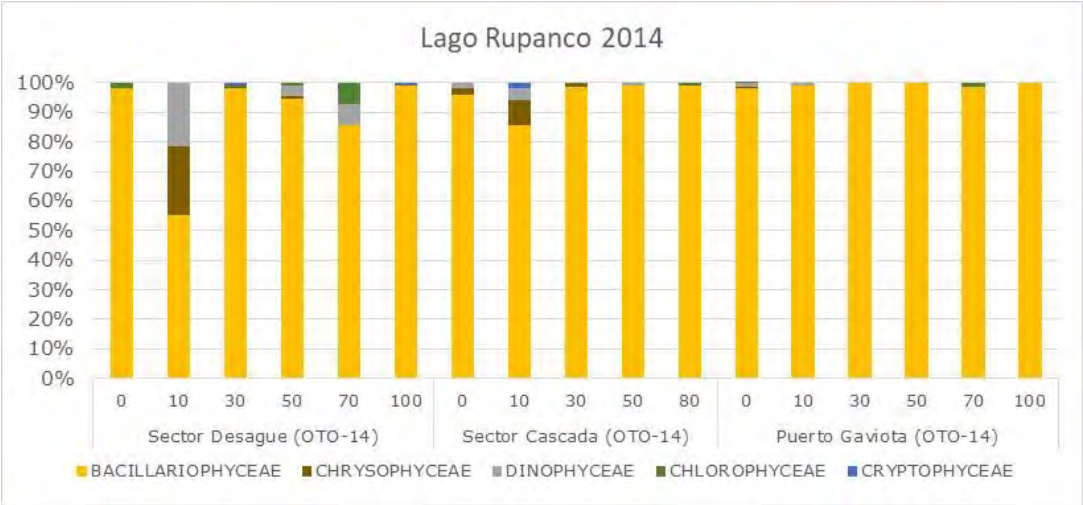


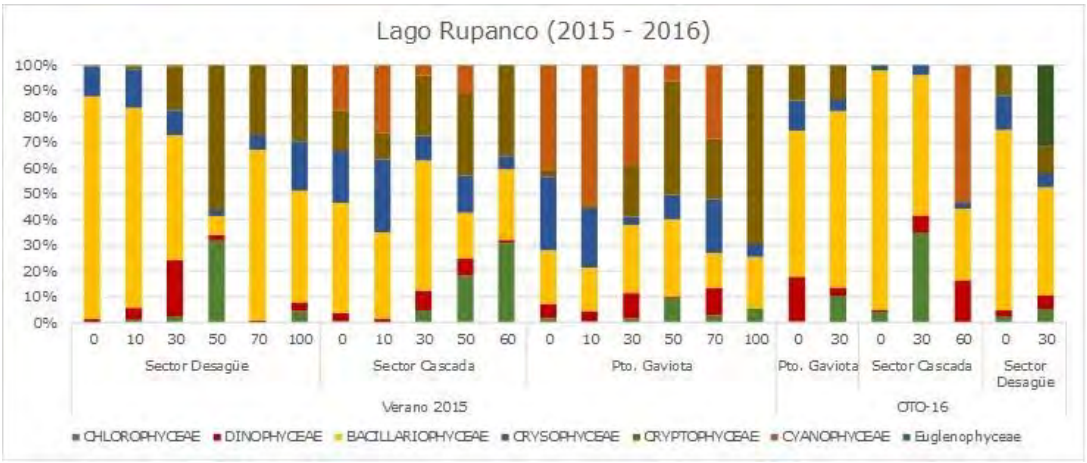
Lago Rupanco

a. <u>Composición taxonómica</u>:

En lago Rupanco, el año 2014 se observa una clara dominancia de diatomeas. Por su parte el año 2015-2016, aumenta la diversidad de clases de fitoplancton, donde resaltan diatomeas, criptofíceas y cianofíceas (Figura 126).

Figura 126. Composición de clases de fitoplancton entre años 2014 y 2016 en Lago Rupanco.





b. Índices de diversidad e índice biótico:

En la Tabla, se comparan los índices de diversidad por periodo y estación en lago Rupanco. La menor riqueza fue observada en Sector Cascada a los 50 y 80 m (4), mientras que la mayor riqueza fue observada en Sector Desagüe a los 100 m (17 taxa). La menor abundancia fue observada en otoño de 2016 a los 30 m (2490 Cel/L) y la mayor abundancia fue observada en Sector Cascada a los 10 m (2150496 Cel/L). El índice A/C sugirió valores eutróficos en la mayoría de los periodos el año 2014, y valores de oligotrofia en otoño del 2016 (Tabla 100).

Tabla 100. Índices de diversidad e índice biótico A/C en lago Rupanco.

Fecha	Otoño -2014																
Estación	Sector Desague						Sector Cascada					Puerto Gaviota					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	80	0	10	30	50	70	100
Riqueza	6	6	7	6	6	5	6	8	7	4	4	10	5	9	4	9	8
Abundancia	10041	6209	26423	14797	3699	12815	30387	30123	62359	17439	29594	123529	102920	160258	35540	50072	29065
I. Dominancia	0.581	0.230	0.850	0.671	0.424	0.472	0.822	0.603	0.864	0.832	0.906	0.941	0.957	0.922	0.921	0.878	0.732
I. Simpson	0.419	0.770	0.150	0.329	0.576	0.528	0.178	0.397	0.136	0.168	0.094	0.059	0.043	0.078	0.079	0.122	0.268
I. Shannon	0.901	1.556	0.369	0.731	1.178	0.842	0.428	0.897	0.322	0.356	0.233	0.190	0.128	0.216	0.195	0.341	0.613
I. Equidad	0.503	0.869	0.189	0.408	0.658	0.523	0.239	0.431	0.165	0.257	0.168	0.082	0.079	0.098	0.141	0.155	0.295
Índice A/C		1.2	16.8	10.1	0.4	1.1	16.0	9.7	16.8	12.0	26.6	303.7	84.8	34.2	28.8	35.6	7.0

Periodo	Verano 2015																
Estación	Sector desague						Sector Cascada					Pto. Gaviota					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	60	0	10	30	50	70	100
Riqueza	11	16	14	14	11	17	16	10	16	14	12	14	15	15	17	14	16
Abundancia	1173400	791755	236165	276002	211212	781780	1864206	2150496	588413	326136	227946	1796883	2287661	421164	219412	532982	185513
I. Dominancia	0.484	0.364	0.166	0.324	0.269	0.231	0.257	0.261	0.259	0.189	0.264	0.284	0.374	0.220	0.216	0.204	0.501
I. Simpson	0.516	0.636	0.834	0.676	0.732	0.770	0.743	0.740	0.741	0.811	0.736	0.716	0.626	0.780	0.784	0.796	0.499
I. Shannon	0.992	1.392	2.086	1.427	1.585	1.686	1.595	1.466	1.821	1.863	1.537	1.499	1.235	1.843	1.934	1.751	1.135
I. Equidad	0.414	0.502	0.790	0.541	0.661	0.595	0.575	0.637	0.657	0.706	0.619	0.568	0.456	0.681	0.683	0.664	0.409
A/C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Periodo	OTO-16						
Estación	Pto. Gaviota		Sector Cascada			Sector Desagüe	
Profundidad	0	30	0	30	60	0	30
Riqueza	14	6	8	15	12	10	8
Abundancia	65482	291027	129388	60761	13108	180909	2490
I. Dominancia	0.314	0.249	0.373	0.483	0.311	0.293	0.186
I. Simpson	0.686	0.751	0.628	0.517	0.689	0.707	0.814
I. Shannon	1.608	1.499	1.238	1.260	1.707	1.464	1.868
I. Equidad	0.609	0.837	0.595	0.465	0.687	0.636	0.898
Índice A/C	1.8		0.0	0.0	0.1	1.2	

c. Presencia de algas nocivas:

El año 2014 no se observaron microalgas del grupo de las cianofíceas. El año 2015, se registró la presencia de dos géneros: *Anabaena* y *Oscillatoria*. El primero presente en la mayoría de los periodos y desde la superficie a los 100 m, y el segundo sólo fue registrado en estación Puerto Gaviota a los 50 m. Por su parte el año 2016 se registraron dos géneros: *Aphanizomenon* y *Gomphosphaeria*, pero sólo en la estación "Sector Cascada" y a los 60 m de profundidad (Tabla 101).

Tabla 101. Presencia de algas nocivas en Lago Rupanco.

Periodo	Verano 2015																	OTO-16						
Estación	Sector Desagüe						Sector Cascada					Pto. Gaviota						Pto. Gaviota		Sector Cascada			Sec. Desagüe	
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	60	0	10	30	50	70	100	0	30	0	30	60	0	30
Anabaena	■	■	■			■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■							
Oscillatoria															■									
Aphanizomenon																								
Gomphosphaeria																						■		

d. Análisis de Grupos Funcionales:

El año 2014 pocas especies superaron el 10% de la abundancia relativa. Estas fueron *Aulacoseira granulata, Fragilaria crotonensis, Dinobryon divergens* y *Ceratium hirundinella*. F. crotonensis estuvo presente en todos los monitoreos. Esta especie de diatomea al igual que A. granulata pertenece al

grupo funcional P, y son especies típicas de epilimnio eutrófico, sensibles a la estratificación y al agotamiento de sílice. Por su parte, *D. divergens* y *C. hirundinella*, estuvieron presentes sólo en la superficie de la estación "Sector Desagüe". Estas especies pertenecen a los grupos E y LM, y ambos son tolerantes a las deficiencias de carbono (Padisák et al. 2009). El año 2015 las especies más características cambian, y se hace relevante la presencia de *Cyclotella ocellata*, *Rhodomonas lacustris* y *Anabaena sp*, más típicas de condiciones meso-eutróficas y con menores condiciones de luz (Grupos X2, S y B) (Tabla 102). El año 2016, hubo predominancia de grupos B, Ws, H1 y Lo. Ws y H1 son grupos formados por especies típicas de aguas con alta carga de nutrientes (e.g. *Anabaena sp*) que son tolerantes a condiciones deficientes de luz, incluso pantanos orgánicos. Mientras que grupos B y Lo, están formados por especies típicas de condiciones mesotróficas tolerantes a la segregación de nutrientes como sucede en lagos estratificados.

Tabla 102. Análisis de Grupos Funcionales en Lago Rupanco.

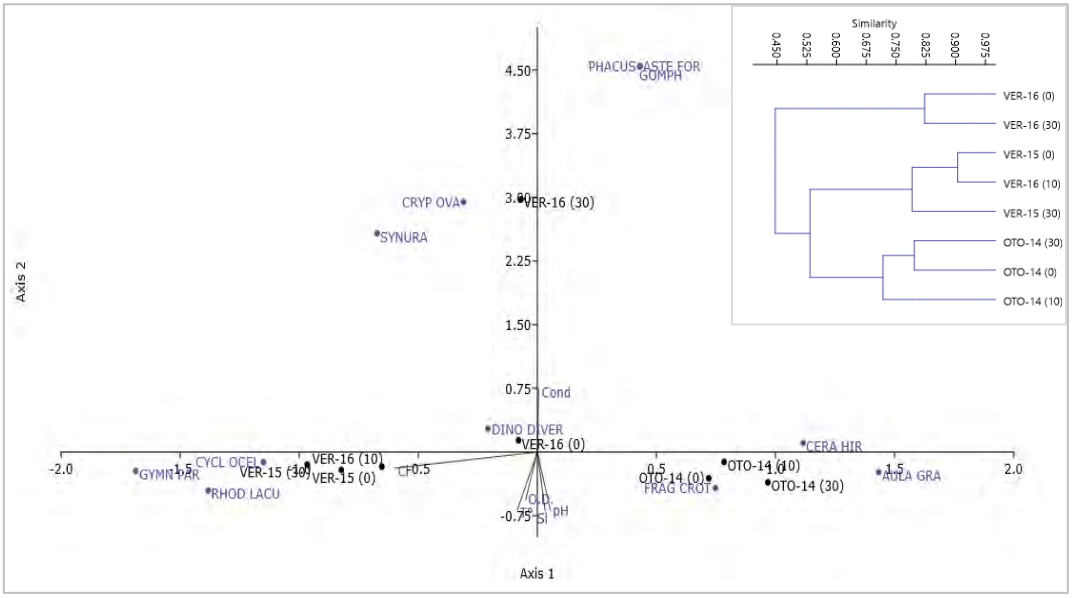
Periodo	Verano 2015																
Estación	Sector Desagüe						Sector Cascada					Pto. Gaviota					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	60	0	10	30	50	70	100
GF	B	B	B	X1	E	B	B	B	B	X1	X1	B	B	B	B	B	B
	E	E	X2	X2	X2	E	X2	X2	X2	E	X2	E	E	X2	E	X2	X2
						X2	S	S		X2		S	S	S	X2	S	

Periodo	OTO-16						
Estación	Pto. Gaviota		Sector Cascada			Sector Desagüe	
Profundidad	30	50	0	30	60	0	30
GF	Ws	B	B	B	H1	Ws	B
	Lo				Lo	E	

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación para estación "Sector Desagüe" desde 0 a 30 m de profundidad diferenció el periodo de otoño 2014 y verano de 2016. En otoño de 2014 los taxa representativos fueron *Aulacoseira granulata* (AULA GRA), *Ceratium hirundinella* (CERA HIR) y *Fragilaria crotonensis* (FRAG CRO), taxa que se asociaron a valores más altos de pH. En verano de 2016 los taxa característicos fueron *Asterionella Formosa* (ASTE FOR) y *Cryptomonas ovata* (CRYP OVA), asociadas a guas con valores más altos de conductividad. Por su parte, verano de 2015 estuvo dominado por taxa como *Rhodomonas lacustris* (RHOD LACU) y *Cyclotella ocellata* (CYCl OCEL). Estos taxa estarían determinado los valores altos de clorofila observados en este periodo (Figura 127).

Figura 127. Análisis de ordenación en estación Desagüe en lago Rupanco.

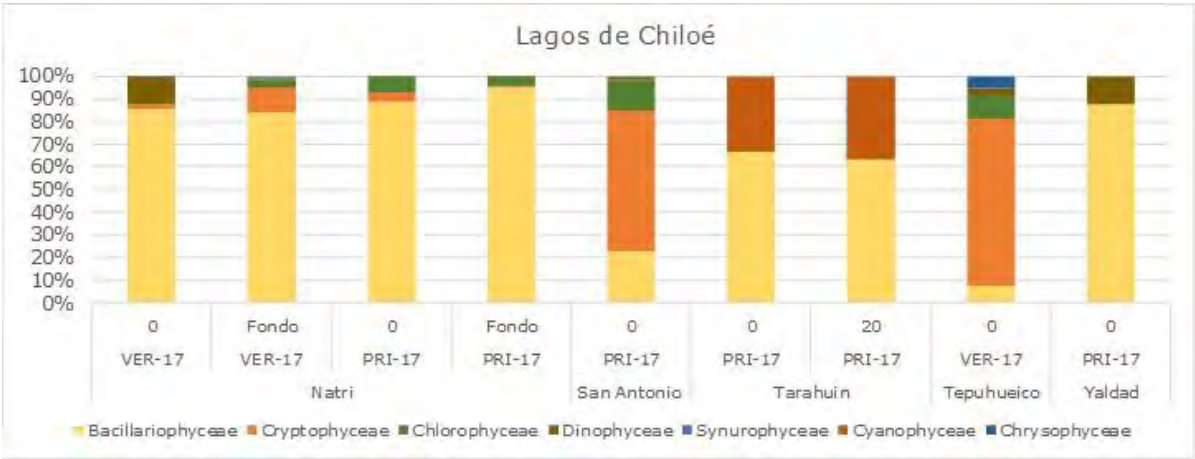


7. Lagos de la X Región-Chiloé: Natri, Tarahuin, Tepuhueico, San Antonio y Yaldad.

a. <u>Composición taxonómica</u>:

La composición taxonómica de los lagos de Chiloé fue demostrada en la Figura 128. Se observa que hubo una predominancia de diatomeas en lagos Natri, Tarahuin y Yaldad. Mientras que en lagos San Antonio y Tepuhueico, hubo dominancia de algas cianofíceas, dando una primera indicación de las diferencias en el hábitat acuático entre ellas. Lagos Tarahuin y Yaldad mostraron la menor riqueza de clases, sólo con dos grupos predominantes en cada una de ellas.

Figura 128. Composición de clases de fitoplancton en lagos y lagunas de Chiloé.



b. Índices de diversidad y biótico:

En la Tabla 103, se compararon los índices de diversidad entre los 5 lagos monitoreados en Chiloé. La mayor riqueza fue registrada en lago Natri (primavera 2017), al igual que la abundancia (verano 2017). Por el contrario, lago Yaldad mostró la menor riqueza y abundancia. De igual manera el índice de diversidad de Shannon mostró valores más altos en lago Natri. El índice biótico A/C sugirió valores de eutrofia en la estación fondo de lago Natri (verano 2017), y valores de oligotrofia en los demás cuerpos lacustres.

Tabla 103. Índices de diversidad e índice biótico (A/C) en lagos de Chiloé.

Lago	Natri				Sn Antonio	Tarahuin		Tepuhueico	Yaldad
Periodo	VER-17		PRI-17		PRI-17	PRI-17		VER-17	
Profundidad	0	Fondo	0	Fondo	0	0	20	0	0
Riqueza	11	8	14	10	7	9	9	7	4
Abundancia	2595239	147655	272142	189674	51837	1365020	1414501	161791	785
I. Dominancia	0.568	0.667	0.260	0.326	0.278	0.269	0.295	0.395	0.438
I. Simpson	0.432	0.333	0.740	0.675	0.722	0.731	0.705	0.606	0.562
I. Shannon	0.953	0.755	1.794	1.453	1.466	1.454	1.382	1.301	1.073
I. Equidad	0.398	0.363	0.680	0.631	0.754	0.662	0.629	0.669	0.774
A/C	0.0	50.7	0.4	0.8	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0

c. Presencia de algas nocivas:

Sólo fue registrada la presencia de *Dolichospermum* en un lago (Lago Tarahuin).

d. Análisis de Grupos funcionales:

En lago Natri se registraron 4 grupos funcionales de fitoplancton: N, Lo, X2 y D. Grupo N está representado por diatomeas típicas de epilimnio mesotrófico como *Tabellaria*. Lo, X2 y D también están representados por especies de aguas enriquecidas con nutrientes. En lago San Antonio se observaron dos grupos: Y y E. El grupo E esta representadas por especies típicas de lagos oligotróficos de baja profundidad, dominados por *Dinobryon*. En lago Tarahuin nuevamente se registraron los grupos P y D. Finalmente en lago Yaldad, se registró grupo Lm y N. Grupo LM es representado por especies típicas de aguas eutróficas como *Ceratium* y *Microcystis* (Tabla 104).

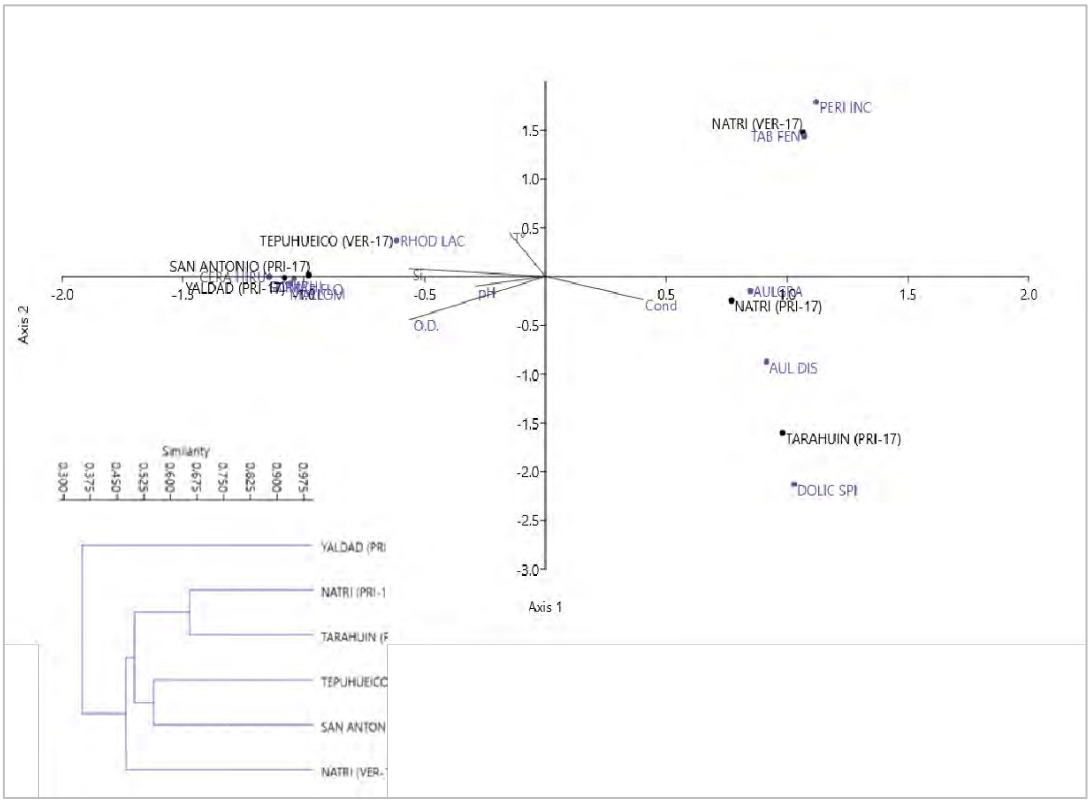
Tabla 104. Grupos funcionales de fitoplancton observados en lagos de Chiloé.

Lago	Natri				Sn Antonio	Tarahuin		Tepuhueico	Yaldad
Periodo	VER-17	VER-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17	PRI-17	VER-17	PRI-17
Profundidad	0	Fondo	0	Fondo	0	0	20	0	0
GF	N	N	N	N	Y	P	P	Y	Lm
	L0	X2	D	D	E	D	D	X2	N

e. Análisis de ordenación:

En la Figura 129 se muestra el análisis de ordenación incluyendo los lagos de Chiloé. Se observa que lagos Natri y Tarahuin mostrarían similares ensambles de fitoplancton y mayores valores de conductividad. De igual manera, Tepuhueico, San Antonio y Yaldad mostrarían ensambles similares y aguas con valores más altos de pH, Si y oxígeno disuelto.

Figura 129. Análisis de ordenación de variables bióticas y abióticas en lagos de Chiloé.



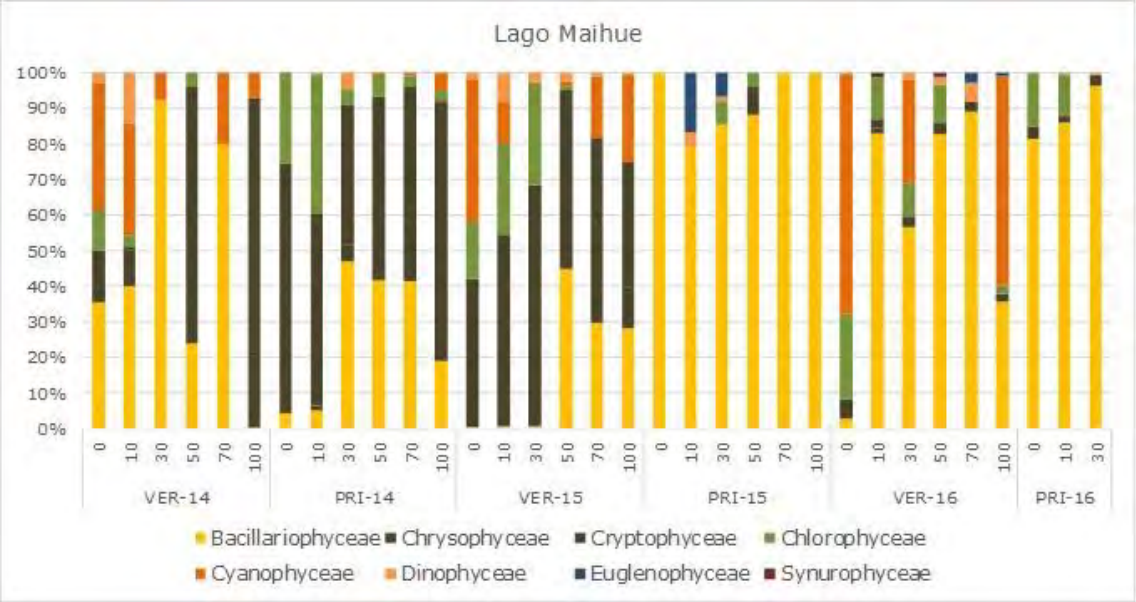
8. Lagos de la XIV Región: Maihue, Neltume, Puyehue y Ranco.

Lago Maihue

a. Composición taxonómica:

En la Figura 130 se entrega la composición fitoplanctónica en Lago Maihue. Resalta la abundancia de criptofíceas en primavera del 2014 y verano del 2015; que dan paso a una dominancia de diatomeas en primavera 2015, y verano y primavera del 2016. En este mismo año, resalta un peak de cianofíceas a los 0 y 100 m.

Figura 130. Composición fitoplanctónica en lago Maihue.



b. Índices de diversidad y bióticos:

En la Tabla 105 se muestra la comparación entre índices bióticos entre los distintos monitoreos y profundidades en lago Maihue. La mayor riqueza fue registrada en primavera del 2015, con 21 taxa, y la menor riqueza en verano del 2014, donde solo fueron registrados 3 taxa. Las mayores abundancias fueron registradas en el verano de 2015 en la superficie del lago, mientras que la menor abundancia fue registrada en verano de 2014, a los 70 m. Los índices de diversidad no mostraron un patrón claro de diferenciación entre los monitoreos. Por su parte, el índice A/C sólo pudo ser determinado en periodos donde estaban presentes ambos grupos de diatomeas (arrafídeas pennadas y céntricas); y en los 4 periodos donde se puedo calcular, sugirió condiciones de oligotrofia.

Tabla 105. Índices de diversidad e índice biótico en lago Maihue.

Periodo	VER-14	VER-14	VER-14	VER-14	VER-14	VER-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14	PRI-14
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
Riqueza	10	8	3	7	5	3	14	15	18	18	13	16
Abundancia	8190	11890	1717	6605	660	5549	186145	427925	121054	100592	160563	182208
I. Dominancia	0.205	0.280	0.728	0.456	0.200	0.824	0.461	0.376	0.229	0.331	0.373	0.548
I. Simpson	0.796	0.720	0.272	0.544	0.800	0.176	0.539	0.624	0.771	0.669	0.627	0.452
I. Shannon	1.859	1.475	0.536	1.139	1.609	0.368	1.233	1.294	1.805	1.489	1.321	1.067
I. Equidad	0.808	0.709	0.488	0.586	1.000	0.335	0.467	0.478	0.625	0.515	0.515	0.385
A/C	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0

Periodo	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	PRI-15	VER-16	VER-16	VER-16	VER-16	VER-16	VER-16
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
Riqueza	5	9	21	10	9	4	10	15	13	16	7	15
Abundancia	1573	6291	11664	3275	4587	4195	28183	20183	30540	18873	4718	27001
I. Dominancia	0.320	0.295	0.087	0.126	0.329	0.461	0.428	0.350	0.326	0.386	0.469	0.344
I. Simpson	0.680	0.705	0.913	0.874	0.671	0.539	0.572	0.650	0.675	0.614	0.531	0.656
I. Shannon	1.358	1.647	2.693	2.165	1.570	0.987	1.223	1.695	1.531	1.581	1.181	1.524
I. Equidad	0.844	0.749	0.884	0.940	0.715	0.712	0.531	0.626	0.597	0.570	0.607	0.563
A/C	0	0	2	2	0	0	0	6	0	0	0	0

Periodo	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	VER-15	PRI-16	PRI-16	PRI-16
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30
Riqueza	12	10	11	19	11	10	7	8	7
Abundancia	602241	441640	408357	118569	133274	59322	191110	202107	188492
I. Dominancia	0.351	0.370	0.540	0.370	0.324	0.172	0.534	0.383	0.456
I. Simpson	0.649	0.630	0.460	0.630	0.677	0.828	0.467	0.617	0.544
I. Shannon	1.211	1.223	0.795	1.277	1.462	1.873	0.974	1.169	0.917
I. Equidad	0.488	0.531	0.331	0.434	0.610	0.814	0.500	0.562	0.471
A/C	0	0	0	0	0	0	0	0	0

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Maihue fueron registrados 6 géneros de cianofíceas (Tabla 106). Las más representativas fueron *Anabaena* y *Dolichospermum*.

Tabla 106. Presencia de algas nocivas en lago Maihue.

Periodo	VER-14						PRI-14					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
Anabaena	■	■	■		■	■						■
Aphanothece							■			■	■	■
Dolichospermum												
Oscillatoria												
Pseudoanabaen												
Sphaerospermopsis												

Periodo	VER-15						PRI-15					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
Anabaena	■	■	■	■		■						
Aphanothece												
Dolichospermum												
Oscillatoria				■	■							
Pseudoanabaen												
Sphaerospermopsis												

Periodo	VER-16						PRI-16		
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30
Anabaena									
Aphanothece									
Dolichospermum	■					■	■	■	■
Oscillatoria									
Pseudoanabaen						■			
Sphaerospermopsis	■		■						

d. Análisis de Grupos Funcionales:

En lago Maihue fue registrado una gran variedad de GF (Tabla 107). No obstante, resaltan grupos P, X2 y C, los cuales, como ha sido señalado anteriormente, están formados por especies típicas de aguas enriquecidas o eutróficas.

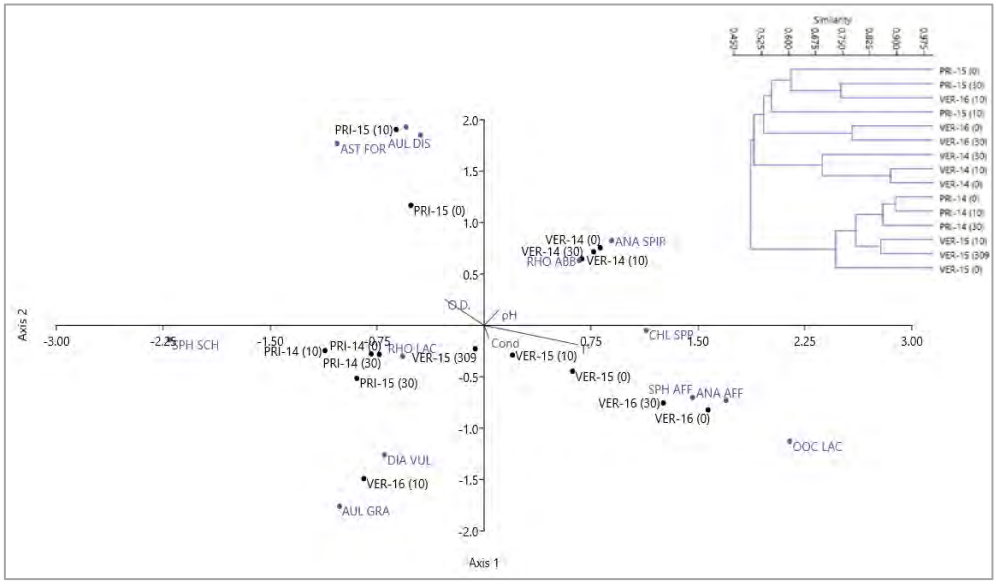
Tabla 107. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Maihue.

Periodo	VER-14						PRI-14						VER-15					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
GF	H	H	P	P	P	X2	X2	X2	X2	X2	X2	X2	H	X2	X2	X2	X2	H
	P	P		X2			F	F	A	A	B		X2	Z	Z	B		*X2*
Periodo	PRI-15						VER-16						PRI-16					
Profundidad	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30			
GF	D	W1	C	C	P	P	F	D	P	P	P	P	C	C	C			
			P	P	A	A					C			P	P			

e. Análisis de ordenación:

En el gráfico de ordenación se observó que en verano del 2016 predominó *Oocystis lacustris* (OCC LAC) y *Anabaena* (ANA); mientras que en primavera de 2015 dominó *Asterionella Formosa*, el cual estaría relacionado también a un aumento en el oxígeno disuelto (O.D.). Por su parte en primavera de 2016 habría dominancia de *Diatoma vulgare* (DIA VUL) y *Aulacoseira granulata* (AUL GRA), y en verano de 2014 habría una clara dominancia de *Rhoiscosphenia abbreviata* (RHO ABB) y *Anabaena spiroides* (ANA SPIR), posiblemente asociado a valores altos de pH (Figura 131).

Figura 131. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en Lago Maihue.

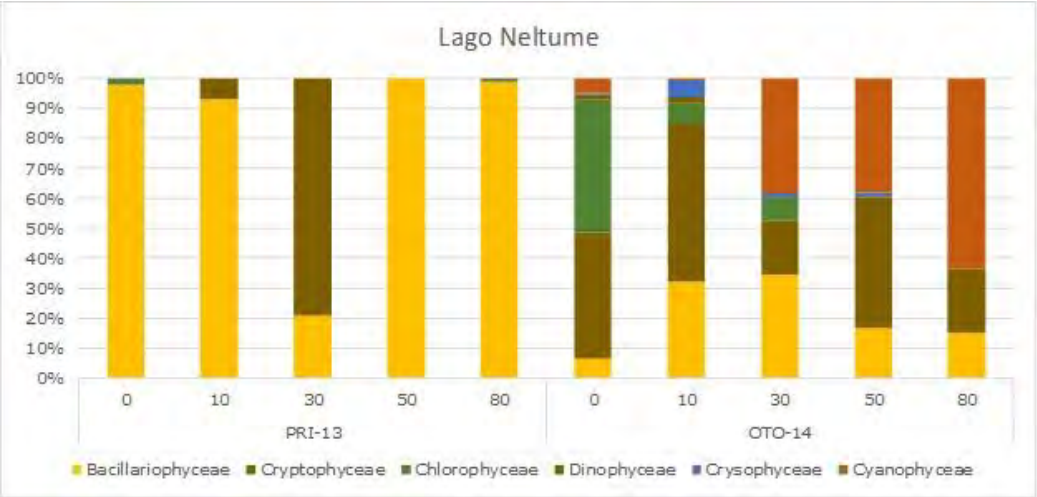


Lago Neltume

a. Estructura comunitaria:

En la Figura 132 se entrega la composición taxonómica de lago Neltume. Se observa en el periodo de primavera de 2013, una dominancia de diatomeas y criptofíceas; mientras que en otoño de 2014 aumenta la diversidad con la presencia de grupos como clorofitas y cianófitas.

Figura 132. Composición fitoplanctónica en lago Neltume.



b. Índices de diversidad:

En la Tabla 108 se entregan los índices de diversidad estimados en lago Neltume. Se observa que la mayor riqueza fue observada en otoño de 2014, mientras que las mayores abundancias fueron observadas en primavera del 2013. Por su parte el índice A/C sugirió condiciones eutróficas en primavera de 2013 y oligotróficos en otoño del 2014.

Tabla 108. Índices de diversidad e índice A/C en Lago Neltume.

Periodo	PRI-13 (Estación Centro)					OTO-14 (Estación Centro)				
Profundidad	0	10	30	50	80	0	10	30	50	80
Riqueza	6	7	3	5	12	17	30	20	23	17
Abundancia	1044734	1176800	27415	249195	57179	678346	463501	300754	435804	307369
I. Dominancia	0.713	0.610	0.649	0.682	0.569	0.254	0.300	0.202	0.291	0.423
I. Simpson	0.287	0.390	0.351	0.318	0.431	0.746	0.700	0.798	0.709	0.577
I. Shannon	0.590	0.737	0.627	0.571	1.077	1.740	1.914	2.012	1.619	1.276
I. Equidad	0.329	0.379	0.571	0.355	0.433	0.614	0.563	0.672	0.517	0.451
A/C	6.1	4.7	0.0	4.4	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Neltume fueron observados dos géneros de cianofíceas: *Anabaena* y *Oscillatoria*, y en otoño de 2014.

d. Análisis de Grupos funcionales:

En lago Neltume fueron observados 4 grupos funcionales, siendo los más abundantes P y X2 ambos formados por especies típicas de condiciones eutróficas (Tabla 109).

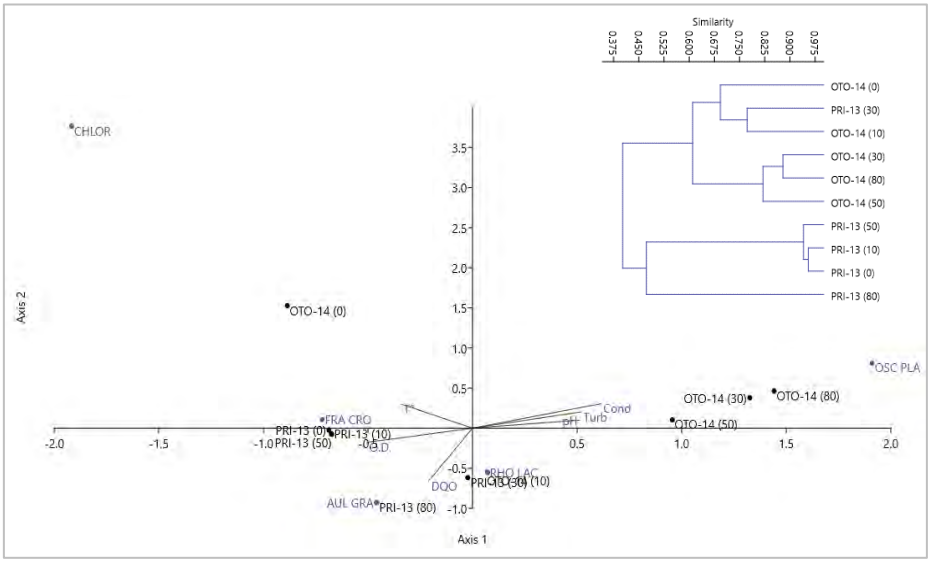
Tabla 109. Análisis de Grupos Funcionales en estación Centro en lago Neltume.

Periodo	PRI-13					OTO-14				
Profundidad	0	10	30	50	80	0	10	30	50	80
GF	P	*P*	P	P	P	X3	X2	X2	X2	*X2*
			X2			X2		S	S	*S*

e. Análisis de ordenación:

El análisis de ordenación mostró una clara diferencia entre los periodos de otoño 2014 y primavera 2013 en lago Neltume. En otoño de 2014 hubo dominancia de la cianofícea *Oscillatoria planctónica* (OSC PLA), mientras que en primavera de 2013 dominaron diatomeas como *Aulacoseira granulata* (AUL GRA) y *Fragilaria crotonensis* (FRA CRO). La dominancia de cianofíceas estaría relacionada a un aumento en la conductividad y turbiedad de la columna de agua en la estación Centro (Figura 133).

Figura 133. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Neltume.

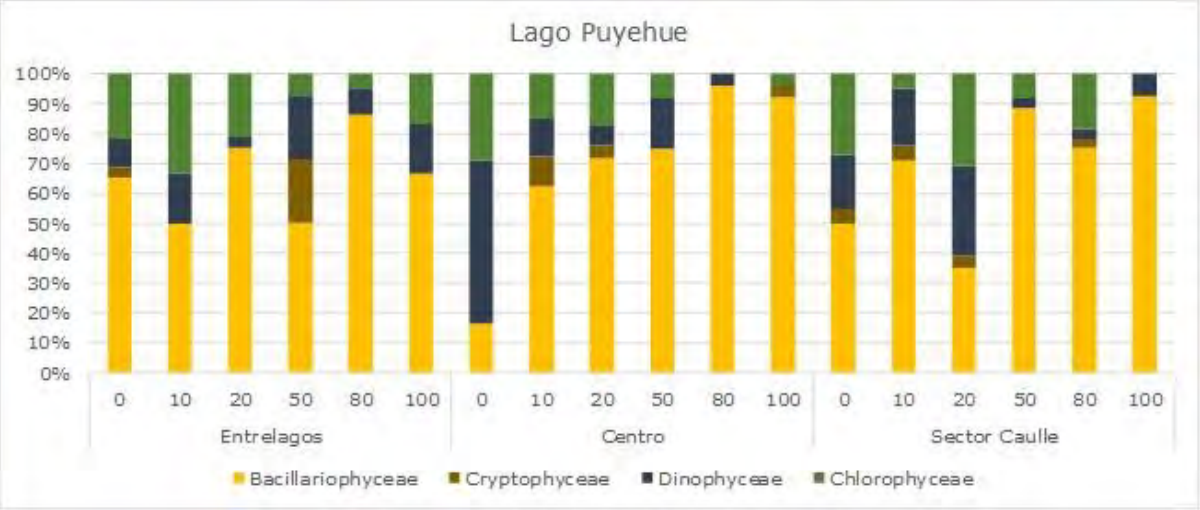


Lago Puyehue

a. Estructura comunitaria:

En la Figura 134 se muestra la composición de clases fitoplanctónicas en lago Puyehue. Se ve un patrón similar de un ensamble dominado por diatomeas, con clorofíceas y dinofíceas.

Figura 134. Composición fitoplanctónica en Lago Puyehue.



b. Índices de diversidad y bióticos:

En la Tabla 110, se entregan los índices de diversidad estimados para el lago Puyehue. Se observa que estación Entrelagos ha mostrado la mayor abundancia y riqueza de taxa. Por su parte el índice A/C sugiere condiciones de oligotrofia en la mayoría de los periodos.

Tabla 110. Índices de diversidad e índice biótico en Lago Puyehue.

Estación	Otoño 2014 (Entrelagos)					
Profundidad	0	10	20	50	80	100
Riquexa	14	12	12	8	8	4
Abundancia	10964	4757	8058	1849	2906	1585
I. Dominancia	0.312	0.125	0.248	0.194	0.426	0.486
I. Simpson	0.688	0.875	0.752	0.806	0.574	0.514
I. Shannon	1.688	2.224	1.881	1.866	1.348	0.983
I. Equidad	0.640	0.895	0.757	0.897	0.648	0.709
A/C	0	1.3	0.08	0.2	0	0
Estación	Otoño 2014 (Centro)					
Profundidad	0	10	20	50	80	100

Riquexa	5	13	8	6	3	5
Abundancia	3170	5282	6077	1585	3435	3302
I. Dominancia	0.358	0.139	0.479	0.250	0.855	0.543
I. Simpson	0.642	0.861	0.521	0.750	0.145	0.457
I. Shannon	1.268	2.241	1.179	1.583	0.324	0.950
I. Equidad	0.788	0.874	0.567	0.883	0.295	0.590
A/C	0	0.4	0	0.6	0	0.09
Estación	Otoño 2014 (Sector Caulle)					
Profundidad	0	10	20	50	80	100
Riquexa	6	8	7	8	7	4
Abundancia	2906	4887	3039	4756	4227	1718
I. Dominancia	0.298	0.363	0.221	0.471	0.319	0.373
I. Simpson	0.702	0.637	0.779	0.529	0.682	0.627
I. Shannon	1.426	1.428	1.665	1.202	1.405	1.119
I. Equidad	0.796	0.687	0.856	0.578	0.722	0.807
A/C	0	0.04	0.3	0	0.6	1.2

c. Presencia de algas nocivas:

Lago Puyehue no presenta presencia de algas nocivas.

d. Análisis de Grupos Funcionales:

En la Tabla 111 se observa que el grupo funcional dominante es P, el cual está representado por especies de diatomeas habituales en condiciones mesotróficas, y sensibles a la disminución de sílice.

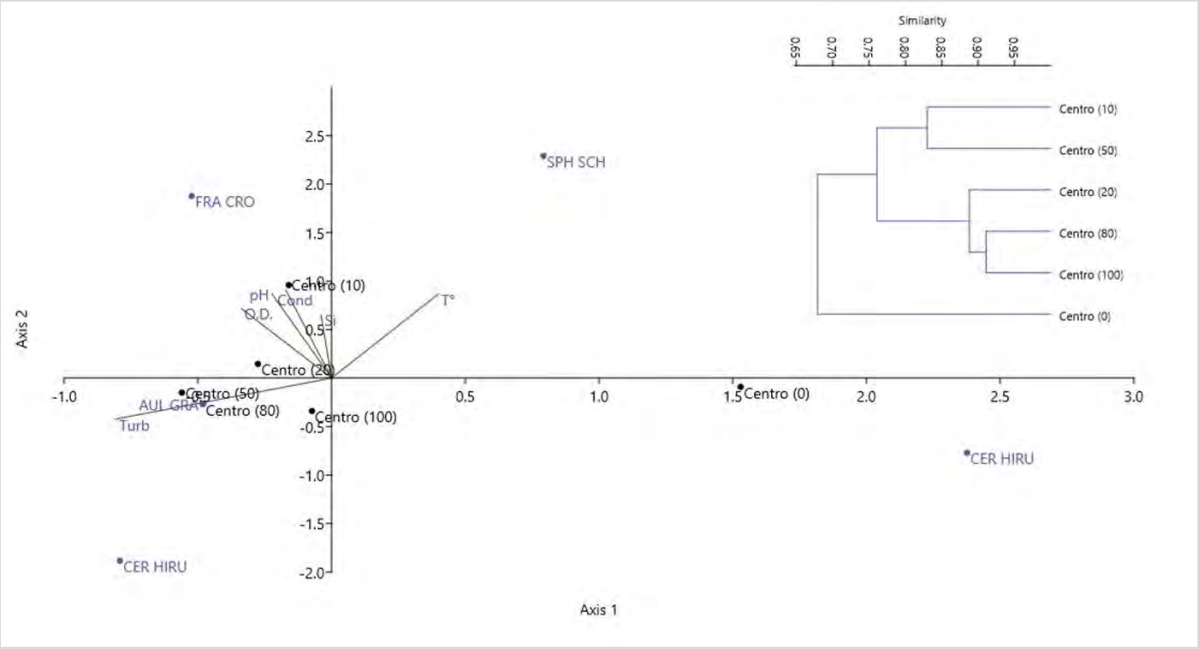
Tabla 111. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Puyehue.

Periodo	Otoño 2014																	
Estación	Entrelagos						Centro						Sector Caulle					
Profundidad	0	10	20	50	80	100	0	10	20	50	80	100	0	10	20	50	80	100
GF	P	P	P	P	P	P	LM	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	F	D	F	X2		F	P	F	F	LM			F	LM	LM			

e. Análisis de ordenación:

Lago Puyehue en otoño de 2014 mostró tres grupos de composición fitoplanctónica asociados a la profundidad. En la superficie (0 m) hubo una dominancia de *Ceratium hirundinella* (CER HIR), a los 10 y 20 m dominó *Fragilaria crotonensis* (FRA CRO), mientras que, en profundidades mayores a 50 m, el ensamble fitoplanctónico estuvo dominado por *Aulacoseira granulata* (AUL GRA), asociado además a los valores más altos de turbiedad (Figura 135).

Figura 135. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Puyehue.

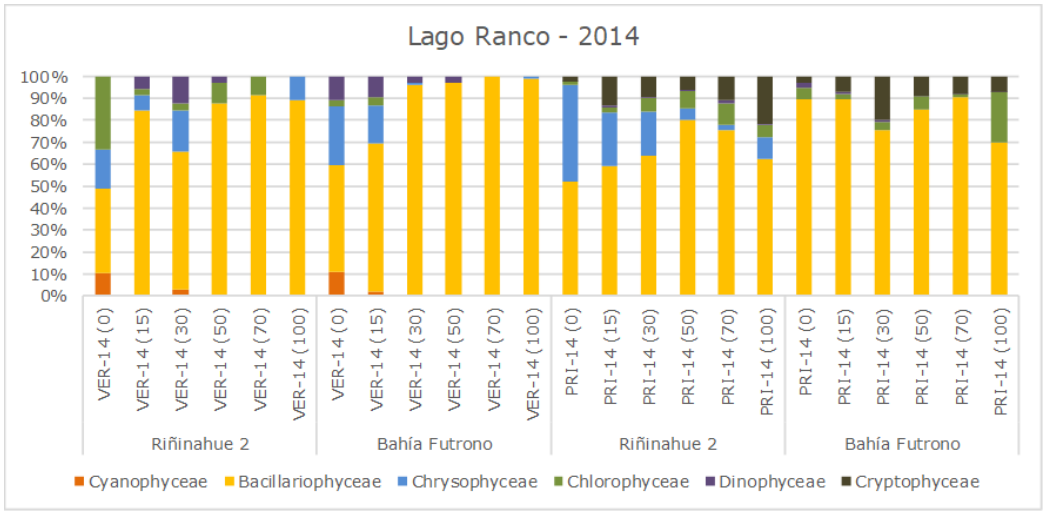


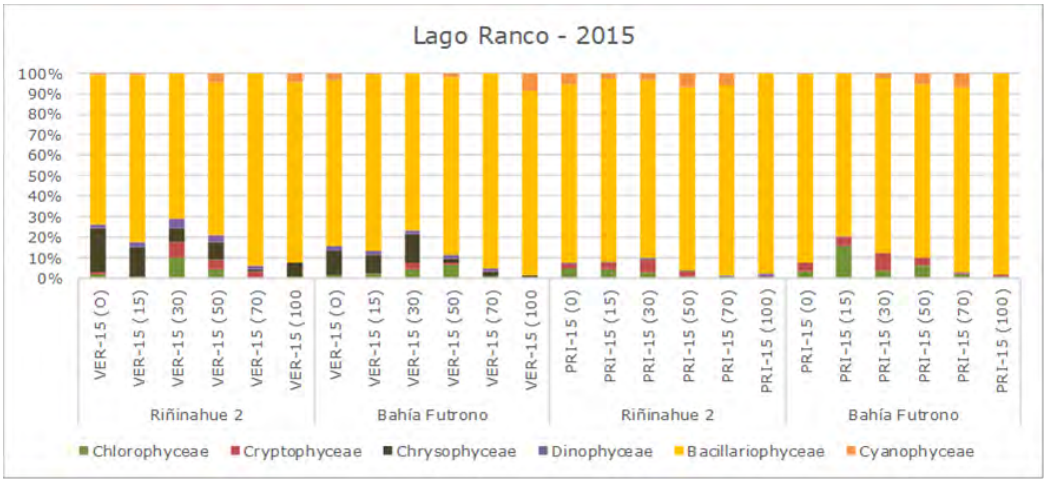
Lago Ranco

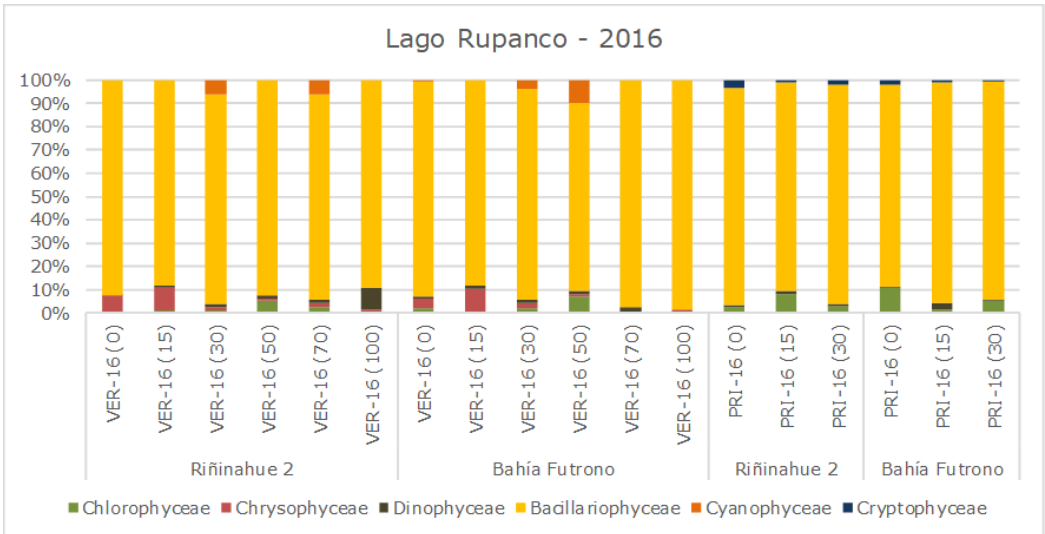
a. Composición taxonómica:

Lago Ranco en los tres años de monitoreo mostró una dominancia de diatomeas. No obstante, el año 2014 se observó una mayor diversidad de clases, resaltando también crisofíceas (Figura 136).

Figura 136. Composición fitoplanctónica en lago Ranco.







b. Índices de diversidad e índice biótico:

Bahía Futrono ha mostrado las menores riquezas en verano de 2014 y primavera de 2016 con solo 6 taxa. Mientras que Riñiñahue 2 ha mostrado la mayor riqueza con 31 taxa en primavera del 2014. Esta misma estación ha mostrado los valores más bajos de abundancia con cerca de 3000 Cel/L en verano del 2014, en comparación a la primavera del 2014 en Bahía Futrono donde se registraron valores mayores al 1 millón de Cel/L. El índice biótico A/C de Stockner arrojó valores cercanos a la oligotrofia en casi todos los periodos de estudio (Tabla 114).

c. Presencia de algas nocivas:

En lago Ranco se registraron 6 taxa de cianofíceas con diferente presencia entre las distintas estaciones y periodos de monitoreo (Tabla 112).

Tabla 112. Presencia de algas cianofíceas en lago Ranco.

Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2						Bahía Futrono					
Periodo	Verano 2014						Verano 2014						Primavera 2014						Primavera 2014					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
Anabaena	■		■				■	■							■									
Oscillatoria																								■
Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2						Bahía Futrono					
Periodo	Verano 2014						Verano 2014						Primavera 2014						Primavera 2014					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
Dolichospermum	■	■		■			■	■				■		■					■					
Gomphosphaeria						■				■			■	■	■	■	■				■	■	■	
Limnococcus																	■							
Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2			Bahía Futrono								
Periodo	Verano 2016						Verano 2016						Primavera 2016											
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	0	15	30						
Dolichospermum							■		■															
Gomphosphaeria			■		■				■	■														

d. Análisis de Grupos Funcionales:

Lago Ranco mostró una predominancia de diatomeas y, por ende, de grupos funcionales representados por diatomeas. Los grupos funcionales dominantes fueron P y B, los cuales se encuentran representados por taxa típicos de lagos mesotróficos y estratificados (Tabla 113).

Tabla 113. Análisis de Grupos Funcionales de fitoplancton en lago Ranco.

Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2						Bahía Futrono					
Periodo	Verano 2014						Verano 2014						Primavera 2014						Primavera 2014					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
GF	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	E	E	E	B	E	E	E	E	E	B	E	E
	E		E				E	X2	X2				B	B	B		X2	X2	B	B	B		B	B
Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2						Bahía Futrono					
Periodo	Verano 2014						Verano 2014						Primavera 2014						Primavera 2014					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
GF	E	E	B	B	B	B	E	B	P	B	B	P	P	P	P	P	P	B	P	P	P	P	P	P
	B	B					B		B			B	B	B	B	B	B		B	B	B	B	B	B
Estación	Riñinahue 2						Bahía Futrono						Riñinahue 2			Bahía Futrono								
Periodo	Verano 2016						Verano 2016						Primavera 2016											
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	0	15	30						
GF	B	B	B	P	P	B	B	B	B	P	P	P	P	P	P		P	P						
				B	B					B	B	B												

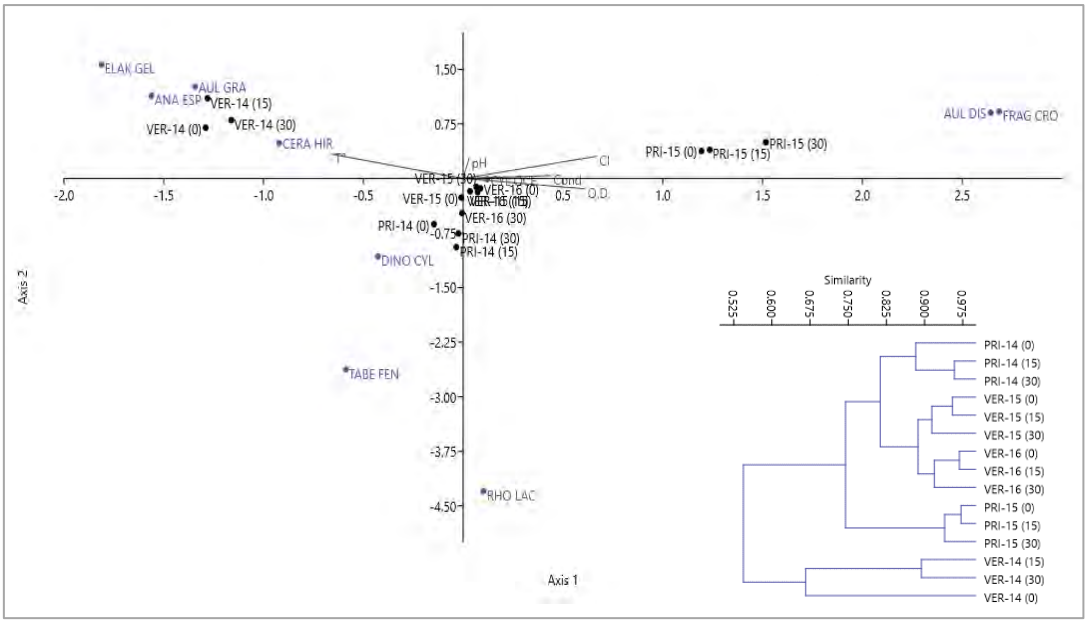
Tabla 114. Índices de diversidad e índice biótico A/C en lago Ranco.

Estación	Riñinahue 2												Bahía Futrono											
Periodo	VER-14						PRI-14						VER-14						PRI-14					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
Riqueza	13	11	8	9	8	6	21	22	31	25	19	21	12	16	16	9	6	12	21	21	24	26	18	19
Abundancia	5151	20082	8455	4227	3037	4887	588271	971280	783554	439271	175296	211853	6733	17964	17436	4622	9114	15587	832962	3187871	1387768	535668	408389	214120
I. Dominancia	0.13	0.52	0.41	0.24	0.29	0.39	0.40	0.33	0.30	0.36	0.29	0.31	0.12	0.21	0.36	0.21	0.49	0.55	0.41	0.41	0.37	0.25	0.43	0.21
I. Simpson	0.87	0.48	0.59	0.76	0.71	0.61	0.60	0.67	0.70	0.64	0.71	0.69	0.88	0.79	0.64	0.79	0.51	0.45	0.59	0.59	0.63	0.75	0.57	0.79
I. Shannon	2.25	1.16	1.28	1.72	1.60	1.19	1.51	1.52	2.21	1.85	1.49	1.63	1.25	1.53	1.54	0.95	0.55	1.14	1.47	1.34	1.63	1.90	1.32	1.47
I. Equidad	0.88	0.48	0.62	0.78	0.77	0.66	0.38	0.48	0.52	0.52	0.57	0.55	0.93	0.72	0.58	0.80	0.58	0.42	0.38	0.37	0.46	0.59	0.49	0.66
A/C	1.40	0.15	0.00	0.92	1.22	1.67	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	1.25	0.04	0.15	0.45	2.47	3.44	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03
Estación	Riñinahue 2												Bahía Futrono											
Periodo	VER-15						PRI-15						VER-15						PRI-15					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100	0	15	30	50	70	100
Riqueza	18	22	18	20	12	13	22	23	24	21	14	10	19	14	18	19	13	10	21	14	20	19	18	13
Abundancia	241861	391307	165171	176968	99494	69015	338996	331528	323267	242646	197421	22608	444400	523846	135676	173428	122305	37423	322875	255231	303211	389341	100474	199781
I. Dominancia	0.52	0.62	0.37	0.30	0.45	0.39	0.21	0.24	0.20	0.19	0.22	0.33	0.61	0.74	0.41	0.52	0.53	0.32	0.21	0.18	0.17	0.15	0.15	0.27
I. Simpson	0.48	0.38	0.63	0.70	0.55	0.61	0.79	0.76	0.80	0.81	0.78	0.67	0.39	0.26	0.59	0.48	0.47	0.68	0.79	0.82	0.83	0.85	0.85	0.73
I. Shannon	1.08	0.91	1.67	1.82	1.26	1.46	2.01	1.87	1.97	1.95	1.78	1.36	0.94	0.62	1.39	1.30	1.11	1.44	1.83	1.90	2.01	2.16	2.13	1.53
I. Equidad	0.37	0.29	0.58	0.61	0.51	0.57	0.65	0.60	0.62	0.64	0.67	0.59	0.32	0.24	0.48	0.44	0.43	0.62	0.60	0.72	0.67	0.73	0.74	0.59
A/C	0.02	0.02	0.00	0.02	0.06	0.03	0.20	0.13	0.22	0.23	0.34	0.19	0.03	0.00	0.01	0.01	0.04	0.04	0.26	0.22	0.45	0.14	0.21	0.13
Estación	Riñinahue 2												Bahía Futrono											
Periodo	VER-16						PRI-16						VER-16						PRI-16					
Profundidad	0	15	30	50	70	100	0	15	30				0	15	30	50	70	100	0	15	30			
Riqueza	7	10	16	15	19	13	8	11	9				19	10	18	18	11	12	9	6	6			
Abundancia	197818	329171	237143	118763	83365	92810	286408	374373	213891				282761	218266	218262	69341	47777	90449	139279	236666	352382			
I. Dominancia	0.76	0.62	0.44	0.24	0.15	0.26	0.35	0.41	0.43				0.77	0.65	0.47	0.18	0.27	0.23	0.39	0.49	0.45			
I. Simpson	0.24	0.38	0.56	0.76	0.85	0.74	0.65	0.59	0.57				0.23	0.35	0.53	0.82	0.73	0.77	0.61	0.51	0.55			
I. Shannon	0.54	0.85	1.34	1.76	2.16	1.76	1.25	1.11	1.03				0.66	0.77	1.35	2.02	1.60	1.71	1.17	0.90	0.93			
I. Equidad	0.28	0.37	0.48	0.65	0.73	0.69	0.60	0.46	0.47				0.22	0.34	0.47	0.70	0.67	0.69	0.53	0.50	0.52			
A/C	0.00	0.00	0.02	0.11	0.12	0.13	0.83	0.75	1.01				0.02	0.07	0.19	0.60	0.14	0.14	1.36	2.01	0.86			

e. Análisis de ordenación:

A pesar de la predominancia de diatomeas en lago Ranco, se observaron algunas diferencias entre los periodos de monitoreo en la estación Riñiñahue 2, entre los 0 y los 30 m de profundidad (Figura). En primavera del 2015 se ve una clara dominancia de *Fragilaria crotonensis* (FRA CRO) y *Aulacoseira distans* (AUL DIS) y asociados a valores más altos de conductividad y oxígeno disuelto; mientras que en verano del 2014 hubo dominancia de taxa como *Aulacoseira granulata* (AUL GRA) y *Elakatrotik* (ELAK GEL) (Figura 137).

Figura 137. Análisis de ordenación entre variables bióticas y abióticas en lago Ranco.



4.3. RESULTADOS ACTIVIDADES ETAPA 3.

La Etapa 3 de esta presente consultoría consistió en disponer de material para la difusión de los resultados y de la realización de un taller en la ciudad de Santiago. Para esto, fueron confeccionadas fichas en tamaño carta e infografías para caga lago que incluyeron información de periodo de medición, estaciones de medición, características morfológicas y evaluación de la condición trófica. En ANEXO DIGITAL 6 son entregadas las fichas que muestran la información anteriormente señalada en formato de dos planas tamaño carta que fueron confeccionadas para cada lago. De igual modo en ANEXO DIGITAL 7 son entregadas las infografías que muestran la información anteriormente señalada en formato de tamaño modificable que fueron confeccionadas para cada lago.

Una muestra de este material es entregada para Lago Vichuquén y Lago Villarica.

Ilustración 1. Ficha confeccionada para lago Vichuquén.

RED DE CALIDAD DE LAGOS
Ficha

1.- ANTECEDENTES

Lago Vichuquén

Región del Maule

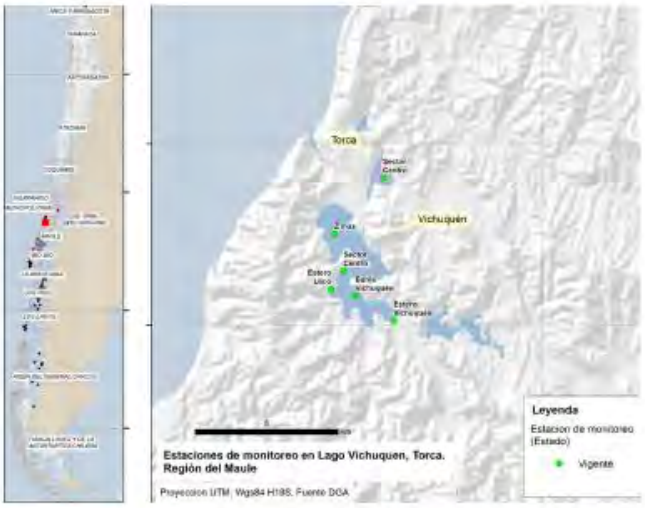
Cuenca: Costeras entre límite Region y R. Mataquito

Cordenadas UTM
Este (WGS84/19H): 221027
Norte (WGS84/19H): 6143869

Códigos BNA:
Z max
6144653 N - 219423 E (WGS84, 19)
BNA: 07000011 (Estación vigente)

Sector Centro
6142635 N - 220061 E (WGS84, 19)
BNA: 07000009-1 (Estación vigente)

Bahía Vichuquén
6141308 N - 220804 E (WGS84, 19)
BNA: 07000007-5 (Estación vigente)



2.- DESCRIPCIÓN CUERPO LACUSTRE

Caracterización morfométrica: El lago Vichuquén se ubica en el área costera de la séptima región del Maule. Tiene una longitud máxima es de 7.1 km, una superficie aproximada de 12.96 km^2 y una profundidad máxima de 31 m (DGA/DCPRH 31, 2014).

Fuente: DGA/DCPRH Minuta N°31 del 2014. Propone monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en lago Vichuquén y laguna Torca, región del Maule.

Ecoregión: Mediterráneo Costero **Periodo de estudio:** 2013-2017

3.- INFORMACIÓN DEL CUERPO LACUSTRE

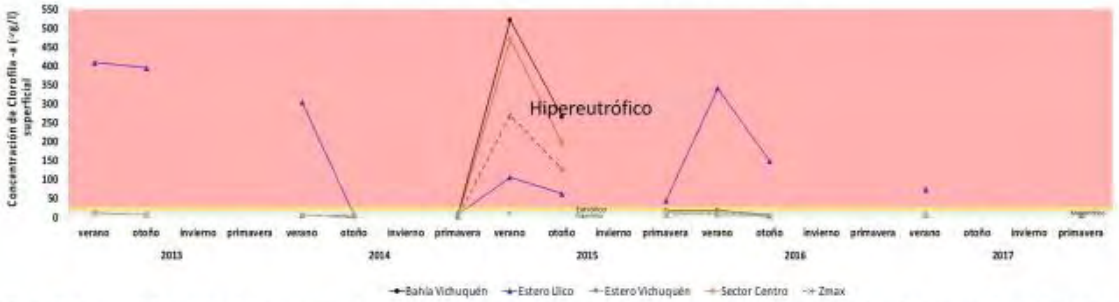
Trofía: Entre el verano 2013 y primavera 2017 predominó la condición hipereutrófica en 4 de las 5 estaciones de muestreo, y solamente el estero Vichuquén no presentó históricamente esta condición, aunque si llegó a ser eutrófica en la primavera de 2015. Durante el año 2017 la condición trófica tendió a disminuir, aunque la estación Estero Llico se mantuvo hipereutrófica.

Fitoplacton: El fitoplancton en lago Vichuquén fue monitoreado entre los años 2014 y 2017. El año 2014 predominaron cuatro clases de fitoplancton (clorofíceas, diatomeas, criptofíceas y cianoficeas). El año 2015 sólo dominan 2 grupos (clorofíceas y cianoficeas) mientras que el año 2016 se observó mayor diversidad de clases. Las cianoficeas estuvieron presentes en todos los periodos de monitoreo, pero mostró mayor riqueza el año 2016 y dominaron en el verano del 2017.

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN CUERPOS LACUSTRES - DGA 2018.

4.- ANÁLISIS RESULTADOS HISTÓRICOS

Dinámica temporal del estado trófico del lago Vichuquén



Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Vichuquén de acuerdo a Smith et al. (1999).

5.- FOTOGRAFÍAS

Ilustración 2. Infografía confeccionada para Lago Vichuquén.

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA
EN CUERPOS LACUSTRES **DGA 2018**

1 Antecedentes
Lago Vichuquén

Región del Maule

Cuenca:
Costeras entre limite Region y R. Mataquito

Cordenadas UTM
Este (WGS84/19H): 221027
Norte (WGS84/19H): 6143869

Códigos BNA:
Z max
6144653 N - 219423 E (WGS84, 19)
BNA: 07000011 (Estación vigente)

Sector Centro
6142635 N - 220061 E (WGS84, 19)
BNA: 07000009-1 (Estación vigente)

Bahía Vichuquén
6141308 N - 220804 E (WGS84, 19)
BNA: 07000007-5 (Estación vigente)

Estaciones de monitoreo en Lago Vichuquen, Torca, Región del Maule

2 DESCRIPCIÓN CUERPO LACUSTRE

Caracterización morfométrica: El lago Vichuquén se ubica en el área costera de la séptima región del Maule. Tiene una longitud máxima es de 7.1 km, una superficie aproximada de 12.96 km² y una profundidad máxima de 31 m (DGA/DCPRH 31, 2014).

Fuente: DGA/DCPRH Minuta N°31 del 2014. Propone monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en lago Vichuquén y laguna Torca, región del Maule.

Ecoregión: Mediterráneo Costero **Periodo de estudio:** 2013-20

3 INFORMACIÓN DEL CUERPO LACUSTRE

Trofía: Entre el verano 2013 y primavera 2017 predominó la condición hipereutrófica en 4 de las 5 estaciones de muestreo, y solamente el estero Vichuquén no presentó históricamente esta condición, aunque si llegó a ser eutrófica en la primavera de 2015. Durante el año 2017 la condición trófica tendió a disminuir, aunque la estación Estero Llico se mantuvo hipereutrófica.

Fitoplacton: El fitoplancton en lago Vichuquén fue monitoreado entre los años 2014 y 2017. El año 2014 predominaron cuatro clases de fitoplancton (clorofíceas, diatomeas, criptofíceas y cianofíceas). El año 2015 sólo dominan 2 grupos (clorofíceas y cianofíceas) mientras que el año 2016 se observó mayor diversidad de clases. Las cianofíceas estuvieron presentes en todos los periodos de monitoreo, pero mostró mayor riqueza el año 2016 y dominaron en el verano del 2017.

4 ANÁLISIS RESULTADOS HISTÓRICOS

Condición trófica histórica para cinco estaciones de monitoreo del lago Vichuquén de acuerdo a Smith et al. (1999).

Ilustración 3. Ficha confeccionada para Lago Villarica.

RED DE CALIDAD DE LAGOS
Ficha

INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

1.- ANTECEDENTES

Lago Villarrica

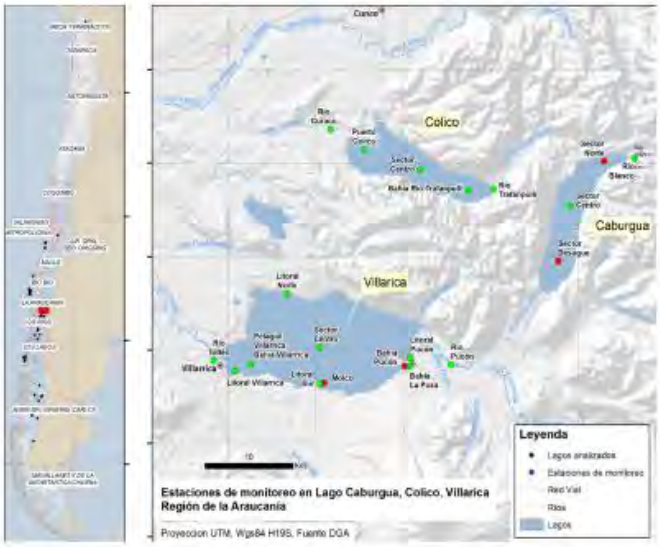
Región de la Araucanía

Cuenca: Rio Tolten

Cordenadas UTM
Este (WGS84/19H): 232737
Norte (WGS84/19H): 5650137

Códigos BNA:

Bahía Pucón
242754 E - 5648660 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420008-3 (Estación vigente).
Bahía Villarrica
225187 E - 5647655 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420005-9 (Estación suspendida)
Pelagial Villarrica
225187 E - 5647655 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420005-9 (Estación vigente)
La Poza
243198 E - 5648363 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420007-5 (Estación vigente)
Molco
751513 E - 5647004 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420006-7 (Estación vigente)
Litoral Villarrica
741038 E – 5648014 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420011-3 (Estación vigente)
Sector Centro
750739 E – 5650548 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420010-5 (Estación vigente)
Litoral Sur
750780 E - 5646596 N (PSDA 56, 19)
BNA: 09420012-1 (Estación vigente)



Litoral Norte
746795 E - 56560 N (WGS 84, 18) BNA: 09420014-8 (Estación vigente)
Litoral Pucón
243157 E - 5649300 N (PSDA 56, 19) BNA: 09420013-K (Estación vigente)
Rio Pucon Pasarela Queulle
247.840 E - 5648833 N (WGS 84, 19) BNA: 09418001-5 (Estación vigente)
Río Toltén en Villarica
220979 E - 5647769 N (WGS 84, 19) BNA: 09420001-6 (Estación vigente)

2.- DESCRIPCIÓN CUERPO LACUSTRE

Caracterización morfométrica: Lago Villarica pertenece a la hoya hidrográfica del río Toltén. Este lago tiene una línea de costa de 71.2 km, un área superficial de 175.9 km², un volumen de 21 km³ y una profundidad máxima de 165 m (DGA/DCPRH 216, 2010).
Fuente: DGA/DCPRH Minuta N°216 del 2010. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Villarrica.

Ecoregión: Valdiviano Araucano **Periodo de estudio:** 1986 - 2017

3.- INFORMACIÓN DEL CUERPO LACUSTRE

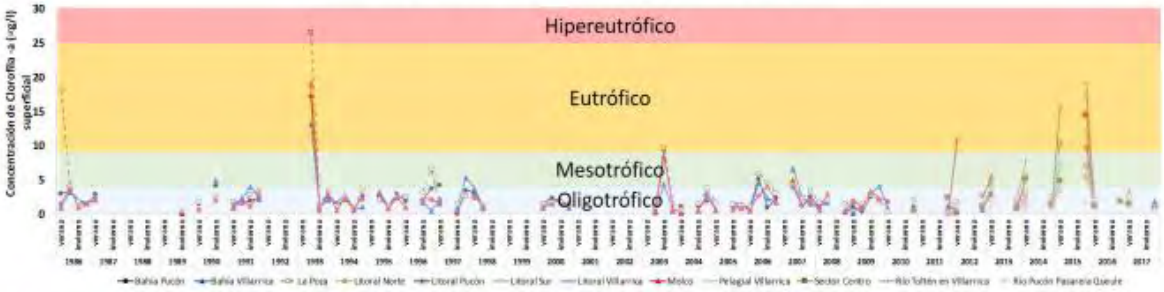
Trofía: Desde 1986 hasta el 2010 el estado de este lago fue oligotrófica - mesotrófica, sin embargo, se registraron eventos eutróficos e hipereutróficos en las estaciones Bahía la Poza en 1986 y en La Poza, Molco, Bahía Pucón y Bahía Villarrica en 1993. A partir de 2011, las nuevas estaciones analizadas se presentaron como mesotróficas y eutróficas durante algunas campañas, pero como oligotróficas o mesotróficas en otras

Fitoplacton: Fuente: DGA/DCPRH Minuta N°216 del 2010. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Villarrica.

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN CUERPOS LACUSTRES - DGA 2018.

4.- ANÁLISIS RESULTADOS HISTÓRICOS

Dinámica temporal del estado trófico del lago Villarrica



Condición trófica histórica para tres estaciones de monitoreo del lago Villarrica de acuerdo a Smith et al. (1999).

5.- FOTOGRAFÍAS

Ilustración 4. Infografía confeccionada para lago Villarica.

De acuerdo con lo ofrecido en la propuesta, la consultora organizó y realizó el Taller de difusión de los resultados obtenidos el día 20 de noviembre del año 2018 en la Ciudad de Santiago. Para ello se formuló un programa que se consensuó con la Inspección Fiscal procediendo enseguida a invitar a diversas organizaciones públicas, privadas, de la sociedad civil y parlamentari@s.

Ilustración 5. Programa Taller de difusión de resultados.

PROGRAMA TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN CUERPOS LACUSTRES

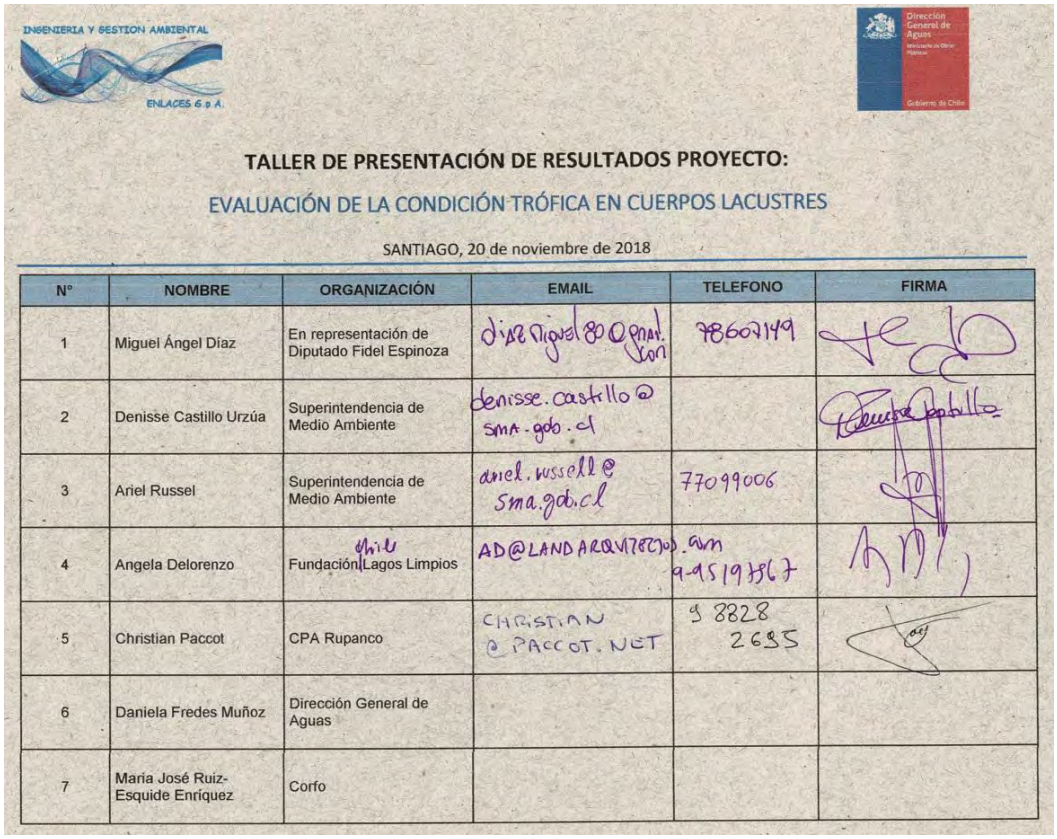
SANTIAGO, 20 de noviembre de 2018

Horario	Contenido
09:00 – 09:15	Recepción
09:15 – 09:30	Palabras de bienvenida: Diego San Miguel, Jefe de la Unidad de Desarrollo, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, DGA
09:30 – 10:00	Presentación y antecedentes del Proyecto *Dra. Ingrid Alvial, Jefa de Proyecto*
10:00 – 10:30	Resultados Análisis de Condición Trófica *Dra. María Alejandra Paredes, Coordinadora de Proyecto*
10:30 – 10:50	Café
10:50 – 11:20	Resultados Composición Fitoplanctónica *Dra. Ingrid Alvial, Jefa de Proyecto*
11:20 – 11:50	Discusión y Conclusiones

En este taller, hubo una asistencia de 22 personas (Ilustración 6) en donde se hicieron las tres presentaciones de resultados:

- Presentación y antecedentes del Proyecto.
- Resultados Análisis de Condición Trófica.
- Resultados Composición Fitoplanctónica.

Ilustración 6. Lista de asistencia Taller de difusión de resultados.



INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL
ENLACES G p A.

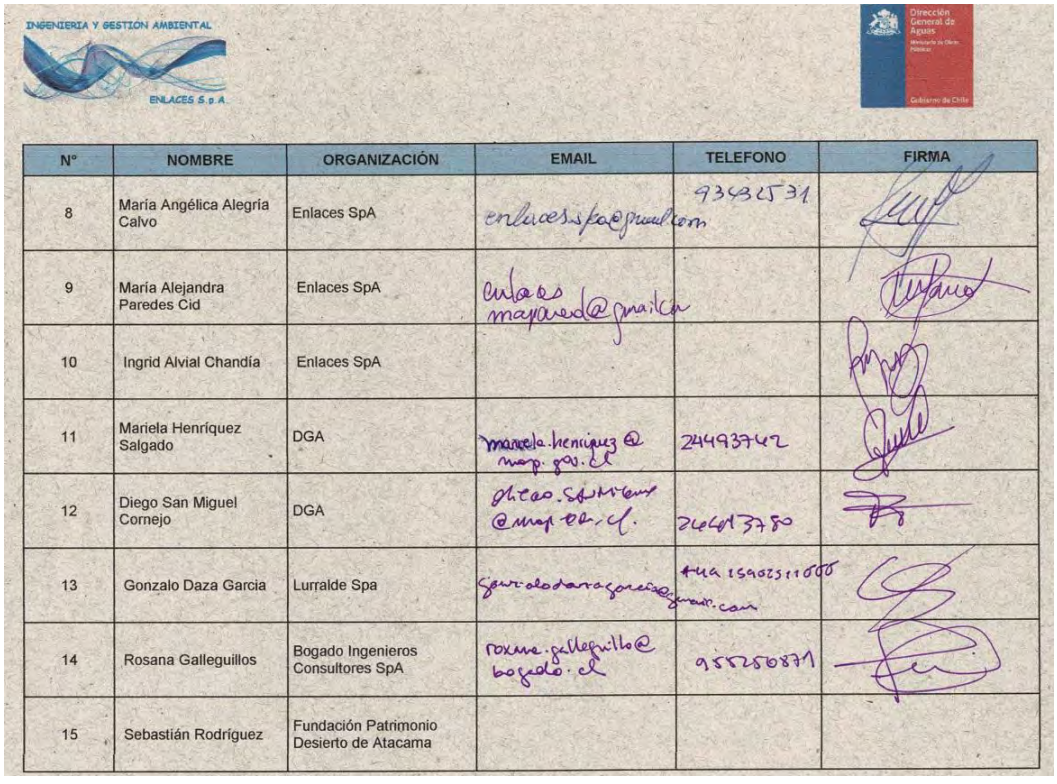
Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TRÓFICA EN CUERPOS LACUSTRES

SANTIAGO, 20 de noviembre de 2018

N°	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
1	Miguel Ángel Díaz	En representación de Diputado Fidel Espinoza	diazmiguel80@gmail.com	78607149	
2	Denisse Castillo Urzúa	Superintendencia de Medio Ambiente	denisse.castillo@sma.gob.cl		
3	Ariel Russel	Superintendencia de Medio Ambiente	ariel.russell@sma.gob.cl	77099006	
4	Angela Delorenzo	Fundación Chile Lagos Limpios	AD@LANDARQUITECTOS.com	9-95197867	
5	Christian Paccot	CPA Rupanco	CHRISTIAN@PACCOT.NET	9 8828 2695	
6	Daniela Fredes Muñoz	Dirección General de Aguas			
7	María José Ruiz-Esquide Enríquez	Corfo			



INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL
ENLACES S.p.A

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

N°	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
8	María Angélica Alegría Calvo	Enlaces SpA	enlaces.spa@gmail.com	93432531	
9	María Alejandra Paredes Cid	Enlaces SpA	enlaces.mayared@gmail.com		
10	Ingrid Alvial Chandía	Enlaces SpA			
11	Mariela Henríquez Salgado	DGA	mariela.henriquez@mop.gov.cl	24493742	
12	Diego San Miguel Cornejo	DGA	diego.sanmiguel@mop.gov.cl	26691780	
13	Gonzalo Daza Garcia	Lurralde Spa	gonzalodazagarcia@gmail.com	+44 1509231000	
14	Rosana Galleguillos	Bogado Ingenieros Consultores SpA	rosana.galleguillo@bogado.cl	955250871	
15	Sebastián Rodríguez	Fundación Patrimonio Desierto de Atacama			

INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL
ENLACES S.p.A.

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

N°	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
16	Matysol Azolar	Lab Ambiental	marysol.azolar@mop.gov.cl	24493744	[signature]
17	Heriberto Moya	DGA - DCPRH	heriberto.moya@mop.gov.cl	24493750	[signature]
18	Carmen Herrera	DGA RMS	CARMEN.HERRERA@MOP.GOV.CL	24496651	[signature]
19	Doris Aguila G.	DGA RMS	doris.aguila@mop.gov.cl	24496663	[signature]
20	Jaime Alegría	ENLACES SPA	jaimealegriacalvo55@gmail.com	92657564	[signature]
21	Denisse M.	Eco Hyd.	d.marquez.g@gmail.com	953336010	[signature]
22	Hernan Latuz	MMA	hlatuz@mma.gob.cl	25735701	[signature]
23	Andrea Osses	DGA	andrea.osses@mop.gov.cl	24493906	[signature]

INGENIERIA Y GESTION AMBIENTAL
ENLACES S.p.A.

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

N°	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	EMAIL	TELEFONO	FIRMA
24	Amerindia Jarillo.	MMA	ajaramillo@mma.gob.cl	951161290	[signature]
25	Cintlya Montecinos	DGA	cintlya.montecinos@mop.gov.cl	224493861	[signature]
26	Yanie Ulloa Z	DGA	yanie.ulloa@mop.gov.cl	224493870	[signature]
27					
28					
29					
30					
31					

5 Discusión

Condición hidrodinámica de los cuerpos lacustres

Durante el periodo de estudio, la estación de muestreo más profunda de los cuerpos de agua analizados presentó estratificación en la mayor parte del año. Sin embargo, se observó un periodo estacional con mezcla en los sistemas Vichuquén, Lloncao, Lleu − Leu, Colico, Caburgua, Calafquén, Pirihueico, Ranco, Maihue, Puyehue y Llanquihue, que generalmente ocurrió durante los periodos fríos (invierno). A pesar de que existe carencia de datos como para realizar un diagnóstico completo, se detectó que la mayoría de los sistemas presentan una condición hidrodinámica monomíctica de invierno.

Disponibilidad sub-acuática de irradiancia: Zona eufótica (Z_{eu})

La mayoría de los sistemas lacustres analizados no presentaron limitación por luz para el fitoplancton, salvo la laguna Torca, laguna Vichuquén, laguna Lloncao y lago Colico, aunque no se evidenció relación con la condición hidrodinámica general. Por otra parte, de estos sistemas, solamente la laguna Torca y Vichuquén se encontraron con algún nivel de eutrofización, en algunos periodos de tiempo bajo algunos de los índices analizados, por lo que solamente en estos dos casos, se puede inferir limitación por luz debido a autosombreo de fitoplancton.

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

Los análisis de nutrientes de los sistemas lacustres revelaron que algunos sistemas ubicados en la X región, a mencionar Yaldad, Natri y Tarahuin, poseen las menores concentraciones de sílice, mientras que Neltume, Calafquén y Villarrica, mostraron las mayores concentraciones promedio de este macronutriente. Por otro lado, los lagos Colico, Pirihieico, Lleu − Lleu y Yaldad, mostraron las menores concentraciones promedio de fósforo total, a diferencia de la laguna Petrel, que exhibió la mayor concentración de este nutriente. Los sistemas con menores valores de nitrógeno total fueron Tarahuin, San Antonio y Yaldad, mientras que Vichuquén mostró la mayor concentración de nitrógeno total. De lo anterior se evidencia que el lago Yaldad es pobre en todos los macronutrientes que pueden conducir a procesos de eutrofización, y en situación parecida se encontraría el lago Tarahuin, aunque se debe tener en cuenta que ambos sistemas presentan un bajo número de muestreos para el periodo analizado.

De acuerdo a la razón de Redfield-Brzezinski (1985), en este estudio, se encontró limitación por sílice en relación al nitrógeno total o en relación al fósforo total, aunque en la mayoría de los casos, esto es un reflejo de la alta concentración promedio de estos dos macronutrientes, por ejemplo, en

Vichuquén, y Aculeo, ambos sistemas, que además mostraron estados de eutrofización severos, bajo la mayoría de los análisis de trofía utilizados en este estudio.

La razón de Redfield (1934), evidenció que la mayoría de los cuerpos lacustres presentó limitación tanto por nitrógeno como por fósforo, la cual es probablemente alternada de acuerdo al agotamiento de cada tipo de nutriente al ser consumido por el fitoplancton, como por las dinámicas de ingreso de estos al sistema, ya sea por vías aloctonas como autóctonas. No obstante, hubo sistemas en los que no se encontró limitación por nitrógeno (Lencán, Lloncao, Lleu- Lleu, Colico y Natri) o por fósforo (Tarahuin, San Antonio y Yaldad), sin embargo, este hallazgo no se relaciona con un alto nivel de trofía, ya que, de estos sistemas, solamente la laguna Lencán se encontró en estado eutrofizado e hipereutrofizado. Por otro lado, no se encontró relación entre el tipo de nutriente limitante y la condición hidrodinámica del cuerpo de agua.

Determinación de la condición y evolución trófica en los cuerpos lacustres.

En este estudio, se utilizaron varios índices y criterios para determinar el estado trófico de los sistemas lacustres de la red mínima de lagos; Smith et al (1999), Carlson (1977), Aizaki et al (1981) y OCDE (1982). El primer caso, utiliza rangos de valores superficiales de clorofila-a, nitrógeno total y fósforo total, así como la profundidad del disco Secchi en torno a la definición de Nürnberg (1966) para cuerpos lacustres. Los dos casos siguientes son índices que utilizan valores superficiales de clorofila-a, fósforo total y profundidad del disco Secchi, con la diferencia que Carlson (1977) se basa en la transparencia de agua como indicador de trofía y la relación de la clorofila-a y la concentración de fósforo con esta variable, mientras que Aizaki et al (1981), argumentan que en muchos tipos de lagos la transparencia de la columna de agua no se debe siempre a la concentración de clorofila-a, si no que a otros elementos, como material particulado, CDOM, etc., por lo que modificaron el índice para que estuviese basado en la concentración de clorofila-a superficial. El criterio de la OCDE (1982), al igual que Smith et al (1999), utiliza rangos de concentración de clorofila-a y de fósforo total, pero establece que los valores se analizan en forma anual y considerando la profundidad de la zona eufótica. Los criterios de Smith et al (1999), Carlson (1977) y Aizaki et al (1981) utilizan 4 categorías de estado trófico de los cuerpos lacustres (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico), mientras que el criterio de la OCDE (1982), utiliza 5 categorías agregando el estado ultraoligotrófico.

Los resultados obtenidos al aplicar todos estos criterios para establecer el estado trófico de los cuerpos lacustres presentaron algunas variaciones, sin embargo, concordaron en que los sistemas con mayores estados de trofía, es decir, eutrófico o hipereutrófico fueron, la laguna Aculeo, laguna Petrel, laguna Torca, lago Vichuquén, laguna Lencán y laguna Antiquina.

En la Tabla 115 se puede observar que los índices de Carlson et al. (1977) y Aizaki et al. (1981), podrían estar subestimando el nivel trófico de los sistemas reconocidos en Chile por su alto nivel de

trofía, como por ejemplo Aculeo, Torca y Vichhuquén, a la vez que podrían estar sobreestimando las condiciones de los cuerpos lacustres menos eutrofizados, como Panguipulli y Neltume.

El criterio de la OCDE (1982), al tener un análisis anual, reveló en mayor detalle la evolución trófica de cada sistema y cuales variables estaban ocasionando el estado trófico del sistema. Por ejemplo, se observó que en la laguna Aculeo, la trasparencia de la columna de agua y la concentración de clorofila-a otorgan un mayor estado trófico que la concentración de fósforo total a lo largo del periodo de estudio. Además, este índice permitió visualizar algunos sistemas que, aunque en promedio no se mostraron eutrofizados con los otros índices, si lo estuvieron en algunos periodos dentro del rango de tiempo analizado bajo la lupa de OCDE, como fueron; la laguna Grande de San Pedro, el lago Lanalhue, laguna Butaco, lago Caburgua, lago Villarrica, lago Maihue, lago Todos los Santos, lago Llanquihue y el lago Chapo. Llamó la atención que, bajo este análisis, también se observó eutrofización en El Perro, Yaldad y Tepuhueico, que bajo el análisis según los demás criterios se mostraron más saludables. Estos resultados hacen reflexionar que algunos de estos índices pueden estar sub o sobre estimando el estado trófico de los sistemas analizados, por lo que usar un conjunto de ellos permite una mejor apreciación de las condiciones tróficas reales. Por otro lado, se debe tener en cuenta que este criterio se basa en la profundidad de la zona eufótica, dato que no siempre estuvo disponible para todos los cuerpos lacustres analizados, y que, además, en algunas ocasiones fue mucho mayor que la máxima profundidad a la que se muestreó la clorofila-a y los nutrientes.

Considerando que la condición trófica fue variable entre los índices y criterios analizados, se decidió utilizar rangos de valores brutos para realizar un análisis temporal de cada estación de muestreo de la red de mínima de lagos. Como dentro de la base de datos disponible, la concentración de la clorofila-a fue la más completa y robusta se decidió utilizar esta variable, y utilizar el criterio de Smith (1999) ya que siempre hubo registros de valores de clorofila-a superficial, lo que no ocurrió en el caso de haber usado el criterio de la OCDE (1982) que requiere considerar la profundidad de la zona eufótica. A partir de la Tabla 116, que resume la evolución trófica más alta alcanzada por cada cuerpo lacustre en base a las estaciones de muestro que presentaron información, se puede observar que la mayoría de los cuerpos lacustres que se encontraron en algún momento en condiciones eutrófica a hipereutrófica se encuentran en las regiones centro- sur de Chile, mientras que, en la mayoría de los más australes, han prevalecido las condiciones oligo y mesotróficas, a excepción de Villarrica y Llanquihue.

De acuerdo a estos análisis, los sistemas que muestran alguna tendencia a aumento en su estado trófico en el tiempo son; Laguna Grande de San Pedro, laguna Lencán, lago Lanalhue, lago Villarrica y lago Llanquihue, por lo que habría que prestar atención a las fuentes de descargas de nutrientes y posibles razones ecológicas que podrían estar afectándolos.

Tabla 115. Comparación del nivel de trofía por lago según los tres índices que utilizan datos superficiales de clorofila- a y nutrientes.

Cuerpo lacustre	Smith et al. (1999)				Carlson (1977)			Aizaki et al. (1981)		
	NT (ug/L)	PT (ug/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)	PT (ug/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)	PT (mg/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)
Lago Chungará	-	-	Oligo	Oligo	-	Meso	Meso	-	Meso	Meso
Laguna Aculeo	Hiper	Eutrófica	Hiper	Hiper	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Meso	Eutrófica
Laguna Petrel	-	Hiper	Hiper	Hiper	Hiper	Eutrófica	Eutrófica	Hiper	Eutrófica	Eutrófica
Laguna El Perro	-	Meso	Meso	Eutrófica	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Laguna Torca	Hiper	Eutrófica	Hiper	Hiper	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica
Lago Vichuquén	Hiper	Eutrófica	Hiper	Eutrófica	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Laguna Grande de San Pedro	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Laguna Lencán	Hiper	Eutrófica	Hiper	Hiper	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Eutrófica	Meso	Eutrófica
Laguna Lloncao	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Lago Lanalhue	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Laguna Los Batros	Oligo	Meso	Eutrófica	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Laguna Antiquina	Oligo	Meso	Hiper	Eutrófica	Meso	Eutrófica	Meso	Meso	Meso	Meso
Lago LleuLleu	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo
Laguna Butaco	Meso	Eutrófica	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Oligo	Meso
Lago Colico	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo
Lago Caburgua	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Villarrica	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
Lago Calafquén	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Panguipulli	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Meso	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Neltume	-	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Meso	Oligo	Oligo	Meso
Lago Riñihue	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo
Lago Pirihueico	-	Oligo	-	Oligo	Oligo	-	Oligo	Oligo	-	Oligo
Lago Ranco	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo

Cuerpo lacustre	Smith et al. (1999)				Carlson (1977)			Aizaki et al. (1981)		
	NT (ug/L)	PT (ug/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)	PT (ug/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)	PT (mg/L)	Cl-a (ug/L)	D.S. (m)
Lago Maihue	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Puyehue	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Meso	Meso	Oligo	Meso
Lago Rupanco	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Todos Los Santos	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Llago Llanquihue	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Lago Chapo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Meso	Oligo	Meso	Oligo	Oligo
Tarahuin	Oligo	Oligo	-	Oligo	Meso	-	Meso	Meso	-	Meso
Natri	Oligo	Meso	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Oligo	Meso
Tepuhueico	-	Meso	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso	Meso
San Antonio	Oligo	Oligo	-	Meso	Meso	-	Meso	Meso	-	Meso
Yaldad	Oligo	Oligo	-	Meso	Meso	-	Meso	Meso	-	Meso

Tabla 116. Cuadro resumen de la condición trófica más alta alcanzada por los cuerpos lacustres de acuerdo a la concentración de clorofila-a bajo el criterio de Smith et al (1999) considerando todas las estaciones de muestreo y durante todo el periodo de estudio (OLIGO= oligotrófica, OLIGO-MESO: oligo-mesotrófica, MESO= mesotrófica, MESO-EU= mesoeutrófica, EU= eutrófica, EU-HIPER= eu-hipereutrófica e HIPER= hipereutrófica).

SISTEMA	PERIODO	OLIGO	OLIGO-MESO	MESO	MESO-EU	EU	EU-HIPER	HIPER
Chungará	2017	x						
Aculeo	1986 - 2014						x	
El petrel	2017				x			
El Perro	2017		x					
Torca	2013 - 2016							x
Vichuquén	2013 - 2017						x	
San Pedro	1988 - 2016				x			
Lencán	2016 - 2017						x	
Lloncao	2016 - 2017					x		
Lanalhue	1991 - 2016						x	
Los Batros	2016 - 2017					x		
Antiquina	2017							x
Lleu - Lleu	2011 - 2016	x						
Butaco	2017	x						
Colico	2013 - 2015		x					
Caburgua	2003 - 2017		x					

SISTEMA	PERIODO	OLIGO	OLIGO-MESO	MESO	MESO-EU	EU	EU-HIPER	HIPER
Villarrica	1986 - 2017						x	
Calafquén	1997 - 2012	x	x					
Panguipulli	1997 - 2012							
Neltume	2012 - 2014	x						
Riñihue	1987 - 2012		x					
Pirihueico	Sin datos	-	-	-	-	-	-	-
Ranco	1987 - 2016		x					
Maihue	2003 - 2014		x					
Puyehue	2012 - 2014	x						
Rupanco	2012 - 2016		x					
Todos los Santos	2002 - 2015	x						
Llanquihue	1986 - 2017				x			
Chapo	2005 - 2017		x					
Tarahuin	Sin datos	-	-	-	-	-	-	-
Natri	2017	x						
Tepuhueico	2017	x						
San Antonio	Sin datos	-	-	-	-	-	-	-
Yaldad	Sin datos	-	-	-	-	-	-	-

Análisis de fitoplancton

A partir de los análisis de fitoplancton se observó que las clases más abundantes de fitoplancton en todo el set de lagos analizados en el periodo 2014-2017 fueron: Chlorophyceas, Cryptophyceas y Bacillaryophyceas. No obstante, se observaron diferencias entre lagos de la zona centro-sur y lagos araucanos, ya que en lagos araucanos fueron más predominantes las diatomeas. A pesar de ello, cianofíceas estuvieron presentes en casi todos los lagos estudiados, a excepción de lago Puyehue y lagos San Antonio, Natri, Yaldad y Tepuhueico en Chiloé. Los cuerpos lacustres que mostraron mayor riqueza de algas cianofíceas fueron laguna Vichuquén y Torca en la VI región, las cuales mostraron 13 y 8 taxa, respectivamente.

El índice biótico de Stockner (1972) mostró una congruencia con la composición fitoplanctónica presente en cada lago. De este modo, en los lagos donde dominaron cianofíceas este índice arrojó condiciones de eutrofización, y en los lagos donde dominaron diatomeas, este índice sugirió condiciones de oligo y mesotrofía. Por tanto, este índice puede ser utilizado como una herramienta complementaria al análisis de estado trófico. De igual modo, el análisis de grupos funcionales del fitoplancton también permitió una caracterización de los principales ensambles y su variación en los distintos periodos y estaciones de monitoreo.

Una consecuencia indeseable de la eutrofización es el desarrollo masivo de cianobacterias o cianofíceas, los cuales tienden a forman densas floraciones superficiales. Las cianofíceas excretan compuestos que causan malos olores y que incluso pueden ser tóxicos para los organismos, causando serios problemas a la calidad primaria y secundaria de las aguas. Cuando la eutrofización es avanzada, las condiciones de luz disminuyen fuertemente causando condiciones de anoxia en el fondo de los lagos. Esto porque el efecto principal de la eutrofización en el hipolimnio y sedimentos es el aumento del consumo de oxígeno afectando gravemente la fauna (peces). Las condiciones anóxicas también conducen a una serie de procesos microbiales y químicos como: desnitrificación y desulfurización y formación de metano (Lampert & Sommer 2007). Un ejemplo de ello sería las condiciones actuales en la calidad de las aguas en laguna Torca y Vichuqúen, que muestran condiciones hipereutróficas y euhipereutróficas.

Consideraciones finales

Los resultados de este proyecto nos mostraron que la eutrofización es un problema que está afectando a varios ecosistemas acuáticos de nuestro país, y que el grado de trofía puede ser muy alto sobre todo en sistemas costeros como laguna Torca y lago Vichuqúen. Por esta razón, es importante contar con monitoreos que permitan obtener un análisis contínuo de variables específicas en el tiempo de manera de conocer los periodos y estaciones en los cuales se ha generado la entrada o aumento de nutrientes, ya que, si se logra identificar esos periodos críticos, se puede conocer la causa de esa entrada de nutrientes y así poder ejercer alguna medida de control para revertir la situación, sobre todo en lagos con condiciones tróficas más críticas. De igual modo, la instalación de medidores continuos en estos lagos ayudaría a tener una mejor identificación de los periodos críticos, lo que, sumado a un análisis de uso de suelo, garantizaría la identificación de las fuentes puntuales y difusas de contaminación que afectan a estos ecosistemas.

De igual modo, el monitoreo podría incluir el análisis de especies y variables claves o indicadoras del ecosistema, que permitan un seguimiento en el tiempo. Por otro lado, en cuanto a la optimización del monitoreo con el fin de evaluar la condición trófica de los cuerpos lacustres, se recomienda medir en todas las estaciones la profundidad de visibilidad del disco Secchi, determinar *in situ* la profundidad de la zona eufótica mediante la relación Zeu = 3 X DS (m) (Montecino, 1991) y tomar muestras de clorofila-a y nutrientes a esa profundidad en el mismo momento. De este modo se podrá calcular en forma directa el índice de la OCDE (1982) y a la vez tener una mejor referencia de la relación entre la Z_{eu} y estas variables; por ejemplo, se puede determinar si una Z_{eu} muy somera se debe a una alta concentración de clorofila-a, o al revés, si una Z_{eu} somera debida a otros componentes del agua que atenuán la luz pueden estar limitando la productividad primaria.

Finalmente, la restauración de un lago o sistema eutrofizado requiere un trabajo integrado que abarque toda la cuenca hidrográfica, y debería incluir una mejora en los sistemas de tratamientos de agua, un trabajo comunitario y un trabajo riguroso en temas de fiscalización.

Es reconocido que el mejor método para luchar contra la eutrofización es la prevención de la adición antropogénica de nutrientes lo que se traduce en un adecuado tratamiento y remoción de aguas servidas o de uso doméstico. Por ejemplo, el material fecal puede ser compostado en vez de ser arrojado a los sistemas de alcantarillados; los detergentes domésticos utilizados en las viviendas aledañas además pueden ser cambiados por detergentes que no contengan fósforo; y las viejas prácticas agrícolas de fertilización podrían ser mejoradas para disminuir la carga de nutrientes por escorrentía (Lampert & Sommer 2007). Por ejemplo, en Lago Constanza (Austria, Alemania y Suiza) un esfuerzo internacional fue llevado a cabo para frenar su eutrofización, y la implementación de un tratamiento terciario a las aguas domésticas en las ciudades o poblados aledaños al lago y afluentes, redujo la concentración de fósforo en el lago y después del varios años, se logró revertir la eutrofización.

En situaciones donde las fuentes de nutrientes para un lago son difusas, la remoción y tratamiento de aguas servidas podría no ser efectivo y otras medidas podrían ser aplicadas. Estas medidas pueden incluir el aumento de la exportación de nutrientes desde los lagos, aumentando la inmovilización de nutrientes desde los sedimentos o inhibiendo la captación de nutrientes por las algas. El fósforo puede ser retenido en el fondo de los lagos al mejorar las condiciones redox en los sedimentos y en el hipolimnio, lo cual puede ser realizado introduciendo sustancias oxidantes en el fondo de los lagos (aireación del hipolimnio o inyección de nitrato dentro de los sedimentos). Por su parte, el crecimiento de macrófitas en el borde y al interior de lagos someros también ha conducido a un aumento en la trasparencia del agua y en la disminución de nutrientes (Lampert & Sommer 2007).

6 Bibliografía

Aizaki MO, Otsuki M, Fukushima M, Hosomi & Muraoka. 1981. Application of Carlson´s trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. Verh. Internat. Verein Limnol.; 21:675-681.

Bellinger E & D Sigee, 2010. Freshwater Algae: Identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell, USA.

Brettum P, 1989. Alger son Indikator pa Vannkvalitet I Norske Innsjoer: Planteplankton. Report0 0-86116, Oslo (Norway). Norks Insitutt for Vannforskning (NIVA), p. 2344.

Brzezinski MA, 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environ- mental variables. J Phycol 21:347–357.

Byron E & P Eloranta, 1984. Recent historical changes in the diatom community of Lake Tahoe, California-Nevada, USA. Limnologie 222: 1372-1376.

Campos H, Steffen W, Roman C, Zimiga L & G Auger, 1983. Limnological studies in lake Villlarrica. Morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. Archiv fûr Hydrobiologie 65: 371-406.

Campos H, Steffen W, Agüero G, González G & L Villalobos, 1987. Operación Parcial de la Red Mínima de Control de Lagos. Estudio de los lagos Villarrica y Llanquihue. Universidad Austral Facultad de Ciencias Instituto de Zoología, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología.

Campos H, Steffen W, Agüero G, González G & L Villalobos, 1988. Operación Parcial de la Red Mínima de Control de Lagos. Estudio de los lagos Riñihue y Ranco. Universidad Austral Facultad de Ciencias Instituto de Zoología, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología.

Carlson R. E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369.

Centro EULA, 2016. Diagnóstico y caracterización del estado trófico del Lago Vichuquén.

De León L, 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.

De Los Ríos P, 2008. A null model for explain crustacean zooplankton species associations in Central and Southern Patagonian inland waters. Anales Instituto Patagonia 36: 25-34.

De Los Ríos P & D Soto, 2009. Estudios limnológicos en lagos y lagunas del Parque Nacional Torres del Paine (51° s, Chile). Anales Instituto Patagonia 37: 63-71.

DGA/DCPRH Minuta N°216 del 2010. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Villarrica.

DGA/DCPRH Minuta N°232 del 2010. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Llanquihue.

DGA/DCPRH Minuta N°220 del 2011. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en la Lago Caburgua.

DGA/DCPRH Minuta N°9 del 2012. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Todos los Santos.

DGA/DCPRH Minuta N°11 del 2012. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Ranco.

DGA/DCPRH Minuta N°15 del 2012. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el Lanalhue.

DGA/DCPRH Minuta N°33 del 2012. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en la Panguipulli.

DGA/DCPRH Minuta N°36 del 2012.Propone monitoreo de calidad de aguas para los lagos Rupanco y Puyehue región de los Lagos.

DGA/DCPRH Minuta N°2 del 2013. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Neltume y Pirehueico.

DGA/DCPRH Minuta N°16 del 2014. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en laguna Grande de San Pedro, región del Bío Bío.

DGA/DCPRH Minuta N°18 del 2014. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Neltume.

DGA/DCPRH Minuta N°22 del 2014. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en el lago Maihue.

DGA/DCPRH Minuta N°31 del 2014. Propone monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en lago Vichuquén y laguna Torca, región del Maule.

DGA/DCPRH Minuta N°32 del 2014. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas en el lago Calafquén realizado por la DGA.

DGA/DCPRH Minuta N°26 del 2015. Batimetría de lagos costeros ubicados entre las regiones VI y VIII.

DGA/DCPRH Minuta N°47 del 2015. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas en el lago Riñihue realizado por la DGA.

DGA/DCPRH Minuta N°51 del 2015. Propone y justifica la incorporación del monitoreo de calidad de aguas del lago LLeu lleu en la red de control de lagos perteneciente a la Dirección General de Aguas.

DGA/DCPRH Minuta N°215 del 2015. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas realizado por la DGA en la Laguna de Aculeo.

DGA/DCPRH Minuta N°13 del 2016. Propuesta Monitoreo lagunas costeras de la VIII Región: Los Batros, Lencan y Lloncao.

DGA/DCPRH Minuta N°18 del 2016. Propone y justifica la modificación del monitoreo de calidad de aguas en el lago Colico realizado por la DGA.

DGA/DCPRH Minuta N°37 del 2016. Propuesta Monitoreo Lago Chungará.

DGA/DCPRH Minuta N°8 del 2017. Plan de monitoreo exploratorio de lagos de la isla grande de Chiloé para el año 2017, en el marco de la red de control de Lagos de la Dirección General de Aguas.

DGA/DCPRH Minuta N°11 del 2017. Informe de calidad de Aguas lago Lleu Lleu.

DGA/DCPRH Minuta N°5 del 2018. Planificación de monitoreo lagos de la Región de Aysén, año 2018 en el marco de la red de control de Lagos de la Dirección General de Aguas.

DGA/CEA 2014. Diagnóstico de la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas. Informe final.

DGA/CEA. 2015. Diagnóstico y caracterización del estado trófico y batimétrico de lagos costeros.

DGA/ POCH Ambiental. 2009. Redifinición de la Red Mínima de lagos. Ministerio de Obras Públicas Dirección general de aguas. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.

DGA/M&W Ambientales. 2014. Evaluación de la Condición Trófica de la Red de Control de Lagos de la DGA.

DGA/Universidad de Chile, 1987. Estudio limnológico de la Laguna de Aculeo, Región Metropolitana.

Domitrovic Y & M Forastier, 2005. Biodiversidad de Cyanophyceae (Cyanobacteria) y especies toxigénicas del litoral ²uvial argentino. In: Aceñolaza, F. G. (Ed.). Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II. San Miguel de Tucumán: Insugeo. p.213-228.

Cruz-Pizarro L, de Vicente I, Moreno-Ostos E, Amores V & K El Mabrouki, 2003. Estudios de diagnóstico y viabilidad en el control de la eutrofización de las lagunas de la Albufera de Adra. Limnetica 22 (1-2): 135-154.

Di Castri F & H Hayek, 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoria Académica de la Universidad Católica de Chile, 163 pp.

Dorador C, Pardo R & I Vila, 2003. Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará. Revista Chilena de Historia Natural, Nº 76, pág.: 15-22.

Elbert J, Jacques-Coper M, van Daele M, Urrutia R & Grosjean M (2015): A 600 years warm-season temperature record from varved sediments of Lago Plomo, Northern Patagonia, Chile (47°S), Quaternary International 377: 28–37.

García H & S Leiva, 1999. Microbiological contamination of Araucanian and North Patagonian lakes. 10th Region. Chile. Revista Latinomaericana de Microbiología 41: 127-32.

Heinonen P, 1980. Quantity and composition of phytoplankton in Finnish inland waters. Publication of the Water Research Institute 37: 1.917.

Hammer Ø, D Harper & Paul Ryan, 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp.

Montecino V, 1991. Primary productivity in South American temperate lakes and reservoirs. Revista Chilena de Historia Natural (64): 555 - 567.

Moreno D, Quintero J & A López, 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Contactos 78: 25–33.

OCDE. 1982. Eutrophisation des eaux. Métodes de surveillance, d'evaluation et de lutte. Paris. 164 pp.

Padisák J, L Crossetti & N Flores, 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. Hydrobiologia 621: 1-19.

Pardo R & I Vila, 2007. Causas que podrían determinar la eutrofización en los lagos chilenos. Eutrofización en América del Sur: causas, consecuencias y tecnologías de manejo y control, 197-208.

Paredes M.A. 2005. Alteraciones ambientales moduladoras de la diversidad alométrica del fitoplancton en fiordos y canales australes. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Biológicas con mención en Ecología y Biología Evolutiva. Universidad de Chile.

Parra O, 1989. La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. Ambiente y Desarrollo 1:117- 136.

Parra O, Valdovinos C, Urrutia R, Cisternas M, Habit E & M Mardones, 2005. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. Limnetica 22: 51-83.

Pielou EC, 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience John Wiley & Sons, 285 p.

Redfield A, 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In: Daniel RJ (ed) James Johnstone memorial volume. University Press of Liverpool, p 177–192.

Redfield A.C., B. H. Ketchum, & F.A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater, p. 26– 77. In M. N. Hill [ed.], The sea, v. 2. Interscience.

Reynolds CS, 1990. The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Reynolds C, V Huszar, C Kruk, L Naselli-Flores & S Melo, 2002. Towards a functional classification of the fresh-water phytoplankton. Journal of Plankton Research, 24, 417–428.

Riley GA, Stommel H & Bumpus DF, 1949. Quantitative ecology of the plankton of the Western North Atlantic. Bull. Bingham. Oceanogr. Collect., 12, 1–169.

Sánchez A & R Morales (2002). Las Regiones de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

Shannon CE & W Weaver, 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.

Simpson EH, 1949. Measurement of Diversity. Nature, 163: 688.

Smith V., Tilman GD & JC Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environ Pollut 100, 179-196.

Soto D, 2002. Patrones oligotróficos en lagos del sur de Chile: relevancia de los nutrientes y de la profundidad de mezcla. Revista Chilena de Historia Natural 75: 377-393.

Stockner J, 1972. Paleolimnology as a means of assessing autrophication. VIVTAL 18: 1018-1030.

Sverdrup H.U., 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer 18, 287–295.

Ter Braak CJ, 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector -technique for multivariate direct gradient analysis. Ecology, 67(5): 1167-1179.

UACH/DGA. 2000. "Estudio Limnológico de los Lagos Neltume y Pirehueico". Ministerio de Obras Públicas.

Villalobos, L., O. Parra, M. Grandjean, E. Jaque, S. Woelfl & H. Campos. 2003. Estudio de la cuenca y limnología en cinco lagos húmicos de la Isla Chiloé. Revista Chilena de Historia Natural 79: 563 – 590.

Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Academic Press. New York. 1.006 pp.

Woelfl S, Villalobos L, Parra O, Steffen W & H Campos, 2003. Lake Chapo: a baseline study of a deep, oligotrophic North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: I. Physical and chemical properties. Hydrobiologia 510: 217–224.